

DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



Εγχειρίδιο Τρισδιάστατης
Ψηφιοποίησης Κινητών
Πολιτιστικών Αντικειμένων





ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ *Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης*
ΝΟΜΑΡΧΙΑ *Ξάνθης*
ΔΗΜΟΣ *Ξάνθης*

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

«ΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ» 2000-2006, Γ' Κ.Π.Σ.

ΑΞΟΝΑΣ 1: ΠΑΙΔΕΙΑ - ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ.
ΜΕΤΡΟ 1.3 «ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ, ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΟΥ
ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ»

DIGITECH III:

Μελέτη τεχνολογιών ψηφιοποίησης σε τρεις διαστάσεις

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΩΝ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας
Κέντρο Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας & Πληροφορίας

2005

Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας
Κέντρο Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας και Πληροφορίας
2005

Προοίμιο

Πολλές φορές, μέσα από την καθημερινή αγωνία οικειοποίησης της νέας τεχνολογίας, αναγκαζόμαστε να διαχωρίζουμε το παρόν από το παρελθόν. Η δική μας εμπειρία δείχνει ακριβώς το αντίθετο. Η πολιτιστική κληρονομιά μιας χώρας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ταυτότητάς της. Είναι μία πολύτιμη παρακαταθήκη με σημαντικές ανάγκες προστασίας και προσεκτικής διαχείρισης. Η προστασία της αποτελεί ηθικό χρέος όλων μας.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει επιτευχθεί μεγάλη πρόοδος στην διάσωση και στην αποτελεσματική διαχείριση και προβολή του πολιτιστικού μας θησαυρού. Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες αναζητούν τεχνολογικές μεθόδους που θα επιτρέπουν την εύκολη προσπέλαση σε μια ανθεκτική πολιτιστική κληρονομιά.

Η παρούσα Μελέτη αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα αυτής της προσπάθειας. Μέσα στις επόμενες σελίδες ξετυλίγεται η ιδέα της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων. Στόχος της Μελέτης είναι η δημιουργία ενός εγχειριδίου που θα αποτελέσει βασικό ανάγνωσμα τόσο για ερευνητές και επιστήμονες που θέλουν να ενημερωθούν για τη χρήση τεχνολογιών και μεθοδολογιών τρισδιάστατης ψηφιακής αποτύπωσης πολιτιστικών αντικειμένων, όσο και για κατόχους πολιτιστικής κληρονομιάς που επιθυμούν να τη διασώσουν μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας. Η Μελέτη αυτή περιγράφει διαδικασίες *τρειςδιάστατης ψηφιοποίησης* κινητών πολιτιστικών αντικειμένων και διαδικασίες *επεξεργασίας, αποθήκευσης και διαχείρισης* των ψηφιακών αντιγράφων τους. Η πληροφορία που προσφέρει έχει άμεση εφαρμογή τόσο σε έργα που αναφέρονται στην υλοποίηση κέντρων ψηφιοποίησης όσο και σε οποιονδήποτε φορέα-κάτοχο συλλογής πολιτιστικού περιεχομένου που επιθυμεί την ψηφιακή αποθήκευση του υλικού στην κατοχή του.

Χριστόδουλος Χαμζάς
Γεώργιος Παυλίδης
Ανέστης Κουτσούδης
Φώτης Αρναούτογλου

Περιεχόμενα

Προοίμιο	i
Περιεχόμενα.....	iii
Εικόνες	ix
Πίνακες	xv
ΜΕΡΟΣ 1ο Εισαγωγή	17
<i>1 Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση.....</i>	<i>19</i>
1.1 Εισαγωγή	19
1.2 Ορισμός τρισδιάστατης σάρωσης.....	21
1.3 Τεχνολογία, Πολιτισμός και Αρχαιολογία	22
1.4 Θεωρητικό υπόβαθρο – γενικές τεχνικές γνώσεις.....	27
1.4.1 Τρισδιάστατη όραση υπολογιστών.....	27
1.4.2 Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών	28
1.4.2.1 Χάρτης βάθους	28
1.4.2.2 Νέφος σημείων	28
1.4.2.3 Πολυγωνικό – τριγωνικό πλέγμα	28
1.4.2.4 Ογκομετρικά εικονοστοιχεία.....	30
1.4.3 Συστήματα τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης.....	30
<i>2 Χαρακτηριστικά των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς</i>	<i>33</i>
ΜΕΡΟΣ 2ο Περιγραφή των βασικών μεθόδων αποτύπωσης και ανακατασκευής	39
<i>1 Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση.....</i>	<i>41</i>
1.1 Εισαγωγή	41
1.2 Μεθοδολογίες τρισδιάστατης σάρωσης	43
1.2.1 Αναλυτική τεχνολογική ανασκόπηση	45
1.2.1.1 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικροσκοπικών αντικειμένων.....	45
1.2.1.2 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικρών αντικειμένων	48
1.2.1.3 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεσαίου μεγέθους.....	49
1.2.1.4 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεγάλου μεγέθους	55
<i>2 Σαρωτές τριγωνοποίησης με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων.....</i>	<i>59</i>
2.1.1 Η ακρίβεια των γεωμετρικών αποτελεσμάτων	68
2.1.1.1 Η διαδικασία της βαθμονόμησης	68
2.1.1.2 Ανάλυση του σαρωτή	69
2.1.1.3 Ο θόρυβος της δέσμης φωτός.....	71
2.1.1.4 Γεωμετρική ακρίβεια και μετάδοση του θορύβου	75

3	Σχήμα από Σιλουέτες.....	79
3.1	Εισαγωγή.....	79
3.2	Καθορισμός παραμέτρων του οπτικού συστήματος.....	81
3.3	Λήψη εικόνων και εξαγωγή των σιλουετών.....	83
3.4	Ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας – μοντελοποίηση.....	85
3.4.1	Ογκομετρική Δειγματοληψία.....	85
3.4.2	Άμεση Τομή.....	86
3.5	Προβληματισμοί για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.....	89
3.5.1	Διαδικασία εξαγωγής σιλουέτας.....	89
3.5.2	Ακρίβεια τρισδιάστατης γεωμετρίας και υφής.....	91
3.5.3	Κοίλες Επιφάνειες.....	94
3.5.4	Γωνίες Φωτογράφισης.....	98
4	Σχήμα από Δομημένο Φως.....	101
4.1	Εισαγωγή.....	101
4.2	Διάκριση των τεχνικών κωδικοποίησης δομημένου φωτός.....	102
4.2.1	Πολύπλεξη χρόνου.....	105
4.2.1.1	Δυαδικοί κώδικες.....	105
4.2.1.2	Κώδικες n-ψηφίων.....	107
4.2.1.3	Διαβαθμίσεις του γκρι σε συνδυασμό με διαφορά φάσης.....	108
4.2.1.4	Υβριδικές τεχνικές.....	108
4.2.2	Κωδικοποίηση γειτονικών στοιχείων.....	108
4.2.2.1	Μη τυπική κωδικοποίηση.....	109
4.2.2.2	Ακολουθίες De Bruijn.....	109
4.2.2.3	Μαθηματικοί πίνακες.....	110
4.2.3	Άμεση κωδικοποίηση.....	110
4.2.3.1	Κωδικοποίηση βασισμένη σε διαβαθμίσεις του γκρι.....	111
4.2.3.2	Κωδικοποίηση βασισμένη σε χρώμα.....	111
4.3	Προβληματισμοί Ακρίβειας Αποτελεσμάτων.....	111
4.3.1	Αντικειμενική σύγκριση τεχνικών.....	113
4.3.2	Υποκειμενική Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	113
5	Σχήμα από Στερεοσκοπική Φωτογράφιση (Στερεοφωτογράφιση).....	117
5.1	Εισαγωγή.....	117
5.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής.....	121
6	Σχήμα από Κίνηση - Σχήμα από ακολουθία εικόνων (βίντεο).....	125
7	Σχήμα από Φωτοσκίαση.....	127
8	Σχήμα από υφή.....	129
9	Σχήμα από φωτομετρική στερεοσκοπική φωτογράφιση.....	131
10	Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση.....	135
11	Σχήμα από σκιά.....	139
12	Συστήματα μέτρησης συντεταγμένων.....	141

ΜΕΡΟΣ 3ο Προσδιορισμός βέλτιστων πρακτικών αποτύπωσης-ψηφιοποίησης.....145

1 Διαδικασίες τρισδιάστατης αποτύπωσης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων.....	147
1.1 Εισαγωγή	147
1.2 Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων.....	149
1.3 Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας	151
1.4 Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφους σημείων.....	151
1.5 Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων	152
1.6 Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων.....	153
1.7 Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing).....	155
1.8 Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος	156
1.9 Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών	161
1.10 Δημιουργία υφής	162
2 Γενικά χαρακτηριστικά συστημάτων και η συμβολή τους στη διαδικασία ψηφιοποίησης.....	165
2.1 Εισαγωγή	165
2.2 Η ταχύτητα ψηφιοποίησης	165
2.3 Οι τεχνικές βαθμονόμησης.....	166
2.4 Η επαλήθευση της ακρίβειας.....	167
2.5 Τα όρια απόστασης για ορθή λειτουργία και παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων.....	168
2.6 Το οπτικό πεδίο	168
2.7 Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές.....	169
2.8 Η μεταφορά του συστήματος ψηφιοποίησης	169
2.9 Η τροφοδοσία ισχύος του συστήματος.....	169
3 Λειτουργικότητα λογισμικού συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης.....	171
3.1 Εισαγωγή	171
3.2 Λογισμικό ελέγχου του συστήματος σάρωσης κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης.....	173
3.2.1 Παράθυρο προβολής στόχου	173
3.2.2 Μέθοδοι οπτικής αναπαράστασης και διαχείρισης νέφους σημείων	174
3.3 Λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων	175
3.3.1 Διαδικασία καταχώρησης τμηματικών σαρώσεων	175
3.3.2 Φιλτράρισμα νέφους σημείων	176
3.3.3 Πολυγωνικά πλέγματα και οπτική αναπαράσταση.....	177
3.3.4 Πληροφορία υφής, χαρτογράφηση εικόνων και ρεαλιστική απόδοση....	178
3.3.5 Διαχείριση Δεδομένων και καταγραφή διεργασιών.....	180
3.4 Ενδεικτικός κατάλογος λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων τρισδιάστατων σαρωτών	181
4 Οργάνωση εργασιών ψηφιοποίησης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων.....	183
4.1 Εισαγωγή	183
4.2 Οργάνωση και διαχείριση τρισδιάστατης αποτύπωσης	183
4.3 Έργα αποτύπωσης πολιτιστικής κληρονομιάς – Case studies	188

4.3.1 Case Study 1: Digital Michelangelo – 3D scanning of large statues (1998-2000).....	188
4.3.2 Case Study 2: Ψηφιοποίηση του Ερμή του Πραξιτέλη.....	194
4.3.3 Case Study 3: Η Μαγδαληνή του Michelangelo.....	195
4.3.4 Case Study 4: Ψηφιοποίηση αγαλμάτων Φαραώ Pepi.....	197
4.3.5 Case Study 5: Ψηφιοποίηση παλαιολιθικών ευρημάτων.....	199
4.3.6 Case Study 6: 3D Murale Project.....	200
4.3.7 Case Study 7: Ψηφιοποίηση μπρούτζινου αγάλματος Minerva of Arezzo	201

5 Προσδιορισμός της βέλτιστης μεθοδολογίας αποτύπωσης κινητών αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.....	203
5.1 Εισαγωγή.....	203
5.2 Άμεση σύγκριση μεθόδων.....	203
5.3 Κανόνες επιλογής της βέλτιστης μεθόδου τρισδιάστατης αποτύπωσης	207
5.4 Κριτήρια επιλογής εμπορικού συστήματος τρισδιάστατης σάρωσης.....	212
6 Έρευνα αγοράς συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης.....	217
6.1 Εισαγωγή.....	217
6.2 Αναφορές σε εμπορικά συστήματα.....	218
6.2.1 Σαρωτές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων.....	218
6.2.2 Σαρωτές προβολής μοτίβου (Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως).....	219
6.2.3 Σαρωτές φωτογραφικών μεθόδων (Σχήμα-Από-Σιλουέτες).....	220
6.2.4 Συστήματα Μέτρησης Συντεταγμένων με αισθητήρες αφής.....	221
6.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων σάρωσης αντικειμένων.....	222
6.4 Αναλυτικοί κατάλογοι Συστημάτων Σάρωσης Αντικειμένων.....	227
6.5 Τεχνικές Προδιαγραφές Συστημάτων Τρισδιάστατης Σάρωσης.....	257

ΜΕΡΟΣ 4ο Περιγραφή των παραγόμενων ψηφιακών δεδομένων..... 259

1 Συσκευές και μέσα αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων.....	261
1.1 Εισαγωγή.....	261
1.2 Μέσα αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων και συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής τους.....	264
1.2.1 Μαγνητικά μέσα αποθήκευσης.....	266
1.2.1.1 Μαγνητικές ταινίες.....	268
1.2.1.2 Μαγνητικοί δίσκοι.....	280
1.2.1.3 Το μέλλον της μαγνητικής αποθήκευσης και το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο.....	297
1.2.2 Οπτικά μέσα αποθήκευσης.....	302
1.2.2.1 Οπτικοί δίσκοι.....	303
1.2.2.2 Οπτικές ταινίες.....	314
1.2.2.3 Το μέλλον της οπτικής αποθήκευσης.....	315
1.2.3 Αποθηκευτικά μέσα στερεάς κατάστασης.....	319
1.2.3.1 Flash Memory (“Μνήμη Αστραπή”).....	320
1.2.3.2 Σιδηροηλεκτρική μνήμη (FeRAM).....	324
1.2.3.3 Μαγνητική μνήμη (MRAM).....	324
1.2.3.4 Ovonic Unified Memory (OUM).....	326



1.2.4	Συγκρίσεις μεταξύ συσκευών και μέσων	327
1.2.5	Διασυνδεδεμένες διατάξεις μεταξύ αποθηκευτικών συσκευών και υπολογιστικών συστημάτων (Διεπαφή – Interfacing).....	328
1.2.5.1	Συναρμογή ανεξάρτητων σκληρών δίσκων κατά τα πρότυπα RAID333	
1.2.6	Ιεραρχία ψηφιακής αποθήκευσης, υποδείξεις για την επιλογή του αποθηκευτικού μέσου και οδηγίες χρήσης για την καλή λειτουργία.....	341
1.2.6.1	Ιεραρχία Ψηφιακής Αποθήκευσης	341
1.2.6.2	Συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης.....	343
1.2.6.3	Περιφερειακές συσκευές τριτεύουσας αποθήκευσης.....	350
1.2.6.4	Μαγνητικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης.....	352
1.2.6.5	Μαγνητο-οπτικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης.....	354
1.2.6.6	Οπτικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης.....	355
1.2.6.7	Μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης στερεής κατάστασης.....	356
1.2.6.8	Διαδικτυακές υπηρεσίες τριτεύουσα αποθήκευση σε απομακρυσμένους εξυπηρετητές αρχείων.....	356
1.2.7	Οδηγίες για την καλή λειτουργία των μέσων και των συσκευών οδήγησής τους	357
1.3	Πρακτικές ψηφιακής αποθήκευσης δεδομένων και εξειδικευμένες συσκευές μαζικής αποθήκευσης.....	360
1.3.1	Online storage (άμεση πρόσβαση δεδομένων).....	361
1.3.2	Near line storage	366
1.3.3	Offline storage.....	371
1.3.4	Υποδείξεις επιλογής πρακτικής και τεχνικομηχανικού εξοπλισμού ψηφιακής αποθήκευσης.....	374
2	Τύποι αρχείων τρισδιάστατων δεδομένων – Προβολή και αντιγραφή τους	383
2.1	Εισαγωγή	383
2.2	Αρχεία αποθήκευσης τρισδιάστατων μοντέλων.....	387
2.3	Προβολή τρισδιάστατων δεδομένων σε εικονικό περιβάλλον με χρήση Η/Υ	392
2.3.1	Πρακτικές και τεχνικομηχανικές λύσεις προβολής τρισδιάστατων θεμάτων	393
2.3.2	Τεχνικομηχανικός εξοπλισμός προβολής συνθετικών εικόνων από ηλεκτρονικό υπολογιστή για εφαρμογές πολιτισμικού ενδιαφέροντος.....	394
2.3.2.1	Οθόνες σωλήνα καθοδικών ακτίνων (CRT- Cathode Ray Tube)	396
2.3.2.2	Οθόνες υγρών κρυστάλλων LCD, TFT	399
2.3.2.3	Οθόνες PLASMA	402
2.3.2.4	Προβολικά συστήματα (Projectors)	404
2.3.3	Στερεοσκοπική ηλεκτρονική απεικόνιση	408
2.3.4	Οδηγίες για την επιλογή συσκευής ηλεκτρονικής απεικόνισης.....	415
2.4	Δημιουργία Αντιγράφων	418
2.4.1	Δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων.....	418
2.4.2	Τρισδιάστατη Εκτύπωση	421
2.4.2.1	Τρισδιάστατοι εκτυπωτές εναπόθεσης ύλης	421
2.4.2.2	Τρισδιάστατοι εκτυπωτές λιθογραφίας	422
2.4.3	Τρισδιάστατη Σμίλευση	423



**ΜΕΡΟΣ 5ο Περιγραφή βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης,
πρόσβασης και ανάκτησης ψηφιακών δεδομένων..... 427**

**1 Σχεδίαση και υλοποίηση διαδικτυακών πολυμεσικών βάσεων δεδομένων
429**

1.1 Εισαγωγή – Διαχείριση της πληροφορίας..... 429

1.2 Μεταδεδομένα 433

1.3 Πολυμεσικές βάσεις δεδομένων και διαδίκτυο 434

1.3.1 Αυτόματη εξαγωγή μεταδεδομένων βάση του περιεχομένου 438

1.3.2 Εισαγωγή στο MPEG-7 440

1.3.2.1 Ψηφιακοί περιγραφείς και η λειτουργία τους..... 441

1.3.2.2 Περιγραφείς τρισδιάστατων μοντέλων 441

ΜΕΡΟΣ 6ο Αναφορές..... 447

Εικόνες

Εικόνα 1. Δημοφιλείς μέθοδοι οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων δεδομένων.....	29
Εικόνα 2. Διάχυση φωτός σε μάρμαρο [103].....	34
Εικόνα 3. Δημιουργία απόκλισης της δέσμης φωτός.....	35
Εικόνα 4. Σάρωση κατά την παρουσία αποφράξεων.....	36
Εικόνα 5. Ανακλάσεις και ασυνέχειες της δέσμης φωτός.....	36
Εικόνα 6. Αδυναμία αποφυγής πρόσκρουσης.....	37
Εικόνα 7. Κανονικοποιημένη αποτελεσματικότητα διαφορετικών ενδείξεων βάθους [59].....	42
Εικόνα 8. Βασικός διαχωρισμός τεχνικών οπτικής τρισδιάστατης σάρωσης....	44
Εικόνα 9. Συγκριτικό γράφημα διαστάσεων πραγματικών αντικειμένων.....	48
Εικόνα 10. Όμοια τρίγωνα και νόμος συνημίτονων.....	60
Εικόνα 11. Διάφοροι τύποι μοτίβων προβολής ακτίνων λείζερ.....	60
Εικόνα 12. Η αρχή της τριγωνοποίησης.....	62
Εικόνα 13. Συμβατική προσέγγιση σάρωσης.....	64
Εικόνα 14. Απλοποιημένο διάγραμμα σαρωτή με ένα άξονα σάρωσης.....	65
Εικόνα 15. Σάρωση διπλών αξόνων.....	66
Εικόνα 16. Χειροκίνητος έλεγχος βέλτιστης εστίασης της ακτίνας πάνω σε αντικείμενο.....	69
Εικόνα 17. Φυσικά όρια τρισδιάστατων οπτικών μετρήσεων που βασίζονται σε προβολή δέσμης φωτός – λείζερ.....	70
Εικόνα 18. Θορυβώδες Gaussian προφίλ δέσμης φωτός (speckle noise).....	72
Εικόνα 19. Συμπεριφορά ανάκλασης φωτός πάνω σε επιφάνειες.....	73
Εικόνα 20. Λάθη κατά τη διαδικασία τριγωνοποίησης.....	74
Εικόνα 21. Θόρυβος σε νέφος σημείων και η μεταφορά του στο πολυγωνικό πλέγμα.....	76
Εικόνα 22. Διάγραμμα ροής ανακατασκευής τρισδιάστατου μοντέλου.....	81
Εικόνα 23. Οργάνωση ελεγχόμενου περιβάλλοντος.....	81
Εικόνα 24. Μαθηματικό μοντέλο κάμερας για κεντρικές προβολές.....	82
Εικόνα 25. Εξαγωγή σιλουέτας σε επίπεδο εικονοστοιχείων.....	84
Εικόνα 26. Κωνική προβολή σιλουέτας με ογκομετρικά στοιχεία.....	86
Εικόνα 27. Σταδιακός σχηματισμός οπτικού κελύφους.....	87
Εικόνα 28. Μειονέκτημα της τεχνικής ογκομετρικής δειγματοληψίας.....	87
Εικόνα 29. Ανάμιξη διαφορετικών τμημάτων υφής.....	89
Εικόνα 30. Παράδειγμα ασυνέχειας μοντέλου.....	90
Εικόνα 31. Σύγκριση τεχνικών αφαίρεσης φόντου.....	90
Εικόνα 32. Ανακατασκευή οινόχους με μεταβλητό πλήθος σιλουετών.....	92
Εικόνα 33. Πραγματικό αντικείμενο (α), και ανακατασκευασμένο μοντέλο (β).....	93
Εικόνα 34. Σύγκριση πραγματικού και ψηφιακού αντικειμένου χαμηλής ποιότητας.....	94
Εικόνα 35. Γεωμετρικά λάθη στο ανακατασκευασμένο μοντέλο.....	95

Εικόνα 36. Δισδιάστατη προβολή ανακατασκευασμένου και πραγματικού αντικειμένου.....	96
Εικόνα 37. Τρισδιάστατες προσεγγίσεις πραγματικών αντικειμένων	97
Εικόνα 38. Απόκλιση των ανακατασκευασμένων γωνιών	98
Εικόνα 39. Γωνίες φωτογράφισης και τα αποτελέσματα τους στο ανακατασκευασμένο αντικείμενο	99
Εικόνα 40. Ο περιορισμένος αριθμός σιλουετών δημιουργεί γεωμετρικές ανακρίβειες	100
Εικόνα 41. Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου	102
Εικόνα 42. Ανακατασκευή τμήματος αρχαίου αγγείου με δυαδική κωδικοποίηση	106
Εικόνα 43. Μοτίβα από μη-τυπική κωδικοποίηση: (α) Περιοδικό μοτίβο, (β) Τυχαία Διανεμημένα κοψίματα	109
Εικόνα 44. Αποτελέσματα ανακατασκευής με διάφορες τεχνικές κωδικοποίησης μοτίβου δομημένου φωτός	114
Εικόνα 45. Διάγραμμα ροής ανάκτησης βάθους από στερεοφωτογράφιση ...	118
Εικόνα 46. Επιπολικό επίπεδο και στερεοσκοπικό συνταίριασμα	118
Εικόνα 47. Γενική περιγραφή διαδικασίας δημιουργίας χάρτη βάθους	119
Εικόνα 48. Αποτύπωση τρισδιάστατου αντικειμένου από στερεοφωτογράφιση	120
Εικόνα 49. Αποτύπωση τρισδιάστατου μοντέλου με την τεχνική Σχήμα-Από-Βίντεο.....	126
Εικόνα 50. Αποτελέσματα της φωτομετρικής μεθόδου.....	133
Εικόνα 51. Σύστημα ψηφιοποίησης με τη μέθοδο <i>Σχήμα-Από-Μεταβαλλόμενη-Εστίαση</i>	135
Εικόνα 52. Εστίαση σε διαφορετικά επίπεδα	137
Εικόνα 53. Η ανακτημένη γεωμετρική δομή και ο χάρτης βάθους του αντικειμένου.....	137
Εικόνα 54. Ανακατασκευασμένο τρισδιάστατο μοντέλο με πληροφορία υψής	138
Εικόνα 55. Απλοποιημένη αναπαράσταση συστήματος.....	140
Εικόνα 56. Ανάκτηση γεωμετρίας με την τεχνική <i>Σχήμα-Από-Σκιά</i>	140
Εικόνα 57. Αποτύπωση τρισδιάστατης γεωμετρίας με χρήση αισθητήρα αφής	142
Εικόνα 58. (α) Γενικό διάγραμμα διαδικασιών δημιουργίας 3D μοντέλου, (β) συνοπτική παρουσίαση διαθέσιμων και επιθυμητών διαδικασιών επεξεργασίας δεδομένων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης	148
Εικόνα 59. Ομαλοποίηση νέφους σημείων.....	152
Εικόνα 60. Ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων	155
Εικόνα 61. Αλγόριθμοι απλοποίησης Quadric	159
Εικόνα 62. Αλγόριθμοι απλοποίησης	160
Εικόνα 63. Αναγνώριση ασυνεχειών σε τριγωνικό πλέγμα.....	161
Εικόνα 64. Προβολή εικόνων πάνω στο πολυγωνικό πλέγμα.....	163
Εικόνα 65. Λογισμικό Polygonia της εταιρίας Kreon - ρύθμιση της δέσμης φωτός	174
Εικόνα 66. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής ευθυγράμμισης τμηματικών σαρώσεων	176
Εικόνα 67. Φιλικό γραφικό περιβάλλον – Digital Minerva – ISTI-CNR.....	177



Εικόνα 68. RapidForm2002: αυτόματη αναγνώριση και ομαλοποίηση ασυνεχειών	178
Εικόνα 69. Εργαλείο ομαλοποίησης χρωματικών διαφορών – Viewpoint 3D Photo Studio	179
Εικόνα 70. Τεχνητές αποδόσεις φωτοσκίασης και χαρακτηριστικών επιφάνειας	179
Εικόνα 71. St. Matthew – Το σημάδι που αφήνει η σμίλη εμφανίζεται στο τρισδιάστατο μοντέλο.....	189
Εικόνα 72. David - Michelangelo.....	191
Εικόνα 73. Έργα που ψηφιοποιήθηκαν στα πλαίσια του Digital Michelangelo Project.....	192
Εικόνα 74. Florentine Pieta - Michalangelo	192
Εικόνα 75. Ερμής του Πραξιτέλη.....	194
Εικόνα 76. Μαγδαληνή – Michelangelo (1455).....	196
Εικόνα 77. Μαγδαληνή – τρισδιάστατο μοντέλο.....	197
Εικόνα 78. Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του Φαραώ Pepi	198
Εικόνα 79. Ψηφιοποίηση παλαιολιθικών ευρημάτων	199
Εικόνα 80. Δείγματα από τα τρισδιάστατα μοντέλα του έργου 3D Murale.....	200
Εικόνα 81. Αποτελέσματα του Digital Minerva (2000-2003).....	202
Εικόνα 82. Συνδυασμός των μεθόδων Σχήμα-Από-Σιλουέτες και Στερεοφωτογράφιση	206
Εικόνα 83. Αρχή λειτουργίας μαγνητικής αποθήκευσης κατά την εγγραφή και ανάγνωση.....	268
Εικόνα 84. Μαγνητική ταινία σε ξεχωριστά καρούλια και σε κασέτα	270
Εικόνα 85: Γραμμική εγγραφή δεδομένων σε παράλληλες ζώνες και ελικοειδή εγγραφή	271
Εικόνα 86. Οφιοειδής εγγραφή / ανάγνωση μαγνητικής ταινίας	272
Εικόνα 87. Ελικοειδή εγγραφή / ανάγνωση μαγνητικής ταινίας.....	273
Εικόνα 88. Ο προπάτορας των σκληρών δίσκων RAMAC της IBM [113].....	282
Εικόνα 89. Το σύστημα της διπλής μετακινούμενης κεφαλής της αποθηκευτικής συσκευής δεδομένων RAMAC [112].....	282
Εικόνα 90. Τύποι μαγνητικών δίσκων αποθήκευσης δεδομένων	282
Εικόνα 91. Αρχιτεκτονική συσκευής αποθήκευσης δεδομένων σε μαγνητικό δίσκο.....	284
Εικόνα 92. Λογικός κερματισμός μαγνητικού δίσκου αποθήκευσης	285
Εικόνα 93. Ισόποσος και ανάλογος με την απόσταση από το κέντρο κερματισμός των ιχνών	286
Εικόνα 94. Ανατομεία μαλακού μαγνητικού δίσκου	288
Εικόνα 95. Μαγνητο-οπτικό μέσο (A) και σχηματική αναπαράσταση οδήγησής του (B).....	293
Εικόνα 96. Κατά τη φάση εγγραφής των δεδομένων η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη αντιστρέφεται και το λέιζερ αναβοσβήνει ώστε να δημιουργηθεί το κατάλληλο μοτίβο	296
Εικόνα 97. Σχηματική αναπαράσταση του προσανατολισμού των μαγνητικών πεδίων των κόκκων αποθήκευσης κατά τη διαμήκη και κάθετη εγγραφή.....	299
Εικόνα 98. Σχηματική αναπαράσταση της διασποράς των ιχνών.....	300
Εικόνα 99. Τυπική διάταξη συσκευής εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων	306

Εικόνα 100. Τομή κοινού οπτικού δίσκου CD-ROM.....	307
Εικόνα 101. Ίχνη ομόκεντρων κύκλων και σπειροειδούς διαμόρφωσης (HD & CD αντίστοιχα)	308
Εικόνα 102. Η εξέλιξη των οπτικών δίσκων και η αύξηση της χωρητικής τους ικανότητας (σηματική αναπαράσταση της επιφανειακής πυκνότητας σε ίχνη δεδομένων, που επιτυγχάνεται με τη χρήση ακτίνας λέιζερ μικρότερου μήκους κύματος και καλύτερων οπτικών για την εστίασή της) [220]	314
Εικόνα 103. Σηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της ολογραφικής αποθηκευτικής συσκευής [127]	316
Εικόνα 104. Πειραματική διάταξη ολογραφικής αποθήκευσης σχεδιασμένη και κατασκευασμένη από ερευνητές του πανεπιστημίου Stanford των Η.Π.Α. [127]	317
Εικόνα 105. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-0.....	334
Εικόνα 106. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-1.....	335
Εικόνα 107. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-2.....	336
Εικόνα 108. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-3.....	337
Εικόνα 109. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-4.....	338
Εικόνα 110. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-5.....	339
Εικόνα 111. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-6.....	339
Εικόνα 112. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-10.....	340
Εικόνα 113. Σηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-50.....	340
Εικόνα 114. Ιεραρχία αποθήκευσης (η οριζόντια τομή του τραπέζιου δηλώνει χωρητικότητα).....	343
Εικόνα 115. Συστοιχίες μαγνητικών σκληρών δίσκων των 2 και 32 terabytes.....	362
Εικόνα 116. DVD Tower	364
Εικόνα 117. Αποθηκευτικές συσκευές στερεής κατάστασης ασταθής και μη ασταθής μνήμης.	366
Εικόνα 118. Τυπική NLS συσκευή τύπου βιβλιοθήκης μαγνητικών ταινιών. α) Ρομποτική διάταξη που μεταφέρει τις μαγνητικές ταινίες από τα ράφια της βιβλιοθήκης (β) στις συσκευές εγγραφής / ανάγνωσης (γ) και αντίστροφα. β) Ράφια της βιβλιοθήκης με ταξινομημένα τα αποθηκευτικά μέσα. γ) Συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής των αποθηκευτικών μέσων.....	368
Εικόνα 119. Ιεραρχία συστημάτων αποθήκευσης.	373
Εικόνα 120. Τυπική ροή δεδομένων σε εργαστήριο ψηφιοποίησης.....	379
Εικόνα 121.: Εικονική αναπαράσταση αντικειμένου ως νέφος σημείων, συρμάτινη κατασκευή και φωτοσκιασμένο στερεό (περιγραφή από αριστερά προς τα δεξιά)	384
Εικόνα 122 Αναπαράσταση επίπεδης επιφάνειας με σημεία και με τρίγωνα. Αριστερά απεικονίζεται μια επίπεδη επιφάνεια με νέφος 100 σημείων, ενώ στο κέντρο και δεξιά απεικονίζεται η ίδια επιφάνεια μόνο με 4 τριγωνοποιημένα σημεία (συρμάτινη κατασκευή και φωτοσκιασμένο στερεό αντίστοιχα).....	386
Εικόνα 123: Περιγραφή μιας επιφάνειας με 4 σημεία. Η οπτική απόδοση της παραμετρικής επιφάνειας (αριστερά) είναι περισσότερο ομαλή από αυτή της μη παραμετρική (δεξιά).....	386
Εικόνα 124. Στέρεο ζεύγος εικόνων	409
Εικόνα 125. Γυαλιά μπλε-κόκκινων φακών και αντίστοιχη ειδική εικόνα	410
Εικόνα 126. Γυαλιά με αντίθετα πολωμένους φακούς και αντίστοιχη εικόνα	411



Εικόνα 127. Γυαλιά διαφράγματος υγρών κρυστάλλων και αντίστοιχη εικόνα	412
Εικόνα 128. Οθόνη προσαρμοζόμενη επί της κεφαλής	412
Εικόνα 129. Οθόνες TFT και Plasma με ειδικές μεμβράνες	413
Εικόνα 130. Οθόνες ογκομετρικής απεικόνισης	414
Εικόνα 131. Συσκευές μαζική αντιγραφής οπτικών δίσκων (CD/DVD) χειροκίνητης και αυτόματης (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) εναλλαγής των δίσκων.....	419
Εικόνα 132. Συσκευή εκτύπωσης με εναπόθεση υλικού (δεξιά) και δείγμα εκτύπωσης (αριστερά)	421
Εικόνα 133. Συσκευές στερεολιθογραφίας με δείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης	423
Εικόνα 134. Μηχανές τρισδιάστατης σμίλευσης ελεγχόμενες από H/Y	425
Εικόνα 135. Άφορα σχήματα και ο αντίστοιχος δείκτης σχήματος.....	444



Πίνακες

Πίνακας I. Τεχνικές προβολής κωδικοποιημένου μοτίβου	104
Πίνακας II. Ενδεικτικές τεχνικές κωδικοποίησης μοτίβων φωτός.....	112
Πίνακας III. Αντικειμενικά συγκριτικά αποτελέσματα διαφορετικών μεθοδολογιών κωδικοποίησης μοτίβου δομημένου φωτός.....	113
Πίνακας IV. Συγκριτικός πίνακας μεθόδων Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση	122
Πίνακας V. Σύγκριση αποτελεσμάτων αλγορίθμων απλοποίησης γεωμετρίας.....	157
Πίνακας VI. Παράδειγμα ασάφειας μετρήσεων.....	167
Πίνακας VII. Εμπορικά και ερευνητικά πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων από τρισδιάστατους σαρωτές.....	181
Πίνακας VIII. Γενικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αποτύπωση του «Δαβίδ»	191
Πίνακας IX. Στατιστικά αποτύπωσης Minerva of Arezzo	202
Πίνακας X. Βασικά κριτήρια επιλογής τρισδιάστατου σαρωτή	215
Πίνακας XI. Τα 9 βασικότερα κριτήρια επιλογής μεθόδου και συστήματος ψηφιοποίησης	216
Πίνακας XII. Τριγωνοποίηση με ακτίνες λέιζερ	223
Πίνακας XIII. Σχήμα από Δομημένο Φως.....	224
Πίνακας XIV. Σχήμα από Σιλουέτες	224
Πίνακας XV. Τεχνική Αφής	225
Πίνακας XVI. Ακτίνες X.....	225
Πίνακας XVII. Εκπομπή ηχητικών σημάτων.....	225
Πίνακας XVIII. Πίνακας συστημάτων προβολής ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων	257
Πίνακας XIX. Πίνακας συστημάτων προβολής δομημένου φωτός.....	258
Πίνακας XX. Μονάδες μέτρησης μεγέθους ψηφιακών δεδομένων	262
Πίνακας XXI. Σχετική πυκνότητα δεδομένων μεταξύ ελικοειδούς και γραμμικής σάρωσης	274
Πίνακας XXII. Σχετική πυκνότητα ζωνών δεδομένων ανά ίντσα μαγνητικής ταινίας.....	275
Πίνακας XXIII. Συνοπτικός πίνακας των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διαθέσιμων μέσων ψηφιακής αποθήκευσης.....	327
Πίνακας XXIV. Διάφορες εκδόσεις της τεχνολογίας SCSI	331
Πίνακας XXV. Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών διασυνδεδετικών διατάξεων	333
Πίνακας XXVI. Συγκριτικός πίνακας συσκευών δευτερεύουσας αποθήκευσης	349
Πίνακας XXVII. Χαρακτηριστικά κοινά διαδεδομένων αρχείων αποθήκευσης 3Δ θεμάτων.....	390
Πίνακας XXVIII. Σύγκριση μεταξύ των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών προβολής	408
Πίνακας XXIX. Συσκευές ηλεκτρονικής απεικόνισης.....	416
Πίνακας XXX. Οθόνες ενεργής τρισδιάστατης απεικόνισης.....	417



Πίνακας XXXI. Συσκευές μαζικής αντιγραφής μέσω ψηφιακής αποθήκευσης	420
Πίνακας XXXII. Συσκευές υλοποίησης τρισδιάστατης ψηφιακής γεωμετρίας	425
Πίνακας XXXIII. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων	438

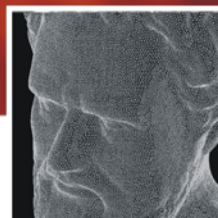
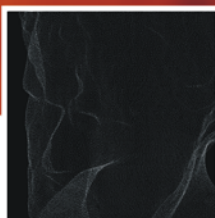
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή





I *Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση*

1.1 Εισαγωγή

Η επιθυμία αποτύπωσης αντικειμένων και σχημάτων με οπτικά μέσα χρονολογείται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Στην ίδια χρονική περίοδος συναντούμε τις ρίζες της φωτογραφικής τέχνης. Από τότε η τεχνολογία αποτύπωσης με οπτικά μέσα έχει προχωρήσει με ραγδαίους ρυθμούς. Αυτή την τεχνολογική εξέλιξη την βιώνουμε πλέον καθημερινά.

Φανταστείτε ένα μοντέρνο γραφείο. Ένας τυπικός σαρωτής εγγραφών αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι του καθώς επιτρέπει την γρήγορη και αποτελεσματική ψηφιοποίηση οποιουδήποτε εγγράφου. Εξετάστε τώρα την ιδέα ψηφιοποίησης για αντικείμενα τριών διαστάσεων. Η διαδικασία απόκτησης τρισδιάστατων δεδομένων από πραγματικά αντικείμενα αποτελεί μείζων πρόβλημα ιδιαίτερα όταν η γεωμετρική τους πολυπλοκότητα ξεπερνά πρότυπα αντικείμενα (πως σφαίρες, πυραμίδες, κύβοι). Παλαιότερα, η επίλυση του προβλήματος ήταν δύσκολη και οι τρόποι προσέγγισης χρονοβόροι. Η ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων και ψηφιακών μετρικών διατάξεων κατάφεραν να καθιερώσουν μια συνεχώς εξελίξιμη αγορά *τρισδιάστατων σαρωτών*. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την καταγραφή γεωμετρικής και χρωματικής πληροφορίας που φέρουν τα αντικείμενα μέσα σε ελάχιστο χρόνο. Οι αρχές

λειτουργίας τους βασίζονται στην εφαρμογή γεωμετρικών αξιωμάτων και συναρτήσεων. Πρότυπα ακαδημαϊκά αλλά και εμπορικά συστήματα επιδιώκουν να δώσουν απάντηση στην τρισδιάστατη αποτύπωση, το καθένα από τη δική του σκοπιά, κάνοντας συγκεκριμένες παραδοχές. Το μεγάλο ενδιαφέρον της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας εστιάζεται στην ανάλυση των μεθόδων αποτύπωσης αλλά και στην ανάπτυξη αλγορίθμων που θα επιτρέψουν την επεξεργασία των δεδομένων με αποδοτικότερους τρόπους. Η ανάπτυξη των τρισδιάστατων σαρωτών είναι αποτέλεσμα συλλογικής δουλειάς επιστημόνων από διαφορετικά ερευνητικά πεδία, όπως είναι αυτά της όρασης υπολογιστών, των τρισδιάστατων γραφικών, της μηχανολογίας, των μετρήσεων με ηλεκτρονικά αισθητήρια, της φωτογραμμετρίας και, φυσικά, των μαθηματικών.

Βασικό ρόλο στην αύξηση της δημοτικότητας των τρισδιάστατων σαρωτών παίζει η δραματική βελτίωση των υπολογιστών στον τομέα των τρισδιάστατων γραφικών πραγματικού χρόνου. Η δυνατότητα διαχείρισης πολύπλοκης τρισδιάστατης γεωμετρίας σε πλατφόρμες χαμηλού κόστους βρίσκει άμεση εφαρμογή στην απεικόνιση λεπτομερών και υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων μοντέλων που δημιουργούν οι σαρωτές.

Απώτερος σκοπός όλων των ερευνητικών προσπαθειών είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποτύπωσης σε συνδυασμό με υψηλής πιστότητας αποτελέσματα. Μέχρι τη στιγμή της συγγραφής της παρούσας Μελέτης, μόνο η μέθοδος *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* προσεγγίζει την ιδέα *σάρωσης-με-το-πάτημα-ενός-πλήκτρου*. Ωστόσο τα αποτελέσματά της έχουν εφαρμογή κυρίως στο ηλεκτρονικό εμπόριο όπου μια απλά ρεαλιστική και όχι υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατη απόδοση του αντικείμενου είναι επαρκής. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται γεωμετρική ακρίβεια, εφαρμόζονται τεχνικές σάρωσης με ακτίνες λέιζερ¹.

Στην πραγματικότητα η διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης χαρακτηρίζεται μάλλον σύνθετη, και εμπλέκει μια ακολουθία διαφορετικών διαδικασιών που αναλύονται σε βάθος στις επόμενες εισαγωγικές παραγράφους:

¹ Το λέιζερ (Laser εκ του Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) είναι μια διαδικασία παραγωγής ακτινοβολιών στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

- Αρχικά δίνεται ο ορισμός της *τρισδιάστατης σάρωσης* και γίνεται ο βασικός διαχωρισμός των διαθέσιμων μεθοδολογιών.
- Στη συνέχεια τονίζεται η ανάγκη ψηφιοποίησης και προβολής της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Η εισαγωγή κλείνει με την συγκέντρωση ορολογιών, ακρωνύμιων και χρήσιμων πληροφοριών που θα επιτρέψουν στον αναγνώστη να κατανοήσει τα επόμενα κεφάλαια, όπου περιγράφονται αναλυτικά οι τεχνικές ψηφιοποίησης.

Στο σημείο αυτό, θα ήταν χρήσιμο να ορίσουμε ως *κινητά πολιτιστικά αντικείμενα* όλα τα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς των οποίων οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από κάποια εκατοστά έως και μερικά μέτρα. Ο όρος «*κινητά*» δεν αφορά πάντα στην ιδιότητα του αντικειμένου να δύναται να μετακινηθεί αλλά έχει να κάνει και με την κατηγοριοποίησή του βάσει της εφαρμοσιμότητας που έχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες αποτύπωσης.

1.2 Ορισμός τρισδιάστατης σάρωσης

Η ποικιλία των διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού των τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου έχει οδηγήσει σε μια άστοχη φιλονικία για το αν τελικά η *Τρισδιάστατη Σάρωση*, ως έννοια, ανήκει στις γεωδαιτικές μελέτες ή στην φωτογραμμετρία και την όραση υπολογιστών. Βλέποντας όμως το θέμα από την πλευρά του χρήστη το αποτέλεσμα είναι αυτό που μετράει ανεξάρτητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε [5].

Γενικότερα, ως *τρισδιάστατο σαρωτή* θα μπορούσαμε να ορίσουμε οποιαδήποτε συσκευή δύναται να συλλέξει τρισδιάστατες συντεταγμένες από μία δεδομένη περιοχή πάνω στην επιφάνεια ενός αντικειμένου, η οποία πληρεί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ακολουθεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που βασίζεται σε κάποιο πρότυπο
- Πραγματοποιεί δειγματοληψία υψηλού ρυθμού (εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο)

- Επιταχύνει τη διαδικασία, ώστε να πραγματοποιείται σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο
- Δύναται ή και όχι να διακρίνει χρωματική πληροφορία της εκάστοτε επιφάνειας σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη γεωμετρία της

Ο τρόπος χρήσης μια τέτοιας συσκευής είναι [5]:

- είτε σταθερός σε κάποια συγκεκριμένη θέση
- είτε πάνω σε κάποιον κλασικό, φωτογραφικού τύπου, τρίποδα
- είτε σε παρόμοιες μεταφερόμενες βάσεις
- είτε εν πτήση όταν πρόκειται για τοπογραφικές εφαρμογές

Η σάρωση ενός αντικειμένου είναι πολλές φορές το εύκολο τμήμα μιας εργασίας ψηφιοποίησης. Η δημιουργία πιστών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων που αποτελούνται από ακανόνιστες επιφάνειες απαιτούν συνήθως πολύ χρόνο και εργασία. Η τρισδιάστατη σάρωση είναι ένα σημαντικό νέο εργαλείο για την τεκμηρίωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως λύση, δεν αποτελεί πανάκεια, όπως πολλοί υποστηρίζουν (κυρίως οι εταιρίες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων). Χωρίς αμφιβολία οι τρισδιάστατοι σαρωτές ταιριάζουν απόλυτα σε εφαρμογές μετρήσεων ανώμαλων επιφανειών και πιθανότατα να είναι και η καλύτερη διαθέσιμη μέθοδος την παρούσα στιγμή. Ωστόσο η αμιγής και μόνο συλλογή δεδομένων δεν είναι επαρκής. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί και στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Ο χρόνος που απαιτείται για την δημιουργία ενός υψηλής πιστότητας τρισδιάστατου μοντέλου είναι πολλές φορές πολύ μεγαλύτερος από τον χρόνο σάρωσης [51].

1.3 Τεχνολογία, Πολιτισμός και Αρχαιολογία

Η Αρχαιολογία βρίσκεται μονίμως αντιμέτωπη με το πρόβλημα της καταγραφής και μελέτης αντικειμένων ανυπολόγιστης αξίας. Από την στιγμή της ανασκαφής τα κειμήλια εκτίθενται σε μια προοδευτική και συχνά ανίατη διαδικασία παραμόρφωσης που μπορεί να καταλήξει και σε ολική καταστροφή [52]. Τα δεδομένα που καταγράφονται για μία αρχαιολογική έρευνα έχουν διττό

σκοπό: τη δημιουργία ενός μέσου που θα επιτρέπει την υψηλής πιστότητας δημοσίευση του αντικειμένου αλλά και την εικονική διατήρηση του ακόμα και στο απλούστερο επίπεδο της διάσωσης της ίδιας της αρχαιολογικής πληροφορίας που εμπεριέχει [52].

Η προστασία και διατήρηση αρχαιολογικών – πολιτιστικών αντικειμένων δεν είναι ένα απλό θεωρητικό πρόβλημα. Η αρχαιολογία είναι, εξ ορισμού, καταστροφική κατά την διάρκεια της αποκάλυψης του παρελθόντος. Η απαραίτητη καταστροφή του ανασκαφικού συνόλου² αποβλέπει στην αποκάλυψη του εκάστοτε αντικειμένου. Μετά την ανασκαφή, το αντικείμενο εκτίθεται σε ένα πλήθος νέων περιβαλλοντικών επιθέσεων (φυσικοχημική και τουριστική μόλυνση). Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναπόφευκτη η φθορά του και πραγματοποιείται σε πολύ σύντομο σε σχέση με την ηλικία του χρονικό διάστημα [52]. Για την αντιμετώπιση αυτής της προοδευτικής και ανίατης φθοράς, οι αρχαιολόγοι χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές καταγραφής και αρχειοθέτησης. Σε αντίθεση με μια γενικότερη άποψη που επικρατεί, η φωτογραφία δεν πληρεί τις ανάγκες καταγραφής της Αρχαιολογίας και της Ιστορίας Τέχνης. Προβάλλει πάντα το αντικείμενο από μία οπτική γωνία, μειώνοντας τον όγκο του αντικειμένου σε δύο διαστάσεις, εισάγοντας συχνά οπτικές παραμορφώσεις. Από την άλλη οι ερμηνευτικές παραστάσεις, οι οποίες βοηθούν στην μελέτη του αντικειμένου, είναι πολλές φορές αδύνατο να πραγματοποιηθούν πάνω στη φωτογραφία. Τα αποτελέσματα³ της παραδοσιακής φωτογράφισης ξεθωριάζουν με τον καιρό. Για όλους τους προηγούμενους λόγους οι αρχαιολόγοι και οι ιστορικοί τέχνης βασίζονται συνήθως και σε άλλες μεθόδους αρχειοθέτησης όπως είναι η σχεδίαση και η ζωγραφική. Τις περισσότερες φορές τα σχέδια αυτά γίνονται με αργούς ρυθμούς, ώστε να έχουν μεγάλη ακρίβεια, παρουσιάζοντας το μειονέκτημα να προσαρμόζονται δύσκολα σε τεχνικές διαχείρισης και οργάνωσης [53][54].

Η αρχειοθέτηση στην Αρχαιολογία και στην Ιστορία Τέχνης έχει να αντιμετωπίσει δύο ουσιαστικά προβλήματα τα όποια σχετίζονται απόλυτα μεταξύ τους. Αυτά είναι [52]:

² Περιβάλλον χώρος γύρω από το αντικείμενο.

³ Γαλακτώματα από αλογονούχες ενώσεις του αργύρου, διαφάνειες, φωτοαντίγραφα, κ.α.

- Η αντικειμενικότητα περιγραφής του αντικειμένου (πιστότητα)
- Η ταχύτητα και η προσαρμοστικότητα της πραγματοποίησης της καταγραφής

Η τεκμηρίωση της πολιτισμικής κληρονομιάς επιβάλλει την καταγραφή των αντικειμένων από κοντινές αποστάσεις. Τα πολιτιστικά αντικείμενα ποικίλουν σε διαστάσεις. Τα ακανόνιστα σχήματα και η μορφολογική πολυπλοκότητα των επιφανειών τους είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο. Ο διαθέσιμος χρόνος για μετρήσεις είναι τις περισσότερες φορές ελάχιστος και στο παρελθόν η φωτογραμμετρία ήταν η μόνη μέθοδος που μπορούσε να εφαρμοστεί σε τόσο στενά χρονικά περιθώρια [5]. Η αρχειοθέτηση με σκοπό την μόνιμη διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς αντιμετωπίζει μεγάλες προκλήσεις καθώς βαδίζουμε τη νέα χιλιετία. Νέες τεχνολογίες έρχονται να δώσουν απαντήσεις στο πρόβλημα της καταγραφής και προβολής του πολιτιστικού μας θησαυρού. Η οπτική αναπαράσταση και η μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας είναι από τα πλέον σημαντικά ερευνητικά πεδία που επιτρέπουν σε όλους τους φορείς που ασχολούνται με τον πολιτισμό να προβάλλουν τα αποτελέσματα της δουλειά τους με πολλαπλούς νέους και δυναμικούς τρόπους. Άλλωστε, πολλά αρχαιολογικά μνημεία είναι κλειστά προς το ευρύ κοινό για την αποφυγή πιθανών ζημιών. Η χρήση τρισδιάστατων φωτορεαλιστικών μοντέλων και η παρουσίαση τους μέσω εικονικής πραγματικότητας στο διαδίκτυο ή σε οπτικούς δίσκους μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τόσο στην εκπαίδευση όσο και στη διάδοση της γνώσης σε πολύ ευρύτερο κοινό [95].

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές λείζερ μπορούν, λοιπόν, να εφαρμοστούν με επιτυχία στην αρχαιολογία ως ένα σημαντικό εργαλείο για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και ψηφιακές αποδόσεις [108].

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελεί στις μέρες μας ένα αναπόσπαστο πλέον κομμάτι της προσπάθειας αρχειοθέτησης της πολιτιστικής και πολιτισμικής μας κληρονομιάς. Προσφέρει δυνατότητες καταγραφής αρχιτεκτονικών δημιουργιών, αρχαιολογικών ευρημάτων, ιστορικών μνημείων και μνημείων τέχνης. Η επικράτηση των τρισδιάστατων σαρωτών τα τελευταία χρόνια έχει επιφέρει την αύξηση του ενδιαφέροντος στην χρήση τρισδιάστατων μοντέλων



σε πλήθος αρχαιολογικών μελετών. Την ίδια στιγμή η αύξηση στις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων αλλά και επεξεργασίας τρισδιάστατων γραφικών επιτρέπουν στο μέσο χρήστη να έχει πρόσβαση σε υψηλού επιπέδου υλικοτεχνική υποδομή και να διαθέτει την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ για την προβολή τόσο μεγάλου όγκου τρισδιάστατης πληροφορίας.

Τα κίνητρα για την τρισδιάστατη ανακατασκευή πολιτιστικών αντικειμένων και μνημείων είναι πολλά:

- Η καταγραφή ιστορικών κτηρίων, τοποθεσιών και αντικειμένων για ανακατασκευή ή αναπαλαίωση σε περιπτώσεις που έχουν υποστεί καταστροφές από φωτιές, σεισμούς, πλημμύρες, πολέμους ή, όπως, είναι φυσικό από διάβρωση.
- Η δημιουργία εκπαιδευτικού υλικού για ερευνητές και μαθητές της ιστορίας και του πολιτισμού.
- Η εικονική ανακατασκευή ιστορικών μνημείων και αντικειμένων που πλέον δεν υπάρχουν ή υπάρχουν μερικώς.
- Η εικονική τρισδιάστατη εξομοίωση μνημείων και αντικειμένων με επιλογές επανόρθωσης και ανάπλασης τμημάτων του τρισδιάστατου μοντέλου.
- Η εικονική τρισδιάστατη απόδοση αρχαιολογικών ανασκαφών.
- Η ανάλυση κατασκευαστικών και επανορθωτικών τεχνικών.
- Η αναπαράσταση χώρων από οπτικές γωνίες που είναι αδύνατον να πραγματοποιηθούν στον πραγματικό κόσμο εξαιτίας των μεγεθών ή της θέσης.
- Η αλληλεπίδραση με τα πολιτιστικά αντικείμενα (σε εικονικό περιβάλλον) χωρίς τον φόβο για κάποια ζημιά.
- Οι εφαρμογές προβολής του πολιτιστικού μας πλούτου π.χ. εικονικός τουρισμός και εικονικά μουσεία.
- Η κατασκευή ρεαλιστικών τρισδιάστατων μοντέλων που μπορούν να βοηθήσουν ουσιαστικά στη μελέτη αντικειμένων από απόσταση, καθώς και στη διεύρυνση του πλήθους ατόμων που μπορούν να μελετήσουν ταυτόχρονα κάθε αντικείμενο.

- Η συγκέντρωση και παρουσίαση όλων των πληροφοριών που απαιτούνται για την τεκμηρίωση μέσω μίας τρισδιάστατης βάσης δεδομένων.

Στην πραγματικότητα κάθε ένα από τα παραπάνω κίνητρα καθορίζει και ένα πλήθος απαιτήσεων. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

- Η γεωμετρική ακρίβεια
- Η δυνατότητα αποτύπωσης τυχόν λεπτομερειών
- Ο φωτορεαλισμός
- Το χαμηλό κόστος
- Η φορητότητα
- Η προσαρμοστικότητα
- Τα μεγέθη πληροφορίας που φέρουν τα τρισδιάστατα μοντέλα
- Ο χρόνος ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης
- Η εξειδίκευση προσωπικού και η τεχνική υποστήριξη

Η σειρά προτεραιότητας των απαιτήσεων αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Διαφορετική σημασία θα είχε ο φωτορεαλισμός σε μια εφαρμογή ψηφιοποίησης πήλινων αντικειμένων και διαφορετική στην δημιουργία ενός εικονικού μουσείου. Μέχρι τη στιγμή της συγγραφής της παρούσας Μελέτης, μπορούμε να πούμε με σιγουριά πως δεν έχει, ακόμα, αναπτυχθεί κάποιο εμπορικό σύστημα σάρωσης που να καλύπτει τις απαιτήσεις όλων των περιπτώσεων. Για μικρά και μεσαίου⁴ μεγέθους αντικείμενα, οι σαρωτές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων μπορούν να προσφέρουν λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα. Από την άλλη όμως, καθώς είναι σχετικά νέα τεχνολογία, και καθώς ο αντίστοιχος εξοπλισμός δεν παράγεται σε μεγάλες ποσότητες, το κόστος των σαρωτών παραμένει υψηλό [3].

Μια διαφορετική τοποθέτηση στο πρόβλημα της τεκμηρίωσης έχει δοθεί από το Marco Gaiani (2000) [111]. Ο Gaiani αναφέρει πως στην πραγματικότητα δεν είναι τίποτα διαφορετικό από ένα ακόμα πρόβλημα «μετάφρασης». Μια δύσκολη μετάφραση της αρχιτεκτονικής πραγματικού κόσμου σε εικονικό-

⁴ Από μερικά εκατοστά (το μέγεθος ενός κοσμήματος) έως και μερικά μέτρα (το μέγεθος ενός ανθρώπου ή ενός αγάλματος).



ψηφιακό. Η λέξη «μετάφραση» στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται για να δηλώσει τη μεταφορά κάποιου αντικειμένου από ένα χώρο σε κάποιον άλλο, χωρίς να δεχθεί την παραμικρή μεταβολή. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν είναι απόλυτο, ακόμα και σε γλωσσικό επίπεδο, αφού ίδιες λέξεις διαφέρουν σημασιολογικά από γλώσσα σε γλώσσα. Η άποψη αυτή δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, αφού η τρισδιάστατη αποτύπωση αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η ψηφιοποίηση μπορεί και πρέπει να αποτελέσει τη μέθοδο εκπλήρωσης του χρέους μας απέναντι στην πολιτιστική παρακαταθήκη των προγόνων μας.

1.4 Θεωρητικό υπόβαθρο – γενικές τεχνικές γνώσεις

Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται κάποια συνοπτικά και εισαγωγικά στοιχεία από την τεχνική ορολογία που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ολόκληρη τη Μελέτη.

1.4.1 Τρισδιάστατη όραση υπολογιστών

Η δισδιάστατη όραση (π.χ. κλασική φωτογράφιση) προσπαθεί να ερμηνεύσει ένα τρισδιάστατο περιβάλλον χρησιμοποιώντας προβολές που δημιουργούνται από τα οπτικά αισθητήρια στις κάμερες (στατικές ή βίντεο). Η δισδιάστατη όραση προσφέρει περιορισμένη πληροφορία σχετικά με τις λεπτομέρειες του σχήματος ενός αντικειμένου.

Αντίθετα, η τρισδιάστατη όραση υπολογιστών ασχολείται πρωτίστως με την κατανόηση οπτικής πληροφορίας, όπως αυτή συλλέγεται από εξειδικευμένα ηλεκτρονικά οπτικά αισθητήρια. Συνεπώς, ασχολείται με την εξαγωγή, πρόσκτηση και κατανόηση δεδομένων από την γεωμετρία και την υφή των επιφανειών των αντικειμένων που βρίσκονται μέσα σε μία σκηνή. Ο όγκος της πληροφορίας αυτής είναι τεράστιος καθώς ο πραγματικός κόσμος περιέχει τεράστια γεωμετρική πληροφορία. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη όραση παρέχουν άμεσα γεωμετρική πληροφορία ενός αντικειμένου ή ολόκληρου του χώρου εντός του οπτικού πεδίου τους. Η πληροφορία που προσφέρουν οι τρισδιάστατοι αισθητήρες για τα αντικείμενα έχουν να κάνουν

με τη θέσης τους στον τρισδιάστατο χώρο. Η πληροφορία αυτή έρχεται να εξαλείψει όλες τις ασάφειες που παρουσιάζουν τα δισδιάστατα συστήματα απεικόνισης [3].

1.4.2 Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών

1.4.2.1 Χάρτης βάθους

Ο απλούστερος τρόπος αναπαράστασης και αποθήκευσης τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου είναι με τη χρήση *χαρτών βάθους* (depth maps). Ο χάρτης βάθους (Εικόνα 1α) είναι μια δισδιάστατη εικόνα βεληνεκούς, όπου κάθε εικονοστοιχείο της παίρνει μια χρωματική τιμή από τις διαβαθμίσεις του γκρι. Η χρωματική τιμή υποδηλώνει την απόσταση του σημείου από τον οπτικό αισθητήρα στον τρισδιάστατο χώρο. Δύο είναι οι πιο γνωστές μεθοδολογίες δημιουργίας χαρτών βάθους: με την εκπομπή σήματος (Radar) και με τριγωνοποίηση. Η πρώτη μέθοδος αναλύεται στο τμήμα της Μελέτης που αφορά στην τρισδιάστατη αποτύπωση ακίνητων αντικειμένων ενώ η δεύτερη στα κεφάλαια ανάλυσης των τεχνικών ψηφιοποίησης με συσκευές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων.

1.4.2.2 Νέφος σημείων

Ως νέφος σημείων ορίζεται *ένα σύνολο σημείων που μοιράζονται το ίδιο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων*. Κάθε σημείο φέρει πληροφορία που το τοποθετεί σε μία συγκεκριμένη θέση μέσα στον τρισδιάστατο χώρο και αντιστοιχεί σε μια θέση πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου που ψηφιοποιήθηκε. Η πληροφορία αυτή είναι τρεις διαφορετικές τιμές, μία για κάθε άξονα (x,y,z). (Εικόνα 1β)

1.4.2.3 Πολυγωνικό – τριγωνικό πλέγμα

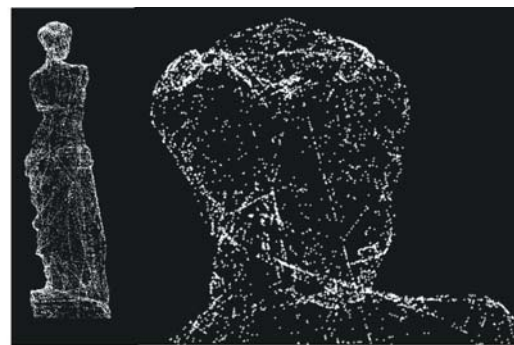
Η απόδοση μίας επιφάνειας από ένα πλήθος τριγώνων είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις. Κάθε τρίγωνο ορίζεται



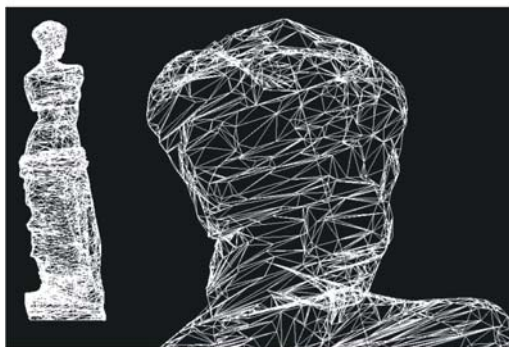
από τρεις κορυφές στον χώρο που και αυτές φέρουν πληροφορία θέσης σε κάθε άξονα (x,y,z). Από ένα νέφος σημείων ή ένα χάρτη βάθους δύναται να γίνει η εξαγωγή ενός πολυγωνικού πλέγματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1γ. Με το πολυγωνικό πλέγμα δημιουργούμε μια εικόνα με τεχνητή φωτοσκίαση που απώτερο σκοπό έχει να τονίσει τις λεπτομέρειες της επιφάνειας (Εικόνα 1δ). Το πολυγωνικό πλέγμα μπορεί να συνδεθεί με πληροφορία υψής χαρτογραφημένη πάνω σε κάθε τρίγωνο τις επιφάνειας. Το πεδίο που γίνεται η χαρτογράφηση ονομάζεται U.V. Η πιο ρεαλιστική αναπαράσταση είναι αυτή που περιλαμβάνει και την πληροφορία υψής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1στ.



α) Χάρτης Βάθους



β) Νέφος Σημείων



γ) Πολυγωνικό Πλέγμα



δ) Τεχνητή Φωτοσκίαση Πολυγωνικού Πλέγματος



ε) Σύνολο ογκομετρικών στοιχείων (Voxels)



στ) Πολυγωνικό Πλέγμα με πληροφορία υψής

Εικόνα 1. Δημοφιλείς μέθοδοι οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων δεδομένων

1.4.2.4 Ογκομετρικά εικονοστοιχεία

Πολλές φορές, στη Μελέτη, θα γίνονται αναφορές σε εικονοστοιχεία στον τρισδιάστατο χώρο. Ένα εικονοστοιχείο (*pixel* από *Picture element*), σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, αναπαριστά τις χρωματικές ιδιότητες ενός σημείου σε ένα δισδιάστατο χώρο. Στις τρεις διαστάσεις μπορούμε να πούμε πως ένα σημείο αναπαριστά πλέον, άλλοτε σημειακή ή στοιχειώδη επιφάνεια και άλλοτε σημειακό ή στοιχειώδη όγκο (εξ ου και ο διαχωρισμός τους ως στοιχεία επιφάνειας ή *surfel* από *Surface Element* και στοιχεία όγκου ή *voxel* από *Volumetric pixel*). Οι δύο αυτές οντότητες εμπεριέχουν και την πληροφορία της τρίτης διάστασης. Το *voxel* αναπαρίσταται ως ένας «στοιχειώδης» κύβος στον τρισδιάστατο χώρο (Εικόνα 1ε), ενώ το *surfel* αναπαριστά ένα «στοιχειώδες» τμήμα από το φλοιό μιας επιφάνειας. Το *surfel* απαντάται πολύ σπάνια στο χώρο της τρισδιάστατης αποτύπωσης.

1.4.3 Συστήματα τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης

Τρισδιάστατα αντικείμενα μπορούν να προβληθούν σε κλασικές-συμβατικές οθόνες υπολογιστών δύο διαστάσεων με τη χρήση στερεοσκοπικών γυαλιών που λειτουργούν με την βοήθεια υγρών κρυστάλλων. Η μέθοδος βασίζεται στην ελεγχόμενη διακοπόμενη πόλωση των κρυστάλλων που βρίσκονται μπροστά από κάθε μάτι. Γνωρίζοντας την αρχική γεωμετρία δημιουργούνται δύο απόψεις με κάποιες γεωμετρικές διαφορές, οι οποίες προβάλλονται στην οθόνη διαδοχικά. Ανάλογα με τον ρυθμό ανανέωσης της εικόνας, το ανθρώπινο μάτι αναμειγνύει τις δύο εικόνες σε μια στερεοσκοπική εικόνα και δημιουργείται η αίσθηση της τρισδιάστατης όρασης. Ως εκ τούτου το αντικείμενο προβάλλεται ακριβώς σαν να βγαίνει από το επίπεδο της οθόνης. Με βάση αυτήν την τεχνική μεγαλύτερα τρισδιάστατα μοντέλα (ολόκληροι εικονικοί χώροι) μπορούν και προβάλλονται. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλες τεχνικές προβολής τρισδιάστατων χώρων, όπως αυτή με τα *στερεογράμματα* (*anaglyphs*).

Σημαντικό στοιχείο στην οπτική αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης που προσφέρεται στον χρήστη. Με τον όρο *πραγματικό χρόνο* ορίζουμε την δυνατότητα του υπολογιστικού συστήματος να



πραγματοποιεί τόσο άμεσα τις εντολές του χρήστη, ώστε το αποτέλεσμα τους να είναι σχεδόν άμεσα εμφανές. Υπάρχουν πολλά προγράμματα στο διαδίκτυο τα οποία προσφέρονται δωρεάν και επιτρέπουν τη μέτρηση των δυνατοτήτων του υπολογιστή και της κάρτα γραφικών που χρησιμοποιεί. Οι μονάδες μετρήσεις που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως το πλήθος των εικόνων ανά δευτερόλεπτο που μπορεί να παρουσιάσει η κάρτα γραφικών σε σχέση με το πλήθος των τριγώνων που εμφανίζονται σε αυτές τις εικόνες.

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει το πρόβλημα προβολής πολύπλοκων τρισδιάστατων μοντέλων σε διαδραστικό περιβάλλον πραγματικού χρόνου. Αυτός είναι, άλλωστε, και ο στόχος της εικονικής πραγματικότητας. Κάποιες από τις προτεινόμενες και ευρέως χρησιμοποιημένες τεχνικές είναι η ιεραρχική οργάνωση δεδομένων (octrees), τα επίπεδα λεπτομέρειας (level-of-details), η ιεραρχική προβολή, οι επικαλυπτόμενες επιφάνειες και άλλες. Οι Garlick et al. [74] παρουσίασαν την ιδέα χρήσης πολλαπλών επεξεργαστών για τρισδιάστατη οπτική αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο. Οι Airey et al. [75] περιέγραψαν ένα σύστημα που συνδυάζει την τεχνική επιπέδων λεπτομέρειας με την ιδέα των προϋπολογισμένων οπτικών πληροφοριών (σκιές, αντανακλάσεις, κ.τ.λ.).

Στην τελευταία έκθεση της SIGGRAPH 2004⁵ το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκέντρωσε η παρουσίαση του πρώτου πραγματικά τρισδιάστατου ογκομετρικού συστήματος προβολής. Ο επισκέπτης μπορούσε να κινηθεί γύρω από το σύστημα και να παρακολουθήσει όλες τις πλευρές του αντικειμένου. Οι εφαρμογές του συστήματος είναι πάρα πολλές ενώ στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς μπορεί να χρησιμοποιεί σε πραγματικά μουσεία για την προβολή πολιτιστικών αντικειμένων.

⁵ACM SIGGRAPH – Η μεγαλύτερη έκθεση τα τελευταία τριάντα χρόνια στο χώρο των γραφικών – <http://www.siggraph.com/>.



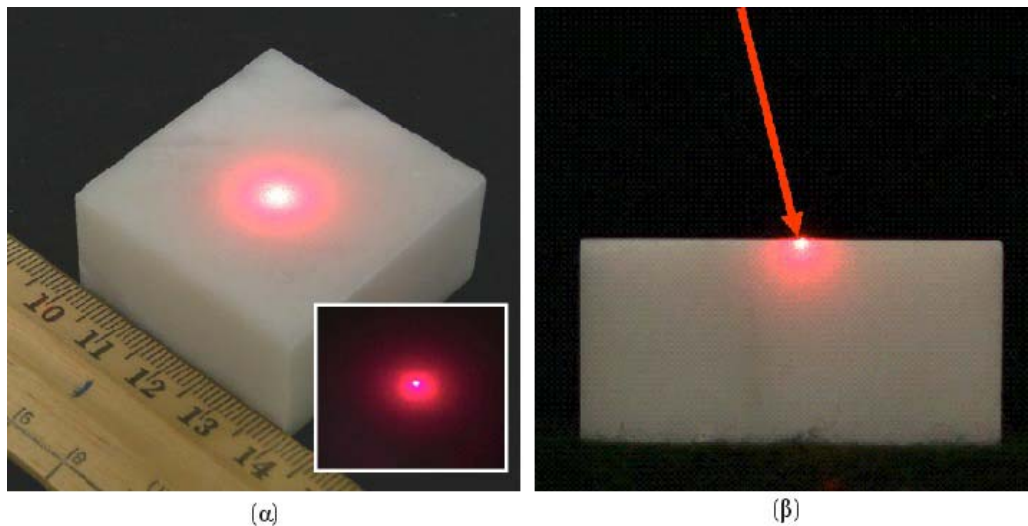
2

Χαρακτηριστικά των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς

Η ποικιλία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του πολιτιστικού μας πλούτου καθώς και η μορφολογική πολυπλοκότητα που συναντούμε σε πληθώρα αντικειμένων, αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου συνόλου χαρακτηριστικών που δημιουργούν προβλήματα στις διάφορες μεθόδους αποτύπωσης. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η διαδικασία της σάρωσης πολιτιστικών αντικειμένων πρέπει να γίνεται με τον μέγιστο δυνατό βαθμό ακρίβειας. Στην πραγματικότητα, όμως, η ακρίβεια της αποτύπωσης επηρεάζεται από το αντικείμενο αυτό καθαυτό. Μερικά από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που συμβάλουν στην ελάττωση της ακρίβειας είναι η πολυμορφία του αντικειμένου, οι αντανακλάσεις των επιφανειών του, ο ιριδισμός και η διάχυση του φωτός. Το φαινόμενο της διάχυσης απαντάται κυρίως σε μαρμάρινες επιφάνειες.

Προϋπόθεση στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση με ακτίνες λέιζερ είναι το ότι η επιφάνεια του αντικειμένου είναι αδιαφανής και δε διαχέει το ανακλώμενο φως. Το μάρμαρο όμως απέχει πολύ από αυτή την υπόθεση, εμφανίζοντας δύο σημαντικές οπτικές ιδιότητες. Αυτές είναι η *ημιδιαφάνεια* και η *ανομοιογενής επιφανειακή τραχύτητα*. Οι ιδιότητες αυτές αποτελούν πηγές θορύβου και επη-

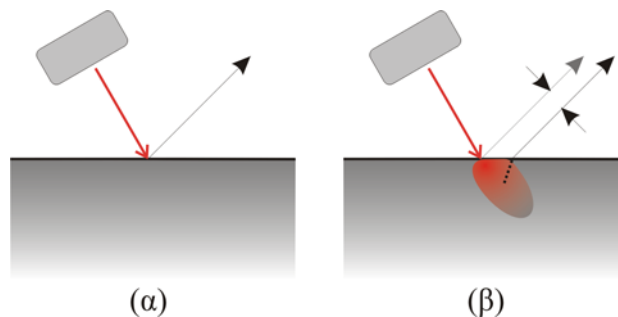
ρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων [90]. Η επιφάνεια του μαρμάρου είναι δομημένη από πυκνά συσσωρευμένους κρυστάλλους. Η μεταβλητή πυκνότητα των κρυστάλλων προκαλεί ανομοιογένεια στα υποστρώματα και αλλοιώνει τα οπτικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Καθώς η ακτίνα φωτός διαπερνά το μάρμαρο η ανομοιομορφία των υποστρωμάτων αναγκάζει το διασκορπισμό της δέσμης. Ο διασκορπισμός αυτός εντοπίζεται, δυστυχώς, και στο ορατό μήκος κύματος. Οι Godin et al. [90] προσέγγισαν σε μια εργασία τους το μέγεθος του σφάλματος που προκαλεί ο διασκορπισμός της δέσμης. Σε ένα πείραμα τους προβάλλουν μια ακτίνα λέιζερ μήκους κύματος 633nm πάνω σε ένα κομμάτι λευκού μαρμάρου τύπου *Carrara Statuario*. Στα υποστρώματα του μαρμάρου αλλά και στην επιφάνειά του εμφανίζονται κάποιοι φωτεινοί ομόκεντροι δίσκοι γύρω από το σημείο με την μεγαλύτερη συγκέντρωση φωτός (Εικόνα 2α). Στην Εικόνα 2β η δέσμη φωτός συγκεντρώνεται σε απόσταση ενός χιλιοστού από την άκρη του μαρμάρου. Η φωτογράφιση έγινε από τέτοια οπτική γωνία, ώστε να είναι εμφανές το βάθος διείσδυσης του φωτός στα υποστρώματα.



Εικόνα 2. Διάχυση φωτός σε μάρμαρο [103]

Άλλα είδη μαρμάρων επιτρέπουν την διάχυση του περιβάλλοντος φωτισμού στο εσωτερικό τους και εμφανίζουν ιδιαίτερα χρωματικά χαρακτηριστικά. Με την σημερινή τεχνολογία αυτά τα χαρακτηριστικά είναι αδύνατο να ψηφιοποιηθούν. Ακόμα και η απλή εξομοίωση τους απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Κλασικό παράδειγμα ενός τέτοιου λίθου είναι ο ακτινόλιθος γνωστός και ως

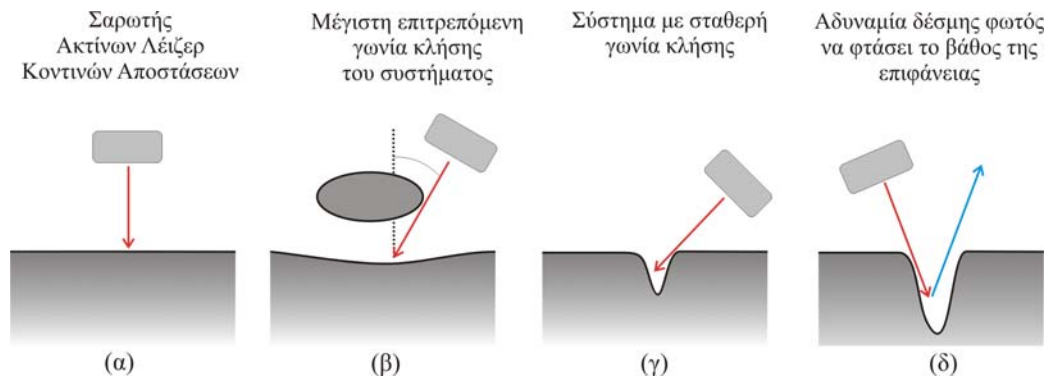
νεφρίτης. Ένα γλυπτό από ακτινόλιθο παρουσιάζει σημαντικό διασκορπισμό της ακτίνας στα υποστρώματα της επιφάνειάς του. Το ανακλώμενο φως προσπίπτει στην επιφάνεια του αντικείμενου και τη διαπερνάει προς τα έξω με μια υπολογίσιμη απόκλιση, την οποία μπορεί να συλλάβει ο σαρωτής (Εικόνα 3). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως κάτι τέτοιο επηρεάζει τη διαδικασία σάρωσης. Επίσης, η τελική ψηφιακή τρισδιάστατη απόδοση του γλυπτού θα έχει τη μορφή μιας πράσινης πετράς και όχι την πραγματική φωτοβόλα όψη που έχει ο νεφρίτης.



Εικόνα 3. Δημιουργία απόκλισης της δέσμης φωτός

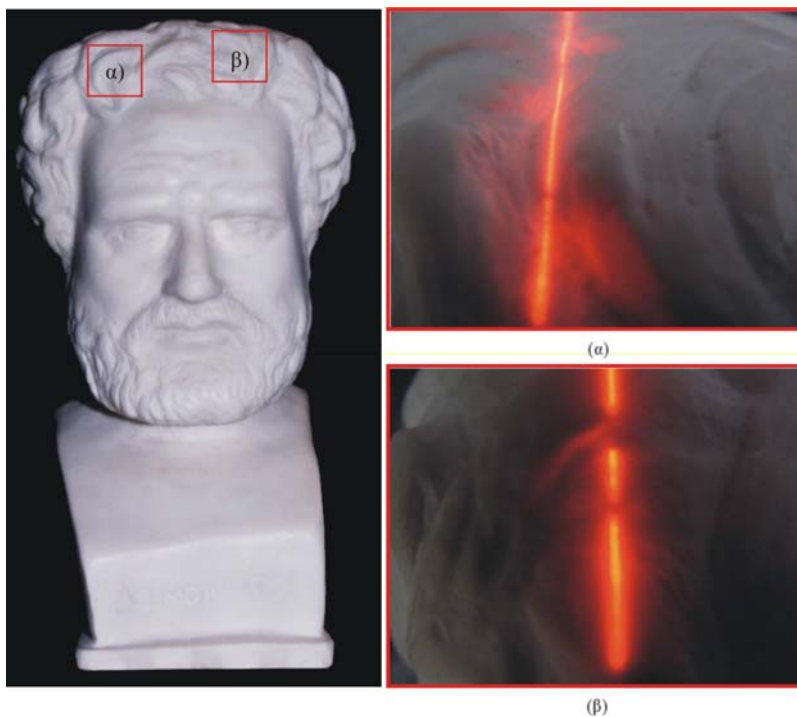
Οι δυσκολίες που παρουσιάζουν τα πολιτισμικά αντικείμενα δεν περιορίζονται μόνο σε αντικείμενα που είναι φτιαγμένα από μάρμαρο. Ένα πολύπλοκα λαξευμένο γλυπτό ελεφαντοστού με σύνθετη εσωτερική γεωμετρία θα αποτελούσε άλλη μια πρόκληση για την ψηφιοποίηση, εξαιτίας της εμφάνισης έντονων σκιάσεων που προέρχονται από το ίδιο το αντικείμενο. Η σάρωση της γεωμετρίας θα ήταν δύσκολη λόγω των περίπλοκων εσωτερικών επιφανειών. Οι στενές σχισμές είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με μεθόδους τριγωνοποίησης. Η δυσκολία εντοπίζεται στα σημεία της επιφάνειας που οφείλουν να είναι ταυτόχρονα εμφανή προς την πηγή της δέσμης φωτός αλλά και προς τον φωτογραφικό αισθητήρα. Στην Εικόνα 4 απεικονίζονται κάποιες δύσκολες καταστάσεις που επιβεβαιώνουν αυτούς που υποστηρίζουν ότι η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση είναι μια πραγματικά δύσκολη διαδικασία. Η επιφάνεια στην Εικόνα 4α είναι επίπεδη και επιτρέπει την ομαλή διεξαγωγή της τριγωνοποίησης σε αντίθεση με την Εικόνα 4β, όπου ο σαρωτής εκμεταλλεύεται την μέγιστη γωνία κλίσης για να φτάσει στην κάτω επιφάνεια. Όταν η γωνία κλίσης δεν το επιτρέπει (Εικόνα 4γ) τότε καθίσταται αδύνατη η σάρωση του συγκεκριμένου ση-

μείου. Η σμίλη που χρησιμοποιεί ο γλύπτης μπορεί και φτάσει σε σημεία που η δέσμη φωτός αδυνατεί (Εικόνα 4δ).



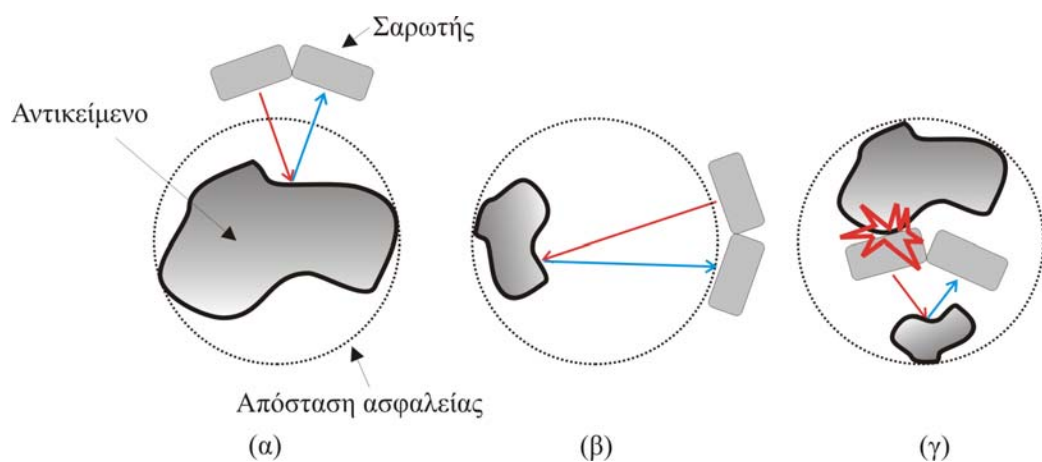
Εικόνα 4. Σάρωση κατά την παρουσία αποφράξεων

Η διάχυση της δέσμης ανάμεσα στις επιφάνειες και στις ανακλαστικές κοιλότητες του αντικειμένου είναι αναπόφευκτο φαινόμενο (Εικόνα 5). Οι ασυνέχειες που εμφανίζει η δέσμη φωτός απαιτούν την επανάληψη της σάρωσης στην ίδια περιοχή με τοποθέτηση του σαρωτή σε διαφορετική οπτική γωνία.



Εικόνα 5. Ανακλάσεις και ασυνέχειες της δέσμης φωτός

Η ανυπολόγιστη αξία των πολιτιστικών αντικείμενων δεν αφήνει περιθώρια φθοράς. Η επαφή του συστήματος σάρωσης με τα αντικείμενα είναι απαγορευμένη. Η ίδια γεωμετρική πολυπλοκότητα που επηρεάζει την συλλογή δεδομένων ανεβάζει και τον πήχη δυσκολίας στον χειρισμό του σαρωτή. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή της θέσης του συστήματος ως προς το αντικείμενο. Στην Εικόνα 6 απεικονίζονται κάποιες περιπτώσεις όπου ο σαρωτής δεν μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια. Η εξασφάλιση της ακεραιότητας του αντικειμένου πραγματοποιείται με τον ορισμό μιας περιοχής την οποία δε θα πρέπει να παραβιάζει το σύστημα ψηφιοποίησης. Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα έχουν μια συγκεκριμένη απόσταση λειτουργίας που περιορίζουν την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο. Αρκετές φορές όμως, αυτή η μέθοδος αποδεικνύεται αναποτελεσματική, καθώς πολύπλοκα αντικείμενα δεν μπορούν να ψηφιοποιηθούν πλήρως με το σαρωτή μονίμως έξω από την περιοχή ασφαλείας (Εικόνα 6γ).



Εικόνα 6. Αδυναμία αποφυγής πρόσκρουσης

Τα κοσμήματα αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της πολιτιστικής μας κληρονομιάς και ταυτόχρονα άλλο ένα παράδειγμα όπου οι σαρωτές με ακτίνες λέιζερ αδυνατούν να παρέχουν ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, η προσπάθεια ψηφιοποίησης με σύστημα ακτίνων λέιζερ ενός ασημένιου περιδέραιου που καλύπτεται με πολύτιμους λίθους θα αποβεί μάταιη. Η μικρή σε διάχυση ανάκλαση του ασημιού σε συνδυασμό με τις εσωτερικές αντανάκλασεις των πολύτιμων λίθων θα έκαναν αδύνατη την σύλληψη της γεωμετρίας με μεθόδους

τριγωνοποίησης. Ακόμα και με παθητικές μεθόδους, όπως η μέθοδος *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως*, η ψηφιοποίηση πάλι θα ήταν ανεπιτυχής. Η ρεαλιστική απόδοση των αντανάκλασεων σε πολύτιμους λίθους, όπως τα διαμάντια, απαιτούν ειδικούς αλγορίθμους φωτορεαλισμού.

Η ψηφιοποίηση ενός γούνινου κεφαλόδεσμου είναι επίσης αδύνατη. Για άλλη μια φορά, η πολυπλοκότητα της επιφάνειας του αντικειμένου προκαλεί μεγάλη διασπορά στην δέσμη φωτός καθώς αυτή εισχωρεί μέσα στις πτυχώσεις. Η ψηφιοποίηση της επιφάνειας θα οδηγούσε σε ένα νέφος σημείων με πολύ θόρυβο⁶. Από την άλλη, ακόμα και αν μπορούσε να πραγματοποιηθεί η αποτύπωση της επιφάνειας του συγκεκριμένου αντικειμένου, η γεωμετρική αναπαράσταση εκατομμυρίων τριγών σε πραγματικό χρόνο θα ήταν αδύνατη (τουλάχιστον μέχρι τη στιγμή της συγγραφής της παρούσας Μελέτης). Όσον αφορά στη φωτορεαλιστική απεικόνιση τέτοιων αντικειμένων απαιτούνται αλγόριθμοι *καθολικού φωτισμού* (global illumination) με υψηλό υπολογιστικό φορτίο.

Συνοψίζοντας, *ένα μεγάλο πλήθος πολιτισμικών αντικειμένων εμφανίζει περίπλοκη γεωμετρία και επιφανειακές ιδιότητες που είτε δημιουργούν προβλήματα είτε καθιστούν αδύνατη την ψηφιοποίηση με τις σημερινές διαθέσιμες τεχνικές* [4].

⁶ Ο θόρυβος στα πραγματικά δεδομένα νοείται ως μια τυχαία ποσότητα που αθροίζεται στα δεδομένα και δημιουργεί ανεπιθύμητες αποκλίσεις.

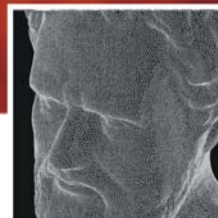
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Περιγραφή των βασικών μεθόδων
αποτύπωσης και ανακατασκευής







1

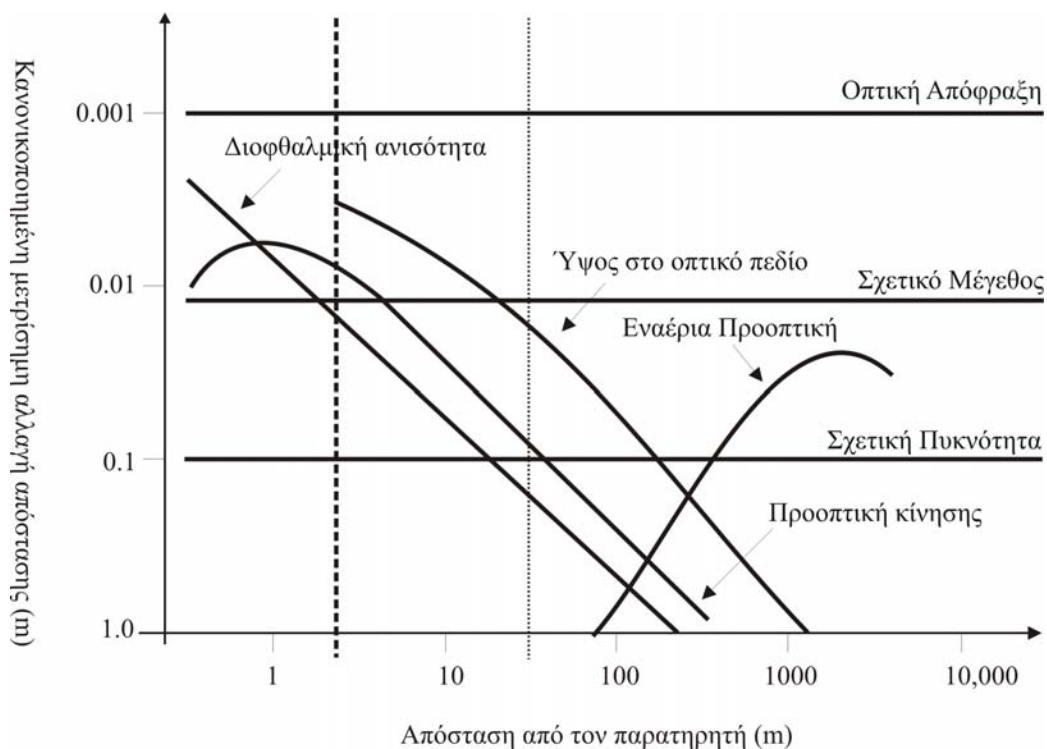
Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση

1.1 Εισαγωγή

Όλα τα εμπορικά, αλλά και ερευνητικά, συστήματα που συλλέγουν τρισδιάστατες συντεταγμένες από μια δεδομένη περιοχή της επιφάνειας ενός αντικειμένου με έναν συστηματικό ή αυτοματοποιημένο τρόπο θεωρούνται τρισδιάστατοι σαρωτές.

Η ψηφιοποίηση αντικειμένων με τρισδιάστατους σαρωτές είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σήμερα με ένα πλήθος διαφορετικών μεθόδων. Διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αντικειμένων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως επιφάνειες με υψηλή ανακλαστικότητα, χρωματική ποικιλία, γεωμετρική πολυπλοκότητα κ.α. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της κάθε τεχνικής είναι το βασικότερο κριτήριο για τις εταιρίες ανάπτυξης εμπορικών τρισδιάστατων ψηφιακών σαρωτών. Ένα μεγάλο τμήμα του συνόλου των εμπορικών σαρωτών βασίζονται στην τριγωνοποίηση με ακτίνες λέιζερ και αυτό γιατί επιτυγχάνει γεωμετρικά αποτελέσματα υψηλότερης ακρίβειας, που φτάνουν και σε επίπεδα πολύ μικρότερα του 1 mm. Εκτός από την ακρίβεια υπάρχουν και άλλα κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας. Ένα από αυτά είναι η ταχύτητα σάρωσης. Άλλες δημοφιλείς μέθοδοι είναι οι *Σχήμα-Από-Σιλουέτες*, *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* αλλά

και χειροκίνητες μέθοδοι, όπως ρομποτικοί βραχίονες με *αισθητήρες αφής* που συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να εξυπηρετούν τις ανάγκες κάποιων εφαρμογών. Οι εφαρμογές που σχετίζονται με την τεκμηρίωση πολιτισμικής κληρονομιάς βρίσκουν λύση κυρίως σε συστήματα με αυτές τις μεθοδολογίες και διαχωρίζονται σε αυτά των *κοντινών-* και *μεσαίων-αποστάσεων*. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι αυτή που ορίζει κάθε φορά τον μέγιστο δυνατό όγκο σάρωσης αλλά και τις μέγιστες αποστάσεις ανάμεσα στους αισθητήρες και στις επιφάνειες των αντικειμένων. Οι Cutting και Vishton [59] έκαναν μια μελέτη στους τρόπους αντίληψης του βάθους που εξαρτώνται από την πληροφορία του οπτικού πεδίου και παίζουν σημαντικό ρόλο σε συστήματα αντίληψης βάθους. Καθώς ένα πλήθος εφαρμογών ανακατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων προέρχεται από τον χώρο της όρασης υπολογιστών η μελέτη των Cutting και Vishton [59] έχει απόλυτη εφαρμογή στον συγκεκριμένο χώρο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το παρακάτω συγκεντρωτικό γράφημα (Εικόνα 7) που περιγράφει τους περιορισμούς που εμφανίζονται κατά την αντίληψη του βάθους καθώς αυξάνεται η απόσταση των αντικειμένων από τον παρατηρητή.



Εικόνα 7. Κανονικοποιημένη αποτελεσματικότητα διαφορετικών ενδείξεων βάθους [59]



Το γράφημα αυτό αντικατοπτρίζει τους περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι τρισδιάστατοι σαρωτές και οι τεχνικές που περιγράφονται στην παρούσα Μελέτη.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται εκτενής ανάλυση των τεχνικών που εφαρμόζονται σε εμπορικά συστήματα. Εξετάζονται τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθοδολογίας και αναγνωρίζονται όλα τα σημεία υπεροχής τους αλλά και οι αδυναμίες τους. Τέλος, περιγράφονται οι τεχνικές που βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό επίπεδο (δεν εμφανίζονται ως εμπορικά προϊόντα).

1.2 Μεθοδολογίες τρισδιάστατης σάρωσης

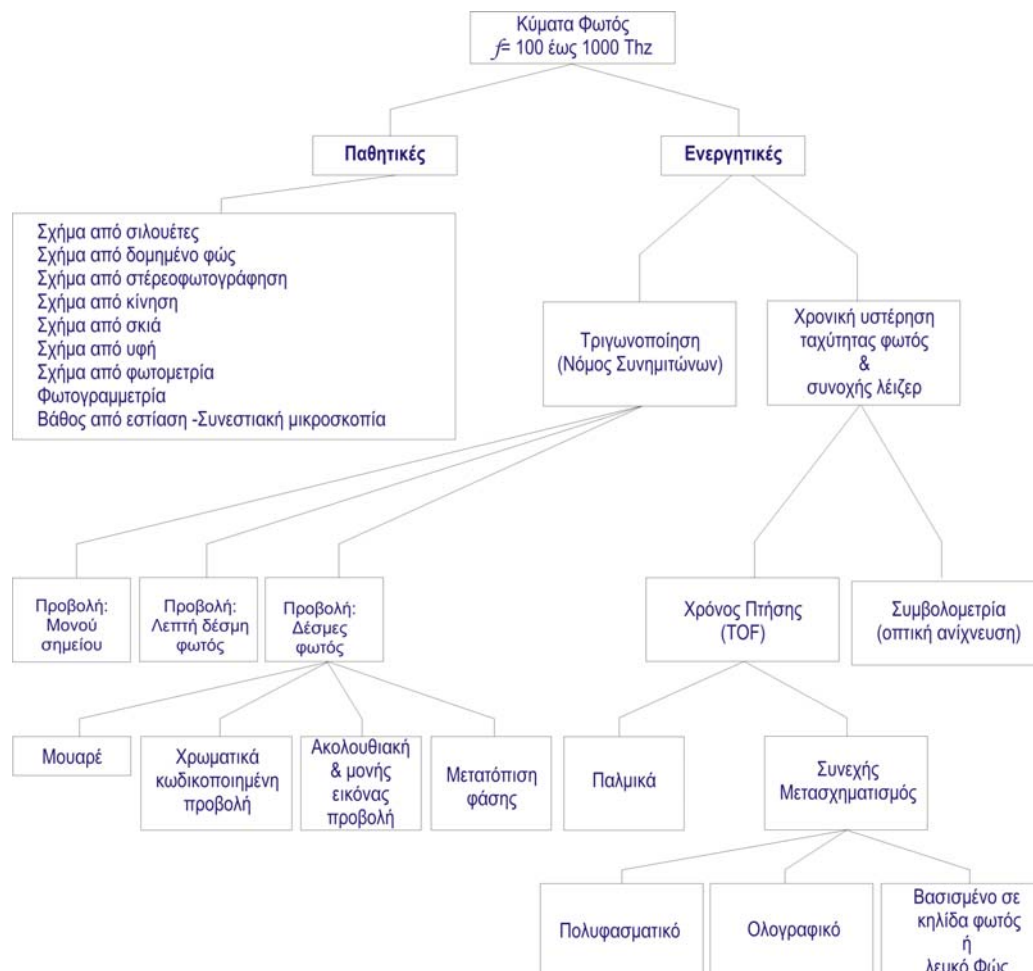
Το πλήθος των διαφορετικών μεθοδολογιών προδίδει το μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για τον συγκεκριμένο χώρο. Από την άλλη, η διαφορετική λύση που προσφέρει η κάθε μεθοδολογία δείχνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Σημαντική είναι εδώ η συμβολή αλγορίθμων από τον χώρο της τρισδιάστατης όρασης των υπολογιστών.

Ο πρώτος και βασικότερος διαχωρισμός που μπορεί να γίνει στις μεθοδολογίες τρισδιάστατης ψηφιοποίησης είναι η διάκρισή τους σε:

- παθητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης: γίνεται συνήθως χρήση του περιβαλλοντικού φωτισμού και τα μοναδικά χαρακτηριστικά που αποτυπώνονται είναι αυτά που είναι εμφανή σε ψηφιακές εικόνες.
- ενεργητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης: τα ενεργητικά συστήματα που βασίζονται σε ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων αποτυπώνουν τις παραμορφώσεις που δέχεται η δέσμη φωτός καθώς ανακλάται πάνω σε επιφάνειες. Δημιουργούν ένα πυκνό *χάρτη βάθους* ή ένα *νέφος σημείων* από όλες τις εμφανείς επιφάνειες.

Στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται οι επικρατέστερες τεχνικές σάρωσης που έχουν εφαρμογή στην αποτύπωση κινητών πολιτιστικών αντικειμένων (αλλά και μνημείων). Οι περισσότερες από αυτές έχουν ήδη εφαρμοστεί σε διάφορα ερευνητικά έργα και μελέτες. Σε αυτό το τμήμα της Μελέτης θα ασχοληθούμε με όλες τις παθητικές μεθόδους ενώ από τις ενεργητικές μας ενδιαφέρουν μόνο

οι μέθοδοι τριγωνοποίησης κοντινών αποστάσεων και οι αισθητήρες αφής που δεν περιγράφονται στην εικόνα. Όλες οι μέθοδοι Σχήμα-Από-Χ επιτυγχάνουν την πρόσκτηση της τρίτης διάστασης μέσα από ένα σύνολο ψηφιακών φωτογραφιών. Το κοινό στοιχείο ανάμεσα στις δύο κατηγορίες είναι η ύπαρξη κάποιας διαδικασίας βαθμονόμησης. Η διαδικασία της βαθμονόμησης αποτελεί το κλειδί στην ορθή εξαγωγή της τρισδιάστατης γεωμετρίας και της πληροφορίας υψής, και, σε πολλές περιπτώσεις, αποτελείται από μια σειρά από μαθηματικές σχέσεις που αντιστοιχούν ένα σημείο από την δισδιάστατη φωτογραφία σε ένα σημείο στον πραγματικό χώρο, του οποίου η θέση είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια. Αυτή η αντιστοίχιση εφαρμόζεται στην συνέχεια για την ανάκτηση της τρίτης διάστασης όλων των σημείων που εμφανίζονται μέσα στις φωτογραφίες.



Εικόνα 8. Βασικός διαχωρισμός τεχνικών οπτικής τρισδιάστατης σάρωσης



1.2.1 Αναλυτική τεχνολογική ανασκόπηση

Η διαθέσιμη τεχνολογία, σήμερα, για την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελεί ένα μεγάλο θέμα. Συγκεκριμένα, στην τελευταία δεκαετία, μια μεγάλη πληθώρα από εμπορικά συστήματα έκανε την εμφάνισή της, με στόχο τη διάχυση της τεχνολογίας που αναπτύχθηκε κατά την έρευνα των προηγούμενων είκοσι περίπου χρόνων. Η έρευνα όμως στο χώρο συνεχίζεται και τόσο βελτιώσεις όσο και νέα συστήματα κάνουν την εμφάνισή τους μέρα με τη μέρα. Είναι πρακτικά αδύνατο να καταλογογραφηθούν πλήρως όλα τα διαθέσιμα συστήματα και μέθοδοι. Στην ανασκόπηση μεθόδων που ακολουθεί γίνεται μια γενική προσέγγιση με βάση το μέγεθος των αντικειμένων προς ψηφιοποίηση από το μικροσκοπικό επίπεδο έως το επίπεδο πολύ μεγάλων αντικειμένων, και γίνεται μια εισαγωγή στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

1.2.1.1 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικροσκοπικών αντικειμένων

Είναι πλέον δυνατή η σύλληψη τρισδιάστατης πληροφορίας σε πάρα πολύ μικρή κλίμακα. Τεχνικές όπως η "Atomic Force Microscopy" και η "Stereo Scanning Electron Microscopy" μας επιτρέπουν να αναγνωρίσουμε και να καταγράψουμε χαρακτηριστικά σε κλίμακα μερικών δεκάδων νανομέτρων (nm). Άλλες τεχνικές, όπως η "Confocal Microscopy" και η "White Light Scanning Interferometry" παρέχουν ανάλυση της κλίμακας μερικών εκατοντάδων νανομέτρων. Το μειονέκτημα που υπάρχει στη χρήση τέτοιων μεθόδων υψηλής ακρίβειας και ανάλυσης είναι ότι αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ψηφιοποίηση πολύ μικρών επιφανειών (τυπικά μικρότερων του ενός τετραγωνικού χιλιοστού).

Το εύλογο ερώτημα στο σημείο αυτό θα ήταν εάν υπάρχει, πραγματικά, κάποια πρακτική αξία στη χρήση τέτοιων τεχνικών και εξοπλισμού για την ψηφιοποίηση πολιτιστικής κληρονομιάς. Η απάντηση μπορεί να είναι μόνον υποθετική: ίσως. Όταν το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι αυτό της «απόλυτης» αποτύπωσης τότε σαφέστατα υπάρχει μια εφαρμογή. Για συγκεκριμένα πολιτιστικά αντικείμενα τα μικροσκοπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιφανείας είναι δυνατό να είναι πολύ σημαντικά. Η

πληροφορία γι' αυτά μπορεί να βοηθήσει διαδικασίες όπως έλεγχος κατάσταση και αυθεντικότητας, μέθοδος δημιουργίας, κοκ.

Από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν, η τεχνική της Stereo Scanning Electron Microscopy είναι μάλλον περιορισμένης εφαρμογής στο χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην τεχνική αυτή, τα δείγματα πρέπει να εισαχθούν σε ειδικούς χώρους υπό συνθήκες κενού και απαιτείται ειδική προετοιμασία, συνήθως επικάλυψη με μέταλλο. Έτσι, η τεχνική μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις καταστρεπτικές τεχνικές και είναι, συνεπώς, ακατάλληλη για εφαρμογή στη γενική περίπτωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Υπάρχουν, βέβαια, περιπτώσεις όπως θραυσμάτων κεραμικών, απολιθωμάτων ή γυάλινων αντικειμένων, όπου θα μπορούσε να εφαρμοστεί η εν λόγω τεχνική.

Η τεχνική Confocal microscopy είναι κυρίως «βιολογική τεχνική» και δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τεχνικές όπως φθορισμός. Δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ημι-διάφανα αντικείμενα και επιτρέπει την καταγραφή εσωτερικής πληροφορίας. Θα μπορούσε να είναι περιορισμένης χρήσης στην παρατήρηση διάφανων αντικειμένων. Επίσης, είναι δυνατή η σκιαγράφηση επιφάνειας π.χ. για την ψηφιοποίηση επιφανειακής υφής, έχοντας το πλεονέκτημα ότι είναι μια τεχνική που δε στηρίζεται σε επαφή με τα αντικείμενα.

Τη σκιαγράφηση επιφάνειας μπορεί επίσης να παρέχει και η τεχνική White Light Scanning Interferometry και μάλιστα με σημαντικά μικρότερο κόστος. Συστήματα όπως το Veeco RST επιτρέπουν τη μέτρηση τρισδιάστατων επιφανειών σε κλίματα κάτω του μικρομέτρου και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ιδιαίτερα χρήσιμα για την επισταμένη μελέτη επιφανειών. Η τεχνική είναι χωρίς επαφή και δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη επιφανειακή προετοιμασία.

Η τεχνική Atomic Force Microscopy είναι η νεότερη στην κατηγορία των τεχνικών μικροσκοπικής κλίμακας και, ενώ υπάρχουν διαθέσιμα εμπορικά συστήματα, είναι ακόμη στη φάση σημαντικής ανάπτυξης. Η βασική αρχή είναι στη χρήση ενός πάρα πολύ μικρού μετρητικού συστήματος με μέγεθος που δεν ξεπερνά τα δέκα άτομα το οποίο φέρεται πάρα πολύ κοντά στην επιφάνεια προς μέτρηση χωρίς όμως να υπάρχει επαφή. Ενδο-ατομικές δυνάμεις έλκουν το

σύστημα προς την επιφάνεια. Το μικροσκόπιο μπορεί να ανιχνεύσει το σύστημα μέτρησης στην κίνησή του κατά μήκος και πλάτος πάνω στην επιφάνεια που μετράται και να ρυθμίσει την απόστασή του από αυτήν μέσω της μέτρησης της δύναμης έλξης που ασκείται. Με τον τρόπο αυτό μετράται μια επιφάνεια μέσω της μέτρησης της ελκτικής δύναμης. Η μέθοδος μπορεί να παρέχει πολύ μεγάλη ακρίβεια (απαιτώντας, βέβαια, ιδιαίτερη επιδεξιότητα χειρισμού) που μπορεί να φτάσει κάτω του ενός νανόμετρου σε ειδικές περιπτώσεις.

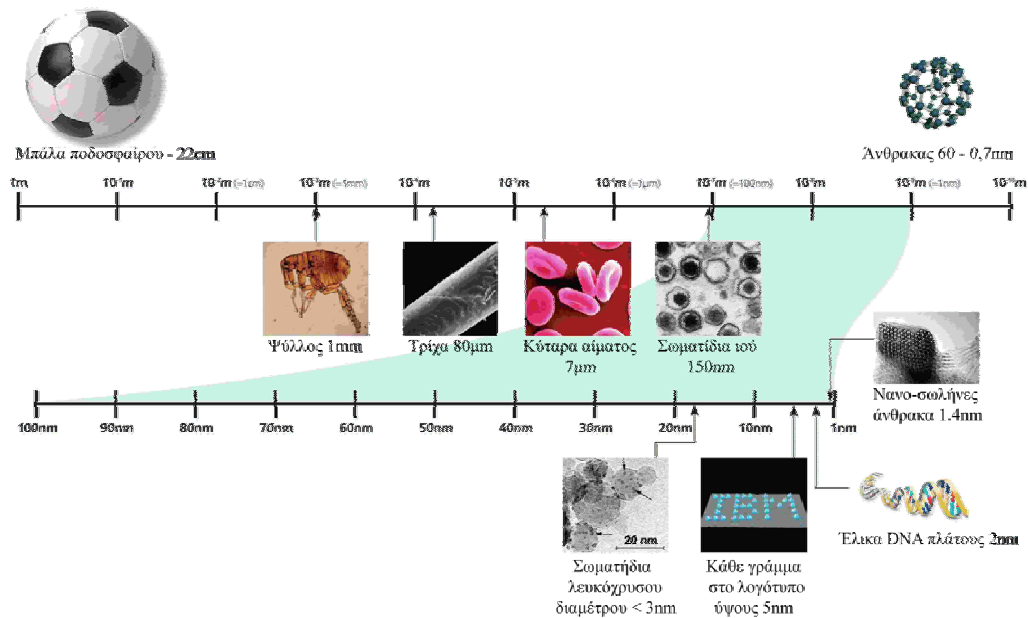
Είναι, βέβαια, σημαντικό να κατανοηθεί η κλίμακα μεγεθών για την οποία γίνεται λόγος στις παραγράφους που προηγήθηκαν. Για το λόγο αυτό δίνεται μια ενδεικτική συγκριτική απεικόνιση χαρακτηριστικών αντικειμένων γνωστών μεγεθών από 1 μέτρο έως 1 μικρόμετρο (Εικόνα 9). Στα 30 περίπου εκατοστά υπάρχει η ποδοσφαιρική μπάλα ενώ στα 0,1 νανόμετρα υπάρχουν μεμονωμένα άτομα. Από διάφορες μελέτες, εργασίες και ερευνητικά έργα σε πανευρωπαϊκό επίπεδο είναι γνωστό ότι η ανάκτηση πληροφορίας στην κλίμακα του μικρομέτρου για πολιτιστικά αντικείμενα μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη. Με τη χρήση τεχνικών όπως αυτών που περιγράφηκαν στις παραπάνω παραγράφους, γίνεται δυνατή η μετάβαση στην κλίμακα των 100 νανομέτρων και ακόμη πιο κάτω. Το εύλογο, βέβαια, ερώτημα θα ήταν αν υπάρχει κάτι στην κλίμακα αυτή που να είναι ενδιαφέρον. Στις κλίμακες αυτές ανακτάται η μικρο-υφή μιας επιφάνειας, ή η τραχύτητά της η οποία είναι δυνατό να έχει σημαντική συμμετοχή στη συνολική παρουσία της μορφής του αντικειμένου. Μεταβολές στην τραχύτητα της επιφάνειας θα μπορούσαν να είναι χαρακτηριστικές για την κατάσταση της επιφάνειας (π.χ. διάβρωση). Η συνολική απάντηση είναι ότι, πράγματι, στην μικρο-κλίμακα υπάρχει σημαντική πληροφορία.

Έτσι, από τις τέσσερις τεχνικές που αναφέρθηκαν, οι τεχνικές Atomic Force Microscopy και White Light Scanning Microscopy έχουν πραγματικά κάτι να συνεισφέρουν στο χώρο της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ποια είναι όμως τα μειονεκτήματα των τεχνικών αυτών;

- μπορούν να μετρήσουν πολύ μικρές επιφάνειες ή μικρά δείγματα από τα πραγματικά αντικείμενα
- είναι σημαντικά σύνθετες και απαιτούν γνώσεις, εξειδίκευση και επιδεξιότητα

- ενώ ο εξοπλισμός είναι μεταφερόμενος απαιτούνται ιδιαίτερα ελεγχόμενες συνθήκες μέτρησης (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) αν και πολλά μουσεία μπορούν να παρέχουν αυτές τις συνθήκες.

Όλα αυτά καταδεικνύουν το γεγονός ότι τέτοια συστήματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε μια διαδικασία ψηφιοποίησης ιδιαίτερα σε συνθήκες όπου η μικρο-δομή της επιφάνειας αντικειμένων έχει σημαντική πληροφορία να δώσει τόσο για τη σωστή απεικόνιση όσο και τον έλεγχο της κατάστασής του.



Εικόνα 9. Συγκριτικό γράφημα διαστάσεων πραγματικών αντικειμένων

1.2.1.2 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικρών αντικειμένων

Με τον όρο «μικρά αντικείμενα» εννοούνται εδώ αντικείμενα διάστασης έως 100x100 χιλιοστών (10x10 εκατοστά). Στην κατηγορία αυτή οι αδιαμφισβήτητα προτιμητέες τεχνικές είναι αυτές που βασίζονται σε συστήματα τριγωνοποίησης ακτίνων laser. Υπάρχει σήμερα πληθώρα τέτοιων εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων, και είναι μια απολύτως βατή διαδικασία για ένα εξειδικευμένο εργαστήριο που σχετίζεται με το χώρο της τρισδιάστατης όρασης να κατασκευάσει μια τέτοια συσκευή. Η βασική αρχή λειτουργίας είναι σχετικά απλή: μια σημειακή πηγή laser σημαδεύει την επιφάνεια προς μέτρηση



και ανιχνεύεται από έναν οπτικό αισθητήρα. Καθώς το laser μετακινείται πάνω στην επιφάνεια, συναντά διαφορετικά ύψη. Αυτά τα μεταβαλλόμενα ύψη αλλάζουν την ανάκλαση του laser στον οπτικό αισθητήρα. Αν και το σύστημα αυτό μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά, τα περισσότερα συστήματα βασίζονται σε εμπειρική βαθμονόμηση με χρήση προτυποποιημένων διαβαθμίσεων ύψους για την αναγνώριση της σχέσης μεταξύ της μεταβολής στο επιφανειακό ύψος και της θέσης της ακτίνας. Με δεδομένο ότι η προς μέτρηση περιοχή περιορίζεται σε 100x100mm τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν μια ακρίβεια μέτρησης της τάξης μερικών μικρομέτρων. Παρόλα αυτά, εάν η επιφάνεια του αντικειμένου είναι μεγαλύτερη, τότε η ακρίβεια μέτρησης μειώνεται, και μάλιστα πολλές φορές σημαντικά.

Τέτοια συστήματα είναι χρήσιμα για τη μέτρηση αντικειμένων όπως νομίσματα και μέταλλα, εγχάρακτες ή ανάγλυφες ταμπέλες και μικρά αντικείμενα χρυσοχοΐας. Είναι συνήθως φορητά, σχετικώς φθηνά και εμπορικά διαθέσιμα.

1.2.1.3 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεσαίου μεγέθους

Στην κατηγορία αυτή απαντώνται τα πιο ενδιαφέροντα πολιτιστικά αντικείμενα, και όπου διατίθενται οι περισσότερες τεχνικές ψηφιοποίησης. Τα αντικείμενα είναι διαστάσεων άνω των 10 εκατοστών και μπορεί να φτάνουν έως και 1 με 2 μέτρα. Εδώ μπορεί να περιληφθούν ακόμη και αγάλματα φυσικού μεγέθους.

Τα πλέον χρησιμοποιούμενα συστήματα στην κατηγορία αυτή χρησιμοποιούν τεχνικές «δομημένου φωτισμού». Η λειτουργίας τους βασίζεται σε μια επέκταση της αρχής της τριγωνοποίησης. Η διαφορά είναι ότι η σημειακή πηγή έχει πλέον αντικατασταθεί από ένα δισδιάστατο μοτίβο φωτός το οποίο προβάλλεται στην προς μέτρηση επιφάνεια. Διάφορες είναι οι μέθοδοι παραγωγής αυτού του μοτίβου φωτός, άλλοτε με τη συμβολή φωτός από πηγή laser και άλλοτε με απλή προβολή του μοτίβου με φωτογραφική μέθοδο. Συνήθως γίνεται χρήση ενός μοτίβου, το οποίο μετακινείται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου για να επιτευχθεί η συνολική μέτρησή του.

Υπάρχουν όμως και τεχνικές που χρησιμοποιούν πολλαπλά μοτίβα καθώς και τεχνικές Moiré. Το σημαντικό, όμως, σημείο εδώ είναι ότι με οποιονδήποτε τρόπο και εάν παράγονται τα μοτίβα φωτός η διαδικασία ανίχνευσης και ανάλυσής τους είναι η ίδια.

Ένα σύνθετες μοτίβο δεν αποτελείται από δύο απλές καταστάσεις τύπου on/off αλλά, τις περισσότερες φορές, από ημιτονοειδείς μεταβάσεις. Το σημαντικό εδώ είναι ότι καθίσταται δυνατός ο καθορισμός της θέσης όπου παρατηρούνται τα μέγιστα των μοτίβων οδηγώντας σε βελτίωση της ακρίβειας της μέτρησης, παρέχοντας τη δυνατότητα εντοπισμού σε τμήμα μικρότερο ενός κροσσού συμβολής του μοτίβου. Εμπορικά, τα συστήματα αυτά είναι ικανά να επιτύχουν ακρίβεια μέτρησης περί το 1/100 των διαστημάτων μεταξύ των κροσσών του μοτίβου. Έτσι εάν το διάκενο αυτό είναι για παράδειγμα 1 cm τότε η αναμενόμενη ακρίβεια μέτρησης είναι της τάξης του 0,1 mm. Τα συστήματα αυτά βασίζονται συνήθως σε μία από δύο βασικές αρχές λειτουργίας: είτε με χρήση μετασχηματισμού Fourier, είτε με χρονική μετατόπιση φάσης. Κάθε προσέγγιση έχει τα πλεονεκτήματα και τους υποστηρικτές της. Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα αυτής της κατηγορίας βασίζονται στη χρονική μετατόπιση φάσης, καθώς η τεχνική αυτή έχει αναλυθεί σημαντικά σε ερευνητικό επίπεδο και είναι σε μερικές περιπτώσεις ευκολότερη στην εφαρμογή της έναντι της άλλης μεθόδου.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των τεχνικών στην κατηγορία αυτή είναι ότι σε γενικές γραμμές η ακρίβειά τους είναι κλιμακούμενη. Αυτό σημαίνει ότι τείνουν να μετρούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα μικρά από ότι τα μεγάλα αντικείμενα. Για τα περισσότερα συστήματα το χαρακτηριστικό αυτό είναι συνυφασμένο με τον τρόπο που σχεδιάστηκαν. Περιορισμοί στην ακρίβειά τους πηγάζουν από το γεγονός ότι μια ψηφιακή εικόνα του μοτίβου φωτός έχει περιορισμένο εύρος ζώνης. Το εύρος αυτό ορίζεται από την ανάλυση που παρέχει το οπτικό αισθητήριο που χρησιμοποιεί το εκάστοτε σύστημα και το βάθος χρώματος με το οποίο ψηφιοποιείται η εικόνα. Βασικά, όσο μεγαλύτερο το πλήθος των εικονοστοιχείων στον οπτικό αισθητήρα τόσο καλύτερη η ανάλυση και τόσο μικρότερο μπορεί να είναι το διάκενο μεταξύ των κροσσών του μοτίβου για δεδομένο μέγεθος αντικειμένων. Καθώς η ακρίβεια των



συστημάτων είναι στενά δεμένη με το μέγεθος των κροσσών του μοτίβου, μικρότεροι κροσσοί οδηγούν σε μεγαλύτερη ακρίβεια. επίσης καθώς το βάθος χρώματος ψηφιοποίησης μεγαλώνει γίνεται όλο και μεγαλύτερη η ικανότητα διαχωρισμού σημείων εντός του κροσσού μοτίβου οδηγώντας σε περαιτέρω αύξηση της ακρίβειας.

Πολλά από τα συστήματα της κατηγορίας εφαρμόζουν την τεχνική τμηματικής ψηφιοποίησης για μεγάλες επιφάνειες (για μεγαλύτερη ακρίβεια) και στη συνέχεια χρησιμοποιούν λογισμικά για συνένωση των τμηματικών σαρώσεων. Φυσικά και εδώ υπάρχουν όρια και η διαδικασία απαιτεί περισσότερο χρόνο ψηφιοποίησης.

Άλλοι σημαντικοί περιορισμοί αυτών καθώς και κάθε οπτικού συστήματος που βασίζεται σε διασκορπισμό φωτός από μια επιφάνεια είναι:

- Συνήθως αποτυγχάνουν στη μέτρηση σκούρων ή μαύρων αντικειμένων. Η απολύτως συμβατή προς αυτά επιφάνεια μέτρησης είναι μια ομαλή λευκή επιφάνεια χωρίς αντανάκλασεις. Έτσι καθίστανται καλή επιλογή για τα περισσότερα από τα έργα γλυπτικής.
- Τις περισσότερες φορές, τα γυαλιστερά αντικείμενα με ανακλαστικές επιφάνειες αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Σήμερα, βέβαια, υπάρχουν ειδικές τεχνικές που αντιμετωπίζουν και το πρόβλημα αυτό. Στη γενικό όμως περίπτωση, δεν είναι δυνατή η μέτρηση αντικειμένων με υψηλή ανακλαστικότητα ή διάφανων αντικειμένων.
- Η ύπαρξη μοτίβων ή σημαδιών στην επιφάνεια όπως για παράδειγμα ζωγραφική πάνω σε κεραμικά μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο σύστημα οδηγώντας σε καταστάσεις ασάφειας εντοπισμού των προβαλλόμενων μοτίβων.
- Επιφάνειες με μεγάλη γκάμα καμπυλοτήτων μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα. Πολύ απότομες ακμές μπορεί επίσης να εισάγουν δυσκολίες.
- Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων είναι ότι παράγουν αυτό που καλείται «νέφος σημείων» και όχι ολοκληρωμένες επιφάνειες. Στα παραγόμενα δεδομένα δεν υπάρχει κάποιου είδους πληροφορία αποκλειστικής σύνδεσης μεταξύ των σημείων, η οποία πρέπει να οριστεί στη συνέχεια.

Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενσωματωθούν και άλλες τεχνικές, μία εκ των οποίων γνωρίζει σημαντική άνθηση τα τελευταία χρόνια και δεν είναι άλλη από την ολογραφία με χρήση υπολογιστών. Η ολογραφία είναι ήδη ώριμη (φτάνει τα 50 περίπου χρόνια), αλλά δεν έχει ακόμη καταφέρει να αποδώσει τους καρπούς της τουλάχιστον σε εμπορικό επίπεδο. Έτσι η ολογραφία παραμένει ακόμη σε επίπεδο ερευνητικής ή πολύ ειδικής χρήσης. Παρουσιάζεται ως μια πολύ ακριβή, τεχνικά πολύπλοκη μέθοδος με μη σημαντικά αποτελέσματα για τον κόσμο του πολιτισμού, λίγο-πολύ ως ένα αξιοπερίεργο. Αυτό όμως αρχίζει να αλλάζει. Μερικά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την ολογραφία είναι η απαίτηση για χρήση υγρών χημικών για την έκθεση των εικόνων και οι σημαντικοί περιορισμοί στη δυνατότητα απεικόνισης. Η ολογραφία με χρήση υπολογιστών δίνει μια παράπλευρη λύση σε όλα αυτά τα προβλήματα.

Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή: ο λόγος για τον οποίο βλέπουμε αντικείμενα είναι γιατί το φως ανακλάται πάνω τους. Το φως έχει τρεις σημαντικές ιδιότητες: ένταση, συχνότητα και φάση. Μια ασπρόμαυρη εικόνα αναπαριστά μόνο την ένταση. Μια έγχρωμη εικόνα αναπαριστά τις δύο πρώτες ιδιότητες, ένταση και συχνότητα. Μόνο το ολόγραμμα μπορεί να συλλάβει και να αναπαραστήσει και τις τρεις ιδιότητες. Το φως που προέρχεται από διαφορετικά σημεία του αντικειμένου έχει διανύσει διαφορετικό μήκος αποστάσεων και έχει, συνεπώς, διαφορετική φάση. Έτσι, η πληροφορία της τρισδιάστατης δομής του αντικειμένου βρίσκεται στη φάση. Με έλεγχο της φάσης του φωτός που προσπίπτει στο αντικείμενο μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι όλη η πληροφορία φάσης στο ολόγραμμα προέρχεται από το αντικείμενο, που σημαίνει ότι θα έχουμε καταγράψει τη συνολική πληροφορία τρισδιάστατης μορφής του αντικειμένου. Κατά την απεικόνιση, το ολόγραμμα εμφανίζει παράλλαξη, δηλαδή βλέπουμε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο και εάν μετακινήσουμε τη θέση όρασής του φέρνουμε άλλα τμήματα της επιφάνειάς του στο οπτικό μας πεδίο. Ακριβώς όπως θα γινόταν εάν το αντικείμενο είχε φυσική παρουσία.

Δύο είναι οι προσεγγίσεις στην ολογραφία με υπολογιστές:

- η ψηφιακή ολογραφία και



- η τεχνητά δημιουργημένη ολογραφία (μέσω υπολογιστή)

Και οι δύο έχουν σημαντικές προοπτικές στη σύλληψη και απεικόνιση τρισδιάστατων πολιτιστικών αντικειμένων.

Ψηφιακή ολογραφία (digital holography) είναι η διαδικασία της καταγραφής ολογράμματος με οπτικά αισθητήρια και η αποθήκευσή του σε υπολογιστή. Στη διαδικασία δεν εμπλέκεται πλέον κάποιο υγρό χημικό. Η προοπτική της μεθόδου είναι πολύ μεγάλη. Επειδή η εικόνα μπορεί να αποκατασταθεί μέσω λογισμικού είναι δυνατή η εξαγωγή του τρισδιάστατου σχήματος με μαθηματικές μεθόδους. Τα ψηφιακά ολογράμματα είναι δυνατό να απεικονιστούν με δύο τρόπους:

- Ως πραγματικά ολογράμματα με όλες τις ιδιότητες παράλλαξης των τυπικών ολογραμμάτων, μέσω της «εγγραφής» των δεδομένων των ολογραμμάτων σε μια συσκευή που ονομάζεται χωρικός διαμορφωτής φωτός (spatial light modulator) και με τον φωτισμό τους είτε με φως από laser είτε με φως από σημειακή πηγή λευκού φωτός.
- Μέσω του υπολογισμού της κυματομορφής από το ολόγραμμα εντός του υπολογιστή και στη συνέχεια υπολογισμού της εικονικής αναπαράστασής του σε οθόνη υπολογιστή με τυπικές μεθόδους απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών.

Πέραν του σημαντικού πλεονεκτήματος της μαθηματικής αναπαράστασης των δεδομένων ενός ψηφιακού ολογράμματος, άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής του και η δυνατότητα αντιγραφής και αναπαραγωγής του. Από τη στιγμή που ένα ολόγραμμα κατασκευάζεται έχει πλέον τη μορφή ψηφιακών δεδομένων. Στη γενική περίπτωση είναι δυνατή η μετάδοσή του ή ακόμη και η επεξεργασία του (π.χ. κλιμάκωση). Μπορούμε να δανειστούμε ένα αντίστοιχο παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων από το χώρο της ψηφιακής μουσικής. Από τη στιγμή που έχουμε τη μουσική σε ψηφιακή μορφή είναι δυνατή η επεξεργασία της, η αλλαγή της μορφής δεδομένων, η αποστολή της μέσω π.χ. e-mail, η εγγραφή της σε CD, η μεταφόρτωση μέσω διαδικτύου, η μετάδοση μέσω ψηφιακού ραδιοφώνου, κ.ο.κ. Παρόμοια ευελιξία παρέχεται και από το ψηφιακό ολόγραμμα.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα των ψηφιακών ολογραμμάτων είναι ότι βασίζεται στη χρήση φωτός laser, το οποίο αποτελεί πρότυπο. Αυτό σημαίνει ότι από τη στιγμή που αποθηκευθεί ένα ψηφιακό ολόγραμμα πολιτιστικού αντικειμένου σήμερα και η διαδικασία επαναληφθεί αργότερα, είναι δυνατή η απόλυτη σύγκριση μεταξύ των ολογραμμάτων. Το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου laser HeNe δεν πρόκειται να μεταβληθεί με το πέρασμα του χρόνου (παρέχοντας με τον τρόπο αυτό μέθοδο συγκριτικής μελέτης αντικειμένων στο πέρασμα του χρόνου).

Τα *τεχνητά δημιουργημένα ολογράμματα (με χρήση υπολογιστών)* (Computer generated holograms) είναι στην ουσία η άλλη όψη του ίδιου νομίσματος. Για τη δημιουργία τους γίνεται σύλληψη τρισδιάστατων δεδομένων και στη συνέχεια ακολουθεί προσομοίωση της διαδικασίας δημιουργίας ολογράμματος εντός ενός υπολογιστή. Έχοντας υπολογίσει πώς θα είναι το ολόγραμμα, η διαδικασία προχωρά στην τελική κατασκευή του ολογράμματος. Πρόσφατες πρόοδοι στην τελευταία αυτή διαδικασία, ειδικότερα στη λιθογραφία ηλεκτρονίων, δίνουν πλέον αυτή τη δυνατότητα και σε αρκετά μεγάλη κλίμακα – έως και αρκετά μέτρα. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να δημιουργήσουμε το ολόγραμμα ενός αντικειμένου που δεν έχει, με την τυπική έννοια, ολογραφηθεί. Η ποιότητα αποκατάστασης είναι εξαιρετική καθώς τα τεχνητά δημιουργημένα ολογράμματα μπορούν να έχουν πλήρη πληροφορία χρώματος.

Γιατί, λοιπόν, δεν είναι γεμάτος ο κόσμος μας με τεχνητά ολογράμματα; Υπάρχουν, βέβαια, μερικά αλλά στην πλειοψηφία τους είναι ειδικές εφαρμογές και ειδικευμένες τεχνικές υλοποιήσεις. Η συγκεκριμένη επιστήμη είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο εξέλιξης. Οι οπτικοί αισθητήρες (CCD) δεν είναι ακόμη ικανοποιητικά μεγάλης ανάλυσης για την πραγματική σύλληψη του τεράστιου όγκου οπτικών δεδομένων που απαιτούνται. Αυτό, βέβαια, πρόκειται να αλλάξει. Όλη η εμπορική πίεση στην περαιτέρω ανάπτυξη με χρήση πυριτίου (silicon κατά τα γνωστά) οδηγεί σε όλο και μεγαλύτερης κλίμακας σμίκρυνση των ηλεκτρονικών υλικών. Και όχι μόνο για παρόμοιες εφαρμογές αλλά σε όλη την κλίμακα των βιομηχανικών κατασκευών. Προφανώς και η συγκεκριμένη εφαρμογή θα έχει σημαντικά οφέλη από την ανάπτυξη αυτή.

Εάν εξετάσουμε τη μέθοδο σε μεγάλο βάθος χρόνου μπορούμε να πούμε ότι η ολογραφία τεχνητά δημιουργημένων ολογραμμάτων είναι αδιαμφισβήτητα η απόλυτη λύση στην ψηφιοποίηση, αποθήκευση και απεικόνιση τρισδιάστατων πολιτιστικών αντικειμένων.

Τέλος, μία ακόμη τεχνική που μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για τα αντικείμενα της κλίμακας που μελετούμε στη συγκεκριμένη παράγραφο είναι η τομογραφία. Τομογραφία είναι η διαδικασία συλλογής τρισδιάστατων ογκομετρικών δεδομένων από σειρά δισδιάστατων εικόνων τομών. Η μέθοδος βρίσκει σήμερα μεγαλύτερη εφαρμογή στην ιατρική και την αεροδιαστημική. Είναι ικανή για υψηλή ακρίβεια, ειδικά για μικρά αντικείμενα. Το βασικό πλεονέκτημά της έγκειται στην ικανότητα σύλληψης και αναδημιουργίας εσωτερικής πληροφορίας. Η πλέον διαδεδομένη μορφή της εκφράζεται με τη χρήση ακτίνων X, όπου γίνεται χρήση ενός πομπού ακτίνων X χαμηλής ενέργειας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και μέθοδοι οπτικής και ακουστικής τομογραφίας, αλλά είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο εξέλιξης σε σχέση με την τομογραφία ακτίνων X.

Η τομογραφία όταν εφαρμόζεται σε ανθρώπους βασίζεται στο ότι το σώμα των ανθρώπων παρουσιάζει διαφοροποίηση ως προς το υλικά, π.χ. κόκκαλα, μύες, υγρά, αέρια, κλπ. Καθένα από τα υλικά αυτά απορροφά μέρος των ακτίνων X σε διαφορετικό ποσοστό, και, συνεπώς, καθώς οι ακτίνες διατρέχουν το σώμα προκύπτει εικόνα χαρακτηριστική της διαδρομής που διανύθηκε και των υλικών που συναντήθηκαν. Για το λόγο αυτό η τομογραφία ακτίνων X ανθρώπινου σώματος θεωρείται πλούσια σε πληροφορία. Γενικά, όμως, δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για τα πολιτιστικά αντικείμενα. Υπάρχουν εξαιρέσεις, αλλά παίρνοντας για παράδειγμα τα αγάλματα, υπάρχει πολύ μικρή διαφοροποίηση στα εσωτερικά υλικά και, έτσι, η τομογραφία μπορεί να συλλάβει μικρά ποσοστά πληροφορίας. Φυσικά υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές ανοίγματος σαρκοφάγων.

1.2.1.4 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεγάλου μεγέθους

Στην κατηγορία αυτή αναφερόμαστε σε αντικείμενα μεγαλύτερα από 2

μέτρα (μπορεί να φτάνουν τα 100 μέτρα). Ενώ υπάρχουν πολλές τεχνικές για τη μέτρηση μεσαίων αντικειμένων στην εν λόγω κλίμακα, υπάρχει γενικά μια έλλειψη μεθόδων στην κατηγορία αυτή. Στο τέλος της κλίμακας το πρόβλημα ανάγεται σε τεχνικές ψηφιοποίησης χώρων.

Εδώ υπάρχουν δύο βασικές οικογένειες μεθόδων:

- Στην πρώτη οικογένεια, οι μέθοδοι βασίζονται στην ιδέα του «οπτικού radar». Στην απλούστερη περίπτωση μια πηγή εκπέμπει ακτίνες laser οι οποίες είναι διαμορφωμένες είτε κατά πλάτος είτε κατά συχνότητα. Η ακτίνα ανακλάται από το στόχο προς μέτρηση και ανιχνεύεται από το σύστημα μέτρησης. Με εξέταση της κατάστασης διαμόρφωσης της ακτίνας που ανιχνεύεται είναι δυνατός ο υπολογισμός του χρόνου που χρειάστηκε για να διανυθεί η αντίστοιχη απόσταση της ακτίνας από τον πομπό στο αντικείμενο και πίσω στο δέκτη. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης που διανύθηκε. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως συστήματα «χρόνου πτήσης» (“time of flight”). Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν διαθέσιμες εμπορικές συσκευές με δυνατότητα μέτρησης πολλαπλών σημείων και ακολουθιακής σύνθεσης μιας ολοκληρωμένης τρισδιάστατης σκηνής. Οι καλύτερες τεχνικές έχουν ακρίβεια περί τα 5 χιλιοστά για αποστάσεις λειτουργίας περί τα 30 μέτρα και άνω. Το προφανές μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για σύστημα που βασίζεται σε σημεία, δηλαδή αποτελούν μια μεγέθυνση των συστημάτων τριγωνοποίησης και συνεπώς απαιτείται σημαντικός χρόνος για τη συλλογή του συνόλου των απαιτούμενων δεδομένων.
- Στη δεύτερη οικογένεια μέτρησης μεγάλων αντικειμένων ανήκουν τεχνικές *φωτογραμμετρίας*. Η βασικότερη των τεχνικών αυτών είναι η γνωστή «καθοδηγούμενη στερεο-φωτογραμμετρία». Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται σημεία αναφοράς, τα οποία ορίζονται στην επιφάνεια των προς μέτρηση αντικειμένων και λαμβάνεται τουλάχιστον ένα ζεύγος φωτογραφιών από διαφορετικές γωνίες. Μέσω της ταύτισης των σημείων αναφοράς, είτε αυτόματα είτε όχι, καθίσταται δυνατή η ανάκτηση πληροφορίας τρισδιάστατης γεωμετρίας με τη μέτρηση

απόστασης από το επίπεδο λήψης των φωτογραφιών. Η μέθοδος δίνει, προφανώς, καλύτερα αποτελέσματα όταν στα αντικείμενα ή, γενικά, στη σκηνή υπάρχουν επίπεδες επιφάνειες με λίγα σημεία αναφοράς. Είναι, γενικότερα, μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο για την ψηφιοποίηση μνημείων ή χώρων.



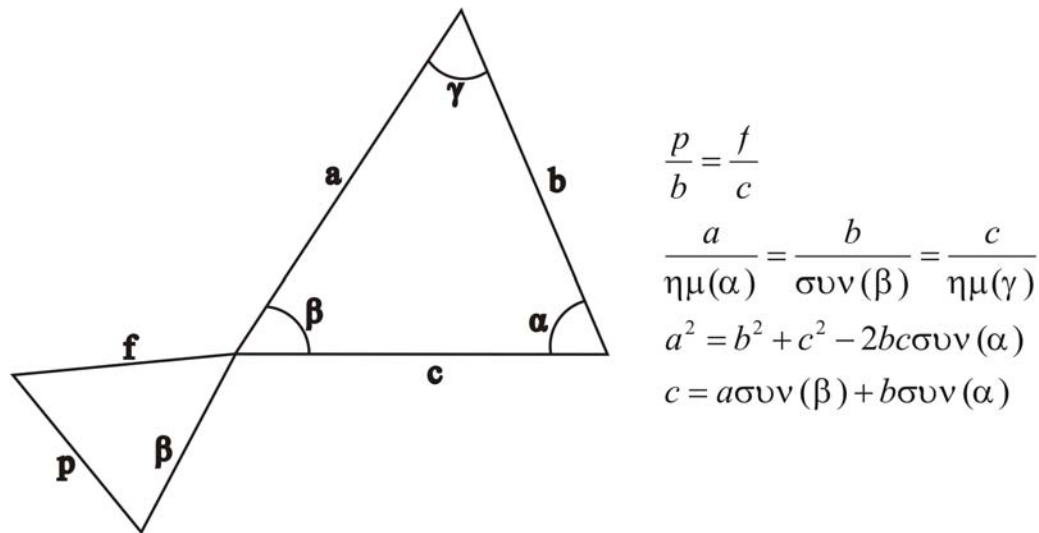
2

Σαρωτές τριγωνοποίησης με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων

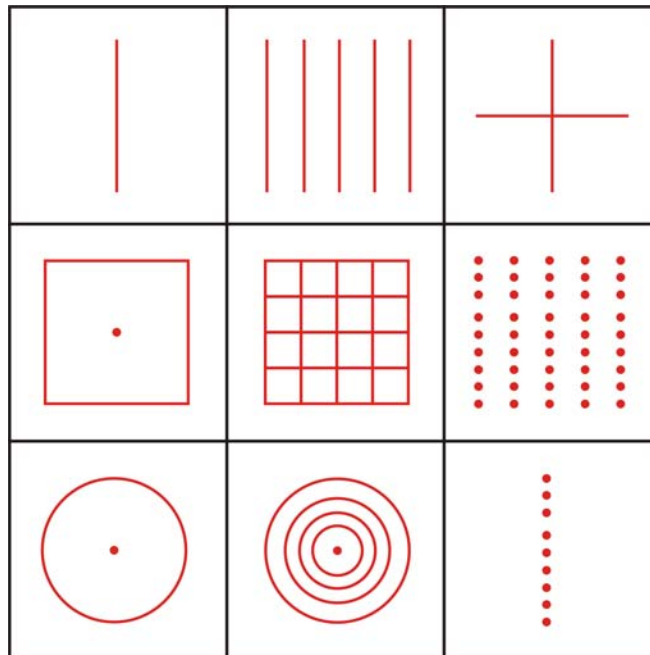
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τριγώνων αποτελούν την βάση για πολλές τεχνικές μετρήσεων. Από τις βασικές μετρήσεις γεωδαισίας που πραγματοποιούνταν στην αρχαία Ελλάδα μέχρι και σήμερα με τους τρισδιάστατους σαρωτές λέιζερ, η χρήση των τριγώνων είναι θεμελιώδης. Ο Θαλής (6^{ος} π.χ. αιώνας) διακρίθηκε για την ανακάλυψη πέντε γεωμετρικών θεωρημάτων. Δύο από αυτά εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα αφού αποτελούν την λύση στο πρόβλημα της τριγωνοποίησης. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται το *θεώρημα των αντίθετων γωνιών σε δύο τεμνόμενες ευθείες* και ο *νόμος των συνημίτονων*.

Οι πηγές ακτίνων λέιζερ έχουν μεγάλη εφαρμογή στη τρισδιάστατη σάρωση. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μια δέσμης φωτός λέιζερ είναι η έντονη φωτεινότητα που την καθιστά αντιληπτή από οπτικούς αισθητήρες. Σε γενικές γραμμές, το φως που παράγουν οι πηγές λέιζερ είναι μονοχρωματικό, κατευθυντικό (σε αρκετά υψηλό βαθμό) και σε φάση. Η ιδιότητα της δέσμης να βρίσκεται σε φάση επιτρέπει στην ακτίνα λέιζερ να μένει εστιασμένη όταν προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια αντικείμενου. Τα συστήματα που βασίζονται στην εκπομπή ακτίνων λέιζερ χρησιμοποιούν διαφορετικά μοτίβα φωτός. Στην

Εικόνα 10 παρουσιάζονται κάποια από τα πλέον κλασικά μοτίβα προβολής που απαντώνται σε εμπορικά αλλά και ερευνητικά συστήματα.



Εικόνα 10. Όμοια τρίγωνα και νόμος συνημίτονων



Εικόνα 11. Διάφοροι τύποι μοτίβων προβολής ακτίνων λέιζερ

Οι σαρωτές αντικειμένων που βασίζονται σε ακτίνες λέιζερ χρησιμοποιούνται κυρίως σε αποστάσεις μικρότερες των δέκα μέτρων και θα μπορούσαμε να τους κατατάξουμε σε κατηγορίες ανάλογα με το πλήθος οπτικών αισθητήρων που χρησιμοποιούν. Έτσι σε σαρωτές με έναν αισθητήρα εικόνας υπάρχει μια

πηγή που προβάλλει την ακτίνα λέιζερ σε μια συγκεκριμένη και μεταβαλλόμενη προς την επιφάνεια του αντικείμενου γωνία. Ένας αισθητήρας εικόνας *CCD* ή *CMOS*⁷ βρίσκεται στην άλλη άκρη της βάσης του συστήματος και αναλαμβάνει τον εντοπισμό του σημείου ή της περιοχής που περιγράφει η ακτίνα λέιζερ καθώς ανακλάται στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η προβολή της ακτίνας μπορεί να σχηματίζει απλά ένα φωτεινό σημείο, μια γραμμή, ένα μοτίβο από ρίγες ή ακόμα και ένα στατικό τυχαίο πλέγμα (Εικόνα 10). Η τρισδιάστατη θέση της επιφάνειας του αντικειμένου που αντανακλά την ακτίνα μπορεί να βρεθεί από το ιδεατό τρίγωνο που δημιουργείται. Η ακρίβεια μέτρησης βάθους μειώνεται ανάλογα με την απόσταση ανάμεσα στο σαρωτή και το αντικείμενο. Για πρακτικούς λόγους, η απόσταση ανάμεσα στους οπτικούς αισθητήρες και στην πηγή της ακτίνας λέιζερ δεν μπορεί να μεταβάλλεται ανεξέλεγκτα.

Η χρήση δύο οπτικών αισθητήρων αποτελεί μια παραλλαγή της αρχικής ιδέας τριγωνοποίησης. Οι αισθητήρες βρίσκονται στα δύο άκρα της βάσης του σαρωτή. Το σημείο αντανάκλασης της ακτίνας λέιζερ γίνεται αντιληπτό και από τους δύο αισθητήρες. Η γεωμετρική λύση είναι ίδια με αυτήν του ενός αισθητήρα άρα και τα αποτελέσματα έχουν την ίδια ακρίβεια. Ο δεύτερος αισθητήρας χρησιμοποιείται για την γρηγορότερη σάρωση αφού η πολυμορφία της επιφάνειας των αντικειμένων προκαλεί συχνά την αδυναμία του ενός αισθητήρα να φτάσει σε κάποια σημεία που την ίδια στιγμή μπορεί να είναι εμφανή στο δεύτερο αισθητήρα λόγω της διαφορετικής του θέσης και γωνίας.

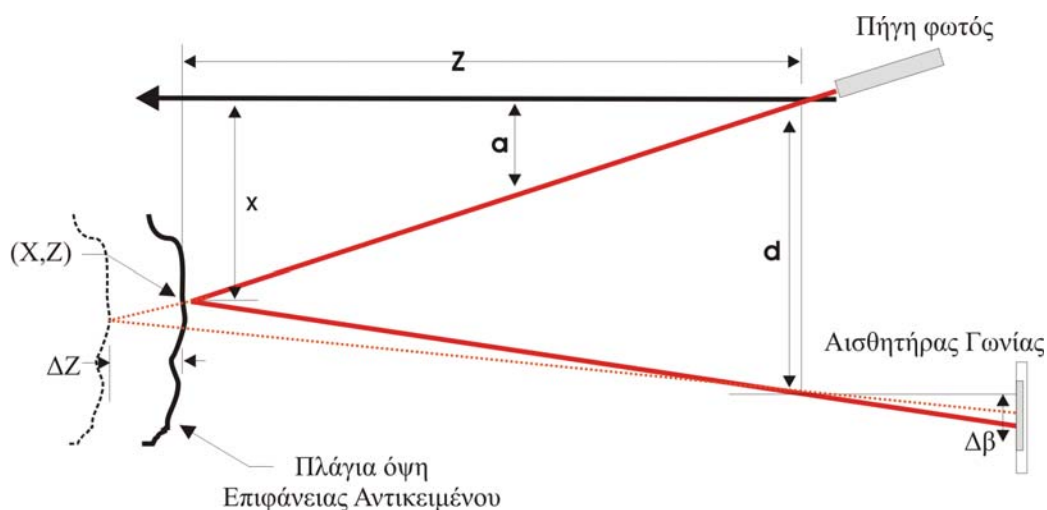
Η οπτική τριγωνοποίηση είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται για περισσότερο από είκοσι χρόνια για την μέτρηση αποστάσεων. Τα τελευταία χρόνια όμως η ανάπτυξη γεωμετρικά σταθερών αισθητήρων και διόδων φωτός βελτίωσε κατά πολύ την ακρίβεια και την ταχύτητα της εν λόγω τεχνικής. Η ποικιλία στους σαρωτές τριγωνοποίησης βασίζεται κυρίως στη

- *δομή του φωτισμού* (απλό σημείο, ακτίνα λέιζερ, πολλαπλός πίνακας σημείων ή πολλαπλές δέσμες ακτίνων),
- *μορφή του αισθητήρα* (γραμμικός πίνακας ή πλέγμα *CCD* ή *CMOS*)

⁷ Τα *CCD* και *CMOS* είναι τα πλέον διαδεδομένα είδη ηλεκτρονικών οπτικών αισθητήρων. Είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης με χιλιάδες ή εκατομμύρια εικονοστοιχεία ανά μονάδα επιφάνειας, τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρονικά σήματα.

- μέθοδο σάρωσης (μετακίνηση του αντικειμένου μπροστά από την πηγή φωτός ή μετακίνηση του ίδιου του συστήματος γύρω από το αντικείμενο).

Στην Εικόνα 11 εξηγείται το πρόβλημα της τριγωνοποίησης σε δύο διαστάσεις. Η θέση του κέντρου του παλμού της δέσμης φωτός που αντανακλάται στην επιφάνεια αποτυπώνεται πάνω στον αισθητήρα εικόνας. Ο σαρωτής με την σειρά του υπολογίζει τη νοητή γραμμή που τέμνει τη δέσμη σε ένα ακριβώς σημείο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάκτηση του βάθους. Το τρισδιάστατο σχήμα του αντικειμένου προκύπτει από την μετακίνηση και περιστροφή του αντικείμενου μπροστά από την σταθερή ακτίνα που προβάλλει ο σαρωτής. Υπάρχει όμως και η παραλλαγή της μεθόδου όπου η σάρωση του αντικείμενου πραγματοποιείται με την ακτίνα λέιζερ να μετακινείται γύρω από το αντικείμενο. Η ακρίβεια της οπτικής τριγωνοποίησης βασίζεται στην ικανότητα εντοπισμού του κέντρου του παλμού της δέσμης σε κάθε χρονική στιγμή. Σε συστήματα οπτικής τριγωνοποίησης κοντινών αποστάσεων, όπου το βάθος υπολογίζεται από έναν και μόνο παλμό φωτός, παράγεται ένα καθορισμένο εύρος σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτά εμφανίζονται λόγω της αντανάκλασης της δέσμης στην επιφάνεια του αντικείμενου αλλά και εξαιτίας των χαρακτηριστικών της ίδιας της επιφάνειας [1].



Εικόνα 12. Η αρχή της τριγωνοποίησης

Η βασική γεωμετρική αρχή των συστημάτων τριγωνοποίησης περιγράφεται στο Εικόνα 11. Μπορείτε να διακρίνετε το συσχετισμό ανάμεσα στο σχήμα αυτό και στο σχήμα που περιγράφει τον νόμο των συνημίτονων (Εικόνα 9). Γνωρίζοντας τις δύο γωνίες (α και $\Delta\beta$) ενός τριγώνου που είναι πάντα σχετικές με τη βάση του (d) τότε όλα τα χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις του τριγώνου μπορούν να οριστούν πλήρως. Σε κάθε αλλαγή της απόστασης ΔZ , μπορεί να υπολογιστεί η γωνία $\Delta\beta$ με το θεώρημα των αντίθετων γωνιών, θεωρώντας ότι το α είναι πάντα σταθερό. Ο αισθητήρας γωνίας είναι σταθερός. Για τον υπολογισμό της θέσης της επιφάνειας του αντικειμένου απαιτείται η σάρωση της κάθε δισδιάστατης εικόνας που αποτυπώνει ο οπτικός αισθητήρας, ώστε να βρεθεί το σημείο με την μέγιστη συγκέντρωση φωτός. Η διάταξη που παρουσιάζει το Εικόνα 11 είναι γνωστή ως *σύστημα μονού σημείου ακτίνας λείζερ*.

Στην Εικόνα 12 η ακτίνα φωτός αντανακλάται από έναν καθρέφτη και προβάλλεται στη συνέχεια μέσω αυτού πάνω στην επιφάνεια του αντικείμενου. Το οπτικό σύστημα αποτελείται από ένα φακό και ένα αισθητήριο το οποίο αποτυπώνει ψηφιακά την θέση της δέσμης φωτός πάνω στο αντικείμενο. Με απλή τριγωνομετρία, οι συντεταγμένες (x, z) του φωτιζόμενου σημείου μπορούν να υπολογιστούν. Οι υπολογισμοί γίνονται με τους εξής μαθηματικούς τύπους:

$$z = \frac{df_o}{p + f_o \tan(\theta)} \text{ και } x = z \tan(\theta)$$

όπου p είναι η θέση του σημείου του αντικείμενου, όπως παρουσιάζεται πάνω στον αισθητήρα, θ είναι η γωνία απόκλισης της ακτίνας λείζερ, ενώ d είναι η απόσταση ανάμεσα στον φακό και την πηγή της ακτίνας. f_o είναι η απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και το φακό.

Οι περιορισμοί της μεθόδου τριγωνοποίησης μπορούν να αποδειχθούν αν προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε την απόκλιση σφάλματος στον άξονα z , ορίζοντας το σ_z ως μια συνάρτηση του p . Ο νόμος διάδοσης των σφαλμάτων είναι:

$$\sigma_z \approx \frac{z^2}{f_o d} \sigma_p$$

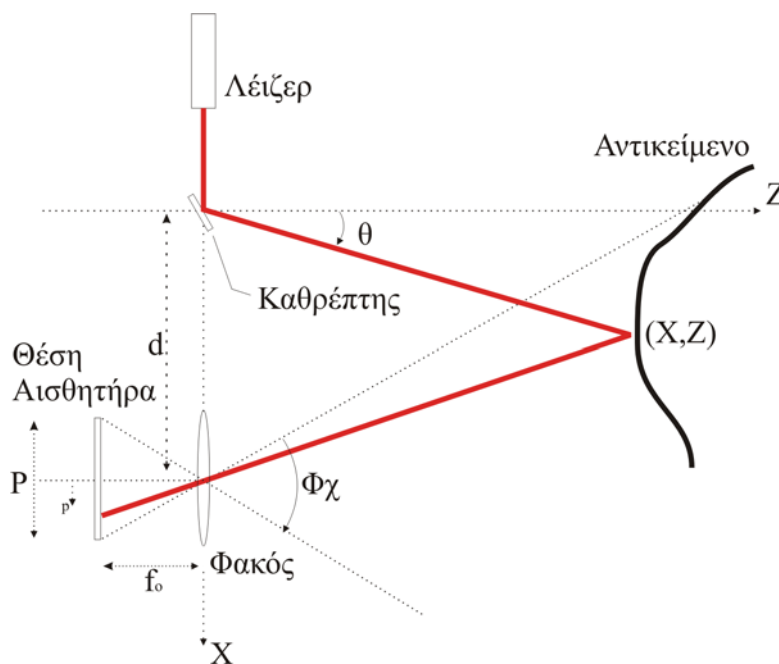
όπου σ_p είναι η τυπική απόκλιση σφαλμάτων για κάθε μέτρηση του σημείου p .

Ως εκ τούτου, η τυπική απόκλιση εκφράζει την απροσδιοριστία του z που είναι αντιστρόφως ανάλογη με την βάση της κάμερας και την εστιακή απόσταση του φακού. Το μέγεθος της παραμέτρου d περιορίζεται κυρίως από:

- τα κατασκευαστικά στοιχεία των οπτικών τμημάτων του συστήματος (η σταθερότητα του όλου συστήματος μειώνεται όσο το d αυξάνεται)
- τις σκιές που δημιουργούνται (προβλήματα αυτό-απόφραξης με την αύξηση του d)
- Το πεδίο όρασης $\Phi\chi$ δίνεται από τον τύπο

$$\Phi\chi = 2 \tan^{-1} \left(\frac{P}{2f_o} \right)$$

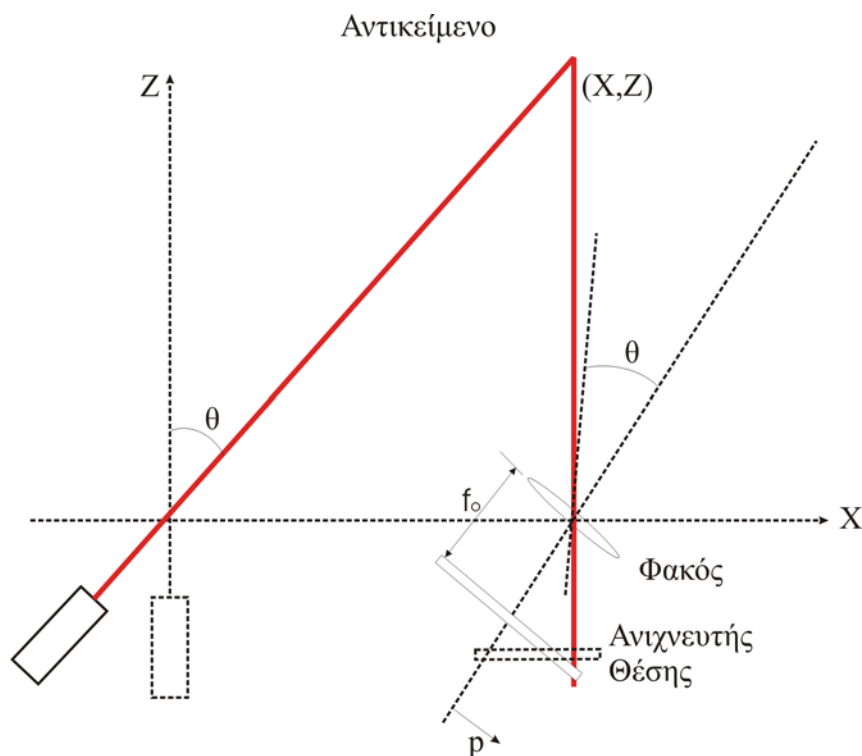
όπου P είναι το μήκος της απόστασης θέσης του αισθητήρα.



Εικόνα 13. Συμβατική προσέγγιση σάρωσης

Συνεπώς, σε μια τυπική κατασκευή ενός συστήματος σάρωσης υπάρχει ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην εστιακή απόσταση, στην απροσδιοριστία μέτρησης της τρίτης διάστασης και των σκιών που μπορεί να δημιουργηθούν. Ένας τρισδιάστατος σαρωτής που βασίζεται στην τριγωνοποίηση εμφανίζει συνήθως μια τυπική απόκλιση (σ_z) της τάξης των $50 - 150 \mu\text{m}$ [106].

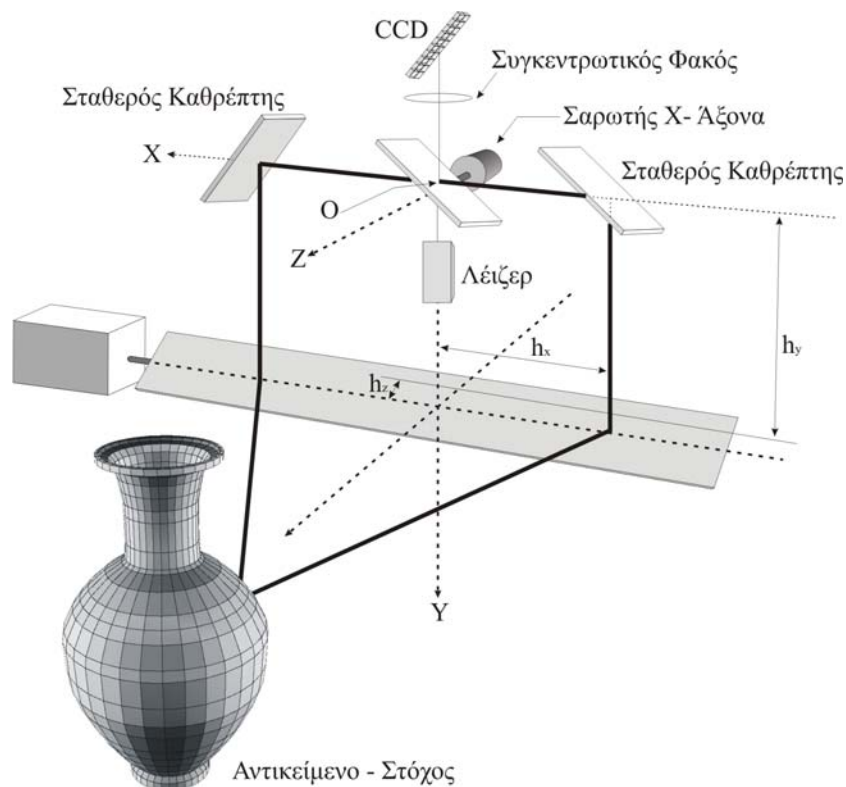
Ο Rioux [2] παρουσίασε μια καινοτόμο προσέγγιση στην σάρωση με τριγωνοποίηση. Προτείνει ένα συγχρονισμένο σύστημα που μπορεί να σαρώσει σε πολύ μεγάλες εστιακές αποστάσεις με πολύ μικρές γωνίες τριγωνοποίησης χωρίς να τίθεται θέμα συμβιβασμού στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Με μικρές γωνίες τριγωνοποίησης επιτυγχάνεται, επίσης, μείωση στην εμφάνιση πιθανών σκιών. Ο απώτερος σκοπός δεν είναι άλλος από τον συγχρονισμό της προβολής της ακτίνας λέιζερ και του εντοπισμού της. Όπως περιγράφεται στην Εικόνα 13, το οπτικό πεδίο του ανιχνευτή θέσης ακολουθεί το σημείο καθώς σαρώνει τη σκηνή. Η εστιακή απόσταση του φακού σχετίζεται με το επιθυμητό βάθος πεδίου, ή την περιοχή μέτρησης και όχι με το οπτικό πεδίο. Η ανάπτυξη σαρωτών αυτόματου συγχρονισμού έχει αποφέρει σημαντικές μειώσεις στις διαστάσεις της οπτικής κεφαλής των συστημάτων.



Εικόνα 14. Απλοποιημένο διάγραμμα σαρωτή με ένα άξονα σάρωσης

Όπως προαναφέρθηκε, για μια πλήρη τρισδιάστατη αποτύπωση ενός αντικείμενου απαιτείται είτε η μετακίνηση του σαρωτή γύρω από το αντικείμενο είτε κάποια άλλη μέθοδος. Η μηχανική μετατόπιση βασισμένη σε γαλβανόμετρα είναι μια μέθοδος που επιτρέπει τη μετατόπιση της δέσμης φωτός πάνω σε

επιφάνειες. Η βασική οργάνωση των οπτικών τμημάτων ενός τέτοιου συστήματος περιγράφεται στην Εικόνα 14. Οι καθρέφτες περιστρέφονται γύρω από το κέντρο ενός νοητού άξονα με τη χρήση γαλβανόμετρων. Ο άξονας X (μεγάλη ταχύτητα σάρωσης) χρησιμοποιείται για τη γραμμική σάρωση, ενώ ο άξονας Y (μικρή ταχύτητα σάρωσης) ανακλά κάθετα την ακτίνα, ώστε να δημιουργήσει την εικόνα που καταγράφεται από ένα CCD.



Εικόνα 15. Σάρωση διπλών αξόνων

Το τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειας του αντικειμένου προκύπτει από μια ακολουθία διαδικασιών. Αυτές είναι οι εξής:

- εκπομπή της δέσμης φωτός (ακτίνα λέιζερ)
- συλλογή της δέσμης καθώς διασκορπίζεται στην σκηνή (μαζί με όλες τις μεταβολές που δέχεται εξαιτίας της ανάκλασης πάνω στις επιφάνειες του αντικειμένου) σε συγχρονισμό με τους καθρέφτες προβολής.
- συγκέντρωση της δέσμης στο γραμμικό ανιχνευτή θέσης γνωστό και ως CCD.

Πιο συγκεκριμένα, από τη διαδικασία πρόσκτησης των εικόνων εξάγονται τρεις διαφορετικές πληροφορίες σε κάθε βήμα της διαδικασίας δειγματοληψίας:

- δύο γωνιακές θέσεις των καθρεφτών και,
- θέση του στίγματος της ακτίνας λέιζερ πάνω στον ανιχνευτή θέσης

Οι εξισώσεις που παράγονται από την βαθμονόμηση του συστήματος χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση των γωνιακών θέσεων και του στίγματος της ακτίνας φωτός πάνω σε ένα κλασικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (x,y,z) [3].

Σε πολλές εφαρμογές αποτύπωσης αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς, εκτός από τη γεωμετρία, η απόκτηση πληροφορίας υφής είναι απαραίτητη, καθώς προσφέρει μεγάλο ρεαλισμό, ιδιαίτερα όταν τα αντικείμενα φέρουν κάποιας μορφής διακόσμηση. *Με την χαρτογράφηση της πληροφορίας υφής πάνω στην γεωμετρία επιτυγχάνεται μια φωτορεαλιστική απόδοση του αντικειμένου.* Μερικοί σαρωτές μπορούν και καταγράφουν την ένταση του επιστρεφόμενου σήματος προς τον οπτικό αισθητήρα. Αυτή η πληροφορία, όμως, δεν είναι αρκετή για την ρεαλιστική απόδοση της υφής. Οι περισσότεροι εμπορικοί σαρωτές τριγωνοποίησης έχουν βελτιστοποιηθεί για την αναγνώριση της ακτίνας λέιζερ και του σημείου που καταδεικνύει και όχι για την αποτύπωση της πληροφορία υφής στο συγκεκριμένο σημείο. Υπάρχουν χρήστες που απαιτούν την ύπαρξη υψηλής ποιότητας φωτογραφικών μηχανών μέσα στο ίδιο σύστημα σάρωσης. Η λύση αυτή είναι όμως δαπανηρή και κάποιοι εκ των χρηστών δεν είναι έτοιμοι να ανταποκριθούν στο κόστος μιας τέτοιας επιπρόσθετης λειτουργίας. Μια τυπική λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα, που ακολουθείται από αρκετές εταιρείες, είναι η τοποθέτηση εξωτερικής ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής πάνω στο σαρωτή με χρήση κάποιου συστήματος στήριξης και προσαρμογής. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η γνώση της σχετικής απόστασης σαρωτή και ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιείται για την βαθμονόμηση τους. Η βαθμονόμηση και των δύο θα επιτρέψει την χαρτογράφηση (UV mapping) των δισδιάστατων εικόνων πάνω στην επιφάνεια του πολυγωνικού πλέγματος ή του νέφους σημείων.

Οι προδιαγραφές των εμπορικών σαρωτών, όπως δίνονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες, πρέπει πάντα να τίθενται υπό αμφισβήτηση [5]. Οι πιθανές αποστάσεις κάλυψης σχετίζονται με την ανακλαστικότητα του ίδιου του αντικειμένου αλλά και την διαύγεια της ατμόσφαιρας, την οποιαδήποτε άλλη επιπρόσθετη ακτινοβολία που μπορεί να προκαλείται από τεχνητή ακτινοβολία και άλλες πηγές παρεμβολής. Οι σαρωτές ανίχνευσης σήματος που βασίζονται σε αισθητήρες CCD για τριγωνοποίηση δεν είναι τόσο ευαίσθητοι όσο αυτοί των τεχνικών χρόνου πτήσης σήματος (time of flight) και μέτρησης διαφοράς φάσης που χρησιμοποιούνται κυρίως για αποτυπώσεις ακίνητων αντικειμένων και σκηνών. Κάποιες φορές τα συστήματα αυτά απαιτούν συνθήκες νυχτερινού φωτισμού για καλύτερη λειτουργία. Λεπτομερής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας καθώς και χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών δίνονται στο τμήμα της Μελέτης που αφορά στην ψηφιοποίηση των μνημείων.

2.1.1 Η ακρίβεια των γεωμετρικών αποτελεσμάτων

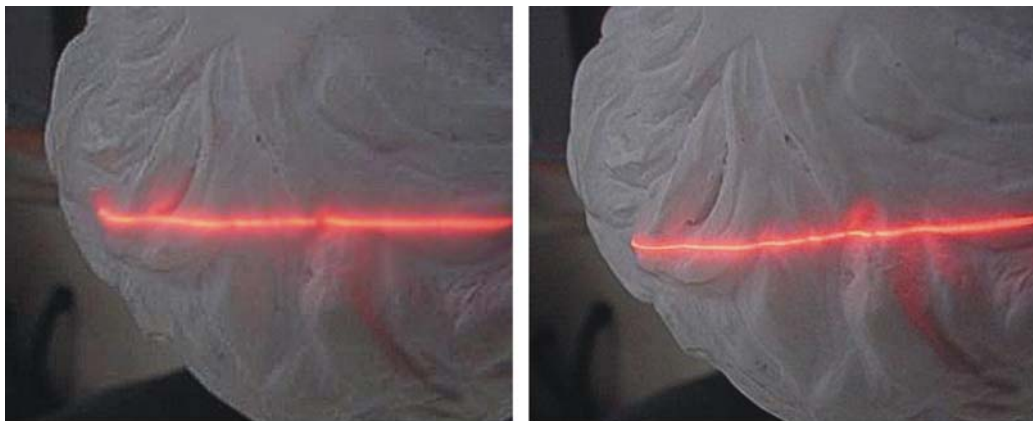
2.1.1.1 Η διαδικασία της βαθμονόμησης

Η διαδικασία βαθμονόμησης του ψηφιακού οπτικού συστήματος που χρησιμοποιεί ένας σαρωτής λέιζερ κοντινών αποστάσεων είναι βασικός παράγοντας της ορθής λειτουργίας του. Η διαδικασία βαθμονόμησης είναι συνήθως τυποποιημένη και περιλαμβάνει την αναγνώριση των εσωτερικών και εξωτερικών χαρακτηριστικών του οπτικού συστήματος με την βοήθεια ενός πραγματικού αντικείμενου που τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά είναι γνωστά με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Τα χαρακτηριστικά αυτά βοηθούν στην εύρεση εκείνου του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει την εστιακή απόσταση, τις παραμορφώσεις που εισάγει ο φακός στην εικόνα, καθώς και άλλες παραμέτρους που έχουν εφαρμογή στη σάρωσης. Μετά τη σάρωση του γνωστού αντικειμένου η ακρίβεια και οι ανοχές μέτρησης του συστήματος μπορούν να υπολογιστούν. Αυτή η διαδικασία αποτελεί και τη φάση επαλήθευσης και επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια του συστήματος μπορεί να υπολογισθεί μέσω του γνωστού αντικείμενου βαθμονόμησης το οποίο αποτυπώνεται από διαφορετικές θέσεις και προσανατολισμούς.

Ένας γενικός κανόνας που ακολουθείται στη συγκεκριμένη διαδικασία είναι πως τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου βαθμονόμησης πρέπει να είναι γνωστά με ακρίβεια δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή που αποτυπώνει το ψηφιακό οπτικό σύστημα του σαρωτή.

2.1.1.2 Ανάλυση του σαρωτή

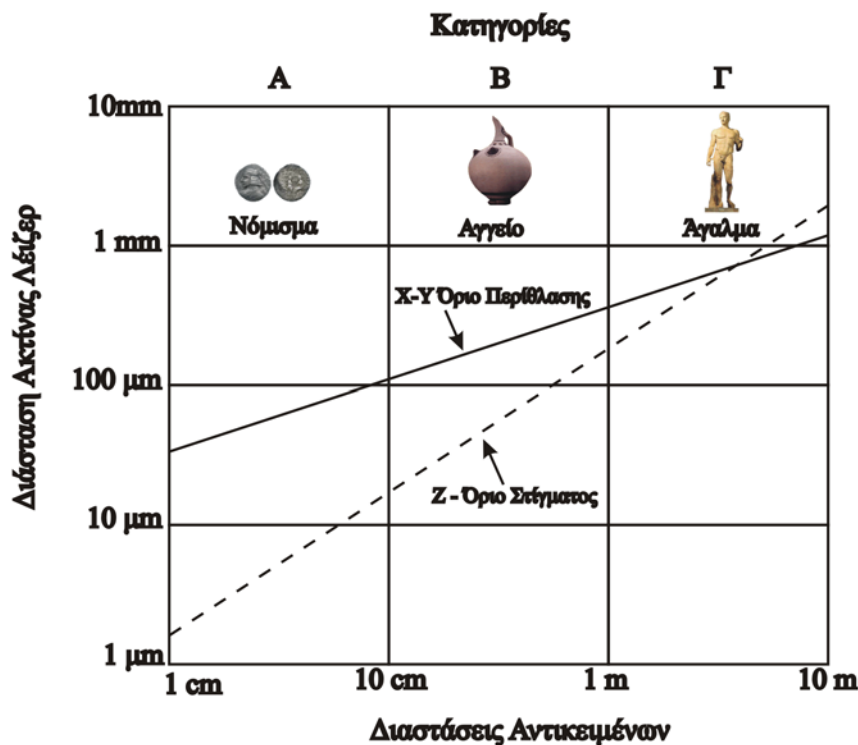
Η τελική ανάλυση ενός αντικειμένου είναι θεωρητικά μια συνάρτηση του μεγέθους των γωνιακών μεταβολών που μπορεί να αντιληφθεί το σύστημα καθώς η ακτίνα λέιζερ μετακινείται πάνω στις επιφάνειες. Μια πιο πρακτικής αξίας επεξήγηση της ανάλυσης σχετίζεται με το μέγεθος του στίγματος της ακτίνας λέιζερ που αντανακλάται. Αν η υψηλή ανάλυση είναι βασική προϋπόθεση σε μια εφαρμογή ψηφιοποίησης, τότε θα πρέπει με μεγάλη προσοχή να ελεγχθεί η βέλτιστη ικανότητα εστίασης της ακτίνας πάνω στο αντικείμενο είτε χειροκίνητα είτε μέσω κάποιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας που φέρει ο σαρωτής, έτσι, ώστε η αποτύπωση της γεωμετρίας του αντικειμένου να γίνει με την υψηλότερη δυνατή ανάλυση. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται στιγμιότυπο από διαδικασία ψηφιοποίησης στο επάνω τμήμα μιας προτομής. Η ρύθμιση της εστίασης γίνεται χειροκίνητα. Εμφανέστατη είναι η διαφορά έντασης της δέσμης καθώς ο σαρωτής πλησιάζει προς το σημείο βέλτιστης εστίασης.



α) Η ακτίνα βρίσκεται εκτός εστίασης λόγω της απόστασης του σαρωτή από το αντικείμενο. **β)** Η ακτίνα σε σωστή εστιακή απόσταση από το αντικείμενο.

Εικόνα 16. Χειροκίνητος έλεγχος βέλτιστης εστίασης της ακτίνας πάνω σε αντικείμενο

Η ανάλυση της οπτικής τριγωνοποίησης περιορίζεται από την περίθλαση της ακτίνας. Ακόμα και σε βέλτιστες περιπτώσεις εκπομπής, η δέσμη φωτός δεν διατηρεί τον απόλυτη ευθυγράμμιση με τον στόχο της. Στην πραγματικότητα, όσο μικρότερη είναι η ακτίνα λέιζερ τόσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση που δημιουργείται εξαιτίας της περίθλασης. Η περίθλαση της δέσμης επιβάλλει έναν περιορισμό στην ισχύ της ακτίνας λέιζερ. Το γράφημα στην Εικόνα 16 περιγράφει το βαθμό διάθλασης της ακτίνας καθώς μεταβάλλεται το μέγεθος των αντικειμένων. Ο διαχωρισμός των αντικειμένων έγινε με βάση τις διαστάσεις τους σε τρεις βασικές κατηγορίες. Ο περιορισμός αυτός έχει να κάνει με τα όρια ανάκτησης της δέσμης από τους αισθητήρες καθώς η δέσμη κινείται κατά μήκος των αξόνων x και y . Στην περίπτωση του άξονα z θα περίμενε κανείς μια συνεχόμενη βελτίωση καθώς η ισχύς της ακτίνας αυξάνεται και πλησιάζει την επιφάνεια του αντικειμένου. Δυστυχώς όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Μια λεπτομερής ανάλυση για τα χαρακτηριστικά της διάδοσης της δέσμης φωτός μπορεί να βρεθεί στην εργασία των Beraldin et al. [3].



Εικόνα 17. Φυσικά όρια τρισδιάστατων οπτικών μετρήσεων που βασίζονται σε προβολή δέσμης φωτός – λέιζερ



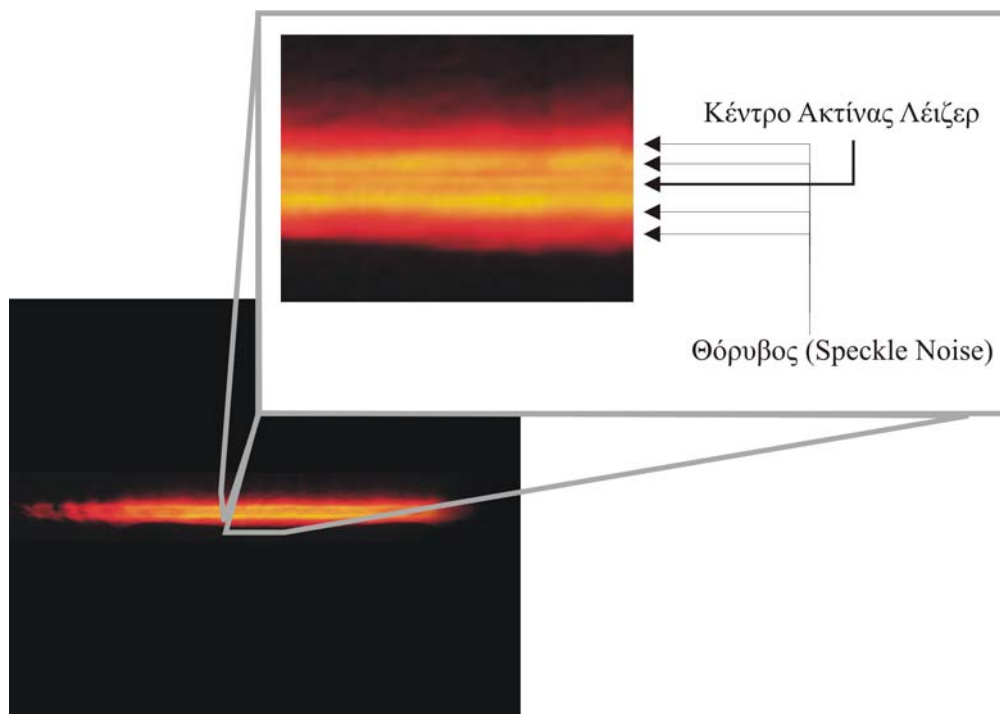
Κοινό χαρακτηριστικό των σαρωτών κοντινών αποστάσεων αποτελεί το γεγονός ότι μεμονωμένα χαρακτηριστικά των αντικειμένων δεν μπορούν να αναγνωριστούν άμεσα. Οι μετρήσεις των αποστάσεων βάθους πολλές φορές αποκτούνται με βάση ένα τυπικό νοητό πλέγμα (π.χ. πλέγμα αισθητήρα CCD), το οποίο δεν μπορεί να εξασφαλίσει ότι κάθε δοθέν σημείο πάνω στο αντικείμενο συμπίπτει με ένα και μόνο ένα συγκεκριμένο σημείο πάνω στο πλέγμα. Οι μετρήσεις *σημείο-προς-σημείο* βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε παρεμβολή (interpolation). Αυτός ο περιορισμός είναι αποτέλεσμα της προκαθορισμένης χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα εικόνας. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως θα δούμε και παρακάτω (*Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως*), η ίδια η τεχνική εισάγει μια κατά προσέγγιση εκτίμηση (averaging).

2.1.1.3 Ο θόρυβος της δέσμης φωτός

Σε συστήματα τριγωνοποίησης κοντινών αποστάσεων, η ακρίβεια των δεδομένων εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από την ορθή ερμηνεία της θέσης της ακτίνας λέιζερ. Η δέσμη φωτός δημιουργεί ένα *Gaussian* προφίλ πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου [92]. Πιο συγκεκριμένα, η χωρική κατανομή της δέσμης φωτός σε ένα σημείο έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση καταστροφικών παρεμβολών που περιορίζουν τη δυνατότητα ανάκτησης της δέσμης από τους οπτικούς αισθητήρες. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως *speckle effect* και εμφανίζεται με την μορφή τυχαίας διάχυσης της δέσμης. Υπεύθυνη για το θόρυβο είναι μεταξύ άλλων η επιφάνεια του αντικειμένου και, κυρίως, η τραχύτητα της. Ο θόρυβος αυτός (speckle noise) ο οποίος εμφανίζεται στη δέσμη του φωτός μεταφέρεται και στα τελικά δεδομένα (Εικόνα 17).

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τις συνέπειες του θορύβου στον καθορισμό αποστάσεων με τριγωνοποίηση και έχουν καταλήξει στο αξίωμα ύπαρξης ενός θεμελιώδους ορίου που αποτελεί και το φράγμα στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο θόρυβος δύναται να μειωθεί με την εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών. Οι γραμμικές τεχνικές φιλτραρίσματος που βασίζονται σε χρονικούς τελεστές και βρίσκουν εφαρμογή στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας δεν αποδίδουν στην συγκεκριμένη περίπτωση και δεν μπορούν να μειώσουν τέτοιου

είδους θόρυβο. Η διόρθωση γίνεται με τεχνικές φιλτραρίσματος στο πεδίο της εικόνας. Τα φίλτρα αυτά είναι γνωστά από τους χώρους της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και ως *χωρικά φίλτρα*. Μια κλασική μέθοδος για την ελαχιστοποίηση του προβλήματος ορθής ερμηνείας της θέσης, αποτελεί η εύρεση του κέντρου του μονοδιάστατου παλμού της δέσμης. Τα αποτελέσματα της τεχνικής αυτής είναι σωστά μόνο όταν η επιφάνεια σάρωσης είναι επίπεδη [1]. Καταλήγουμε λοιπόν στον κανόνα ότι «*τα οπτικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας ενός αντικειμένου επηρεάζουν τις επιδόσεις του σαρωτή λέιζερ*» [92].

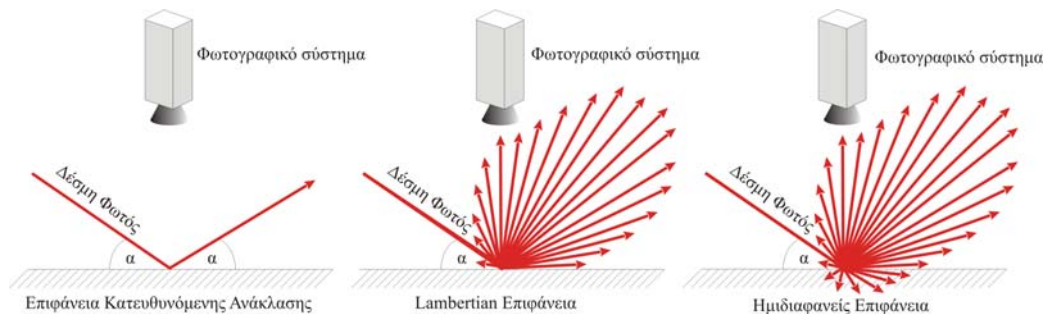


Εικόνα 18. Θορυβώδες Gaussian προφίλ δέσμης φωτός (speckle noise)

Ο βέλτιστος τύπος επιφάνειας για ψηφιοποίηση με ακτίνες λέιζερ είναι αυτός που φέρει χαρακτηριστικά Lambert⁸ και ταυτόχρονα έχει υψηλό δείκτη ανάκλασης. Στην Εικόνα 18 περιγράφεται ο τρόπος που συμπεριφέρονται οι δέσμες φωτός καθώς ανακλώνται σε μια επιφάνεια κατευθυνόμενης ανάκλασης

⁸ Ως Lambertian επιφάνεια ορίζεται η επιφάνεια εκείνη που υπακούει στο νόμο συνημίτονου του Lambert ή πιο απλά είναι *matte*. Ο νόμος των συνημιτόνων του Lambert λέει ότι η ανακλώμενη ή μεταδιδόμενη προς κάθε κατεύθυνση φωτεινή ισχύς από μια απολύτως διαχέουσα επιφάνεια μεταβάλλεται ως συνάρτηση του συνημιτόνου της γωνίας μεταξύ της διεύθυνσης μετάδοσης και της καθέτου στην εν λόγω επιφάνεια. Συνεπώς, η φωτεινότητα της επιφάνειας είναι ίδια ανεξάρτητα από τη γωνία θέασης.

(specular) (Εικόνα 18α), σε μια Lambertian επιφάνεια (Εικόνα 18β) και μια ημιδιαφανή επιφάνεια (π.χ. μάρμαρο) (Εικόνα 18γ).



Εικόνα 19. Συμπεριφορά ανάκλασης φωτός πάνω σε επιφάνειες

Σε μια ημιδιαφανή επιφάνεια το φως διεισδύει μέσα στα υποστρώματα του αντικειμένου σε βάθος ανάλογο της ισχύος του. Επιπρόσθετα, τα φως διαχέεται μέσα στα υποστρώματα του αντικείμενου και δημιουργεί διασκορπισμό. Στην ημιδιαφανή επιφάνεια το οπτικό σύστημα του σαρωτή συλλέγει πλήθος από ανακλάσεις φωτός που περιέχουν κορυφές. Αν η ένταση της δέσμης μειωθεί, ο θόρυβος γίνεται ακόμα πιο εμφανής και αυτό μειώνει περισσότερο την ποιότητα ανακατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου [92].

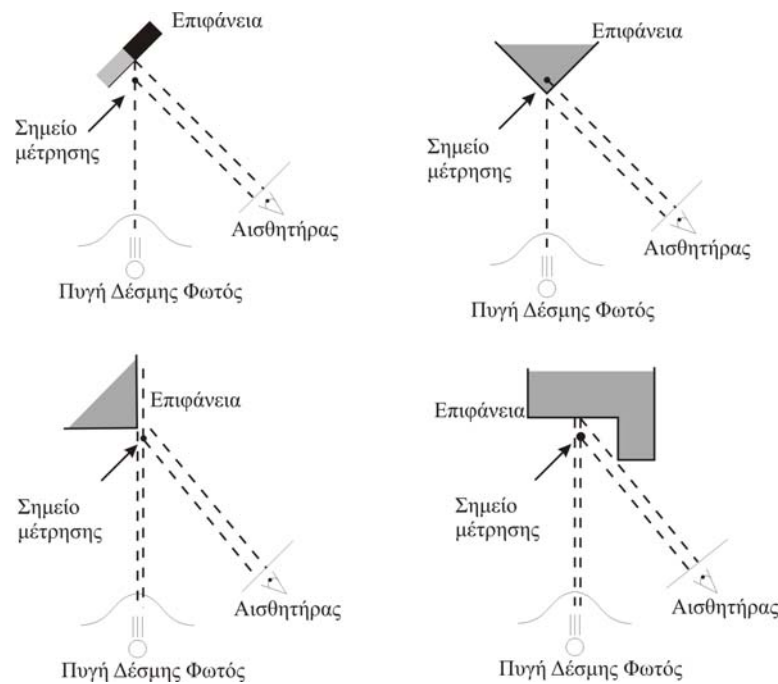
Γενικά, θόρυβος στα δεδομένα εμφανίζεται όταν:

- η ανακλαστικότητα της επιφάνειας ποικίλει και μεταβάλλεται
- η γεωμετρία της επιφάνειας παρεκκλίνει έντονα από επίπεδο σε επίπεδο
- η πορεία της δέσμης φωτός μέχρι τον αισθητήρα παρεμποδίζεται
- η τραχύτητα της επιφάνειας προκαλεί θόρυβο στην δέσμη φωτός

Στην Εικόνα 19 εικονίζονται κάποια κλασικά παραδείγματα όπου εμφανίζονται λάθη στον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην επιφάνεια του αντικειμένου και στην πηγή της δέσμης φωτός.

Στην Εικόνα 19 θεωρούμε ότι ο αισθητήρας δέχεται μονοδιάστατες ορθογραφικές προβολές. Στην Εικόνα 19α φαίνεται πως εξαιτίας της ανάκλασης δημιουργείται ένα σημείο, το οποίο δεν ανήκει πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Στις Εικόνα 19β και Εικόνα 19γ παρουσιάζονται δύο παραδείγματα όπου οι σχηματικές διαφοροποιήσεις της επιφάνειας του αντικειμένου προκαλούν εσφαλμένες μετρήσεις. Στην Εικόνα 19δ παρουσιάζεται το φαινόμενο

κατά το οποίο η γεωμετρία του αντικειμένου εμποδίζει τον αισθητήρα του σαρωτή να φτάσει στην επιφάνεια του αντικειμένου όπου ανακλάται η δέσμη. Το γεωμετρικό σφάλμα που εμφανίζεται στις δύο τελευταίες περιπτώσεις είναι παρεμφερές.



Εικόνα 20. Λάθη κατά τη διαδικασία τριγωνοποίησης

Ανακεφαλαιώνοντας, ο θόρυβος στην δέσμη φωτός είναι η κύρια πηγή σφαλμάτων και εμφανίζεται εξαιτίας των αντανακλάσεων της δέσμης από επιφάνειες που αποδεικνύονται τραχιές για το μήκος κύματος της δέσμης. Η τραχύτητα της επιφάνειας του αντικειμένου εισάγει τυχαίες αποκλίσεις στις διαδρομές της οπτικής πορείας (τροχιάς). Οι αποκλίσεις αυτές προκαλούν τυχαία σχήματα παραμόρφωσης στην τελική γεωμετρία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο παλμός της δέσμης φωτός που αποτυπώνεται στην εικόνα και χρησιμοποιείται αργότερα από τον σαρωτή για την ανάκτηση της τρίτης διάστασης (βάθος) εμπεριέχει το θόρυβο, ο οποίος επηρεάζει την αναγνώριση του κέντρου της δέσμης. Κάτι τέτοιο αποφέρει σφάλματα ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια είναι επίπεδη. Συνολικά μπορούμε να αναγνωρίσουμε τρεις διαφορετικές πηγές θορύβου που επηρεάζουν την αποτύπωση με ακτίνες λέιζερ. Αυτές οι πηγές είναι:



- ο ηλεκτρικός θόρυβος
- ο θόρυβος κβαντισμού
- ο θόρυβος από τη διάχυση της δέσμης φωτός

Οι δύο πρώτες πηγές θορύβου σχετίζονται με τον αισθητήρα αποτύπωσης της εικόνας που χρησιμοποιείται. Σε περιπτώσεις όπου είναι χαμηλή η ισχύς της δέσμης φωτός, ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio) είναι μικρός, και έτσι, οι δύο αυτές πηγές θορύβου επηρεάζουν στο μέγιστο τα αποτελέσματα αποτύπωσης. Τέλος, ο θόρυβος από διάχυση της δέσμης σχετίζεται απόλυτα με την ίδια την φύση της ακτίνας λέιζερ [92].

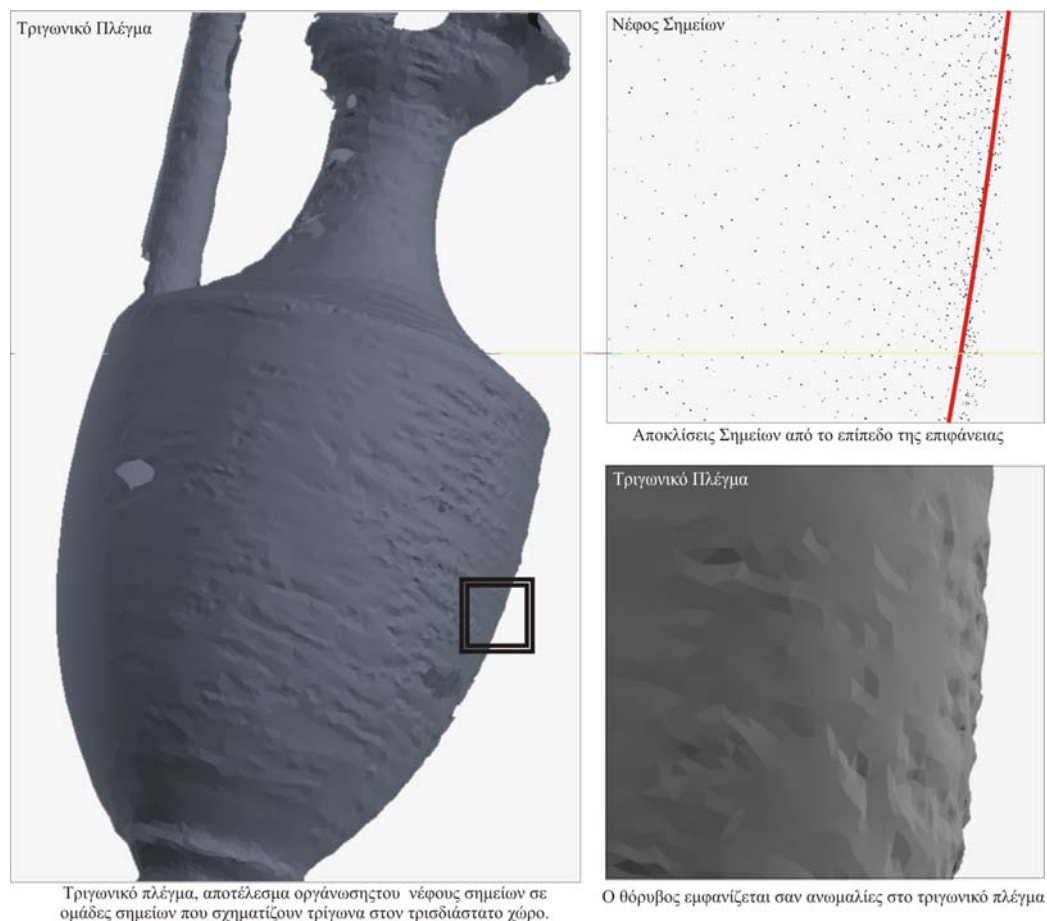
2.1.1.4 Γεωμετρική ακρίβεια και μετάδοση του θορύβου

Η γεωμετρική ακρίβεια, όπως θα δούμε και παρακάτω, δεν είναι πάντα η κυρίαρχη απαίτηση στην τεκμηρίωση των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Μια μικρή απόκλιση μερικών χιλιοστών σε ένα σημείο της επιφάνειας που αποτελεί τμήμα ενός συνηθισμένου γεωμετρικού σχήματος δεν είναι πάντοτε μεγάλο πρόβλημα. Σε περιπτώσεις όπου η αποτύπωση πολύπλοκων επιφανειών είναι αναγκαία, τότε τα νέφη σημείων περιέχουν, συνήθως, θόρυβο. Ο θόρυβος παρουσιάζεται στο νέφος υπό την μορφή σημείων που ενώ θα έπρεπε να βρίσκονται πάνω στο ίδιο νοητό επίπεδο, αυτά αποκλίνουν προς τυχαίες διευθύνσεις γύρω από αυτό. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί δυσκολίες κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων αφού επιβάλουν την χρήση φίλτρων ομαλοποίησης (smoothing) και απλοποίησης (simplification). Στόχος των φίλτρων είναι να αφαιρέσουν το θόρυβο, να μειώσουν τον όγκο των δεδομένων, αλλά, ταυτόχρονα, να διατηρήσουν άθικτα τα περιθώρια των επιφανειών και τον όγκο του αντικειμένου.

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται το τριγωνικό πλέγμα που δημιουργήθηκε από το μετασχηματισμό ενός νέφους σημείων. Το πολυγωνικό πλέγμα αναπαριστά τμήμα μιας *οινοχόης* που ψηφιοποιήθηκε με σαρωτή λέιζερ⁹. Το βάθος

⁹ Η ψηφιοποίηση έγινε με το σύστημα της *Kreon KLS171*- Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων.

πολλών σημείων υπολογίσθηκε εσφαλμένα λόγω της ανακλαστικής επιφάνειας του αντικειμένου, της χρωματικής ποικιλίας που περιέχει η διακόσμηση του και του θορύβου από τη διάχυση της δέσμης.



Εικόνα 21. Θόρυβος σε νέφος σημείων και η μεταφορά του στο πολυγωνικό πλέγμα

Οι επιδόσεις του συγκεκριμένου συστήματος με βαθμονόμηση μεγαλύτερης ακρίβειας και μεταβλητή ρύθμιση της έντασης της δέσμης φωτός μπορούν να είναι καλύτερα αλλά στο συγκεκριμένο παράδειγμα εσκεμμένα οι ρυθμίσεις προκάλεσαν υψηλό θόρυβο, ώστε να γίνεται αισθητό το φαινόμενο της απόκλισης σημείων. Στην ίδια εικόνα προβάλλεται επίσης και τμήμα από το νέφος σημείων. Η κόκκινη γραμμή αναπαριστά το νοητό επίπεδο της επιφάνειας της οινοχόης από την συγκεκριμένη οπτική γωνία. Τα σημεία που βρίσκονται έξω από αυτό το νοητό επίπεδο εμπεριέχουν θόρυβο. Κύρια πηγή θορύβου είναι η χρωματική πληροφορία της επιφάνειας του αντικειμένου η οποία επηρεάζει τις μετρήσεις του συστήματος που στην συγκεκριμένη



περίπτωση ήταν βαθμονομημένο για την γεωμετρική αποτύπωση αντικειμένων που η επιφάνεια τους δεν φέρει χρωματικές μεταβολές. Χωρίς την χρήση αλγορίθμων ομαλοποίησης ο θόρυβος αυτός εμφανίζεται εντονότατα και στο τριγωνικό πλέγμα (αφού αυτό προήλθε από μετασχηματισμό του νέφος σημείων). Ανάλογα με το μετασχηματισμό που εφαρμόζεται ο θόρυβος γίνεται λιγότερο ή περισσότερο αισθητός. Πολλές φορές εμφανίζεται και με την μορφή γεωμετρικών ασυνεχειών στο πλέγμα.



3

Σχήμα από Σιλουέτες

3.1 Εισαγωγή

Η τεχνική *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* ανήκει στην κατηγορία *παθητικών τεχνικών* και βασίζεται μόνο στην πληροφορία που προσφέρει ένα σύνολο από δισδιάστατες φωτογραφίες. Στην ίδια κατηγορία με την τεχνική αυτή συναντάμε και την μεθοδολογία *Σχήμα-Από-Στερεοσκοπική-Φωτογράφιση*, καθώς και άλλες γνωστές τεχνικές, όπως οι *Σχήμα-Από-Κίνηση*, *Σχήμα-Από-Σκίαση*, *Σχήμα-Από-Μεταβολή-Εστίασης*, οι οποίες βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό επίπεδο, καθώς οι υπάρχουσες υλικοτεχνικές λύσεις δεν έχουν ξεπεράσει τα σύνορα των ερευνητικών εργαστηρίων.

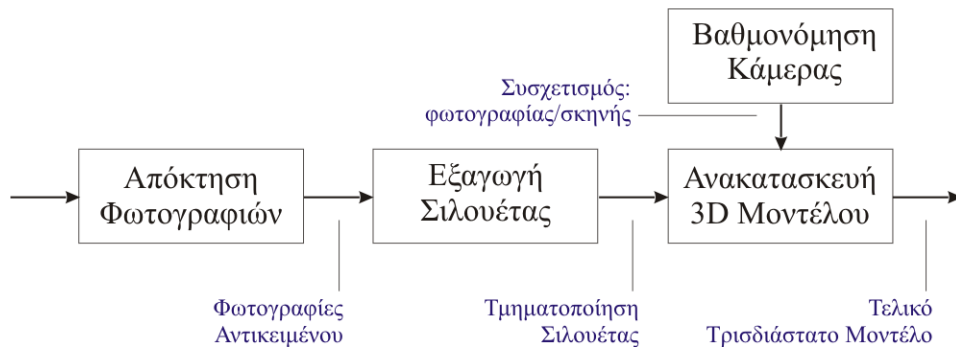
Το 1960 ο Francois Villeme επινόησε μια μέθοδο γνωστή ως *Φώτο-γλυπτική*. Χρησιμοποίησε 24 κάμερες για να αποκτήσει ένα σύνολο από σιλουέτες του αντικειμένου φωτογραφημένο από διαφορετικές γωνίες. Η αποτύπωση τους γινόταν πάνω σε φωτογραφικές πλάκες της εποχής και προβαλλόταν σε μια σκηνή με την βοήθεια μιας συσκευής προβολής στατικών φωτεινών εικόνων (magic lantern). Στη συνέχεια οι σιλουέτες μεταφέρονταν πάνω σε κομμάτια από πυλό με την χρήση ενός *παντογράφου*. Εμπορικές εφαρμογές αναπτύχθηκαν πολύ γρήγορα, όπως ήταν αναμενόμενο, ενώ σε μεγάλες πρωτεύουσες όπως Παρίσι, Λονδίνο και Νέα Υόρκη άνοιξαν εξειδικευμένα στούντιο, τα οποία λειτούργησαν για λίγα μόνο χρόνια (από το 1863 έως και το 1867), αφού η διαδικασία της *Φώτο-γλυπτικής* δεν ήταν οικονομικότερη από παραδοσιακές

μεθόδους. Ήταν εμφανές το πρόβλημα πως ακόμα και με τις 24 σιλουέτες η διαδικασία απαιτούσε την ανθρώπινη παρέμβαση σε υψηλό βαθμό. Από την άλλη, μεγάλο ήταν και το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού (κάμερες, προβολείς στατικών εικόνων). Τελευταία, αλλά εξίσου σημαντική, ήταν η ανάγκη πρακτικής εξάσκησης του γλύπτη στη χρήση αυτών των συστημάτων, η οποία καθυστερούσε ακόμα περισσότερο την διαδικασία.

Μετά από 100 χρόνια περίπου, με την έλευση των υπολογιστών η διαδικασία σύλληψης σχημάτων με οπτικές μεθόδους ξανακέρδισε το ενδιαφέρον των ερευνητών. Η *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* είναι μια αυτοματοποιημένη μέθοδος κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων από φυσικά αντικείμενα. Είναι μια πολύ δημοφιλής τεχνική τρισδιάστατων ανακατασκευών για κινητά αντικείμενα. Η ιδέα πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Baumgart το 1974 στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής. Πρωτοποριακή έρευνα στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από πολλαπλές οπτικές γωνίες με χρήση ογκομετρικών στοιχείων έγινε από τους Martin και Aggarwal το 1983. Παρουσίασαν την μέθοδο των «*κρυφών περιγραμμάτων*», κατά την οποία εξήγαγαν σιλουέτες αντικειμένων από σύνολα φωτογραφιών ενώ δημιουργούσαν το τρισδιάστατο μοντέλο με την ορθογραφική προβολή των σιλουετών. Ο ελεγχόμενος χώρος που χρησιμοποιήσαν αποτελούνταν από μια σταθερή κάμερα πάνω σε ένα τρίποδα τοποθετημένο μπροστά από ένα τραπέζι με ελεγχόμενο βήμα περιστροφής. Το φόντο πίσω από το τραπέζι ήταν μονοχρωματικό, ώστε να επιτρέπει τον εύκολο διαχωρισμό του από το αντικείμενο [12].

Η συμβατική μέθοδος *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* (Shape from silhouette) προϋποθέτει σιλουέτες χωρίς λάθη και αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, ενώ υπό την μορφή διαγράμματος ροής αναπαριστάνεται στην Εικόνα 21:

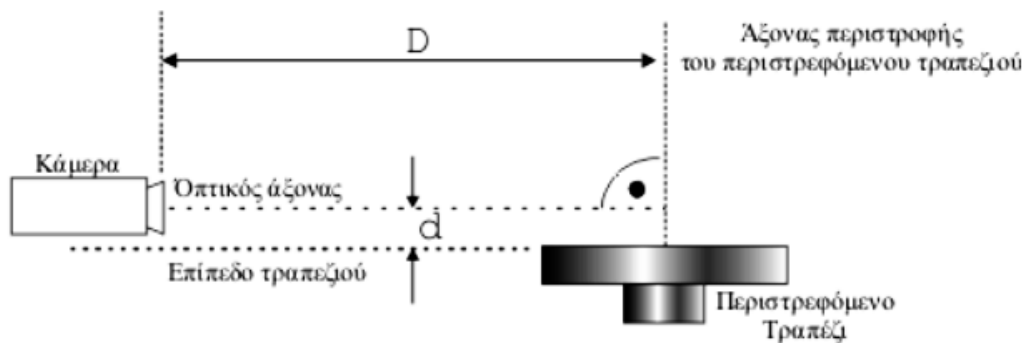
1. καθορισμός των παραμέτρων του οπτικού συστήματος
2. λήψη εικόνων
3. εξαγωγή σιλουετών
4. ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας - μοντελοποίηση



Εικόνα 22. Διάγραμμα ροής ανακατασκευής τρισδιάστατου μοντέλου

3.2 Καθορισμός παραμέτρων του οπτικού συστήματος

Στην Εικόνα 22 αναπαριστάται το ελεγχόμενο περιβάλλον ενός τυπικού συστήματος τρισδιάστατης σάρωσης, βασισμένο στην τεχνική *Σχήμα-Από-Σιλουέτες*.



Εικόνα 23. Οργάνωση ελεγχόμενου περιβάλλοντος

Σύμφωνα με τους Tosonic και Sablatnig [13] το D κατά μέσο όρο κυμαίνεται στα 120 εκατοστά ενώ το d βρίσκεται κοντά στα 3 χιλιοστά ενώ σε ιδανικές καταστάσεις είναι μηδέν. Ο συνολικός αριθμός των σιλουετών παίζει σημαντικό ρόλο στην πιστότητα του ανακατασκευασμένου αντικείμενου καθώς λεπτομέρειες του αντικείμενου είναι εμφανείς από συγκεκριμένες οπτικές γωνίες. Πριν τη λήψη των φωτογραφιών, πρέπει να βρεθεί η γεωμετρική σχέση ανάμεσα στην θέση της κάμερας και του τραπέζιου, έτσι, ώστε το τελικό μοντέλο να ανταποκρίνεται στις διαστάσεις του πραγματικού αντικείμενου. Αυτό προϋποθέτει την ορθή βαθμονόμηση όλου του συστήματος. Η βαθμονόμηση

της κάμερας παρέχει όλες τις εξωτερικές παραμέτρους, όπως τη θέση και τον προσανατολισμό της στο χώρο, αλλά και τις εσωτερικές παραμέτρους, όπως την εστιακή απόσταση και τη μετατόπιση του οπτικού κέντρου. Για την πραγματοποίηση της βαθμονόμησης χρησιμοποιείται ένα δοκιμαστικό αντικείμενο που φέρει συγκεκριμένο μοτίβο. Το πιο συνηθισμένο μοτίβο είναι η σκακιέρα της οποίας οι διαστάσεις είναι γνωστές. Το μέγεθος και η θέση του δοκιμαστικού μοτίβου υπολογίζονται βάση μαθηματικών θεωρημάτων και οπτικής. Οι μεταβολές που εμφανίζονται πάνω στη φωτογραφία συγκρίνονται με της πραγματικές διαστάσεις τις σκακιέρας και όλες οι πιθανές αποκλίσεις υπολογίζονται. Στην Εικόνα 23 παρουσιάζεται η γεωμετρική περιγραφή της κεντρικής προβολής σιλουετών χωρίς παραμορφώσεις (προερχόμενες από το φακό).

\vec{a} : Πίνακας κατά μήκους οπτικού άξονα

C : Πίνακας προς το κέντρο εστίασης

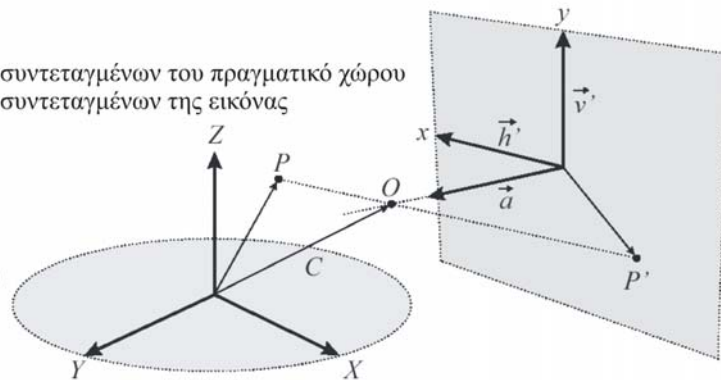
\vec{h} : Οριζόντιος Πίνακας

O : Κέντρο προβολής

P : Σημείο στο σύστημα συντεταγμένων του πραγματικό χώρο

P' : Σημείο στο σύστημα συντεταγμένων της εικόνας

\vec{v} : Κάθετος Πίνακας



Εικόνα 24. Μαθηματικό μοντέλο κάμερας για κεντρικές προβολές

Ο Zhang προτείνει μια διαδικασία βαθμονόμησης με τα παρακάτω βήματα:

1. σχεδίαση και εκτύπωση ενός μοτίβου (π.χ. σκακιέρα)
2. λήψη φωτογραφιών του μοτίβου από διαφορετικές οπτικές γωνίες και μετακίνηση του μοτίβου
3. αναγνώριση σημείων πάνω στην εικόνα
4. υπολογισμός των πέντε εσωτερικών και όλων των εξωτερικών παραμέτρων χρησιμοποιώντας τον *ευθύ γραμμικό μετασχηματισμό* (Direct Linear Transformation, DTL)

Ο μετασχηματισμός DTL βασίζεται στο μοντέλο κάμερας οπής (pinhole camera model) και στην αρχή της συσχέτισης των συντεταγμένων ενός τρισδιάστατου χώρου (X,Y,Z) και των συντεταγμένων δισδιάστατης εικόνας με χρήση απλών γραμμικών εξισώσεων.

3.3 Λήψη εικόνων και εξαγωγή των σιλουετών

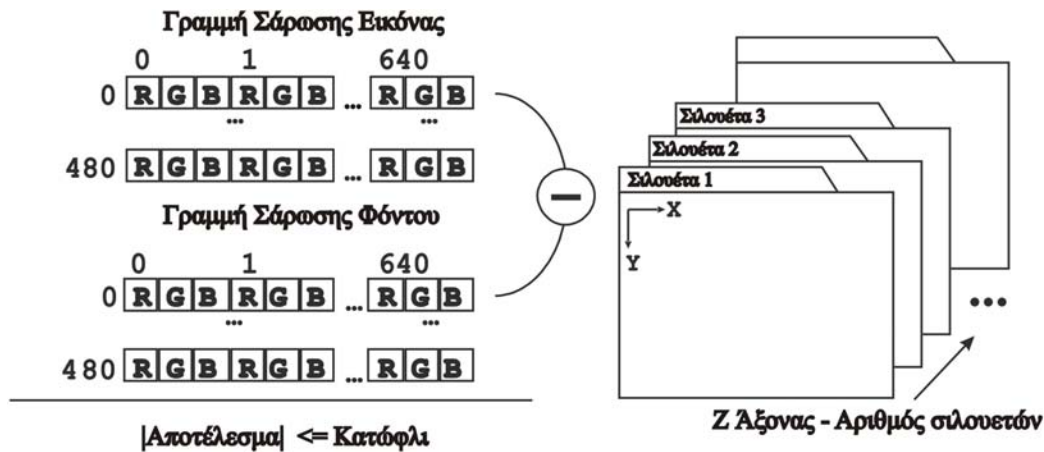
Το επόμενο βήμα είναι η απόκτηση των σιλουετών. Οι σιλουέτες, ή αλλιώς περιγράμματα, είναι εμφανείς στην εικόνα και μπορούν να εξαχθούν σχετικά εύκολα και αξιόπιστα. Οι σιλουέτες παρέχουν πλούσια πληροφορία για το σχήμα του αντικειμένου. Μπορούν να αποκτηθούν από δισδιάστατες ψηφιακές εικόνες με απλούς και εύρωστους αλγορίθμους από το χώρο της εφαρμοσμένης επεξεργασίας εικόνας.

Σύμφωνα με τον Aldo Laurentini [15], «*Η λέξη σιλουέτα υποδεικνύει την περιοχή της δισδιάστατης εικόνας όπου εμφανίζονται όλα τα ορατά σημεία που ανήκουν σε ένα αντικείμενο*». Θεωρώντας ότι δεν υπάρχει καμία περαιτέρω γνώση για την θέση του O στον πραγματικό χώρο, τότε όλη η πληροφορία που δίνει η σιλουέτα S_i είναι επίπεδη πάνω σε μια περιοχή του χώρου C_i . Την περιοχή αυτή την αποκτούμε με την οπίσθια προβολή της S_i από το αντίστοιχο οπτικό σημείο V_i . Έστω τώρα ότι υπάρχουν n σιλουέτες, τότε αυτές περιορίζουν το αντικείμενο O μέσα σε έναν όγκο R_n . Κατά συνέπεια ισχύει ότι:

$$R_n = \bigcap_{i=1}^n C_i .$$

Η εξαγωγή της σιλουέτας από τις εικόνες μπορεί να επιτευχθεί με την αφαίρεση σε επίπεδο εικονοστοιχείων. Η αφαίρεση αυτή πραγματοποιείται ανάμεσα στις εικόνες που εμφανίζουν το αντικείμενο και την εικόνα του φόντου όπου εμφανίζεται ο ίδιος χώρος χωρίς το αντικείμενο. Εάν η απόλυτη τιμή της διαφοράς αυτής σε κάποια περιοχή είναι μεγαλύτερη από ένα δεδομένο κατώφλι, τότε αυτή η περιοχή θεωρείται μέρος της σιλουέτας. Όπως περιγράφεται και στην Εικόνα 24 η αφαίρεση πραγματοποιείται στις χρωματικές τιμές κάθε εικονοστοιχείου. Έστω λοιπόν ότι έχουμε εικόνες ανάλυσης 640x480 εικονοστοιχείων με βάθος χρώματος 24 bpp. Για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας

σιλουέτας πραγματοποιούνται τρεις αφαιρέσεις, λόγω των τριών χρωματικών καναλιών που περιγράφουν την κάθε εικόνα. Η απόλυτη τιμή του αποτελέσματος της αφαίρεσης συγκρίνεται με μια τιμή (κατώφλι) και, αν την ξεπερνά, τότε το εικονοστοιχείο αυτό ανήκει στη σιλουέτα, ενώ αντίθετα αφαιρείται.



Εικόνα 25. Εξαγωγή σιλουέτας σε επίπεδο εικονοστοιχείων

Εκτός, όμως, από την απλή μέθοδο εξαγωγής σιλουέτας (επίπεδο εικονοστοιχείων), υπάρχει και η εξαγωγή σε επίπεδο περιοχών, με την οποία μπορεί να βελτιωθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα βήματα που ακολουθούνται στη μέθοδο αυτή είναι τα παρακάτω:

1. τμηματοποίηση σε κάθε αντικείμενο της εικόνας
2. επανάληψη για κάθε τμήμα:
 - I. υπολογίζεται ο μέσος όρος της απόλυτης τιμής της διαφοράς κάθε εικονοστοιχείου της περιοχής
 - II. εάν ο μέσος όρος είναι μεγαλύτερος από το ορισμένο κατώφλι τότε όλα τα στοιχεία της συγκεκριμένης περιοχής αποτελούν τμήμα της σιλουέτας του αντικειμένου.

Η μέθοδος της εξαγωγής σιλουέτας σε επίπεδο τμημάτων μπορεί να αντιμετωπίσει ένα βασικό πρόβλημα όταν ένα εικονοστοιχείο, ενώ ανήκει στο αντικείμενο, εμφανίζεται με χρωματική πληροφορία παρόμοια με αυτή του φόντου. Η μέθοδος εικονοστοιχείων δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα. Τα

συστήματα που εφαρμόζουν την εξαγωγή σιλουέτας σε επίπεδο τμημάτων είναι φορητά και μπορούν να λειτουργήσουν σε περιβάλλοντα με διαφορετικό φόντο.

3.4 Ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας – μοντελοποίηση

Το επόμενο και τελικό βήμα μετά την εξαγωγή των σιλουετών είναι η ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας. Κατά την διάρκεια της ανακατασκευής προκύπτουν διάφορα προβλήματα. Το βασικότερο έχει να κάνει με το βαθμό ακρίβειας που μπορεί να περιγραφεί το αντικείμενο, βάση ενός συνόλου δισδιάστατων σιλουετών. Η απάντηση στη ερώτηση δίνεται από μια καινοτόμο ιδέα του Laurentini (1995) κατά την οποία το αντικείμενο λειτουργεί σαν μια γεωμετρική οντότητα με την ονομασία *οπτικό κέλυφος* (*Visual Hull*). Το οπτικό κέλυφος ορίζεται ως $VH(O, V)$ όπου O το αντικείμενο και V το οπτικό πεδίο. Έτσι ένα αντικείμενο O μπορεί να ανακατασκευαστεί πλήρως χρησιμοποιώντας σιλουέτες του O από διαφορετικές οπτικές γωνίες V εάν και μόνο εάν ισχύει ότι

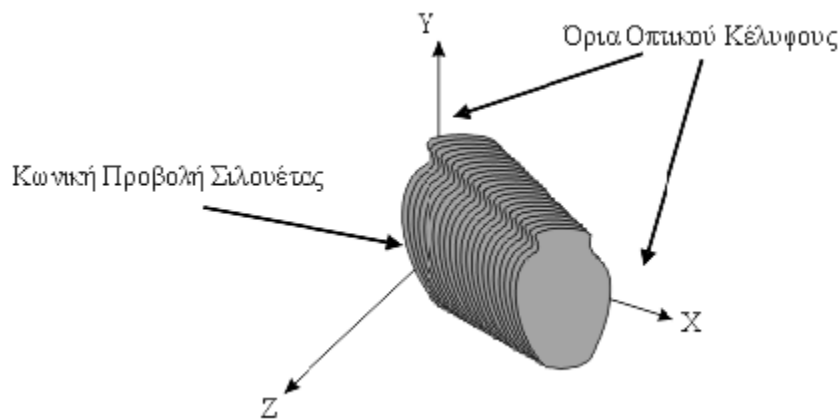
$$O = VH(O, V)$$

Κάθε σιλουέτα προβάλλεται πάνω και μέσα στο οπτικό κέλυφος. Η προβολή αυτή βασίζεται είτε σε κάποιο οπτικό σημείο είτε είναι παράλληλη. Το τρισδιάστατο μοντέλο αναπαράγεται με τις τομές των όγκων που δημιουργούνται ξεχωριστά από κάθε σιλουέτα. Αυτή η τεχνική ονομάζεται *Λάξευση Χώρου* [15] και αποτελείται συνήθως από δύο φάσεις: πρώτη είναι αυτή της απόρριψης των τμημάτων που δεν αποτελούν μέρος του αντικειμένου και δεύτερη η αναπαράσταση των επιφανειών του αντικειμένου με πολυγωνικό πλέγμα. Στη διαδικασία απόρριψης το αντικείμενο προβάλλεται πολλές φορές ως ένα σύνολο ογκομετρικών στοιχείων. Οι δύο πιο συνηθισμένοι μέθοδοι δημιουργίας πολυγωνικών πλεγμάτων είναι η ογκομετρική δειγματοληψία και η άμεση τομή [16].

3.4.1 Ογκομετρική Δειγματοληψία

Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται μια κωνική προβολή σιλουέτας που αποτελείται από ογκομετρικά στοιχεία. Από προγραμματιστική άποψη, το σύνολο

των ογκομετρικών στοιχείων αναπαριστάται με μια ειδική δενδροειδή δομή δεδομένων, γνωστή ως *Octrees*. Η δομή αυτή επιτρέπει τη γρήγορη επεξεργασία των προβολών [17][18][19]. Η διαδικασία απόρριψης όλων των ογκομετρικών στοιχείων που δεν ανήκουν στο αντικείμενο βασίζεται στην κατωφλίωση με χρήση του πλήθους των σιλουετών που έχουν χρησιμοποιηθεί ως κατώφλι.



Εικόνα 26. Κωνική προβολή σιλουέτας με ογκομετρικά στοιχεία

3.4.2 Άμεση Τομή

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνική της προβολής σιλουετών με πολυγωνικά πλέγματα βασίζονται στην τεχνική της άμεσης τομής. Στην Εικόνα 26 παρουσιάζεται η σταδιακή δημιουργία του αντικειμένου καθώς προβάλλονται τρεις σιλουέτες. Το κοινό σημείο ανάμεσα σε δύο προβολές υπολογίζεται με τη λογική πράξη AND. Στην Εικόνα 26(α) παρουσιάζεται η διαδοχική προβολή των σιλουετών, ενώ στην Εικόνα 26(β) το αποτέλεσμα της λογικής πράξης και η προοδευτική κατασκευή του οπτικού κελύφους με διχοτόμηση των κωνικών προβολών που ορίζονται από την εικόνα και τη θέση της κάμερας.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθόδους έγκειται στο τελικό προϊόν. Στην Εικόνα 27 εμφανίζεται αρχαίος Ελληνικός κύλικας¹⁰. Ο κύλικας ψηφιοποιήθηκε με την μέθοδο Σχήμα-Από-Σιλουέτες από το I.Π.Ε.Τ.¹¹ στα πλαίσια

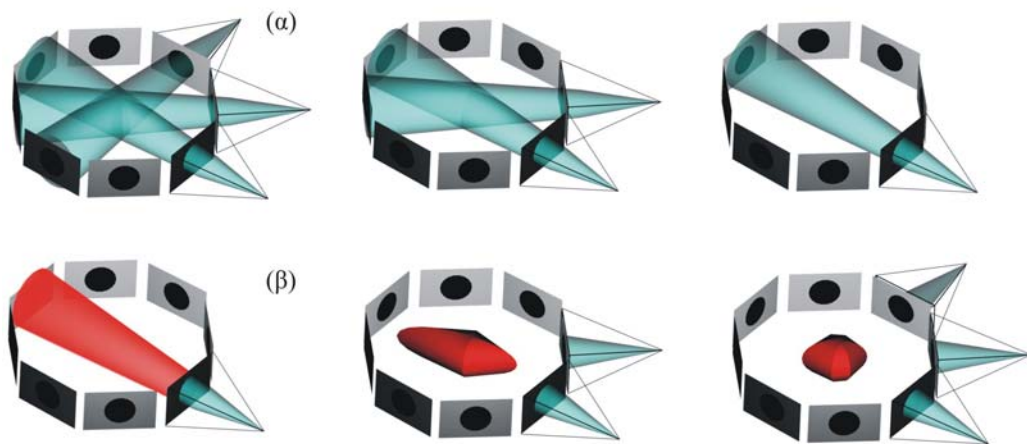
¹⁰ Ιδιοκτησία του Αρχαιολογικού Μουσείου Αθηνών.

¹¹ Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας – <http://www.ipet.gr/>.

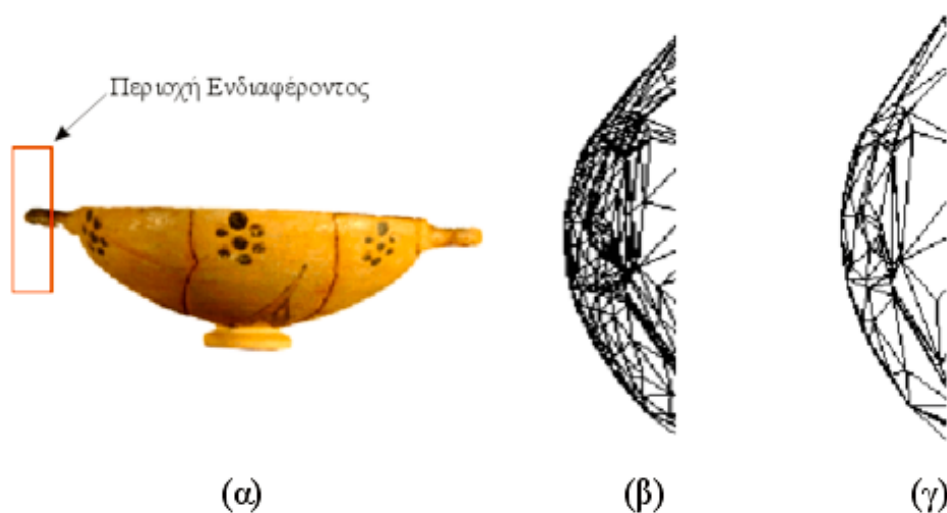


μελέτης των δυνατοτήτων ψηφιοποίησης της εν λόγω μεθόδου. Συγκρίνοντας το πολυγωνικό πλέγμα κάθε μεθόδου ξεχωριστά, παρατηρούμε τα εξής:

- Στο κοντινό πλάνο της δομής του πολυγωνικού πλέγματος που δημιουργήθηκε με την ογκομετρική μέθοδο (Εικόνα 27β) εμφανίζεται αλλοίωση στην επιφάνεια του αντικειμένου.
- Το πλήθος των σημείων είναι πολύ μεγαλύτερο σε σύγκριση με το πλέγμα που δημιουργήθηκε με την τεχνική της άμεσης τομής πολυγωνικών κώνων (Εικόνα 27γ).



Εικόνα 27. Σταδιακός σχηματισμός οπτικού κελύφους

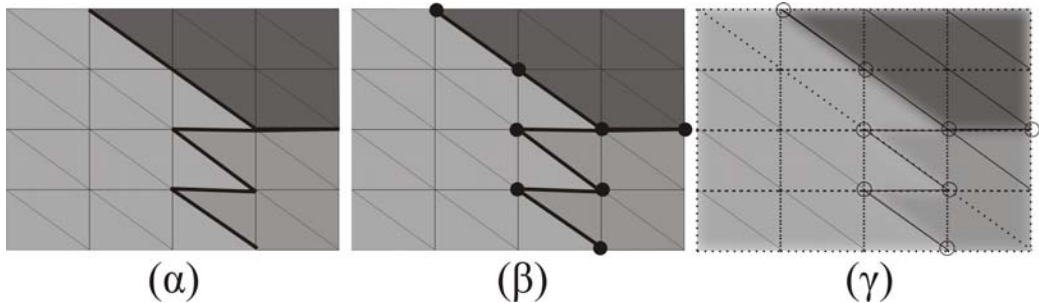


Εικόνα 28. Μειονέκτημα της τεχνικής ογκομετρικής δειγματοληψίας

Μετά τη δημιουργία της τρισδιάστατης γεωμετρίας, όπως είναι αναμενόμενο, ακολουθεί η ανάκτηση της πληροφορίας υφής. Η τελική μορφή της πληροφορίας υφής βασίζεται στο συνδυασμό τμημάτων από φωτογραφίες που προβάλλουν το αντικείμενο από οπτικές γωνίες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία της γεωμετρίας του αντικειμένου. Ο συνδυασμός των τμημάτων γίνεται με την βέλτιστη τοποθέτηση των τριγώνων του πλέγματος πάνω στις εικόνες. Κάθε τρίγωνο χαρτογραφείται πάνω σε κάποια φωτογραφία. Η επιλογή της φωτογραφίας γίνεται βάση την καλύτερη οπτική γωνία εμφάνισης του εκάστοτε τριγώνου [22]. Με τη μέθοδο αυτή, πολλά γειτονικά τρίγωνα αντιστοιχίζονται σε διαφορετικές φωτογραφίες κι έτσι, εμφανίζουν χρωματικές ασυνέχειες στην πληροφορία υφής.

Τα περισσότερα συστήματα τρισδιάστατης σάρωσης προτείνουν τη φωτογράφιση των αντικειμένων κάτω από συνθήκες φωτισμού που συναντούμε σε επαγγελματικά φωτογραφικά στούντιο, ώστε να απαλειφθούν κατά το δυνατόν περισσότερες σκιές και να φωτιστεί ομοιόμορφα το αντικείμενο. Φυσικό είναι όμως να συνεχίζουν να υπάρχουν κάποιες σκιές, οι οποίες δημιουργούνται από το ίδιο το αντικείμενο (π.χ. η περιοχή κάτω από την λαβή ενός αγγείου). Για την απαλλαγή του τρισδιάστατου μοντέλου από αυτές τις χρωματικές ανομοιομορφίες εφαρμόζονται αλγόριθμοι *χρωματικής ανάμιξης*. Οι αλγόριθμοι αυτοί λειτουργούν ανάμεσα στα όρια των διαφορετικών φωτογραφιών. Η ανάμιξη των χρωμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στην επικάλυψη των φωτογραφικών *συνόρων* αφού η ύπαρξη τους μειώνει τον ρεαλισμό του τελικού μοντέλου. Η τεχνική *χρωματικής ανάμιξης* [22] διαμορφώνει τις χρωματικές τιμές των εικονοστοιχείων στα φωτογραφικά σύνορα, ώστε να υπάρχει ένα ομαλό χρωματικό πέρασμα από τη μια πλευρά στην άλλη. Με αυτή τη μέθοδο καλύπτονται τα μέχρι πρότινος εμφανή σύνορα. Για να επιτευχθεί η ανάμιξη είναι απαραίτητη η διαδικασία αναγνώρισης των πιθανών τριγώνων που βρίσκονται πάνω στα σύνορα, καθώς και η φορά προς την οποία θα γίνει η ομαλοποίηση. Έστω ότι ένα τρίγωνο συνορεύει με ένα άλλο και έστω ότι φέρουν πληροφορία υφής από διαφορετικές φωτογραφίες, τότε και τα δύο είναι πιθανά υποψήφια για χρωματική ανάμιξη (Εικόνα 28). Ο αλγόριθμος ανάμιξης υπολογίζει την κάθε γειτονική υφή ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες τιμές διαφάνειας. Η

τελική απόδοση των φωτογραφιών με χαρακτηριστικές τιμές διαφάνειας στα σύνορα τους έχει ως αποτέλεσμα μια ομαλή μετάβαση από τη μία στην άλλη.



Εικόνα 29. Ανάμιξη διαφορετικών τμημάτων υφής

Ο αλγόριθμος ανάμιξης λειτουργεί μόνο στα γειτονικά τρίγωνα. Αν ένα αντικείμενο έχει αποτυπωθεί τρισδιάστατα με μεγάλη ακρίβεια τότε τα τρίγωνα του είναι μικρά σε μέγεθος και, φυσικά, το ίδιο ισχύει και για τις περιοχές υφής που αναμειγνύονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην καλύπτονται τα σύνορα των διαφορετικών φωτογραφιών. Η λύση του προβλήματος βρίσκεται είτε στη βελτίωση του αλγορίθμου, έτσι, ώστε να αντιλαμβάνεται το μέγεθος των τριγώνων, είτε στη χειροκίνητη διαδικασία επιλογής των περιοχών ανάμιξης από το χρήστη.

3.5 Προβληματισμοί για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων

3.5.1 Διαδικασία εξαγωγής σιλουέτας

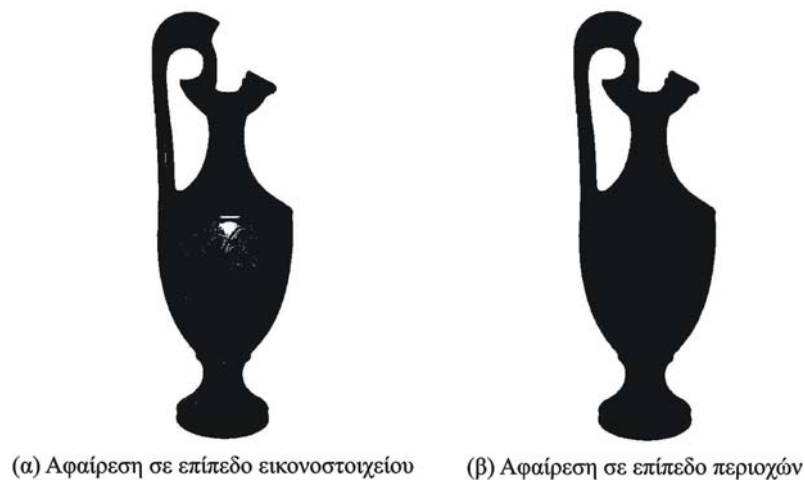
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου διαχωρισμού του αντικειμένου από το φόντο παρουσιάζονται τα πρώτα γεωμετρικά σφάλματα που αναπόφευκτα αντικατοπτρίζονται και στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο (Εικόνα 29). Εξαιτίας των παρεκκλίσεων του φωτισμού, είναι μερικές φορές δύσκολο να αποφύγουμε σκιές που προκαλούνται από το ίδιο το αντικείμενο. Ανεξαρτήτως τεχνικής που εφαρμόζεται για την εξαγωγή των σιλουετών, τα σημεία κάτω από τις σκιές καταλήγουν κάποιες φορές να θεωρούνται τμήμα του φόντου ενώ στην πραγματικότητα ανήκουν στο αντικείμενο. Η αποτύπωση ημιδιαφανών αντικείμενων (π.χ. γυάλινα δοχεία) ή αντικείμενων με επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας

(π.χ. ασημένια και χρυσά κοσμήματα) μπορούν να πραγματοποιηθούν καλύτερα από ότι με κάποιο συστήματα λέιζερ κοντινών αποστάσεων. Ωστόσο τα καλύτερα αποτελέσματα προϋποθέτουν τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού που θα επιτρέψουν την εξαγωγή των σιλουετών. Σε ορισμένες δύσκολες περιπτώσεις, μπορεί να κριθεί αναγκαία και η ανθρώπινη παρέμβαση για τον έλεγχο και την διόρθωση σιλουετών.



Εικόνα 30. Παράδειγμα ασυνέχειας μοντέλου

Στην Εικόνα 30 συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μεθόδων εξαγωγής σιλουέτας σε επίπεδο εικονοστοιχείων και σε επίπεδο τμημάτων. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης εμφανίζει τη δεύτερη τεχνική ως καλύτερη. Στην Εικόνα 30(α) βλέπουμε ότι λανθασμένα αναγνωρίζεται η περιοχή όπου ανακλάται το φως ως μέρος του φόντου.



Εικόνα 31. Σύγκριση τεχνικών αφαίρεσης φόντου



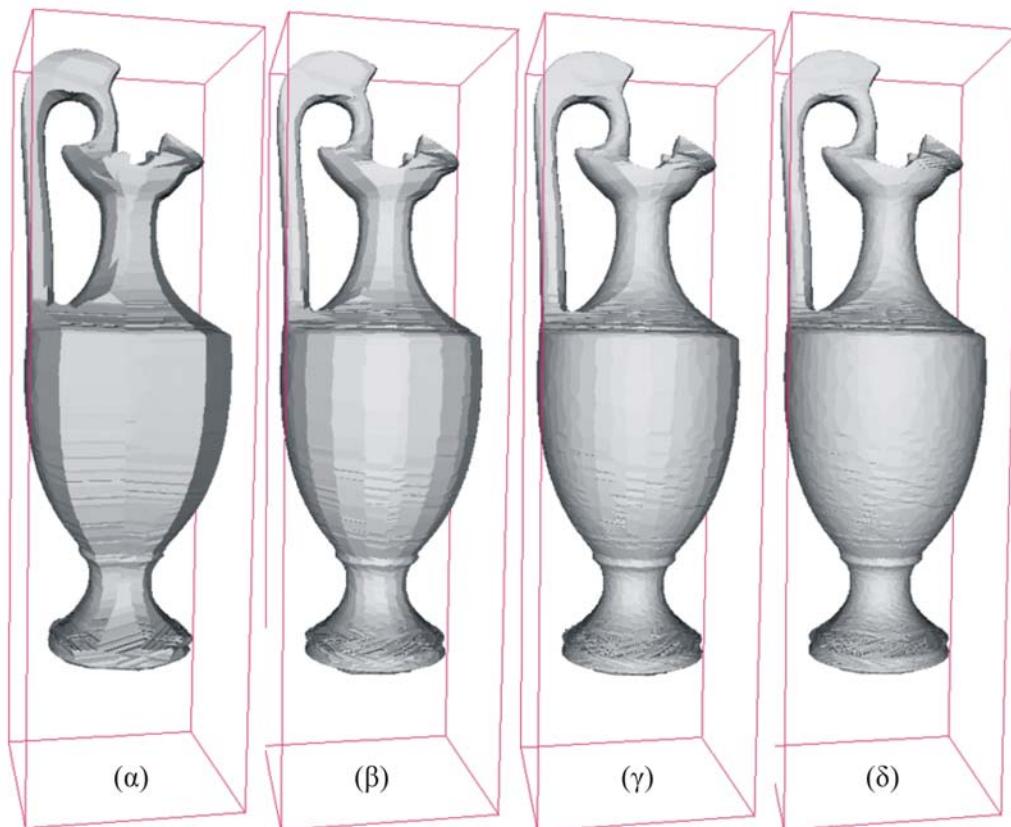
3.5.2 Ακρίβεια τρισδιάστατης γεωμετρίας και υφής

Πριν οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι χρήσιμο να αναφερθούμε στα βασικότερα μειονεκτήματά της. Αυτά είναι:

- Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο φέρει μόνο την πληροφορία που περιέχουν οι σιλουέτες. Όποιες τυχόν καμπυλότητες δεν είναι εμφανείς σε αυτές δεν εμφανίζονται ούτε στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο. Το αποτέλεσμα δεν αποτελεί πιστό αντίγραφο του πραγματικού αντικειμένου [20].
- Το πλήθος των σιλουετών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου παίζει σημαντικό ρόλο στην πιστότητά του. Θεωρητικά, όσο αυξάνεται το πλήθος των σιλουετών τόσο μικρότερο είναι το γεωμετρικό σφάλμα ανάμεσα στο πραγματικό και το ψηφιακό αντικείμενο.

Η σημασία του πλήθους των σιλουετών στην ανακατασκευή ενός αντικειμένου προβάλλεται μέσα από το εξής πείραμα: χρησιμοποιήσαμε ένα αντίγραφο αρχαίας ελληνικής οινόχους από τα τέλη του 7^{ου} π.Χ. αιώνα. Το αντικείμενο ψηφιοποιήθηκε με την μέθοδο *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* και ανακατασκευάστηκε σε τέσσερις διαφορετικές ποιότητες που καθορίζονται κυρίως από το πλήθος των σιλουετών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 31.

Στην πρώτη περίπτωση ένα σύνολο από έξι σιλουέτες περιγράφει αρκετά πειστικά το γενικότερο σχήμα της οινόχους χωρίς όμως να αποδίδει τις καμπύλες επιφάνειες που έχει το πραγματικό αντικείμενο (Εικόνα 31α). Ταυτόχρονα παρουσιάζονται πολύ έντονα τα σύνορα που δημιουργούνται πάνω στην τρισδιάστατη γεωμετρία ανάμεσα στις διαφορετικές σιλουέτες. Στη δεύτερη έκδοση (Εικόνα 31β - 12 σιλουέτες) αλλά και την τρίτη (Εικόνα 31γ - 18 σιλουέτες) συνεχίζουν να είναι φανερά τα γεωμετρικά τμήματα που δημιουργούνται από την προβολή της κάθε σιλουέτας. Οι επιφάνειες με μεγάλη καμπυλότητα συνεχίζουν να εμφανίζονται κβαντισμένες εξαιτίας του μικρού όγκου πληροφορίας. Το φαινόμενο αυτό σταματά να είναι διακριτό στο πείραμα μας όταν ξεπεράσαμε τις 24 σιλουέτες (Εικόνα 31δ). Σημαντικό, επίσης, ρόλο παίζει η οπτική γωνία από την οποία έχει ληφθεί η κάθε φωτογραφία, όπως θα δειχθεί παρακάτω.



Εικόνα 32. Ανακατασκευή οινοχόης με μεταβλητό πλήθος σιλουετών

Εν αντιθέσει με τις γεωμετρικές ανακρίβειες που φέρει το τρισδιάστατο μοντέλο, η προβολή του μαζί με την πληροφορία υφής είναι εντυπωσιακά ρεαλιστική, όπως φαίνεται στην Εικόνα 32. Αυτό οφείλεται στον όγκο της πληροφορίας και χαρακτηριστικών του πραγματικού αντικειμένου που αποτυπώθηκαν στις φωτογραφίες που σχηματίζουν την υφή.



(α) Πραγματικό Αντικείμενο



(β) Τρισδιάστατο Αντικείμενο

Εικόνες για δημιουργία υφής: 5
Όγκος Πληροφορίας υφής : 10.6 MB
Φωτογραφίες για δημιουργία γεωμετρίας : 24
Τρίγωνα: 44978 Κορυφές: 22681
Normals : 22782

Εικόνα 33. Πραγματικό αντικείμενο (α), και ανακατασκευασμένο μοντέλο (β)

Στις περιπτώσεις όπου το μοντέλο βασίζεται σε μικρό πλήθος από σιλουέτες και δεν περιγράφεται σωστά (π.χ. Εικόνα 32β), η πληροφορία υφής βοηθά στην κάλυψη πολλών ατελειών της γεωμετρίας. Μπορούμε λοιπόν να διατυπώσουμε την εξής πρόταση σε σχέση με τη συνεισφορά της πληροφορίας υφής στην τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση ενός αντικειμένου:

Όταν το αντικείμενο προβάλλεται από οπτικές γωνίες παρόμοιες με αυτές που αποτυπώθηκαν στις φωτογραφίες εξαγωγής σιλουετών, τότε η πληροφορία υφής κρύβει σε μεγάλο βαθμό σφάλματα που περιέχει η τρισδιάστατη γεωμετρία.



Εικόνα 34. Σύγκριση πραγματικού και ψηφιακού αντικειμένου χαμηλής ποιότητας

Η οινοχόη στην έκδοση χαμηλής ποιότητας (Εικόνα 33β) αποτελείται από μόλις 4564 κορυφές (20% επί του συνόλου κορυφών που περιέχει το μοντέλο υψηλής ποιότητας) και 6754 τρίγωνα. Στην συγκεκριμένη οπτική γωνία, όμως, παρουσιάζεται σχεδόν πανομοιότυπο με αυτό της υψηλής ποιότητας, κάτι που δεν ισχύει φυσικά και αποδεικνύεται στην Εικόνα 33γ όπου τα λάθη γεωμετρίας και υφής είναι εμφανέστατα. Ωστόσο ένα τρισδιάστατο μοντέλο χαμηλής ποιότητας μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο σε διαδικτυακές εφαρμογές αφού συνεχίζει να προσφέρει περισσότερο όγκο πληροφορίας από αυτόν που θα μπορούσε να αποκομίσει κανείς από ένα σύνολο δισδιάστατων φωτογραφιών.

3.5.3 Κοίλες Επιφάνειες

Η γεωμετρική πολυπλοκότητα που εμφανίζουν τα περισσότερα αρχαιολογικά ευρήματα οδηγούν εύκολα τη συγκεκριμένη μέθοδο στα όρια εφαρμογής της καταλήγοντας σε τρισδιάστατα μοντέλα που, ενώ φέρουν σωστές διαστάσεις, διαφέρουν κατά πολύ από το πραγματικό, αφού περιέχουν γεωμετρικές

ατέλειες και ασάφειες και σφάλματα. Κάποιες από αυτές μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα από το ανθρώπινο μάτι με τη βοήθεια της υψής ενώ άλλες όχι.

Μια ταυτόχρονη παρουσίαση (Εικόνα 34) του πραγματικού αντικείμενου και του ανακατασκευασμένου είναι αρκετή για να αναγνωριστούν όλες οι κοίλες επιφάνειες που δεν είναι εμφανείς στις σιλουέτες (άρα μη-μοντελοποιήσιμες).



Εικόνα 35. Γεωμετρικά λάθη στο ανακατασκευασμένο μοντέλο

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 34 το ανακατασκευασμένο μοντέλο παρουσιάζεται ως πολυγωνικό πλέγμα με τεχνητή φωτοσκίαση δίπλα στο πραγματικό. Στην πάνω όψη διακρίνονται τα γεωμετρικά σφάλματα, κυρίως στις λαβές του αντικειμένου, όπου η καμπυλότητα και το κενό που υπάρχει απουσιάζουν από το τρισδιάστατο μοντέλο. Στην πλάγια όψη εμφανίζεται το αντικείμενο όπως ακριβώς φωτογραφήθηκε με νοητό άξονα περιστροφής τον y^{12} . Αν θεωρήσουμε ότι μοναδική πηγή πληροφορίας για την ανακατασκευή του αντικειμένου είναι

¹² Θεωρητικά ο ίδιος άξονας με τον άξονα περιστροφής του περιστρεφόμενου τραπεζιού.

ένα σύνολο από φωτογραφίες της συγκεκριμένης οπτικής γωνίας, τότε, βάση της θεωρίας, είναι απολύτως φυσικό να μην εμφανίζονται η εσωτερική κοιλότητα του αντικειμένου και οι οπές στις λαβές.

Οι εμπορικοί σαρωτές που βασίζονται στην τεχνική των σιλουετών αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό με τη χρήση δεύτερης φωτογραφικής μηχανής, η οποία φωτογραφίζει το αντικείμενο από διαφορετική οπτική γωνία με σκοπό να καλύψει εκείνες τις καμπυλότητες που δεν εμφανίζονται στην πρώτη. Ως εκ τούτου, κατά την διάρκεια της μοντελοποίησης λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα οι προβολές των σιλουετών της αντίστοιχης γωνίας και από τις δύο φωτογραφικές μηχανές. Ο βαθμός πιστότητας του αποτελέσματος αυξάνεται σημαντικά.

Στο παράδειγμα με την κύλικα, η δεύτερη κάμερα θα έλυνε το πρόβλημα στις λαβές, όχι όμως και αυτό της εσωτερικής καμπυλότητας αφού αυτή χάνεται (κρύβεται) πάντα από τα εξωτερικά τμήματα (χείλος) του αντικειμένου. Στην Εικόνα 35 φαίνονται τα γεωμετρικά σφάλματα που έχει η ανακατασκευασμένη κύλικα. Για να γίνει η σύγκριση, τοποθετήθηκε μια φωτογραφία του πραγματικού αντικειμένου πάνω στο τριγωνικό πλέγμα. Οι τεχνητές κόκκινες γραμμές σκιαγραφούν τα γεωμετρικά όρια σφάλματος.



Εικόνα 36. Δισδιάστατη προβολή ανακατασκευασμένου και πραγματικού αντικειμένου

Την ύπαρξη γεωμετρικών σφαλμάτων έρχεται να επιβεβαιώσει και η θεωρία του οπτικού κελύφους [14]. Άλλωστε, *απώτερος σκοπός των συστημάτων της τεχνικής Σχήμα-Από-Σιλουέτες δεν είναι η πιστή τρισδιάστατη αποτύπωση των*

αντικειμένων αλλά μια ρεαλιστική αναπαράσταση τους η οποία βασίζεται σε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία αποτύπωσης και στην απόκρυψη γεωμετρικών ατελειών με υψηλής ποιότητας πληροφορία υφής. Μέχρι σήμερα η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοσθεί κυρίως σε εφαρμογές *e-commerce*, αφού ο μικρός χρόνος ψηφιοποίησης και τα ρεαλιστικά αποτελέσματα την θέτουν ως την προτιμότερη λύση σε παρόμοια έργα.



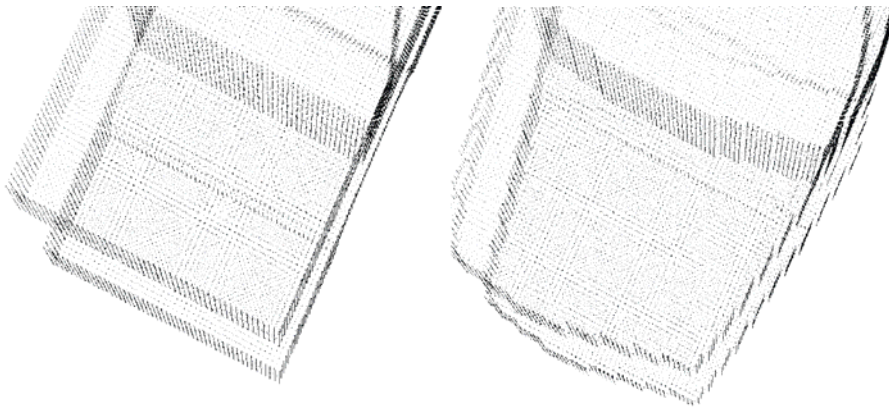
Εικόνα 37. Τρισδιάστατες προσεγγίσεις πραγματικών αντικειμένων

Εν κατακλείδι, είναι πολύ εύκολο να αναγνωρίσει κανείς τα τρισδιάστατα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί με τη μέθοδο αυτή, καθώς στην τριγωνοποιημένη και χωρίς υφή μορφή τους παρουσιάζουν κάτι που μοιάζει με εύπλαστο περιτύλιγμα γύρω από το πραγματικό αντικείμενο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 36.

3.5.4 Γωνίες Φωτογράφισης

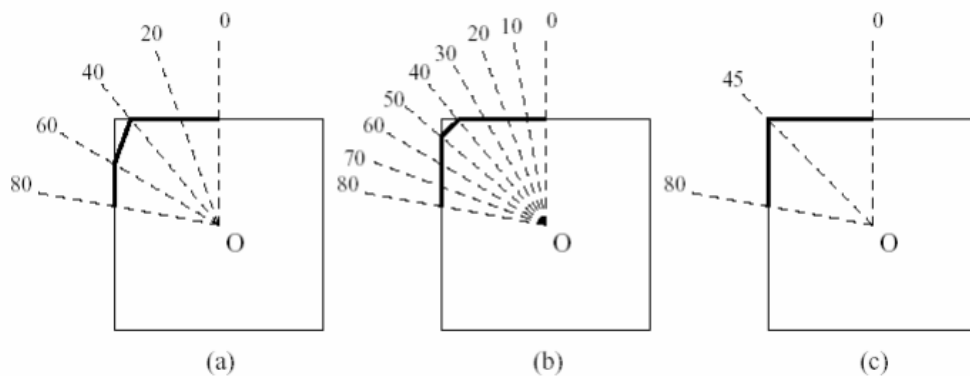
Σύμφωνα με τους Sablatnig, Tosovic και Kampel [15], οι γωνίες φωτογράφισης ενός αντικειμένου σχετίζονται απόλυτα με την ποιότητα ανακατασκευής του. Ένας ακόμη περιορισμός της μεθόδου Σχήμα-Από-Σιλουέτες στη δυνατότητα σωστής ανακατασκευής γωνιών φαίνεται στην Εικόνα 37.

Για την παρουσίαση της αδυναμίας αυτής δημιουργήθηκε ένα τεχνητό τρισδιάστατο αντικείμενο με τη βοήθεια μιας εφαρμογής σχεδίασης τρισδιάστατων γραφικών. Με την ίδια εφαρμογή δημιουργήθηκε ένα σύνολο από σιλουέτες που παρουσιάζουν το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Εφαρμόζοντας την τεχνική Σχήμα-Από-Σιλουέτες καταλήξαμε σε δύο τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του μοντέλου που αναπαραστάθηκαν με τη χρήση ογκομετρικών στοιχείων. Στην Εικόνα 37 μπορούμε να δούμε τα προβλήματα ανακατασκευής του μοντέλου, όταν οι οπτικές γωνίες δεν καλύπτουν πλήρως τις πιθανές γωνίες ενός αντικειμένου. Το αντικείμενο αριστερά έχει ανακατασκευαστεί από σιλουέτες στις κατάλληλες γωνίες, ενώ το άλλο βασίζεται σε σιλουέτες που ακολουθούν ένα τυπικό βήμα των 10 μοιρών.



Εικόνα 38. Απόκλιση των ανακατασκευασμένων γωνιών

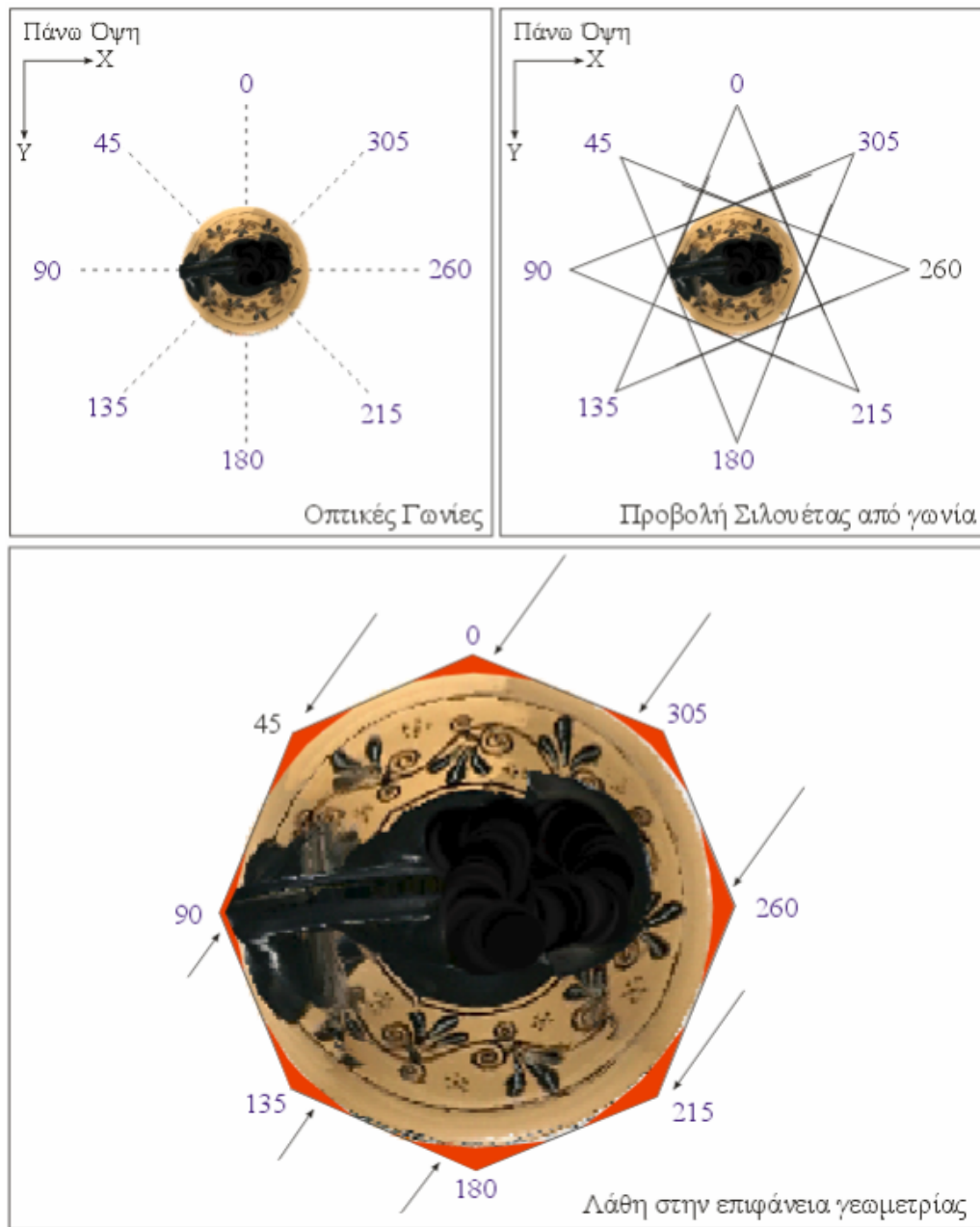
Η σημασία της ορθής επιλογής γωνιών φωτογράφισης αντικατοπτρίζεται στην τελική τρισδιάστατη γεωμετρία. Όταν η επιλογή τους πραγματοποιείται βάση ενός σταθερού υποσυνόλου οπτικών γωνιών που ορίζονται από ένα αριθμητικό βήμα τότε είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν λάθη στο τρισδιάστατο μοντέλο (Εικόνα 38). Το πλήθος των σιλουετών και η οπτική τους γωνία σχετίζονται απόλυτα με το σχήμα του αντικειμένου και την πολυπλοκότητα του.



Εικόνα 39. Γωνίες φωτογράφισης και τα αποτελέσματά τους στο ανακατασκευασμένο αντικείμενο

Η σημαντική αυτή παρατήρηση έχει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου η ανακατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό σιλουετών.

Στο επόμενο παράδειγμα, δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο από οκτώ σιλουέτες που αποτυπώθηκαν ακολουθώντας ένα σταθερό βήμα περιστροφής της οπτικής γωνίας (45 μοίρες), όπως φαίνεται στην Εικόνα 39. Έλλειψη πληροφορίας σε σημεία με έντονη καμπυλότητα αλλά και σε επιφάνειες που εμφανίζονται σε λίγες μόνο οπτικές γωνίες εμφάνισαν γεωμετρικά σφάλματα, τα οποία τονίζονται με κόκκινο χρώμα. Σε θεωρητικό επίπεδο, μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός πιθανών οπτικών γωνιών. Κάτι τέτοιο στην πραγματικότητα όμως δεν είναι εφικτό από κανένα σύστημα (εμπορικό και μη) αφού τα περιστρεφόμενα τραπέζια που χρησιμοποιούνται λειτουργούν με βάση ένα ελάχιστο βήμα περιστροφής. Από την άλλη, πρέπει να αναφερθεί και η υπολογιστική ισχύς που απαιτείται για την επεξεργασία των σιλουετών. Το πλήθος τους καθορίζει το συνολικό χρόνο επεξεργασίας. Ως εκ τούτου, μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί στην ελαχιστοποίηση των σιλουετών αφού η μείωση τους, μπορεί μεν να ελαττώνει σημαντικά το χρόνο επεξεργασίας, δεν θα πρέπει όμως να επηρεάζει την ποιότητα του τελικού μοντέλου.



Εικόνα 40. Ο περιορισμένος αριθμός σιλουετών δημιουργεί γεωμετρικές ανακρίβειες

4

Σχήμα από Δομημένο Φως

4.1 Εισαγωγή

Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου είναι απλή. Η ανάκτηση της πληροφορίας βάθους πραγματοποιείται με την προβολή ενός μοτίβου φωτός πάνω σε ένα αντικείμενο, από γνωστή οπτική γωνία. Η *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* βασίζεται στην τριγωνοποίηση, όπως και η σάρωση με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων. Οι δύο μεθοδολογίες έχουν παρεμφερή χαρακτηριστικά ενώ οι εμπορικές υλικοτεχνικές κατασκευές πολλές φορές ταυτίζονται μεταξύ τους. Εξαίρεση αποτελεί η αντικατάσταση της πηγής λέιζερ από μια συσκευή προβολής εικόνας¹³.

Για την τρισδιάστατη αποτύπωση πραγματοποιούνται προβολές από φωτεινά μοτίβα που περιέχουν πολλαπλές ρίγες, πλέγματα ή ακόμα και ελλείψεις. Σε κάποιες περιπτώσεις συναντούμε και χρωματικά κωδικοποιημένα μοτίβα. Η χρωματική κωδικοποίηση βοηθά τον σαρωτή να ξεχωρίσει ευκολότερα τις μεταβολές που δέχεται το μοτίβο, καθώς προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει με ποικίλες μεθόδους. Δημοφιλέστερες είναι η μεταβλητή φωτεινότητα χρωμάτων και η μεταβλητή πυκνότητα των σχημάτων που φέρει ένα μοτίβο. Ο κύριος στόχος της προβολής των

¹³ Σε πολλά εμπορικά συστήματα συναντούμε απλοποιημένες εκδόσεις συμβατικών συστημάτων προβολής εικόνας (home video projectors). Οι πιο συνηθισμένες συσκευές προβολής σήμερα είναι οι βίντεο προβολείς LCD, ενώ παλαιότερα οι κλασικοί προβολείς διαφανειών.

κωδικοποιημένων μοτίβων είναι ο εύκολος διαχωρισμός του εικονοστοιχείων. Από τη στιγμή λοιπόν που το μοτίβο είναι κωδικοποιημένο, οι αντιστοιχίες ανάμεσα στις θέσεις των εικονοστοιχείων που αποτυπώνει ο σαρωτής και των αρχικών σημείων του μοτίβου μπορούν να συγκριθούν. Με την σύγκριση υπολογίζονται όλες οι αποκλίσεις στα αντίστοιχα σημεία και μπορεί, με τον έμμεσο αυτό τρόπο, να ανακτηθεί η τρίτη διάσταση.



Εικόνα 41. Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου

4.2 Διάκριση των τεχνικών κωδικοποίησης δομημένου φωτός

Όπως ήδη αναφέρθηκε ένα σύστημα προβολής κωδικοποιημένων μοτίβων χρησιμοποιεί ειδικά σχεδιασμένα μοτίβα. Η κωδικοποίηση γίνεται με την απόδοση λέξεων κλειδιών (codewords) σε σύνολα εικονοστοιχείων. Ως εκ τούτου, τα εικονοστοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα μοτίβο οργανώνονται σαν ένας δισδιάστατος πίνακας, όπου το κάθε κελί περιέχει μία λέξη κλειδί. Οι λέξεις



κλειδιά είναι απλοί αριθμοί, οι οποίοι χαρτογραφούνται στο μοτίβο με τη χρήση γκριζών χρωματικών τόνων ή γεωμετρικών αναπαραστάσεων.

Το πλήθος των σημείων που πρέπει να κωδικοποιηθούν είναι ανάλογο με το πλήθος των λέξεων κλειδιών που απαιτούνται. Όσο το πλήθος των σημείων αυξάνεται τόσο αυξάνεται και η δυσκολία χαρτογράφησης τους πάνω στο μοτίβο.


Η κωδικοποίηση μπορεί να πραγματοποιείται άλλοτε σε έναν από τους δύο καρτεσιανούς άξονες του μοτίβου x ή y και άλλοτε και στους δύο. Η χρήση μεθοδολογιών κωδικοποίησης επιτρέπει κάποιες φορές την τρισδιάστατη σάρωση ακόμη και αντικειμένων που κινούνται με μικρές ταχύτητες. Η δυνατότητα αυτή, όμως, δεν εμπίπτει στην άμεση θεματολογία της συγκεκριμένης Μελέτης αφού όλα τα πολιτιστικά αντικείμενα είναι ακίνητα.

Ο Πίνακας I [23] συγκεντρώνει τις διάφορες τεχνικές προβολής μοτίβου δομημένου φωτός, ταξινομημένες ανάλογα με τους τρόπους κωδικοποίησης που ακολουθούνται. Οι τεχνικές αυτές είναι, ονομαστικά, οι εξής:

- Πολύπλεξη χρόνου
- Κωδικοποίηση γειτονικών στοιχείων
- Άμεση κωδικοποίηση

Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των τεχνικών αυτών.

Πίνακας Ι. Τεχνικές προβολής κωδικοποιημένου μοτίβου

1η Μέθοδος - Πολύπλεξη Χρόνου								
Τύπος Κωδικοποίησης	Ερευνητές	Σκηνή		Χρωματικό Βάθος			Κωδικοποίηση	
		Στατική	Κίνηση	Διαδικό	Γκρι	Χρώμα	Περιοδική	Απόλυτη
Διαδικοί κωδικοί 	Posdamer et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Inokuchi et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Minou et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Trobina	√	-	√	-	-	-	√
	Valkenburg and McIvor	√	-	√	-	-	-	√
	Skocaj & Leonaridis	√	-	√	-	-	-	√
	Rocchini et al.	√	-	-	-	√	-	√
Κωδικοί n-ψηφίων	Caspi et al.	√	-	-	-	√	-	√
	Horn and Kiryati	√	-	-	√	-	-	√
Κωδικοί διαβαθμίσεων του γκρι + διαφορά φάσης	Bergmann	√	-	-	√	-	-	√
	Sansoni et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Wiora	√	-	-	√	-	-	√
Υβριδικές μέθοδοι	Guhring	√	-	√	-	-	-	√
	Kosuke Sato	√	-	√	√	-	-	√
	Hall-Holt and Rusinkiewicz	-	√	√	-	-	-	√
2η Μέθοδος - Κωδικοποίηση Γειτονικών Στοιχείων								
Τύπος Κωδικοποίησης	Ερευνητές	Σκηνή		Χρωματικό Βάθος			Κωδικοποίηση	
		Στατική	Κίνηση	Διαδικό	Γκρι	Χρώμα	Στατική	Κίνηση
Μη-τυπική κωδικοποίηση	Posdamer et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Inokuchi et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Minou et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Trobina	√	-	√	-	-	-	√
	Valkenburg and McIvor	√	-	√	-	-	-	√
	Skocaj & Leonaridis	√	-	√	-	-	-	√
	Rocchini et al.	√	-	-	-	√	-	√
Ακολουθίες De Bruijn	Hugli and Maitre	-	√	-	-	√	-	√
	Monks et al.	-	√	-	-	√	-	√
	Vuylsteke & Oesterlinck	-	√	√	-	-	-	√
	Salvi et al.	-	√	-	-	√	-	√
	Lavoite et al.	-	√	-	-	√	-	√
	Zhang et al.	√	√	-	-	√	-	√
Πίνακες	Morita et al.	√	-	√	-	-	-	√
	Petriu et al.	-	√	√	-	-	-	√
	Kiyasu et al.	-	√	√	-	-	-	√
	Spoelder et al.	-	√	√	-	-	-	√
	Griffin & Yee	-	√	√	-	√	-	√
	Davies & Nixon	-	√	-	-	√	-	√
	Morano et al.	√	√	√	-	√	-	√
3η Μέθοδος - Άμεση Κωδικοποίηση								
Τύπος Κωδικοποίησης	Ερευνητές	Σκηνή		Χρωματικό Βάθος			Κωδικοποίηση	
		Στατική	Κίνηση	Διαδικό	Γκρι	Χρώμα	Στατική	Κίνηση
Επίπεδα του γκρι	Carrihil & Hummel	√	-	-	√	-	-	√
	Chazan & Kiryati	√	-	-	√	-	-	√
	Hung	-	√	-	√	-	√	-
Χρώματα	Tajima & Iwakawa	√	-	-	-	√	-	√
	Smutny & Pajdla	√	-	-	-	√	-	√
	Geng	-	√	-	-	√	-	√
	Wust & Capson	-	√	-	-	√	√	-
	Tatsuo Sato	√	-	-	-	√	√	-

4.2.1 Πολύπλεξη χρόνου

Αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές και βασίζεται στην *προσωρινή κωδικοποίηση*. Με τον όρο προσωρινή κωδικοποίηση εννοούμε τη χρήση ενός συνόλου διαφορετικών μοτίβων. Η μεθοδολογία αυτή αποφέρει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας λόγω δύο σημαντικών χαρακτηριστικών της:

- τα πολλαπλά μοτίβα που προβάλλονται επιτρέπουν τη χρήση απλών λέξεων κλειδιών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη αποκωδικοποίησή τους
- εφαρμόζεται μέθοδος *κλιμάκωσης ποιότητας*¹⁴, ώστε η θέση του κάθε εικονοστοιχείου να κωδικοποιείται με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια όσο προβάλλονται διαδοχικά τα μοτίβα

Οι Salvi, Pages και Battle [23] έχουν οργανώσει τις μεθόδους πολύπλεξης χρόνου σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το είδος των λέξεων-κλειδιών που χρησιμοποιούνται, ενώ συγκεντρωτικά μπορούμε να διακρίνουμε συνολικά τέσσερις κατηγορίες:

- Δυαδικοί κώδικες
- Κώδικες n -ψηφίων
- Διαβαθμίσεις του γκρι σε συνδυασμό με διαφορά φάσης
- Υβριδικές μέθοδοι

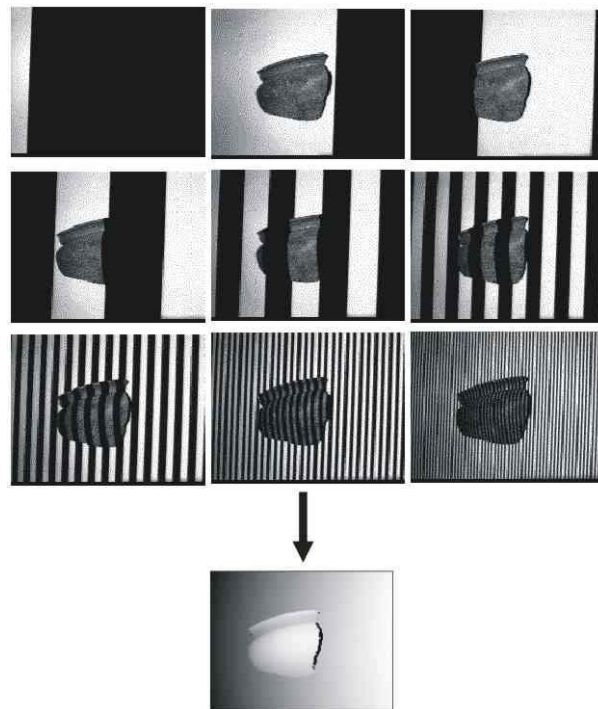
4.2.1.1 Δυαδικοί κώδικες

Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιούνται δύο μόνο επίπεδα φωτισμού, τα οποία κωδικοποιούνται συνήθως ως 0 και 1. Κάθε εικονοστοιχείο του μοτίβου έχει τη δική του λέξη κλειδί, που διαμορφώνεται από μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων (0 και 1). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνικής αυτής είναι ότι το μοτίβο κωδικοποιείται μόνο σε έναν άξονα κάθε φορά.

¹⁴ Ο τρόπος κωδικοποίησης των μοτίβων επιτρέπει τη βελτίωση της τρισδιάστατης γεωμετρίας κάθε φορά που το σύστημα επεξεργάζεται το επόμενο μοτίβο. Το πλήθος των μοτίβων ορίζει τα βήματα της προοδευτικής γεωμετρικής βελτίωσης. Η τεχνική αυτή θυμίζει τα επίπεδα ποιότητας που φέρει μια εικόνα προοδευτικής κωδικοποίησης.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη συγκεκριμένη κωδικοποίηση. Το 1982 οι Posdamer και Altschuler [24] ήταν οι πρώτοι που πρότειναν την προβολή μιας ακολουθίας m μοτίβων για να κωδικοποιηθούν 2^m κάθετες ρίγες, χρησιμοποιώντας δυαδικές λέξεις κλειδιά. Ως εκ τούτου, η λέξη κλειδί που σχετίζεται με κάθε εικονοστοιχείο είναι μια δυαδική ακολουθία που παράχθηκε από m μοτίβα. Ο μέγιστος αριθμός των μοτίβων προβολής καθορίζεται από την ανάλυση των εικονοστοιχείων της συσκευής προβολής. Φυσικά σε κανένα σύστημα δεν προτείνεται πολύ μεγάλος αριθμός μοτίβων, καθώς τα οπτικά συστήματα των σαρωτών πολλές φορές αδυνατούν να ανιχνεύσουν πολύ στενές ρίγες. Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί πως τα εικονοστοιχεία που ανήκουν στην ίδια ρίγα της υψηλότερης συχνότητας μοτίβων μοιράζονται την ίδια λέξη κλειδί. Για το λόγο αυτό η τριγωνοποίηση στα περισσότερα συστήματα λαμβάνει υπόψη είτε από το κέντρο της κάθε ρίγας είτε τη μία άκρη της. Η δεύτερη μέθοδος έχει δειχθεί ότι αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα. [23].

Στην Εικόνα 41 δίνεται ένα παράδειγμα ανακατασκευής τμήματος αντικείμενου με τη μέθοδο αυτή [<http://www.prip.tuwien.ac.at,2000>].



Εικόνα 42. Ανακατασκευή τμήματος αρχαίου αγγείου με δυαδική κωδικοποίηση

Οι Inokuchi et al. [25] βελτίωσαν την κωδικοποίηση των Posdamer και Altschuler εισάγοντας κωδικοποίηση σε αποχρώσεις του γκρι. Το πλεονέκτημα της μεθόδου έγκειται στον έλεγχο των λέξεων κλειδιών με τη μέθοδο της απόστασης *Hamming*¹⁵. Η κωδικοποίηση γίνεται πιο ανθεκτική στο θόρυβο.

Ο Trobina [26] έδειξε πως το κρίσιμο σημείο σε τέτοια συστήματα ψηφιοποίησης είναι ο ακριβής εντοπισμός της κάθε ρίγας πάνω στην εικόνα. Πρότεινε μια τεχνική όπου με συγκεκριμένη μέθοδος μετατροπής σε ασπρόμαυρες φωτογραφίες (binarization) καταφέρνει να αναγνωρίζει τις ρίγες σε επίπεδο εικονοστοιχείου.

Τα τελευταία χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί σε τρόπους βελτίωσης της αναγνώρισης των ορίων των ριγών. Το 2001 ο Rocchini [27] πρότεινε την χρωματική αλλαγή των ριγών από άσπρο και μαύρο σε μπλε και κόκκινο για να καταφέρει την ευκολότερη αναγνώριση των ορίων των ριγών. Επιπρόσθετα εισήγαγε μια σχισμή πράσινου χρώματος μήκους ενός εικονοστοιχείου ανάμεσα σε κάθε ρίγα. Με τη μέθοδο αυτή οι μεταβάσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ρίγες γίνονται με την αναγνώριση της πράσινη σχισμής με ακρίβεια ενός εικονοστοιχείου.

4.2.1.2 Κώδικες *n*-ψηφίων

Η τεχνική αυτή έρχεται να καλύψει το πρόβλημα χρήσης πολλών μοτίβων που εμφανίζει η δυαδική κωδικοποίηση.

Ο Caspi [28] παρουσίασε έναν κώδικα πολλών χρωματικών επιπέδων, ο οποίος βασίζεται σε αλφάβητο που αποτελείται από *n* σύμβολα, όπου το κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε μία χρωματική τιμή. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται δραματική μείωση του πλήθους των απαιτούμενων μοτίβων. Έχει, επίσης,δειχθεί ότι η κωδικοποίηση *n*-ψηφίων επιτυγχάνει ακρίβεια μέτρησης και αντοχή στο θόρυβο παρόμοια με αυτή της δυαδικής κωδικοποίησης χρησιμοποιώντας πολύ λιγότερα μοτίβα [28].

¹⁵ Το πλήθος των ψηφίων (bit), στα οποία διαφέρουν δυο λέξεις κλειδιά A και B ονομάζεται απόσταση Hamming. Για παράδειγμα οι λέξεις κλειδιά 10001001 και 10110001 έχουν απόσταση Hamming 3.

4.2.1.3 Διαβαθμίσεις του γκρι σε συνδυασμό με διαφορά φάσης

Η ενσωμάτωση των τεχνικών διαβαθμίσεων του γκρι και διαφοράς φάσης καταλήγουν σε μια τεχνική με τα πλεονεκτήματα και των δύο, οδηγώντας σε σαφή και ορθή κωδικοποίηση του μοτίβου διασφαλίζοντας ταυτόχρονα και υψηλή ανάλυση. Ο Guhring [29] ανέπτυξε ένα σύστημα βασισμένο σε LCD και DMD προβολείς εικόνας. Τα αποτελέσματα του συστήματος άγγιζαν ένα μέσο όρο σφάλματος κοντά στα $30\mu m$ με μέγιστη απόκλιση $0.281mm$.

4.2.1.4 Υβριδικές τεχνικές

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μέθοδοι που βασίζονται στην πολλαπλή προβολή μοτίβων, στην πολύπλεξη χρόνου αλλά ταυτόχρονα και στην πληροφορία που μπορούν να παρέχουν γειτονικά εικονοστοιχεία. Οι Hall-Holt και Rusinkiewicz [30] εφάρμοσαν το διαχωρισμό τεσσάρων μοτίβων σε συνολικά 111 κάθετες ασπρόμαυρες ρίγες. Το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι μπορεί να υποστηρίξει την τρισδιάστατη αποτύπωση τόσο αντικείμενων όσο και ολόκληρων χώρων που κινούνται ομαλά. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην έξυπνη κωδικοποίηση που εφαρμόζεται, καθώς και τη δυνατότητα αναγνώρισης των ριγών ανάμεσα στα διαφορετικά μοτίβα.

4.2.2 Κωδικοποίηση γειτονικών στοιχείων

Όλες σχεδόν οι τεχνικές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούν ένα μοτίβο. Η λέξη κλειδί ενός συγκεκριμένο σημείου στο μοτίβο δημιουργείται από τα γειτονικά του σημεία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δυσκολότερη αποκωδικοποίηση, αφού πολλές φορές δεν είναι εφικτό να αναγνωριστούν όλα τα σημεία, και εισάγονται, έτσι, γεωμετρικά σφάλματα.

Όπως και η προηγούμενη ενότητα τεχνικών κωδικοποίησης, αναγνωρίζουμε διάφορες τεχνικές:

- Μη-τυπική κωδικοποίηση
- Ακολουθίες De Bruijn
- Μαθηματικοί πίνακες

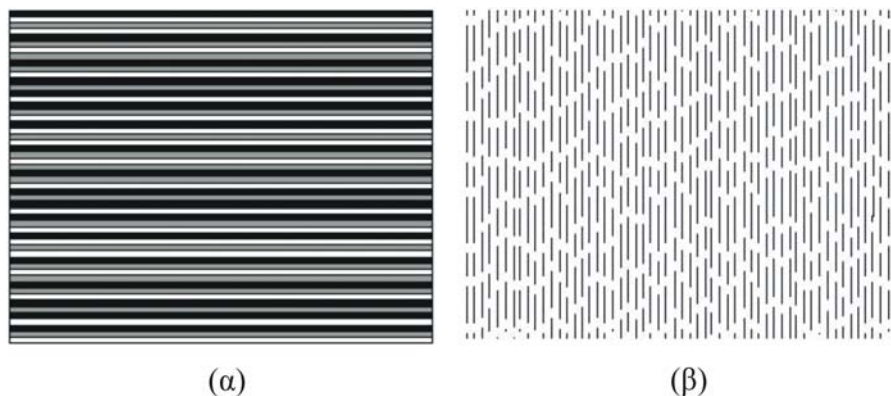


4.2.2.1 Μη τυπική κωδικοποίηση

Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει τη χρήση μοτίβων που είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαιρούνται σε ένα συγκεκριμένο πλήθος περιοχών.

Οι Maoyama και Abe [31] σχεδίασαν ένα μοτίβο με τυχαία καταναμημένα κενά (Εικόνα 42). Τα τυχαία αυτά κενά δημιουργούν ένα σύνολο από γραμμικά τμήματα, όπου η θέση του κάθε τμήματος υπολογίζεται από το μήκος του και από το μήκος των γειτονικών τμημάτων. *Η τεχνική αυτή έχει εφαρμογή σε αντικείμενα των οποίων η επιφάνεια παρουσιάζει ομαλές μεταβολές βάθους. Εξ αιτίας αυτού του χαρακτηριστικού αποκλείεται σχεδόν αμέσως από εφαρμογές ψηφιοποίησης πολιτιστικών αντικειμένων.*

Μια παραλλαγή του μοτίβου παρουσιάστηκε από την ερευνητική ομάδα του Durdle [32], κατά την οποία η κωδικοποίηση πραγματοποιείται σε ρίγες χρωματισμένες με τρία επίπεδα του γκρι (λευκό-Λ, γκρίζο-Γ και μαύρο-Μ). Το μοτίβο παρουσιάζει την εξής μορφολογία χρωμάτων για τη διαδοχή των ριγών: ΜΛ ΓΛ ΒΓΛ ΓΜΓΛ ΜΓΜΛ ΜΓΛ.



Εικόνα 43. Μοτίβα από μη-τυπική κωδικοποίηση: (α) Περιοδικό μοτίβο, (β) Τυχαία Διανεμημένα κοψίματα

4.2.2.2 Ακολουθίες De Bruijn

Για την κωδικοποίηση των μοτίβων χρησιμοποιούνται επίσης και οι ακολουθίες De Bruijn¹⁶. Πολλές είναι ερευνητικές εργασίες που πραγματεύονται το συγκεκριμένο τρόπο κωδικοποίησης. Οι πιο σημαντικές είναι των Salvi [33],

¹⁶ Μια ακολουθία τύπου De Bruijn της τάξεως των m λέξεων από ένα αλφάβητο n συμβόλων είναι ένα κυλιόμενο αλφαριθμητικό με μήκος n^m που περιέχει υπό-αλφαριθμητικά μήκους m για μια μόνο φορά.

Petriu [34] και Lavoie et al [35]. Πρόσφατα οι Zhang et al. [36] ανέπτυξαν άλλη μια τεχνική βασισμένη στην κωδικοποίηση De Bruijn, η οποία επιφέρει υψηλής ποιότητας αποτελέσματα.

4.2.2.3 Μαθηματικοί πίνακες

Εφαρμογή στη σάρωση με προβολή μοτίβων έχουν βρει και οι *μαθηματικοί πίνακες* αφού τα χαρακτηριστικά τους βοηθούν στη διαδικασία κωδικοποίησης. Η χρήση πινάκων για κωδικοποίηση των σημείων του μοτίβου προϋποθέτει την αμφίδρομη κωδικοποίηση και στους δύο άξονες (x,y) , αφού κάθε σημείο του μοτίβου φέρει διαφορετική λέξη κλειδί για τις κάθετες και οριζόντιες συντεταγμένες. Σημαντικές εργασίες στη συγκεκριμένη τεχνική είναι αυτές των Petriu et al. [38], Spoelder et al. [39] και Griffin et al. [40].

Η κωδικοποίηση με βάση τους μαθηματικούς πίνακες μπορεί να εφαρμοστεί σε αντικείμενα όπου άλλες τεχνικές όπως τα χρωματιστά μοτίβα δεν λειτουργούν ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χρωματική ποικιλομορφία που παρουσιάζει η επιφάνεια ενός αντικειμένου εμποδίζει την αναγνώριση των παραμορφώσεων που δέχεται το μοτίβο[41].

4.2.3 Άμεση κωδικοποίηση

Η αρχή αυτής της μεθοδολογίας σχετίζεται με τη δημιουργία ενός μοτίβου, όπου κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να περιγραφεί από τη χρωματική πληροφορία που αυτό φέρει. Η άμεση κωδικοποίηση εφαρμόζεται κυρίως σε μονόχρωμα αντικείμενα χωρίς έντονες επιφανειακές ανακλάσεις και προαπαιτεί μια διαδικασία *βαθμονόμησης* για την αναγνώριση όλου του χρωματικού φάσματος που παρουσιάζει το αντικείμενο. Γενικά, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την άμεση κωδικοποίηση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Κωδικοποίηση βασισμένη σε διαβαθμίσεις του γκρι
- Κωδικοποίηση βασισμένη σε χρώμα



4.2.3.1 Κωδικοποίηση βασισμένη σε διαβαθμίσεις του γκρι

Οι Carrihill και Hummel [42] ανέπτυξαν ένα σύστημα, το οποίο ονόμασαν *αισθητήρας βάθους βασιζόμενος στο λόγο έντασης* (intensity ratio depth sensor). Το μοτίβο αποτελείται από ένα σύνολο στηλών που περιέχουν χρωματικές διαβαθμίσεις του γκρι. Ο λόγος έντασης της απόχρωσης του γκρι υπολογίζεται σε όλα τα εικονοστοιχεία του μοτίβου. Τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι πολύ χαμηλής ποιότητας αφού η κλίμακα του σφάλματος αγγίζει το 1 εκατοστό. Η μέθοδος βελτιώθηκε από άλλους ερευνητές όπως οι Miyasaka et al [43], Chazan και Kiryati [44].

4.2.3.2 Κωδικοποίηση βασισμένη σε χρώμα

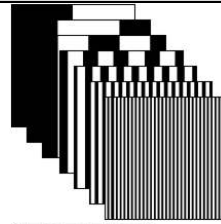
Η μέθοδος βασίζεται στην ίδια αρχή με την προηγούμενη, με μοναδική διαφορά στο ότι το πλήρες χρωματικό φάσμα έρχεται να αντικαταστήσει τις διαβαθμίσεις του γκρι. Οι Tajima και Iwakawa [45] χρησιμοποίησαν τα χρώματα του ουράνιου τόξου. Ο Sato, όμως, το 1999 [46] υποστήριξε ότι χρειάζεται ένα σύνθετο οπτικό σύστημα (κάμερα με οπτικά φίλτρα) για να συλλάβει ένα τέτοιο χρωματικό φάσμα.

4.3 Προβληματισμοί Ακρίβειας Αποτελεσμάτων

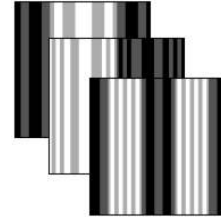
Οι Salvi, Pages και Battle [49] σε μια εκτενή μελέτη πάνω στις μεθόδους κωδικοποίησης μοτίβων επιχείρησαν να συγκρίνουν τις επτά πιο αντιπροσωπευτικές τεχνικές και να τις δοκιμάσουν κάτω από τις ίδιες συνθήκες με σκοπό να αποτιμήσουν τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους. Ο Πίνακας II συγκεντρώνει τις τεχνικές που δοκιμάστηκαν.

Πίνακας II. Ενδεικτικές τεχνικές κωδικοποίησης μοτίβων φωτός**Τεχνικές Πολύπλεξης Χρόνου**

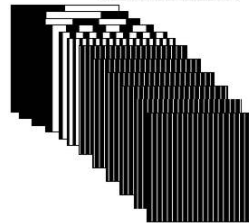
Posdamer: Μοτίβο από ρίγες κωδικοποιημένες με διαβάθμιση του γκρι 7 bits (128 ρίγες κωδικοποιούνται)



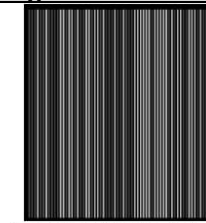
Guhring: Τεχνική μετατόπισης γραμμών με 6 κωδικοποιημένα μοτίβα σε διαβαθμίσεις του γκρι καθώς και μοτίβο 21 σχισμών με μετατόπιση



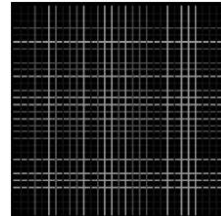
Horn: Τρία μοτίβα κωδικοποιούν 64 ρίγες με χρήση 4 διαβαθμίσεων του γκρι

**Κωδικοποίηση Γειτονικών Στοιχείων**

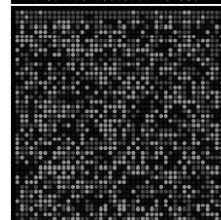
De Bruijn: Μοτίβο με 64 κάθετες σχισμές κωδικοποιημένο με ακολουθία De Bruijn τρίτης τάξης και τεσσάρων χρωμάτων



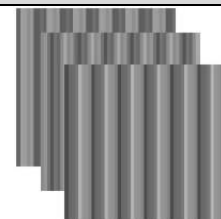
Salvi: Μοτίβο με μορφή πλέγματος 29 x 29 κωδικοποιημένο με ακολουθία De Bruijn τρίτης τάξης και τριών χρωμάτων



Morano: Μοτίβο που αποτελείται από χρωματιστές κουκίδες κωδικοποιημένο με M-πίνακες 45 x 45 στοιχείων και τριών χρωμάτων

**Άμεση Κωδικοποίηση**

Sato: Τρία περιοδικά μοτίβα που πρότεινε ο ίδιος ο ερευνητής



4.3.1 Αντικειμενική σύγκριση τεχνικών

Στο πείραμα [49] τοποθετήθηκε μια λευκή επίπεδη επιφάνεια σε απόσταση 120 cm από τον εργαστηριακό σαρωτή και αποτυπώθηκαν αντικείμενα με τις παραπάνω τεχνικές (Πίνακας II). Το ίδιο πείραμα εφαρμόστηκε με τη μεταφορά της επίπεδης επιφάνειας περί τα 40 mm εγγύτερα στο σαρωτή. Στην συνέχεια υπολογίσθηκε η σταθερή απόκλιση απόστασης ανάμεσα στα δύο επίπεδα για κάθε μία από τις τεχνικές. Ο Πίνακας III συνοψίζει τα αποτελέσματα των συγκρίσεων. Περιλαμβάνεται η σταθερή απόκλιση σε μm , η μέση απόκλιση ανάμεσα στα δύο παράλληλα επίπεδα, ο μέσος όρος τρισδιάστατων σημείων που ανακατασκευάστηκαν (νέφος σημείων), το ποσοστό των εικονοστοιχείων που αποκωδικοποιήθηκαν (και αντιστοιχούσαν σε μια περιοχή 515×226 εικονοστοιχείων) και τέλος, το συνολικό πλήθος μοτίβων που προβλήθηκαν για κάθε τεχνική.

Πίνακας III. Αντικειμενικά συγκριτικά αποτελέσματα διαφορετικών μεθοδολογιών κωδικοποίησης μοτίβου δομημένου φωτός

Τεχνική	Σταθερή Απόκλιση	Νέφος Σημείων	Ανάλυση(%)	Αριθμός Μοτίβων
Posdamer [24]	37.6	25213	21.67	9
Horn [48]	9.6	12988	11.17	5
Guhring [29]	4.9	27214	23.38	14
De Bruijn [49]	13.1	13899	11.94	1
Salvi [33]	72.3	372	0.32	1
Morano [41]	23.6	926	0.8	1
Sato [46]	11.9	10204	8.77	3

4.3.2 Υποκειμενική Σύγκριση αποτελεσμάτων

Για την ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των τεχνικών χρησιμοποιήθηκαν δύο αντικείμενα που ανακατασκευάστηκαν με τις επτά μεθόδους. Το πρώτο αντικείμενο είναι η προτομή ενός λευκού αλόγου διαστάσεων $21 \times 15 \times 10$ cm, ενώ το δεύτερο είναι ένα ανθρώπινο χέρι (αντικείμενο με γεωμετρική πολυπλοκότητα και ασυνέχειες στις περιοχές των δακτύλων). Οι τρισδιάστατες ανακατασκευές των δύο αντικειμένων παρουσιάζονται στην Εικόνα 43, όπου από πάνω προς τα κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα των μεθόδων Posdamer,

Guhring, Horn, De Bruijn, Salvi, Morano και Sato. Αριστερά βρίσκονται τα νέφη σημείων του αλόγου, στο κέντρο η φωτορεαλιστική απόδοση ενός τμήματος του αλόγου και δεξιά τα νέφη σημείων του χεριού.



Εικόνα 44. Αποτελέσματα ανακατασκευής με διάφορες τεχνικές κωδικοποίησης μοτίβου δομημένου φωτός



Οι πειραματικές συγκρίσεις που επιχείρησαν οι *Salvi et al* [49] καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι σαρωτές που βασίζονται στην πολύπλεξη χρόνου αποφέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα είναι εύκολη η υλοποίησή τους τόσο από πλευράς λογισμικού όσο και τεχνικού εξοπλισμού. Τα συστήματα που βασίζονται σε μοτίβα διαβαθμίσεων του γκρι αποφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά η μέγιστη ανάλυση που μπορεί να προσφέρει το σύστημα προβολής του μοτίβου δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί στην πράξη.

Η ποιότητα των αποτελεσμάτων των σαρωτών βασίζονται στη μέγιστη δυνατή ανάλυση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και του προβολικού συστήματος που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, στο σύστημα που ανέπτυξαν οι *Rocchini et al* [50] γίνεται χρήση φωτογραφικής μηχανής με CCD ανάλυσης 1440 εικονοστοιχείων στον οριζόντιο και 960 στον κάθετο άξονα. Το μοτίβο βασίζεται σε ρίγες και μπορεί να προβάλλει έως και 512 ρίγες. Έτσι, στην καλύτερη περίπτωση το πλήθος των τρισδιάστατων δειγμάτων μπορεί να είναι έως και 960 x 512.

Ο ρυθμός ψηφιοποίησης εξαρτάται από την ταχύτητα της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων προς το υπολογιστικό σύστημα που θα πραγματοποιήσει την επεξεργασία των δεδομένων. Ο μέγιστος όγκος που μπορεί να ψηφιοποιηθεί χωρίς να μετακινηθεί το σύστημα ή το αντικείμενο εξαρτάται από την ικανότητα εστίασης του προβολικού συστήματος. Ένας από τους βασικότερους περιορισμούς αυτών των συστημάτων είναι το μικρό βάθος πεδίου του προβολικού που περιορίζει το εύρος δυνατοτήτων αποτύπωσης, αφού επιτρέπει ουσιαστικά μία μόνο σάρωση.

Στις μεθόδους *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* η πλήρης ψηφιοποίηση αντικειμένων γίνεται συνήθως με την εφαρμογή των τεχνικών *ενοποίησης τμηματικών σαρώσεων*¹⁷ [50] και *χρωματικής ανάμιξης πληροφορίας υψής* [22].

Η πληροφορία υψής δημιουργείται από ένα σύνολο φωτογραφιών που αποκτώνται από την ίδια οπτική γωνία από όπου γίνονται και οι προβολές των μοτίβων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη χρήσης του ίδιου συστήματος για την καταγραφή γεωμετρίας και πληροφορίας υψής.

¹⁷ Το συνολικό τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργείται από ένα σύνολο μερικών σαρώσεων.

Συνοψίζοντας, η ακρίβεια των συστημάτων *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- *οπτική ποιότητα του προβολικού συστήματος, που βασίζεται κυρίως στο φακό που χρησιμοποιείται*
- *ποιότητα της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής (ανάλυση εικόνας και πιστότητας απόδοσης χρωμάτων)*
- *γωνία τοποθέτησης του προβολικού σύστημα έναντι του αντικειμένου και οι σκιές που δημιουργούνται βάση αυτής της γωνίας πάνω στα αντικείμενα*
- *χαρακτηριστικά της επιφάνειας των αντικειμένων*
- *τα προβολικά συστήματα δεν μπορούν να εστιάσουν σε μικρές αποστάσεις (π.χ. μικρότερες από 50 cm) και αυτό μειώνει την πυκνότητα δειγματοληψίας της επιφάνειας των αντικειμένων. Η χρήση διαφορετικών φακών μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να διορθώσει αυτό το πρόβλημα [50].*

5

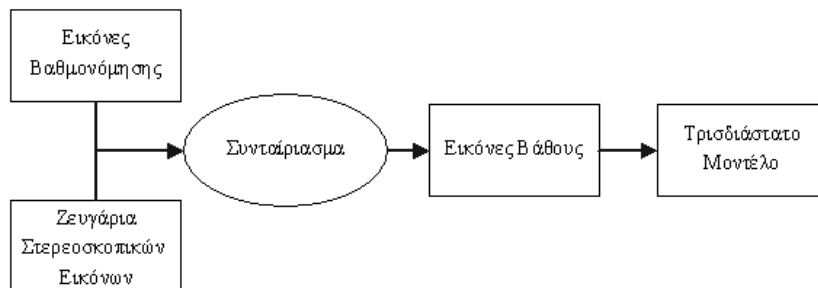
Σχήμα από Στερεοσκοπική Φωτογράφιση (Στερεοφωτογράφιση)

5.1 Εισαγωγή

Η ιδέα απόκτησης τρισδιάστατων μοντέλων από φωτογραφίες υπάρχει εδώ και πολλές δεκαετίες. Βασικός στόχος της μεθόδου είναι η εξαγωγή όσο το δυνατό περισσότερης γεωμετρικής πληροφορίας από ένα ζεύγος φωτογραφιών με γνωστή τοποθέτηση στο χώρο. Η εξαγόμενη πληροφορία θα χρησιμοποιηθεί για την τρισδιάστατη ανακατασκευή του περιεχομένου των εικόνων.

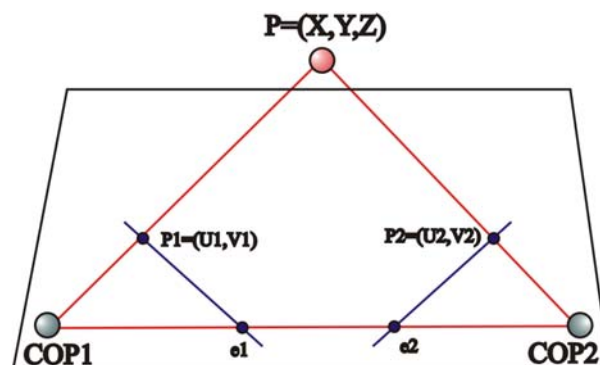
Η στερεοσκοπική φωτογράφιση έχει μεγάλη εφαρμογή στο χώρο της όρασης υπολογιστών. Αποτελεί μια υλικοτεχνική προσπάθεια εξομίωσης του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου συστήματος όρασης. Πράγματι, η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται σε ζεύγος φωτογραφιών που παρουσιάζουν ένα αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες, προσεγγίζοντας τις εικόνες που λαμβάνονται από τα ανθρώπινα μάτια. Συγκεκριμένα τμήματα του αντικειμένου είναι εμφανή και στις δύο φωτογραφίες. Οι εσωτερικές και εξωτερικές παράμετροι των οπτικών συστημάτων χρησιμοποιούνται για την διαδικασία βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση επιτρέπει την ανάκτηση της τρίτης διάστασης ενός σημείου που είναι κοινό ανάμεσα στις δύο φωτογραφίες. Η αναγνώριση των

κοινών σημείων πάνω στις εικόνες πραγματοποιείται με μεθόδους αυτόματες ή χειροκίνητες. Η ανάκτηση του βάθους γίνεται με μαθηματικούς αλγορίθμους που χρησιμοποιούν παραμέτρους από τη βαθμονόμηση και τη διαφορά θέσης των κοινών σημείων ανάμεσα στις δύο εικόνες. Μια απλοποιημένη μορφή της διαδικασίας, σε μορφή διαγράμματος ροής, που ακολουθείται για την ανακατασκευή γεωμετρίας από στερεοφωτογράφιση φαίνεται στην Εικόνα 44.



Εικόνα 45. Διάγραμμα ροής ανάκτησης βάθους από στερεοφωτογράφιση

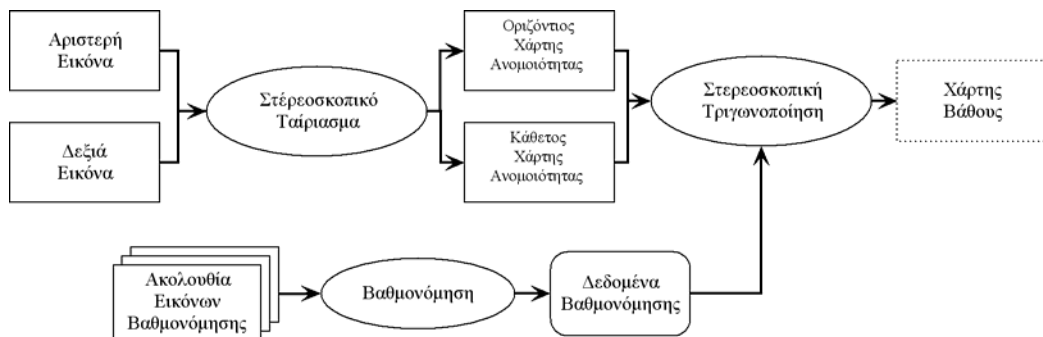
Οι μαθηματικές αρχές που διέπουν τη διαδικασία προέρχονται από το χώρο της προβολικής γεωμετρίας. Η λύση του προβλήματος απεικονίζεται απλοποιημένα στην Εικόνα 45. Τα τρία σημεία $COP1$, $COP2$ και P σχηματίζουν ένα επιπολικό πεδίο. Τα κέντρα προβολής των σημείων ($COP1$ και $COP2$) συνδέονται από μία νοητή γραμμή που τέμνει τα επίπεδα πάνω στα οποία βρίσκονται οι φωτογραφίες. Τα συζυγή σημεία τομής είναι τα $e1$ και $e2$, τα οποία ονομάζονται *επιπολικά*. Το σημείο P υπολογίζεται από την εύρεση του σημείου όπου τέμνονται, στον τρισδιάστατο χώρο, οι προβολές των $P1$ και $P2$.



Εικόνα 46. Επιπολικό επίπεδο και στερεοσκοπικό συνταίριασμα



Το πιο δύσκολο πρόβλημα της στερεοσκοπικής ανάλυσης είναι η εξακρίβωση των εικονοστοιχείων ανάμεσα στις δύο εικόνες που αντιστοιχούν στο ίδιο σημείο στο χώρο. Αυτό το πρόβλημα είναι γνωστό και ως *πρόβλημα αντιστοιχίας*. Διάφοροι αλγόριθμοι αναλαμβάνουν να αντιστοιχήσουν την πληροφορία που προσφέρουν οι εικόνες, ώστε να κατασκευάσουν τους *χάρτες ανομοιότητας*, από όπου θα υπολογισθεί, με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης, η γεωμετρία της επιφάνειας του αντικειμένου. Στην Εικόνα 46 δείχνονται τα κύρια βήματα μιας γενικευμένης διαδικασίας αντιστοίχισης.

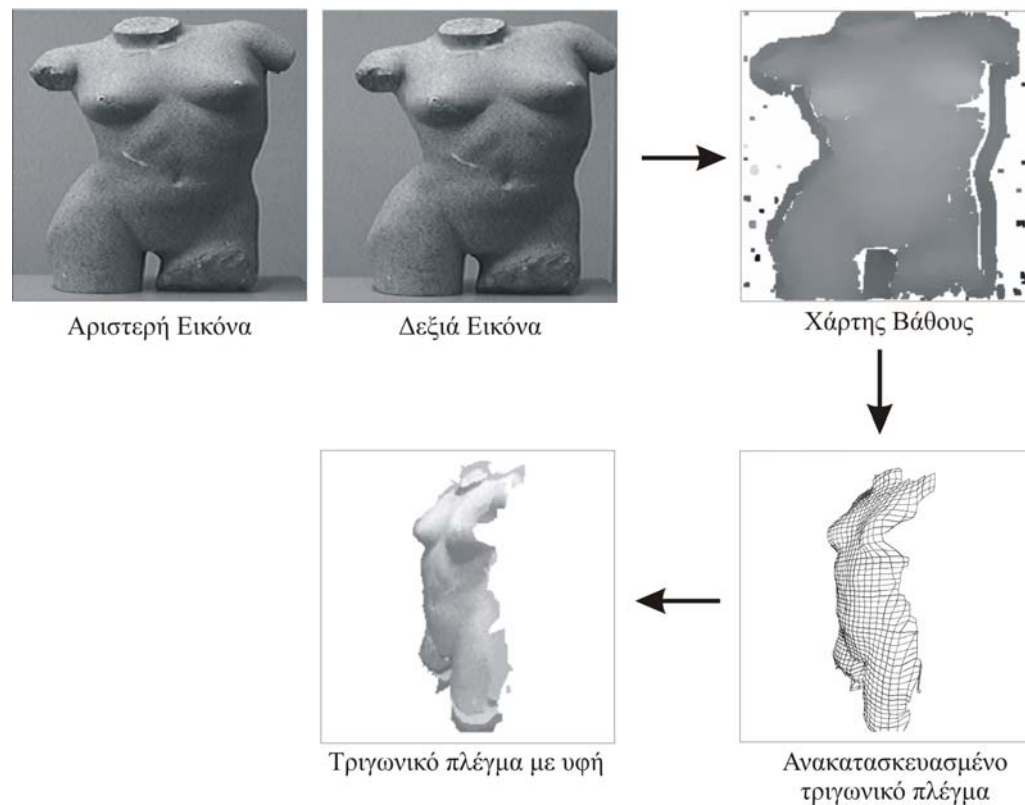


Εικόνα 47. Γενική περιγραφή διαδικασίας δημιουργίας χάρτη βάθους

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης βάθους (depth map). Κάθε εικονοστοιχείο του χάρτη περιγράφει την απόσταση (σε κάποια μετρική μονάδα) από την επιφάνεια του αντικειμένου έως το κέντρο του φακού της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής. Στην Εικόνα 47 εξηγούνται τα βήματα ανακατασκευής ενός αγάλματος. Η αριστερή και η δεξιά εικόνα χρησιμοποιούνται ως πηγές πληροφορίας για τη δημιουργία του χάρτη βάθους, από όπου θα προκύψει το πολυγωνικό πλέγμα πάνω στο οποίο θα προβληθεί η πληροφορία υφής.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο χώρο είναι μεγάλο και αυτό φαίνεται από το πλήθος των αλγορίθμων που επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη διαδικασία αναγνώρισης κοινών σημείων ανάμεσα σε δύο φωτογραφίες. Ένας από τους πιο διαδεδομένους αλγορίθμους χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά που αναγνωρίζει πάνω στο ζεύγος φωτογραφιών (feature-based stereo matching). Ο αλγόριθμος αναλαμβάνει να ανακαλύψει όλα εκείνα τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που εμφανίζονται και στις εικόνες και μπορεί να είναι γωνίες, πλευρές, ευθείες ή ακόμα και καμπύλες. Η επιπολική γεωμε-

τρία εφαρμόζεται για την εύρεση των καλύτερων αντιστοιχιών ανάμεσα σε αυτά σημεία. Η τεχνική αυτή είναι εύρωστη στην εκτίμηση του βάθους αλλά η ανάκτηση του βάθους πραγματοποιείται μόνο για τα σημεία της εικόνας που έχουν αναγνωρισθεί ως κοινά.



Εικόνα 48. Αποτύπωση τρισδιάστατου αντικειμένου από στερεοφωτογράφιση

Από την άλλη, υπάρχουν αλγόριθμοι που βασίζονται στην ιδέα του διαχωρισμού της εικόνας σε τμήματα. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει στον αλγόριθμο να ελέγξει μικρές γειτονιές εικονοστοιχείων για να εντοπίσει τις αντιστοιχίες ανάμεσα στις δύο φωτογραφίες. Η βέλτιστη αντιστοιχία των τμημάτων βασίζεται στην επιπολική γεωμετρία και σε μεγέθη όπως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το σφάλμα απόλυτης διαφοράς. Οι αλγόριθμοι τμηματικού διαχωρισμού αποφέρουν πολύ πυκνό χάρτη βάθους. Το μέγεθος των τμημάτων που χωρίζεται η εικόνα αποτελεί κριτήριο στην ποιότητα της ανακατασκευής και στο χρόνο επεξεργασίας που απαιτείται.



5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής

Δύο είναι τα *πλεονεκτήματα* της τεχνικής *Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση*:

- ανήκει στην κατηγορία των παθητικών τεχνικών τρισδιάστατης αποτύπωσης και,
- βασίζεται σε φτηνό εξοπλισμό που μπορεί να περιορισθεί σε δύο μόνο ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

Από την άλλη, σημαντικά *μειονεκτήματα* της τεχνικής είναι:

- το βάθος υπολογίζεται μόνο σε σημεία που περιέχουν αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά και,
- οι χάρτες βάθους περιέχουν συχνά θόρυβο αφού η ποικιλία της πληροφορίας των φωτογραφιών κάνει την διαδικασία αντιστοίχισης πολύ δύσκολη

Τα αποτελέσματα της μεθόδου γύρω από πιθανές σιλουέτες που εμφανίζουν τα αντικείμενα δεν είναι ενθαρρυντικά. Εκτός από αυτό αντιμετωπίζει και προβλήματα σε επιφάνειες όπου η διάχυση του φωτός δεν είναι ομαλή. Η πληροφορία βάθους που εξάγεται από τα ζεύγη φωτογραφιών χαρακτηρίζεται $2\frac{1}{2}D$ (διάστασης 2,5) αντί για 3D και αυτό γιατί το αντικείμενο χαρτογραφείται τρισδιάστατα σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς που είναι σχεδόν κάθετο στους δύο οπτικούς άξονες των εικόνων. Για μια πλήρως τρισδιάστατη απεικόνιση ενός αντικειμένου απαιτούνται πολλά ζεύγη φωτογραφιών [90]. Οι Bertozzi et al. [82] πρότειναν έναν αλγόριθμο για την ανάλυση των επιδόσεων των συστημάτων που βασίζονται στη στερεοφωτογράφιση.

Οι Scharstein και Szeliski [56] σε μια πρόσφατη μελέτη τους κατάφεραν να οργανώσουν σε ένα συγκριτικό πίνακα τους διάφορους αλγορίθμους στερεοφωτογράφισης. Ο Πίνακας IV συνοψίζει τα συμπεράσματά τους και χρησιμοποιεί αριθμούς που αντιπροσωπεύουν το ποσοστό εικονοστοιχείων *κακής ποιότητας*. Ως *κακής ποιότητας* χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα εικονοστοιχεία όπου η απόλυτη τιμή σφάλματος ανομοιότητας ανάμεσα στα ζεύγη των φωτογραφιών είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα. Για κάθε ζεύγος εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Επεξεργασία με όλα τα εικονοστοιχεία των φωτογραφιών

2. Όλα τα εικονοστοιχεία σε περιοχές χωρίς πληροφορία υψής (εκτός από το τέταρτο ζεύγος εικόνων που σχεδόν όλες οι περιοχές τους έχουν πληροφορία υψής)
3. Εικονοστοιχεία κοντά σε σημεία ασυνέχειας βάθους

Τα στατιστικά έχουν υπολογιστεί αγνοώντας ένα περιθώριο 10 εικονοστοιχείων (18 για το πρώτο ζεύγος εικόνων) από όλες τις εικόνες. Η βαθμολογία του κάθε αλγορίθμου παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα ακριβώς δίπλα από το ποσοστό εσφαλμένων εικονοστοιχείων. Με έντονα γράμματα έχουν αποτυπωθεί οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Τέλος, για κάθε μέθοδο περιλαμβάνεται και η αντίστοιχη αναφορά από τη βιβλιογραφία [56].

Πίνακας IV. Συγκριτικός πίνακας μεθόδων Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση

Αλγόριθμος	Πρώτο ζεύγος εικόνων			Δεύτερο ζεύγος εικόνων		
	Όλα	Χωρίς Υφή	Ασυνέχεια	Όλα	Χωρίς Υφή	Ασυνέχεια
Segm.-based GC [23]	1.23 3	0.29 2	6.94 4	0.30 3	0.00 1	3.24 3
Segm.+glob.vis. [25]	1.30 5	0.48 5	7.50 6	0.20 1	0.00 1	2.30 1
Layered [16]	1.58 7	1.06 9	8.82 8	0.34 4	0.00 1	3.35 4
Belief prop. [3]	1.15 1	0.42 3	6.31 1	0.98 10	0.30 14	4.83 8
MultiCam GC [21]	1.85 10	1.94 15	6.99 5	0.62 8	0.00 1	6.86 12
Region-Progress. [24]	1.44 6	0.55 6	8.18 7	0.24 2	0.00 1	2.64 2
GC+occl. [2b]	1.19 2	0.23 1	6.71 2	0.73 9	0.11 9	5.71 10
Improved Coop. [19]	1.67 8	0.77 7	9.67 11	1.21 13	0.17 12	6.90 13
GC+occl. [2a]	1.27 4	0.43 4	6.90 3	0.36 5	0.00 1	3.65 5
Disc. pres. [18]	1.78 9	1.22 11	9.71 12	1.17 12	0.08 8	5.55 9
Symbiotic [20]	2.87 15	1.71 14	11.90 13	1.04 11	0.13 10	7.32 15
Graph cuts [1a]	1.94 12	1.09 10	9.49 10	1.30 15	0.06 7	6.34 11
Var. win. [17]	2.35 13	1.65 13	12.17 15	1.28 14	0.23 13	7.09 14
Graph cuts [5]	1.86 11	1.00 8	9.35 9	0.42 6	0.14 11	3.76 6
Multiw. cut [13]	8.08 27	6.53 24	25.33 28	0.61 7	0.46 17	4.60 7
Comp. win. [4]	3.36 18	3.54 18	12.91 18	1.61 18	0.45 16	7.87 16
Realtime [7]	4.25 22	4.47 22	15.05 22	1.32 16	0.35 15	9.21 17
Cooperative [6]	3.49 19	3.65 19	14.77 20	2.03 19	2.29 23	13.41 22
Bay. diff. [1b]	6.49 26	11.62 29	12.29 16	1.45 17	0.72 18	9.29 18
Stoch. diff. [9]	3.95 20	4.08 21	15.49 24	2.45 23	0.90 20	10.58 19
Genetic [11]	2.96 16	2.66 17	14.97 21	2.21 21	2.76 25	13.96 23
SSD+MF [1c]	5.23 25	3.80 20	24.66 27	2.21 20	0.72 19	13.97 24
Max flow [14]	2.98 17	2.00 16	15.10 23	3.47 24	3.00 26	14.19 25
Pix-to-pix [12]	5.12 24	7.06 27	14.62 19	2.31 22	1.79 21	14.93 26
Scanl. opt. [1e]	5.08 23	6.78 25	11.94 14	4.06 25	2.64 24	11.90 20
Dyn. prog. [1d]	4.12 21	4.63 23	12.34 17	4.84 28	3.71 28	13.26 21
Realtime DP [26]	2.85 14	1.33 12	15.62 25	6.25 30	3.98 29	25.19 28
MMHM [15]	9.76 29	13.85 30	24.39 26	4.76 27	1.87 22	22.49 27
Shao [8]	9.67 28	7.04 26	35.63 29	4.25 26	3.19 27	30.14 30
Max. surf. [10]	11.10 30	10.70 28	41.99 30	5.51 29	5.56 30	27.39 29



Αλγόριθμος	Πρώτο ζεύγος εικόнов			Δεύτερο ζεύγος εικόнов		
	Όλα	Χωρίς Υφή	Ασυνέχεια	Όλα	Χωρίς Υφή	Ασυνέχεια
Segm.-based GC [23]	0.08 1	0.01 1	1.39 1	1.49 19	15.4624	
Segm.+glob.vis. [25]	0.79 4	0.81 5	6.37 7	1.63 21	16.0726	
Layered [16]	1.52 10	2.9619	2.62 3	0.37 10	5.2410	
Belief prop. [3]	1.00 6	0.76 4	9.1313	0.84 16	5.2711	
MultiCam GC [21]	1.21 8	1.9610	5.71 6	0.31 7	4.34 9	
Region-Progress. [24]	0.99 5	1.37 8	6.40 8	1.49 20	17.1127	
GC+occl. [2b]	1.64 13	2.7517	5.41 5	0.61 13	6.0512	
Improved Coop. [19]	1.04 7	1.07 6	13.6818	0.29 5	3.65 6	
GC+occl. [2a]	2.79 21	5.3922	2.54 2	1.79 22	10.0818	
Disc. pres. [18]	1.61 12	2.2513	9.0612	0.32 8	3.33 5	
Symbiotic [20]	0.51 2	0.23 2	7.8810	0.50 12	6.5413	
Graph cuts [1a]	1.79 16	2.6116	6.91 9	0.31 6	3.88 7	
Var. win. [17]	1.23 9	1.16 7	13.3517	0.24 3	2.98 3	
Graph cuts [5]	1.69 15	2.3014	5.40 4	2.39 25	9.3516	
Multiw. cut [13]	0.53 3	0.31 3	8.0611	0.26 4	3.27 4	
Comp. win. [4]	1.67 14	2.1811	13.2416	0.33 9	3.94 8	
Realtime [7]	1.53 11	1.80 9	12.3314	0.81 15	11.3521	
Cooperative [6]	2.57 20	3.5220	26.3827	0.22 2	2.37 1	
Bay. diff. [1b]	4.00 23	7.2125	18.3922	0.20 1	2.49 2	
Stoch. diff. [9]	2.45 18	2.4115	21.8424	1.31 18	7.7915	
Genetic [11]	2.49 19	2.8918	23.0425	1.04 17	10.9120	
SSD+MF [1c]	3.74 22	6.8224	12.9415	0.66 14	9.3516	
Max flow [14]	2.16 17	2.2412	21.7323	3.13 26	15.9825	
Pix-to-pix [12]	6.30 26	11.3728	14.5719	0.50 11	6.8314	
Scanl. opt. [1e]	9.44 29	14.5929	18.2021	1.84 23	10.2219	
Dyn. prog. [1d]	10.10 30	15.0130	17.1220	3.33 27	14.0423	
Realtime DP [26]	6.42 27	8.1426	25.3026	6.45 29	25.1628	
MMHM [15]	6.48 28	10.3627	31.2928	8.42 30	12.6822	
Shao [8]	6.01 25	6.7023	43.9130	2.36 24	33.0130	
Max. surf. [10]	4.36 24	4.7821	41.1329	4.17 28	27.8829	



6

Σχήμα από Κίνηση - Σχήμα από ακολουθία εικόνων (βίντεο)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια παραλλαγή της *Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση*, κατά την οποία οι δύο φωτογραφικές μηχανές έχουν αντικατασταθεί από μια μηχανή λήψης κινούμενης εικόνας που καταγράφει το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η απόλυτη ακινησία του αντικειμένου ενώ θεωρείται δεδομένο ότι δεν υπάρχουν κινητά μέρη πάνω του.

Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται είναι παρόμοιοι με αυτούς της *Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση* και είναι ευαίσθητοι στο θόρυβο που παρουσιάζει η ακολουθία εικόνων. Όπως είναι αναμενόμενο και η *Σχήμα-Από-Κίνηση* αντιμετωπίζει το πρόβλημα αντιστοίχισης των κοινών σημείων ανάμεσα στις εικόνες. Όταν οι εικόνες που χρησιμοποιούνται είναι από διαφορετικές οπτικές γωνίες ο υπολογισμός του προσανατολισμού συνεχίζει να είναι μια σχετικά απλή διαδικασία δεδομένου ότι υπάρχει αρκετή πληροφορία αντιστοίχισης. Τις περισσότερες φορές η λύση του προβλήματος αντιστοίχισης σε διαφορετικές οπτικές γωνίες καταλήγει να δίνεται χειροκίνητα [57].

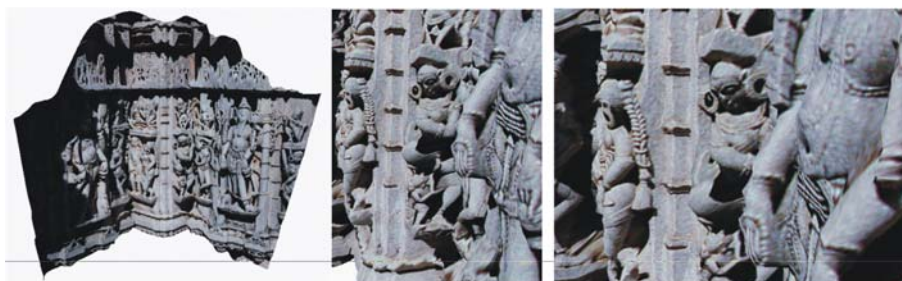
Ένας θεμελιώδης περιορισμός τον οποίο δε δύναται να ξεπεράσει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ότι ο χάρτης βάθους λειτουργεί μόνο για τα σημεία του αντικειμένου που είναι ορατά στο φωτογραφικό φακό.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αρκετές ασάφειες αφού η μέθοδος προσπαθεί να ανακτήσει το τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου αλλά και τη θέση της μηχανή λήψης χωρίς να υπάρχει κάποια προηγούμενη γνώση για αυτή. Οι μαθηματικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται επηρεάζονται από ασάφεις παραμέτρους. Μια από αυτές είναι η Ευκλείδεια ασάφεια και σχετίζεται με το πραγματικό σύστημα συντεταγμένων και τη θέση του αντικείμενου μέσα σε αυτό. Η ασάφεια στην κλίμακα του αντικειμένου είναι ένα πρόβλημα που προέρχεται από τον *προοπτικό φακό* της μηχανή λήψης. Από την άλλη, η χρήση *ορθογραφικών φακών* εμφανίζει ασάφεια βάθους. Και στις δύο περιπτώσεις η απάντηση δίνεται μαθηματικά με την πρόσθετη γνώση της απόστασης ανάμεσα στις δύο θέσεις λήψης των εικόνων.

Στην Εικόνα 48 παρουσιάζονται δύο εικόνες (από τις 6 που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά) από έναν Ινδιάνικο ναό όπου έχει εφαρμοσθεί η τεχνική *Σχήμα-Από-Βίντεο* για την τρισδιάστατη αποτύπωσή του. Το χαρακτηριστικό όλων των εικόνων είναι ότι έχουν αποτυπωθεί από το ίδιο επίπεδο. Στην εικόνα παρατίθεται επίσης και μία τρισδιάστατη αναπαράσταση του αποτυπωμένου χώρου [58].



α) Δύο από τις έξι φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για την 3D ανακατασκευή



β) Διαφορετικές οπτικές γωνίες από το ανακατασκευασμένο τρισδιάστατο μοντέλο

Εικόνα 49. Αποτύπωση τρισδιάστατου μοντέλου με την τεχνική *Σχήμα-Από-Βίντεο*



Σχήμα από Φωτοσκίαση

Η φωτοσκίαση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του βάθους. Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να εξομοιώσουν τον τρόπο που λειτουργεί το ανθρώπινο σύστημα όρασης για να ανακτήσουν το βάθος με τη βοήθεια των φωτοσκιάσεων.

Η ανάκτηση βάθους με τη μέθοδο *Σχήμα-Από-Φωτοσκίαση* απαιτεί μία μόνο οπτική γωνία λήψης. Φυσικά για την πλήρη αποτύπωση του αντικειμένου απαιτούνται περισσότερες. Η τεχνική αυτή χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- τεχνικές ελαχιστοποίησης
- τεχνικές μετάδοσης
- τεχνικές περιοχής
- γραμμικές τεχνικές

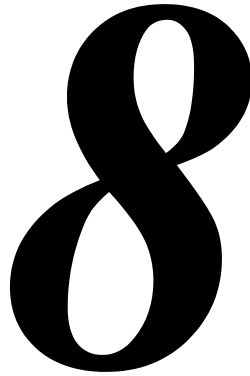
Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με βάση τις εννοιολογικές διαφορές που παρουσιάζει η κάθε αλγοριθμική προσέγγιση της βασικής ιδέας. Οι μέθοδοι ελαχιστοποίησης καταλήγουν σε λύση του προβλήματος με την εφαρμογή μίας συνάρτησης ενέργειας, ενώ οι τεχνικές μετάδοσης μελετούν τη μετάδοση της πληροφορίας των σχημάτων από ένα σύνολο σημείων που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Από την άλλη, οι τεχνικές περιοχής παράγουν το βάθος βασισμένες σε υποθέσεις που αφορούν τον τύπο της επιφάνειας. Οι

γραμμικές μέθοδοι υπολογίζουν την λύση του προβλήματος βασιζόμενες σε μαθηματικούς χάρτες αντανάκλασης.

Οι περισσότερες τεχνικές υποθέτουν ότι η πηγή φωτός ακολουθεί μια γνωστή και συγκεκριμένη πορεία και δημιουργεί πολύ συγκεκριμένες ανακλάσεις. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των αλγορίθμων είναι ότι δεν μπορούν να ανακτήσουν πληροφορία από σκιασμένες περιοχές καθώς αυτές δεν προσφέρουν αρκετής έντασης χρωματική πληροφορία. Μέσα από μια εκτενή μελέτη που πραγματοποίησαν οι Zhang et al. [60] κατέληξαν στα παρακάτω συμπεράσματα που αφορούν όλες τις τεχνικές φωτοσκίασης:

1. Όλοι οι αλγόριθμοι παράγουν γενικά μη ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν τους δίνονται τεχνητά δεδομένα
2. Τα αποτελέσματα τους είναι ακόμα χειρότερα σε πραγματικές εικόνες
3. Τα αποτελέσματα σε τεχνητά δεδομένα γενικά δεν λειτουργούν προβλεπτικά για τα αποτελέσματα σε πραγματικά δεδομένα

Υπάρχουν αρκετές ερευνητικές κατευθύνσεις για μελλοντική μελέτη και έρευνα της εν λόγω τεχνικής. Τα μαθηματικά μοντέλα ανάκλασης φωτός που χρησιμοποιούνται είναι απλοϊκά, ενώ νέα, πιο σύνθετα, έχουν ήδη προταθεί. Σύνηθες φαινόμενο είναι ο συνδυασμός δύο διαφορετικών τεχνικών, ώστε να επιτευχθεί το συνταίριασμα των πλεονεκτημάτων τους που θα οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα. Οι Zhang et al [60] προτείνουν τον συνδυασμό της τεχνικής *Σχήμα-Από-Φωτοσκίαση* με τη μέθοδο *Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση*. Ένας άλλος συνδυασμός που προτείνεται είναι αυτός με την τεχνική *Σχήμα-Από-Σκιά* που προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα στα σημεία του αντικειμένου που καλύπτονται από σκιές.



Σχήμα από υφή

Η υφή αποτελεί μια σημαντική πηγή πληροφορίας για να αντιληφθεί κάποιος το σχήμα του αντικειμένου. Ο υπολογισμός σχημάτων τριών διαστάσεων είναι εφικτός όταν υπάρχει κάποια προηγούμενη γνώση για την υφή. Είναι γνωστό ότι όταν η υφή είναι ομοιογενής το ανθρώπινο μάτι μπορεί εύκολα να αντιληφθεί το σχήμα. Προσπάθειες έχουν γίνει για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας από υπολογιστικά συστήματα. Η μέθοδος είναι γνωστή με την ονομασία *Σχήμα-Από-Υφή* και παραμένει, ουσιαστικά, ένα άλυτο πρόβλημα.

Η βασική αρχή πίσω από την τεχνική αυτή είναι οι παραμορφώσεις που δέχονται μεμονωμένα τα εικονοστοιχεία υφής (texels). Οι μεταβολές της υφής πάνω στην εικόνα επιτρέπουν την εκτίμηση του τρισδιάστατου σχήματος της επιφάνειας που βρίσκεται υπό μελέτη. Η ανακατασκευή βασίζεται σε παραμορφώσεις προοπτικής βάθους αλλά και σε προοπτική σμίκρυνσης (καθώς τα αντικείμενα πλησιάζουν το επίπεδο της εικόνας παύουν να είναι παράλληλα προς αυτό). Το ποσοστό αυτών των παραμορφώσεων μπορεί να υπολογισθεί από την ίδια την εικόνα. Ο υπολογισμός των καμπύλων της επιφάνειας σε οποιοδήποτε σημείο είναι κάθε άλλο παρά τετριμμένο. Για το λόγο αυτό ο υπολογισμός της επιφάνειας γίνεται από τον προσανατολισμό της εκάστοτε επιφάνειας. Ένας χάρτης καθέτων ευθειών σε επιφάνεια προσδιορίζει τον προσανατολισμό της επιφάνειας στα σημεία όπου οι κάθετες υπολογίζονται. Αν υποθέσουμε ότι οι κάθετες είναι αρκετά πυκνές και η επιφάνεια είναι ομαλή, τότε ο χάρτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τρισδιάστατη ανακατασκευή του αντικειμέ-

νου. Υπάρχει μια αναλογία ανάμεσα στις τεχνικές *Σχήμα-Από-Υφή* και *Σχήμα-Από-Κίνηση* [67].

Η τεχνική *Σχήμα-Από-Υφή* αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα στο χώρο της όρασης υπολογιστών. Δεν υπάρχει κάποια άμεση πρακτική εφαρμογή που να σχετίζεται με την αποτύπωση αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς, και γενικότερα χαρακτηρίζεται ως μια τεχνική που σχετίζεται με την ανακατασκευή επιφανειών από υφάσματα ή ανθρώπινα δέρματα [67].



Σχήμα από φωτομετρική στερεοσκοπική φωτογράφιση

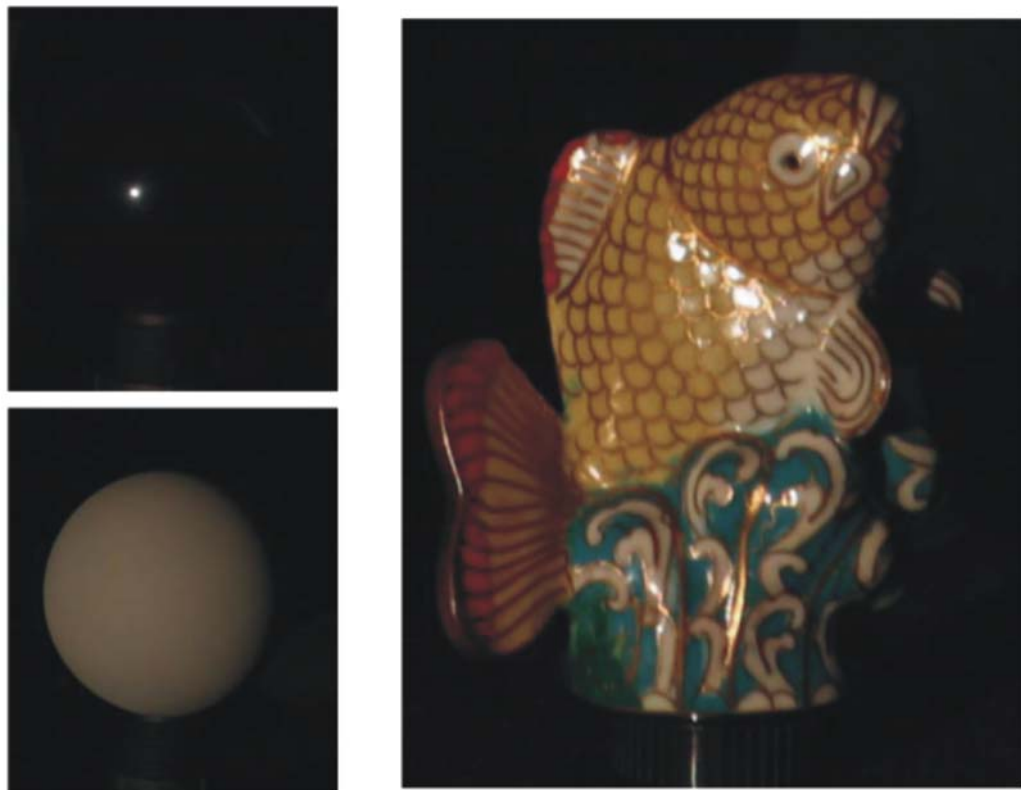
Η *Σχήμα-Από-Φωτομετρική-Στερεοφωτογράφιση* βασίζεται σε μια παραλλαγή της τεχνικής *Σχήμα-Από-Φωτοσκίαση*. Η διαφορά τους βρίσκεται στο πλήθος φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται για την ανακατασκευή του βάθους. Στην παρούσα μεθοδολογία οι εικόνες εμφανίζουν το αντικείμενο από την ίδια οπτική γωνία αλλά υπό μεταβλητές συνθήκες φωτισμού.

Η φωτομετρική μέθοδος δύναται να ανακτήσει γρήγορα τον προσανατολισμό της επιφάνειας του αντικειμένου από εικόνες φωτεινότητας (διαβαθμίσεις του γκρι). Για να πετύχει κάτι τέτοιο χρησιμοποιεί άλλοτε βαθμονομημένες πηγές φωτός και άλλοτε όχι. Η επιλογή γίνεται ανάλογα με την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου που εφαρμόζεται [61]. Οι βαθμονομημένες συνθήκες φωτισμού είναι εφικτές μονό σε περιβάλλον εργαστηρίου. Ερευνητικές προσπάθειες γίνονται, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει η τεχνική σε περιβάλλον με γενικό φωτισμό [62][63].

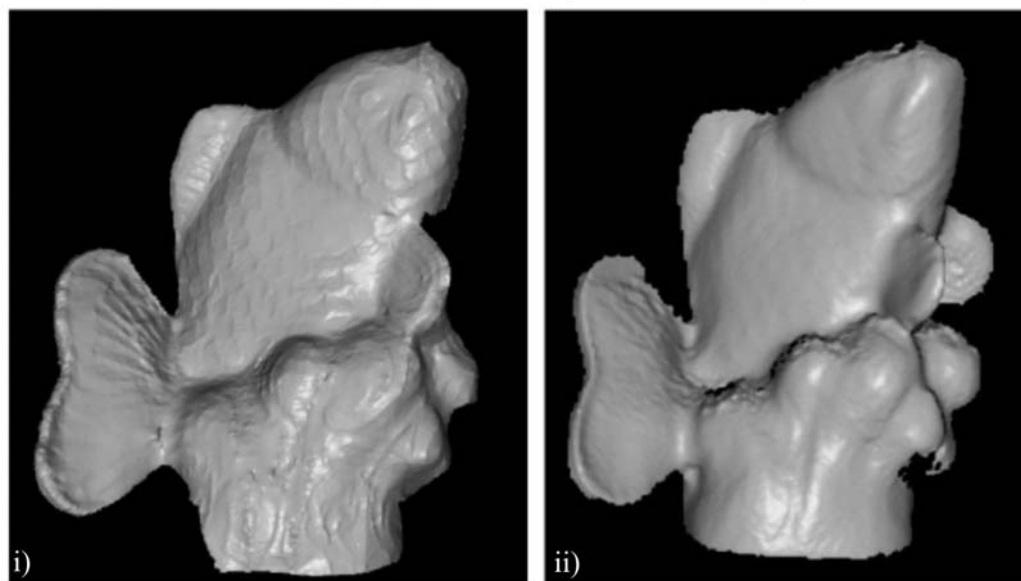
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πρόσφατη ερευνητική εργασία των Hertzmann και Seitz [63] στην οποία γίνεται χρήση γνωστών γεωμετρικών αντικειμένων τα οποία φωτογραφίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού δίπλα στο πραγματικό αντικείμενο που πρόκειται να αποτυπωθεί. Σε ένα από τα πειράματα τους φωτογραφίζουν ένα αντικείμενο που παρουσιάζει την μορφή ενός ψαριού και φέρει πολύπλοκη πληροφορία υφής. Ως αντικείμενα οδηγούς

χρησιμοποιούν δύο σφαίρες. Η πρώτη σφαίρα είναι χρώματος γκρι και η επιφάνειάς της επιτρέπει την ομαλή διάχυση του φωτός. Η δεύτερη είναι μαύρη με επιφάνεια υψηλής ανακλαστικότητας. Για την ανακατασκευή του αντικειμένου χρησιμοποιήθηκαν δεκατέσσερις (14) φωτογραφίες κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού. Τα αποτελέσματα της τεχνικής τους παρουσιάζονται στην Εικόνα 49. Καθώς το τρισδιάστατο μοντέλο είναι εντυπωσιακά ρεαλιστικό αποφάσισαν να το συγκρίνουν με ένα τρισδιάστατο μοντέλο του ίδιου αντικειμένου κατασκευασμένο από σαρωτή ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων. Χρησιμοποιήθηκε, λοιπόν, ένας σαρωτής της εταιρίας Cyberware¹⁸. Τα συμπεράσματα των ερευνητών καταλήγουν στο ότι η μέθοδος τους καταφέρνει και εξάγει μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας από την επιφάνεια του αντικειμένου σε σύγκριση με τον σαρωτή λέιζερ (Εικόνα 49ii). Επισημαίνουν επίσης την πιθανότητα πως κάποια από την γεωμετρική πληροφορία που φέρει το φωτομετρικό μοντέλο να οφείλεται στο γεγονός της υψηλότερης ανάλυσης της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποίησαν. Άλλη μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι πως το συγκεκριμένο αντικείμενο είναι καλυμμένο με ένα λεπτό στρώμα από βερνίκι. Η μέθοδος τους είναι πολύ πιθανό να αντιλαμβάνεται την επιφάνεια κάτω από το βερνίκι σε αντίθεση με τον σαρωτή που αντιλαμβάνεται την ομαλοποιημένη και βερνικωμένη εξωτερική επιφάνεια [63]. Θα πρέπει ακόμα σημειωθεί ότι για να ψηφιοποιηθεί το αντικείμενο με το σαρωτή λέιζερ χρειάστηκε να καλυφθεί με ένα στρώμα λευκής σκόνης που επιτρέπει την αναγνώριση της δέσμης φωτός. Αυτός είναι άλλος ένας παράγοντας της έντονης διαφοροποίησης ανάμεσα στα δύο τελικά τρισδιάστατα μοντέλα.

¹⁸ Το σύστημα τρισδιάστατης σάρωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το *Model 15* της Cyberware. Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων ψηφιοποίησης κινητών αντικειμένων.



α) Φωτογράφιση του αντικειμένου και των σφαιρών



β) Σύγκριση τρισδιάστατου μοντέλου

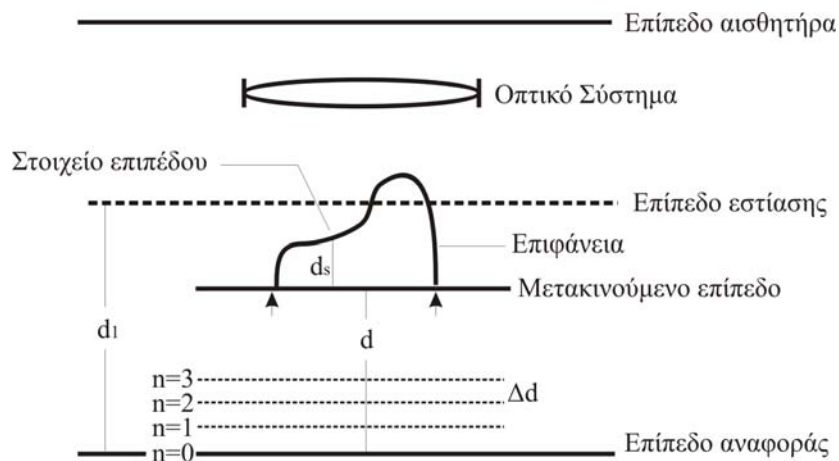
Εικόνα 50. Αποτελέσματα της φωτομετρικής μεθόδου



10

Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών έχει επικεντρωθεί σε μια τεχνική που ανακτά την τρίτη διάσταση από μια εικόνα χρησιμοποιώντας το βάθος πεδίου [64]. Ας δούμε την αρχή λειτουργίας της μέσα από την Εικόνα 50.



Εικόνα 51. Σύστημα ψηφιοποίησης με τη μέθοδο Σχήμα-Από-Μεταβαλλόμενη-Εστίαση

Ένα αντικείμενο με άγνωστα γεωμετρικά χαρακτηριστικά έχει τοποθετηθεί πάνω σε μία επίπεδη βάση που δύναται να μετατοπιστεί σε ύψος. Το χαμηλότερο επίπεδο που μπορεί να μετακινηθεί η βάση παρουσιάζεται ως *επίπεδο αναφοράς*. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα αποτελεί και το αρχικό σημείο από

όπου ξεκίνησε η κίνηση της βάσης που μεταφέρει το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση. Η διαμόρφωση του οπτικού συστήματος και του αισθητήρα (CCD) ορίζουν ένα νοητό επίπεδο που ονομάζεται *επίπεδο εστίασης* και παρουσιάζεται με τη μορφή διακεκομμένης γραμμής. Στο επίπεδο εστίασης βρίσκονται κάποια από τα τμήματα της επιφάνειας του αντικειμένου. Το οπτικό σύστημα επιτρέπει την αποτύπωση των τμημάτων αυτών από τον αισθητήρα με τη μέγιστη δυνατή εστίαση. Η απόσταση d_1 ανάμεσα στο επίπεδο εστίασης και το επίπεδο αναφοράς είναι πάντα γνωστή. Έστω τώρα ότι s ονομάζουμε το στοιχείο επιπέδου που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου S . Αν το μετακινούμενο επίπεδο προχωρήσει και άλλο προς το επίπεδο εστίασης τότε το s θα αυξήσει τον βαθμό εστίασης του και θα εστιαστεί τέλεια όταν βρεθεί στο ίδιο ακριβώς επίπεδο με το επίπεδο εστίασης. Οποιαδήποτε περαιτέρω κίνηση προς το οπτικό σύστημα θα φέρει το σημείο s και πάλι εκτός εστίασης. Παρατηρώντας τις μεταβολές που δέχονται οι εικόνες στο σημείο που βρίσκεται το s και καταγράφοντας το *επίπεδο μετατόπισης* d στο σημείο της μέγιστης εστίασης, τότε το ύψος ds του σημείου s μπορεί να υπολογισθεί με βάση το επίπεδο αναφοράς. Έτσι ισχύει ότι $ds = d_1 - \text{επίπεδο μετατόπισης}$. Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα σημεία της επιφάνειας του αντικειμένου S . Με τον τρόπο αυτό ανακτάται το βάθος της επιφάνειας του αντικειμένου.

Οι ακόλουθες παρατηρήσεις είναι κοινά αποδεκτές από όλους τους ερευνητές που έχουν συμμετάσχει στη μελέτη και ανάπτυξη τέτοιων σαρωτών [65].

- Η ανάλυση και η ακρίβεια των τεχνικών *Σχήμα-Από-Μεταβαλλόμενη-Εστίαση* είναι περιορισμένες σε σύγκριση με τις τεχνικές τριγωνοποίησης
- Αντίθετα με τις μεθόδους τριγωνοποίησης, αποφεύγουν την τεχνική ταιριάσματος και αντιστοίχισης σημείων
- Τα αποτελέσματα της χαρακτηρίζονται, γενικά, αξιόπιστα

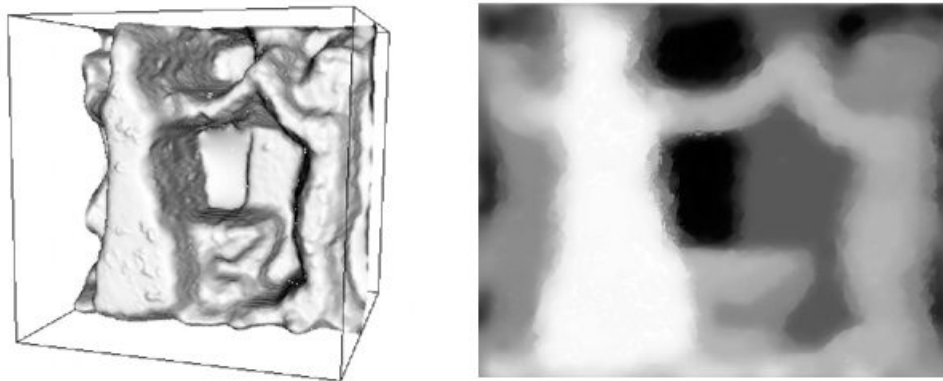
Υπάρχουν αρκετές πειραματικές υλικοτεχνικές λύσεις που επιτρέπουν τον υπολογισμό του βάθους σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί αποτελεσματικά μόνο σε μικρές αποστάσεις (π.χ. μικροσκοπία) [66]. Παρακάτω μπορείτε να δείτε φωτογραφίες εκτός εστίασης και τις ανακατα-



σκευασμένες τρισδιάστατες επιφάνειες. Στην Εικόνα 51 παρουσιάζονται δύο φωτογραφίες με εστίαση σε διαφορετικό βάθος (ή επίπεδο). Η φωτογραφία στα αριστερά είναι εστιασμένη στο βάθος ενώ η φωτογραφία στα δεξιά είναι εστιασμένη στα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στην κάμερα. Στην Εικόνα 52 παρουσιάζεται ο ανακτώμενος χάρτης βάθους (δεξιά) και η αναγνωρισμένη γεωμετρική δομή (αριστερά).



Εικόνα 52. Εστίαση σε διαφορετικά επίπεδα



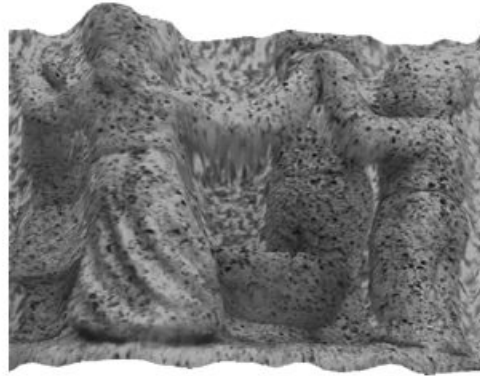
Εικόνα 53. Η ανακτημένη γεωμετρική δομή και ο χάρτης βάθους του αντικειμένου

Στην Εικόνα 54 παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας όπου στη γεωμετρία έχει προστεθεί και η πληροφορία υψής της επιφάνειας. Στην Εικόνα 54α παρουσιάζεται η ανακατασκευασμένη εικόνα, ενώ στις υπόλοιπες εικόνες παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο από διάφορες οπτικές γωνίες [66].

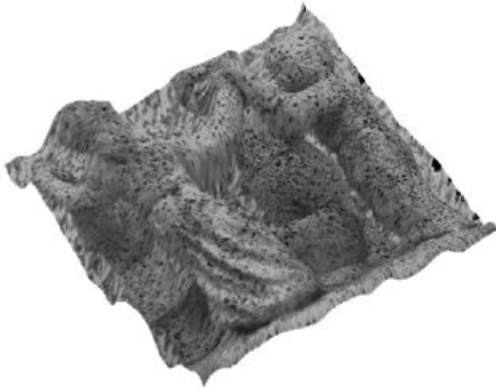
(α)



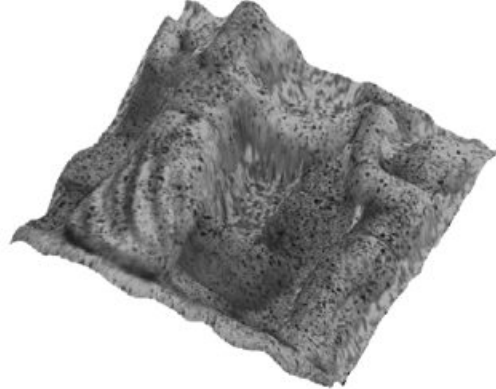
(β)



(γ)



(δ)



Εικόνα 54. Ανακατασκευασμένο τρισδιάστατο μοντέλο με πληροφορία υφής

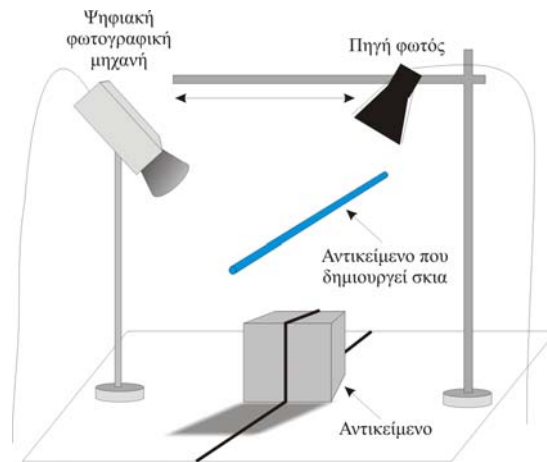


Σχήμα από σκιά

Η μέθοδος *Σχήμα-Από-Σκιά* ανήκει στην κατηγορία των παθητικών μεθοδολογιών ανακατασκευής τρισδιάστατων επιφανειών. Το τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργείται από τη μελέτη της πληροφορίας που περιέχει η διάχυση της σκιάς που δημιουργεί το ίδιο το αντικείμενο, καθώς αυτό φωτίζεται από μια κινούμενη πηγή φωτός. Φανταστείτε για παράδειγμα τις μεταβολές στη σκιά ενός στύλου καθώς ο ήλιος κινείται. Με την παρατήρηση των μεταβολών που δέχεται το σχήμα των σκιών μπορούμε να συμπεράνουμε την γεωμετρία της επιφάνειας του αντικειμένου.

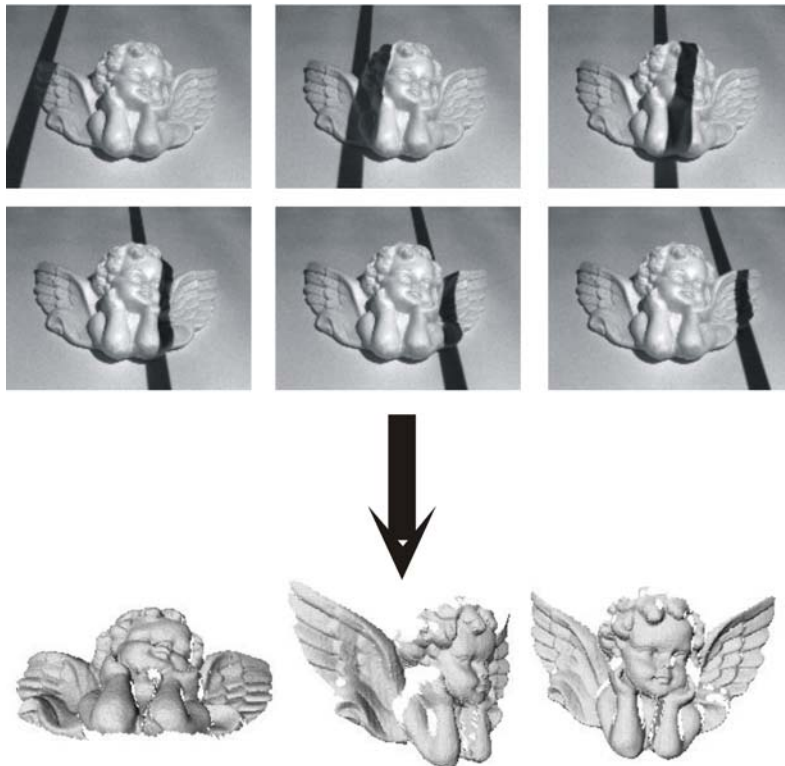
Μια απλοποιημένη μορφή συστήματος που υλοποιεί τη μέθοδο φαίνεται στην Εικόνα 54. Καθώς η πηγή φωτός μετακινείται, η φωτογραφική μηχανή καταγράφει τις μεταβολές που δέχεται η σκιά, όπως προβάλλεται πάνω στις επιφάνειες του κύβου. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου έγκειται στο χαμηλό κόστος του τεχνολογικού εξοπλισμού: απαιτείται μία ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και μία τυπική πηγή φωτός ικανή να δημιουργήσει έντονες σκιές. Επίσης χαμηλή είναι και η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς. Η μέθοδος λειτουργεί βάση κάποιων απλοϊκών υποθέσεων που αφορούν στην επιφάνεια των αντικειμένων. Επί πλέον, έχει αποδειχθεί πως η μέθοδος μπορεί να ανακατασκευάσει περιοχές της επιφάνειας του αντικειμένου που δεν είναι ορατές στην ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Στην πραγματικότητα, η τεχνική δεν έχει ξεφύγει ποτέ τα σύνορα των ερευνητικών εργαστηρίων. Στο Διαδίκτυο μπορεί να εντοπιστεί λογισμικό ανοικτού κώδικα που υλοποιεί τη μέθοδο. Η δυσκολία

που παρουσιάζει η τεχνική εντοπίζεται στο σημείο αυτόματης αναγνώρισης των σκιών μέσα στις φωτογραφίες.



Εικόνα 55. Απλοποιημένη αναπαράσταση συστήματος

Στην Εικόνα 55 παρουσιάζεται σταδιακά η μετακίνηση της σκιάς πάνω στο αντικείμενο κατά τη διαδικασία, καθώς και η τελική ανακατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου [109].



Εικόνα 56. Ανάκτηση γεωμετρίας με την τεχνική Σχήμα-Από-Σκιά

12

Συστήματα μέτρησης συντεταγμένων

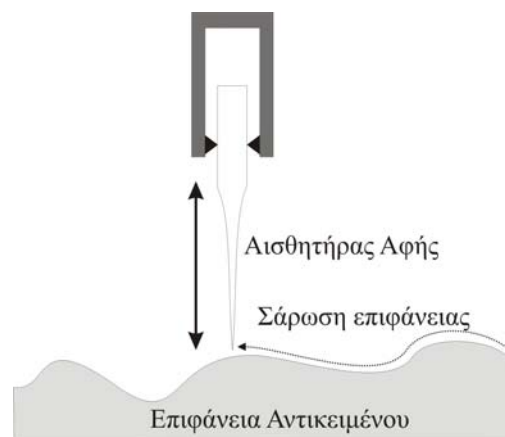
Πολύ συχνά συναντούμε συστήματα ψηφιοποίησης με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων να συνεργάζονται με κάποιον μηχανικό βραχίονα, ο οποίος έχει έναν υψηλό βαθμό ελευθερίας κινήσεων. Ο βραχίονας τις περισσότερες φορές είναι χειροκίνητος, και μέσω δικού του, υψηλής ακρίβειας, καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων μεταφέρει πληροφορία θέσης προς το λογισμικό που διαχειρίζεται την όλη διαδικασία για να ανακτήσει τη θέση της πηγής του λέιζερ στον πραγματικό χώρο.

Η επίσημη ονομασία των βραχιόνων είναι *Συστήματα Μέτρησης Συντεταγμένων* (Coordinate Measuring Machines-CMM). Εκτός από την συνδυαστική τους χρήση με σαρωτές λέιζερ, λειτουργούν και αυτόνομα. Σαν σημείο μέτρησης έχουν την κορυφή μιας ακίδας ή ενός αισθητήρα αφής που τοποθετείται στην άκρη του βραχίονα. Εφαρμογές βρίσκουν κυρίως στην επιθεώρηση βιομηχανοποιημένων μηχανικών εξαρτημάτων. Η επιθεώρηση των διαστάσεων αποσκοπεί στην μέτρηση της γεωμετρίας του αντικειμένου και των χαρακτηριστικών της επιφάνειάς του. Η εφαρμογή τους περιορίζεται στο χώρο της βιομηχανίας και της αντίστροφης μηχανικής.

Για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών απαιτείται η επαφή του αισθητήρα ή της ακίδας με την επιφάνεια του αντικειμένου που εξετάζεται [81]. Η ακρίβεια τους αγγίζει την τάξη των 25 μm . *Η διαδικασία συλλογής δεδομένων είναι*

πολύ αργή. Ένας μέσος όρος ρυθμού αποτύπωσης συντεταγμένων αγγίζει μόλις ένα σημείο ανά δευτερόλεπτο. Τα συστήματα αυτά δε χρησιμοποιούνται για τη συλλογή μεγάλου όγκου πληροφορίας κάτι που τα καθιστά, σε γενικές γραμμές, μια όχι και τόσο ελκυστική επιλογή για εργασίες αποτύπωσης αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς [81].

Στην Εικόνα 56 δίνεται περιγραφή της αρχής λειτουργίας του αισθητήρα αφής που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση τρισδιάστατων συντεταγμένων. Ο αισθητήρας αγγίζει την επιφάνεια του αντικειμένου και μετακινείται προς μια κατεύθυνση. Η μεταβολές της επιφάνειας του αντικειμένου αλλάζουν την θέση του αισθητήρα. Η αλλαγή αυτή καταλήγει σε μια μεταβολή φορτίου που καταγράφεται διαρκώς. Η μεταβολές του φορτίου μεταφράζονται σε τρισδιάστατες γεωμετρικές συντεταγμένες και αφορούν εκείνα τα σημεία, τα οποία άγγιξε προηγουμένως ο αισθητήρας. Η πληροφορία αυτή, σε συνδυασμό με το σύστημα συντεταγμένων του βραχίονα, αποδίδει με μεγάλη ακρίβεια την γεωμετρική θέση του αντικειμένου στον χώρο.



Εικόνα 57. Αποτύπωση τρισδιάστατης γεωμετρίας με χρήση αισθητήρα αφής

Συστήματα που χρησιμοποιούν αισθητήρες αφής ή ακίδες για την συλλογή της τρισδιάστατης γεωμετρίας βασίζονται και σε άλλες μεθόδους ανάκτησης της θέσης. Εκτός από βραχίονες συναντούμε και συστήματα που βασίζονται στην αρχή μετάδοσης του ήχου. Είναι γνωστό πως τα κύματα του ήχου μεταδίδονται ακτινικά στο χώρο με συγκεκριμένη ταχύτητα. Ο χρόνος που κάνει ένα ηχητικό σήμα για να ταξιδέψει, από ένα γνωστό σημείο (πηγή ηχητικού σήμα-



τος) σε κάποιο άλλο, μπορεί να υπολογιστεί. Ο χρόνος αυτός αποτελεί και τη βάση για τον υπολογισμό των συντεταγμένων της θέσης του σαρωτή στο χώρο.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται, πολλές φορές, από γραφίστες, σχεδιαστές κινουμένων σχεδίων, προγραμματιστές παιχνιδιών, αλλά και μηχανικούς ως μια πολύ οικονομική λύση ψηφιοποίησης. Κάτι τέτοιο βασίζεται στο γεγονός ύπαρξης εμπορικών συστημάτων των οποίων οι διαστάσεις τα καθιστούν ικανά να λειτουργούν πάνω σε ένα κοινό γραφείο. Η αναφορά τους στη εδώ γίνεται, κυρίως, για λόγους πληρότητας των διαθέσιμων εμπορικών συστημάτων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης και όχι λόγω της εφαρμοσιμότητας τους σε κινητά αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς.



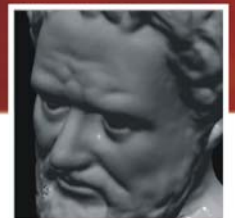
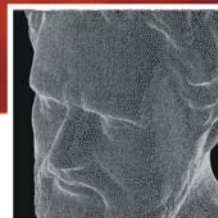
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Προσδιορισμός βέλτιστων πρακτικών
αποτύπωσης-ψηφιοποίησης







1

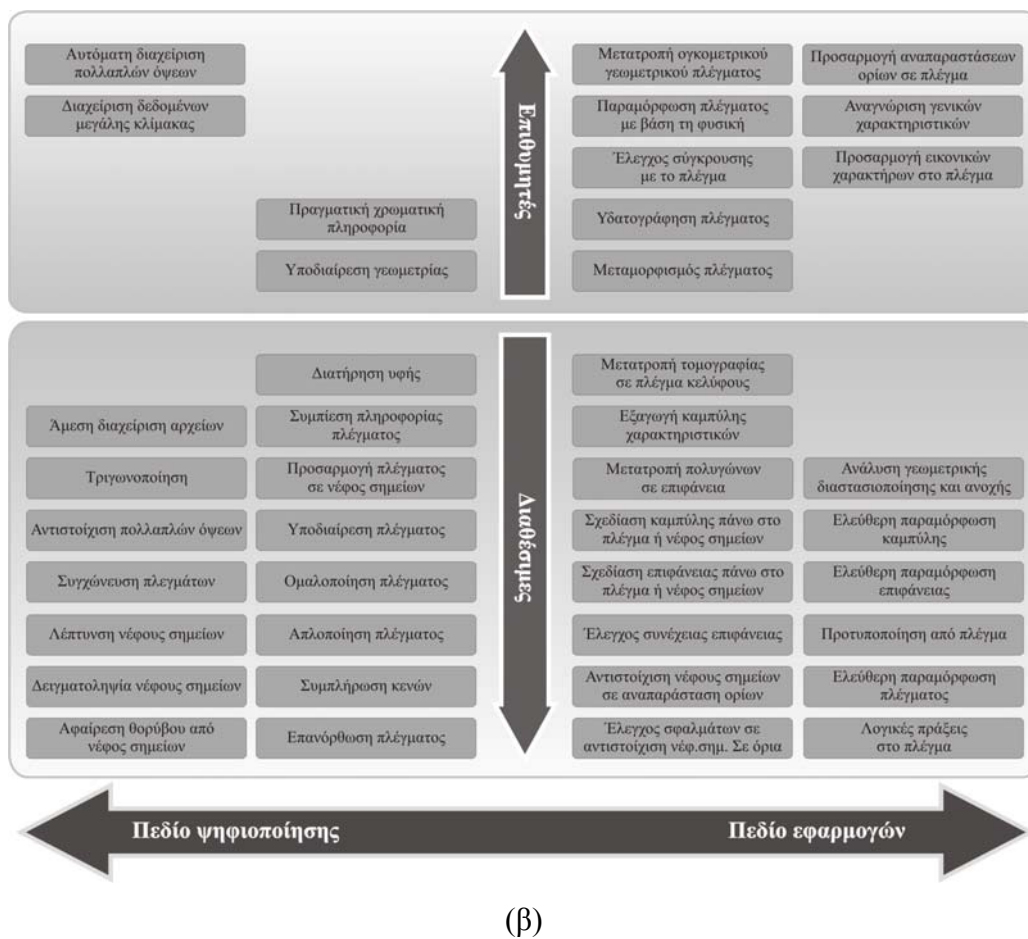
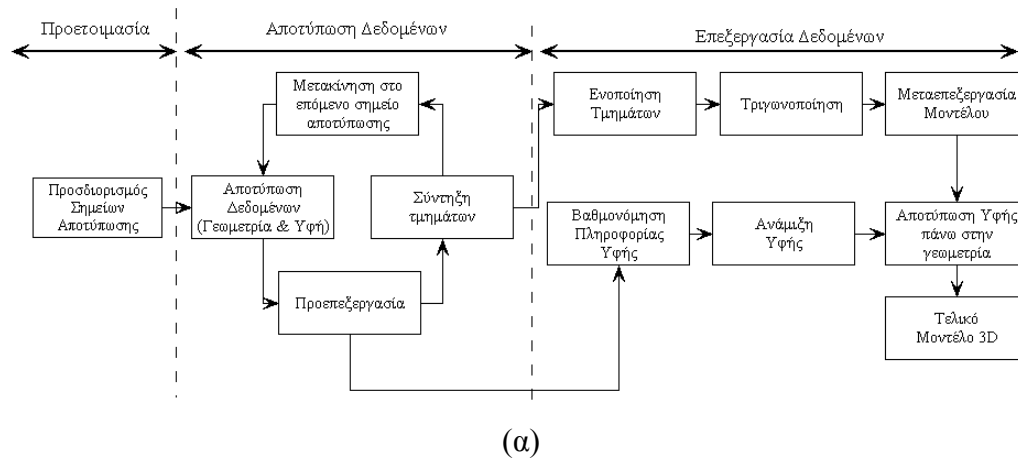
Διαδικασίες τρισδιάστατης αποτύπωσης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων

1.1 Εισαγωγή

Η συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων με κάποιο σύστημα σάρωσης είναι μόνο η αρχή μιας ιδιαίτερα σύνθετης διαδικασίας. Τα βήματα που ακολουθούνται, αποσκοπούν στην αποτελεσματική χρήση των δεδομένων που παρέχουν οι σαρωτές.

Στην Εικόνα 57(α) περιγράφεται η σειρά εργασιών από τη στιγμή της αποτύπωσης των δεδομένων έως και της τελικής οπτικής αναπαράστασης του τρισδιάστατου μοντέλου. Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων διαχωρίζεται σε πέντε βασικά βήματα [82]:

- προ-επεξεργασία
- ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων
- μετατροπή σε πολυγωνικό πλέγμα
- μετά-επεξεργασία
- επεξεργασία υφής



Εικόνα 58. (α) Γενικό διάγραμμα διαδικασιών δημιουργίας 3D μοντέλου, (β) συνοπτική παρουσίαση διαθέσιμων και επιθυμητών διαδικασιών επεξεργασίας δεδομένων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης

Στην Εικόνα 58(β) παρουσιάζονται συγκεντρωμένες όλες οι (μέχρι σήμερα) διαθέσιμες αλλά και επιθυμητές (όχι ακόμη διαθέσιμες) διαδικασίες που εμπλέκονται στην επεξεργασία δεδομένων που προκύπτουν από την τρισδιάστατη



ψηφιοποίηση τόσο κινητών πολιτιστικών αντικειμένων όσο και ακίνητων μνημείων και χώρων.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση όλης της διαδικασίας παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση τρισδιάστατων σαρωτών. Αναλύονται τα ειδικά προβλήματα που παρουσιάζονται σε ψηφιοποιήσεις αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και οι δυσκολίες της συλλογής δεδομένων. Ο διαχωρισμός που γίνεται στις διαδικασίες αλλά και η περιγραφή τους μπορεί να μην συμβαδίζει με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους ψηφιοποίησης. Ως εκ τούτου τα βήματα της διαδικασίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως ένα γενικευμένο διάγραμμα ροής εργασιών που μεταβάλλεται ανάλογα με την υιοθετημένη μεθοδολογία αποτύπωσης.

Συνολικά, τα βήματα μιας διαδικασίας ψηφιοποίησης είναι τα εξής:

- Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων
- Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας
- Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφους σημείων
- Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων
- Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων
- Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing)
- Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος
- Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών
- Δημιουργία υφής

Τα βήματα αυτά αναπτύσσονται στο Μέρος αυτό της Μελέτης και στις παραγράφους που ακολουθούν.

1.2 Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων

Το πρώτο βήμα, είναι η σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων ενός αντικειμένου με κάποιον σαρωτή. Ο τρόπος εκτέλεσης της συγκεκριμένης διαδικασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του σαρωτή αλλά και τις τεχνικές του προδιαγραφές (π.χ. ταχύτητα αποτύπωσης, φορητότητα, κ.α.).

Οποιαδήποτε¹⁹ και αν είναι, όμως, η μέθοδος σάρωσης που θα εφαρμοσθεί η διαδικασία καταλήγει σε μια σειρά από τμηματικές σαρώσεις. Οι πολλαπλές σαρώσεις οφείλονται στο γεγονός ότι τα περισσότερα συστήματα σάρωσης απαιτούν την αποτύπωση δεδομένων από διαφορετικές γωνίες, έτσι, ώστε να καλύψουν όλες τις επιφάνειες του αντικειμένου.

Συνηθισμένο φαινόμενο είναι η χρήση ενός *περιστρεφόμενου τραπεζιού*, το οποίο συνεργάζεται με το λογισμικό του σαρωτή και του επιτρέπει να γνωρίζει τις θέσεις των τμηματικών σαρώσεων. Σε κάποιες περιπτώσεις το λογισμικό του σαρωτή χειρίζεται και ένα σύνολο από φωτιστικά σώματα που σκοπό έχουν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού για την καλύτερη αποτύπωση των δεδομένων επιφανειακής υφής του αντικειμένου.

Τις περισσότερες φορές μια σάρωση περιέχει κενά λόγω αδυναμίας άμεσης οπτικής επαφής του οπτικού συστήματος του σαρωτή με συγκεκριμένες περιοχές²⁰ της επιφάνειας του αντικειμένου. Συχνά όμως εμφανίζονται και τμήματα σαρώσεων με διαφορετική πυκνότητα δεδομένων. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη αλλαγής των ρυθμίσεων του σαρωτή, ώστε να αποδίδει καλύτερα σε περιπτώσεις όπου επιβάλλεται η μεταβολή απόστασης του από το αντικείμενο. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο συνηθισμένο σε σαρωτές μεγάλου βεληνεκούς που χρησιμοποιούνται κατά κόρο στην αποτύπωση χώρων και κτηρίων. Ως εκ τούτου το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων καθορίζει την ολοκληρωμένη και ομοιογενή αποτύπωση των δεδομένων. Ο αυτόματος καθορισμός των καλύτερων οπτικών γωνιών για ψηφιοποίηση είναι επίσης ένα δύσκολο πρόβλημα. Η απλούστερη προσέγγιση στην επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χειροκίνητη επιλογή οπτικών γωνιών. Η ψηφιοποίηση θα πρέπει να πραγματοποιείται έχοντας πάντα υπόψη την ελαχιστοποίηση των διαφορετικών σαρώσεων αλλά και την εξασφάλιση ύπαρξης ενός μεγάλου ποσοστού επικαλυπτόμενων σημείων ανάμεσα στις διαφορετικές σαρώσεις.

¹⁹ Η τεχνική *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* καταλήγει σε μια ολοκληρωμένη τρισδιάστατη προσέγγιση του αντικειμένου και δεν παράγει τμηματικές σαρώσεις. Επίσης, σε κάποια αυτοματοποιημένα συστήματα, δεν παράγονται τμηματικές σαρώσεις αλλά το μέγεθος των αντικειμένων που μπορούν να ψηφιοποιηθούν είναι περιορισμένος.

²⁰ Μια τέτοια περιοχή θα μπορούσε να είναι στο σημείο ραφής της λαβής με το σώμα ενός σκεύους.

Πολλοί είναι οι λόγοι που οδηγούν στην πραγματοποίηση σάρωσης με μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην περίπτωση εργασιών σάρωσης πολιτιστικών αντικειμένων. Ένας από αυτούς βασίζεται στην αισιόδοξη ιδέα απόκτησης καλύτερων αποτελεσμάτων από τα ίδια δεδομένα. Η αισιοδοξία κρύβεται στο γεγονός ότι καθώς στο μέλλον θα αναπτυχθούν καλύτεροι αλγόριθμοι επεξεργασίας δεν θα απαιτηθεί η επανάληψη της διαδικασίας σάρωσης.

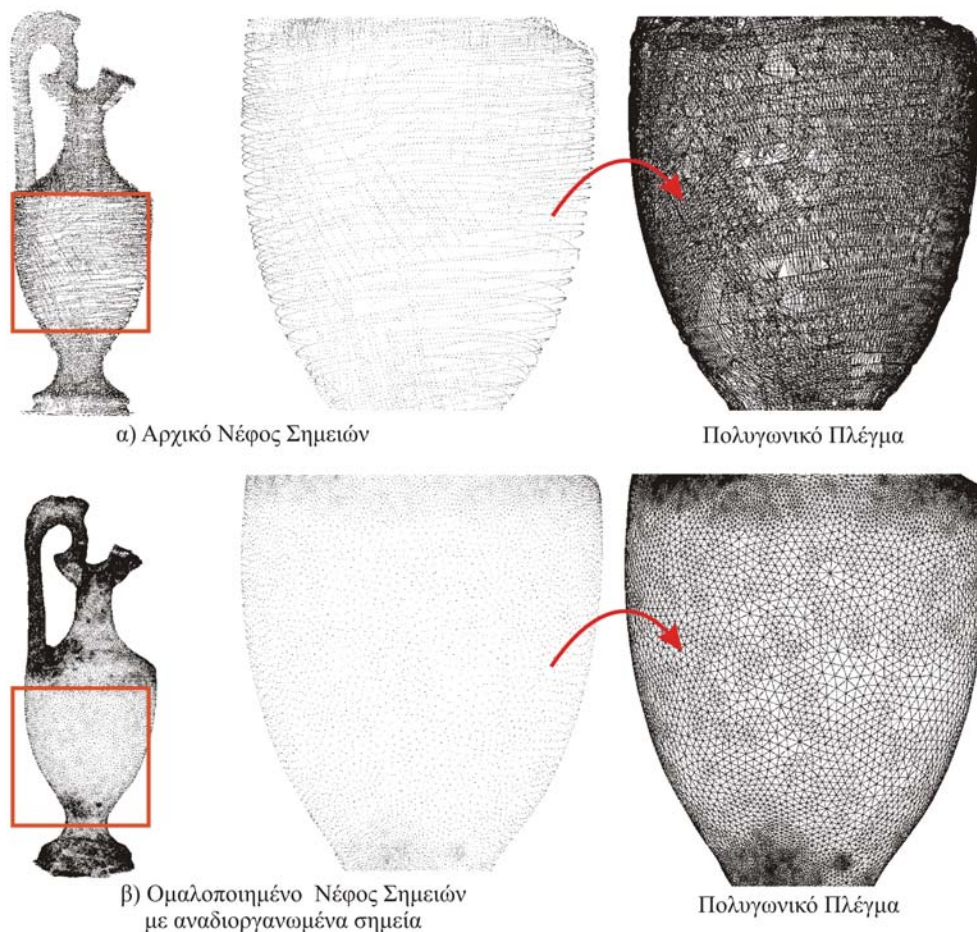
1.3 Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας

Η διαδικασία της προ-επεξεργασίας πραγματοποιείται αμέσως μετά την αποτύπωση των δεδομένων γεωμετρίας και περιλαμβάνει ένα σύνολο από μερικώς ασυσχέτιστες εργασίες [82]. Είναι μια διαδικασία συναντούμε συχνά στα εμπορικά συστήματα ως ενσωματωμένη μέσα στη διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικών πλεγμάτων. Ο υπολογισμός των *πινάκων καθέτων διανυσμάτων* είναι μια από αυτές, κατά την οποία χρησιμοποιείται η γεωμετρική πληροφορία της σάρωσης για να αναγνωριστεί η φορά των διανυσμάτων αυτών για κάθε σημείο. Αυτή είναι πολύ σημαντική πληροφορία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για την ορθή οπτική αναπαράσταση του αντικειμένου, την ενοποίηση τμημάτων αλλά και την τμηματοποίηση των δεδομένων.

1.4 Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφος σημείων

Τα δεδομένα που αποκτώνται από τους τρισδιάστατους σαρωτές περιέχουν, συνήθως, σφάλματα εξαιτίας της ύπαρξης θορύβου. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα σφάλματα αυτά. Ο θόρυβος εμφανίζεται με τη μορφή τυχαίων σημείων γύρω από την πραγματική επιφάνεια του αντικειμένου. Μια μέθοδος που επιτρέπει την απαλοιφή του θορύβου είναι ο υπολογισμός του μέσου όρου θέσης των σημείων ανάμεσα σε επικαλυπτόμενες σαρώσεις [68]. Άλλη μια τεχνική βασίζεται στην υπό-δειγματοληψία των σημείων του νέφους που πραγματοποιείται βάσει μιας εκτίμησης της επιφάνειας του αντικειμένου. Οι Alexa et al. [69] και Correia et al. [70] εφαρμόζουν την τεχνική *Moving Least Square projection* (MLS) του Levin [71] για να φιλτράρουν το θόρυβο. Ένα

πλήθος αλγορίθμων που προέρχονται από το χώρο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας ομαλοποιούν τα δεδομένα του νέφους σε δύο διαστάσεις. Οι απλοί γραμμικοί αλγόριθμοι (π.χ. Gaussian smoothing) έχουν το μειονέκτημα να μην μπορούν να ξεχωρίσουν το θόρυβο από τα υψηλής συχνότητας δεδομένα. Έτσι καταλήγουν να ομαλοποιούν τις άκρες και τις λεπτομέρειες των αντικειμένων. Γενικότερα οι μη-γραμμικοί αλγόριθμοι είναι καταλληλότεροι για αφαίρεση του θορύβου [82]. Στην Εικόνα 58 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ομαλοποίησης νέφους σημείων για ένα σχετικά απλό αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 59. Ομαλοποίηση νέφους σημείων

1.5 Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων

Η διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγουν οι σαρωτές είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Το

μέγεθος των δεδομένων οδηγεί τα υπολογιστικά συστήματα στα όρια λειτουργίας τους, ιδιαίτερα όταν απαιτείται αλληλεπίδραση με τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία της ομαδοποίησης των δεδομένων αποτελεί μια λύση στο πρόβλημα. Ειδικές δομές δεδομένων (οκταδικά και δυαδικά δέντρα) οργανώνουν με τέτοιο τρόπο τα δεδομένα, ώστε η προσπέλαση τους να γίνεται έξυπνα και γρήγορα ανάλογα με την οπτική γωνία υπό την οποία εμφανίζεται το αντικείμενο. Οι δομές αυτές επιτρέπουν τη μερική εμφάνιση των δεδομένων και προσφέρουν την δυνατότητα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο χωρίς την ανάγκη ταυτόχρονης προσπέλασης όλου του όγκου πληροφορίας [82].

1.6 Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων

Οι τμηματικές σαρώσεις πρέπει να ευθυγραμμισθούν μεταξύ τους έτσι ώστε να μπορεί να σχηματιστεί η πλήρης γεωμετρική απόδοση του αντικειμένου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου αυτοματοποιημένη εάν είναι γνωστή στο λογισμικό η θέση του σαρωτή σε κάθε τμηματική σάρωση. Όταν κάτι τέτοιο δεν ισχύει, η διαδικασία πρέπει να γίνει, αρχικά τουλάχιστον, χειροκίνητα. Ο χρήστης τοποθετεί με τη βοήθεια του λογισμικού τα τμήματα σε κάποιες θέσεις, οι οποίες θα βελτιωθούν στη συνέχεια αυτόματα από το ίδιο το λογισμικό. Ο χρήστης συνήθως ορίζει κάποια κοινά σημεία πάνω στις τμηματικές σαρώσεις, τα οποία θα χρησιμοποιήσει το λογισμικό για να τις ευθυγραμμίσει. Πάντως, τα περισσότερα συστήματα, σήμερα, βασίζονται στην ανθρώπινη παρέμβαση. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί εύχρηστα διαδραστικά εργαλεία που υποβοηθούν με τη δυνατότητα άμεσης επιλογής χαρακτηριστικών ανάμεσα στις τμηματικές σαρώσεις. Το λογισμικό βασίζεται στα σημεία που θα του δώσει ο χρήστης για να δημιουργήσει τους κατάλληλους χωρικούς μετασχηματισμούς που θα αποφέρουν την ευθυγράμμιση των τμημάτων. Η χειροκίνητη ευθυγράμμιση απαιτεί αρκετό χρόνο, ίσως τον περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων. Η αυτοματοποιημένη εξακρίβωση των χαρακτηριστικών ανάμεσα στις τμηματικές σαρώσεις είναι μια επιθυμητή αλλά ταυτόχρονα δύσκολη διαδικασία. Αποτελεί, άλλωστε, ενεργό χώρο μελέτης και έρευνας.

Όταν το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων αγγίζει τις αρκετές δεκάδες τότε η ευθυγράμμιση θα πρέπει να γίνεται σε επίπεδο ομάδων. Οι ομάδες ορίζονται συνήθως από το χρήστη. Γενικά, η ευθυγράμμιση τμηματικών σαρώσεων πραγματοποιείται ευκολότερα σε *κλειστά* αντικείμενα (π.χ. ένα βάζο) από ότι σε *ανοικτά* (π.χ. μια μαρμάρινη ανάγλυφη διακόσμηση) [7].

Ο αλγόριθμος *επαναληπτικής προσέγγισης σημείου* (ICP) ²¹ έχει γίνει από όλους αποδεκτή ως η πιο χρήσιμη μέθοδος για ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικά νέφη σημείων. Η πρώτη περιγραφή του αλγορίθμου έγινε από τους Besl και McKay το 1992 [8]. Ο αλγόριθμος πραγματοποιείται σε δύο διακριτά βήματα: κατά το πρώτο βήμα πραγματοποιείται η αναγνώριση αντίστοιχων σημείων, ενώ κατά το δεύτερο γίνεται εκτίμηση του χωρικού μετασχηματισμού που θα ελαχιστοποιήσει την απόσταση ανάμεσα τους. Η εκτέλεση των δύο αυτών βημάτων επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό συνταίριασμα. Ο αλγόριθμος δεν έχει υψηλές απαιτήσεις υπολογιστής ισχύος και αποφέρει αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας. Βασικό του μειονέκτημα είναι η αστάθεια που παρουσιάζει σε ομαλές επιφάνειες.

Άλλες μέθοδοι ευθυγράμμισης βασίζονται σε κάποια ειδικά αντικείμενα έλεγχου (π.χ. σφαίρες, κυλίνδρους και επίπεδα). Τα αντικείμενα ελέγχου τοποθετούνται γύρω από το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση. Τα αντικείμενα ελέγχου ψηφιοποιούνται μαζί με το αντικείμενο και μπορούν να αναγνωριστούν αυτόματα από το λογισμικό, το οποίο, αναγνωρίζοντας τη θέση τους, ευθυγραμμίζει τις τμηματικές σαρώσεις [95]. Το μειονέκτημα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πως σε κάθε σάρωση θα πρέπει να εμφανίζονται τουλάχιστον τρία από τα αντικείμενα ελέγχου.

Μετά την ευθυγράμμιση των τμηματικών σαρώσεων, σειρά έχει η συγχώνευση και ενοποίησή τους (Εικόνα 59). Είναι η πλέον απαιτητική διαδικασία σε επίπεδο πόρων για ένα υπολογιστικό σύστημα. Πολλές φορές οι ίδιες οι εταιρείες ανάπτυξης του λογισμικού προτείνουν τον έλεγχο των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων, αφού ο όγκος των δεδομένων υπερβαίνει κατά πολύ την χωρητικότητα της μνήμης ενός απλού υπολογιστή.

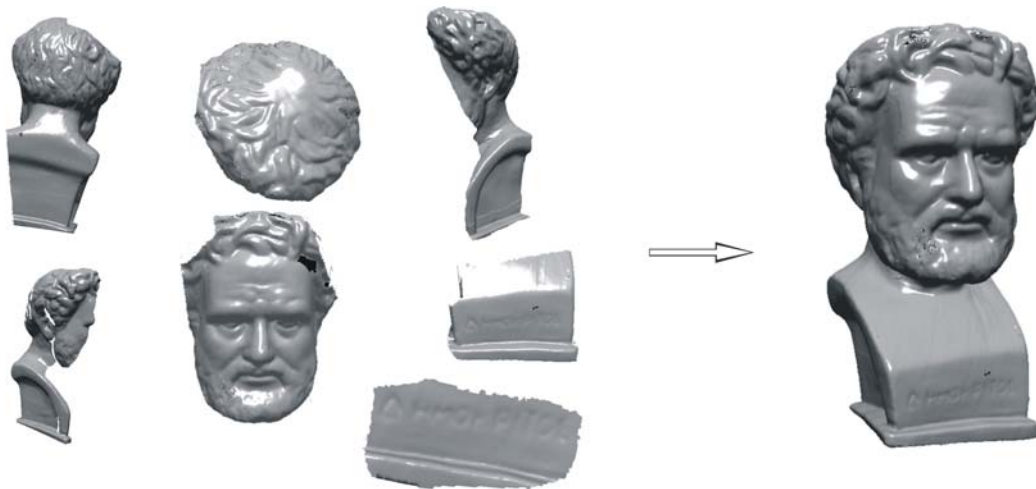
²¹ Ο αλγόριθμος Iterative Closest Point ανήκει στην κατηγορία *αλγορίθμων ενοποίησης βάσει σημείων*.



Κατά τη διαδικασία ενοποίησης, το λογισμικό αναλαμβάνει να αφαιρέσει τα πλεονάζοντα σημεία που έχουν παραχθεί στα επικαλυπτόμενα τμήματα των σαρώσεων.

Η ενοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα:

- Σε επίπεδο σημείων, αμέσως μετά την ευθυγράμμιση των τμημάτων: το λογισμικό εξετάζει εάν κάποιο σημείο μιας σάρωσης εμφανίζεται και σε κάποια άλλη σάρωση, και δεν το λαμβάνει στο εξής υπόψιν
- Σε επίπεδο περιοχής-αντικειμένου: καθώς τα δεδομένα μοντελοποιούνται, τα τμήματα που αναγνωρίζονται ως κοινά συγχωνεύονται
- Άμεση αναγνώριση: η αναγνώριση των σημείων γίνεται άμεσα πάνω σε ένα νέφος σημείων που αποτελείται από όλες τις τμηματικές σαρώσεις. Η μοντελοποίηση πάνω στο τρισδιάστατο νέφος σημείων είναι δύσκολη και απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ



Εικόνα 60. Ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων

1.7 Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing)

Η διαδικασία αυτή αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό και ευρέως διαδεδομένο αλγόριθμο οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων επιφανειών. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι *τριγωνοποίησης* που έχουν ως κοινό στόχο τη μετατροπή ενός νέφους σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια από τρίγωνα (γνωστή και ως πολυγωνικό πλέγμα). Το πολυγωνικό πλέγμα αποτελεί μια πιο «διαισθητική»

απόδοση του αντικειμένου, ιδιαίτερα όταν εφαρμοστεί πάνω του η πληροφορία υφής. Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης πολυγωνικών πλεγμάτων είναι η σημαντική μείωση του όγκου δεδομένων που απαιτείται για την περιγραφή τρισδιάστατης γεωμετρίας. Το πολυγωνικό πλέγμα επιτρέπει τη διαδραστική μελέτη του τρισδιάστατου αντικείμενου για εξαγωγή διαστάσεων, ορθογραφικών φωτογραφιών, κ.α. Ορισμένοι αλγόριθμοι [96],[97] υπολογίζουν το πλέγμα προοδευτικά, βασιζόμενοι στην πληροφορία που παρέχουν τα γειτονικά σημεία του νέφους. Άλλοι, πιο πολύπλοκοι, αποφασίζουν και για την ανάλυση του πλέγματος σε κάθε περιοχή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των επιφανειών που δημιουργούν (καμπύλες και επίπεδα).

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι ο θόρυβος που έχει καταφέρει να διαφύγει από το αρχικό φιλτράρισμα του νέφους εμφανίζεται πιο έντονος στις επιφάνειες του τριγωνικού πλέγματος.

1.8 Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, η μείωση της γεωμετρικής πληροφορίας είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων. Η απλοποίηση της γεωμετρίας πραγματοποιείται σε περιοχές της επιφάνειας του αντικείμενου που δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές. Ένας ρυθμός δειγματοληψίας της τάξης των 0,22 χιλιοστών για μια επίπεδη επιφάνεια, αποδεικνύεται μάλλον άστοχος, αφού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η ίδια επιφάνεια θα μπορούσε να περιγραφεί από ελάχιστα σημεία. Οι σύγχρονοι αλγόριθμοι απλοποίησης γεωμετρίας αναγνωρίζουν αυτόματα τα τμήματα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που μπορούν να υποστούν απλοποίηση χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα τους [98],[99]. Ειδικές δομές δεδομένων διαχωρίζουν τη γεωμετρία του μοντέλου σε τμήματα. Ο διαχωρισμός γίνεται με κριτήριο την πολυμορφία της επιφάνειας ανάλογα με την περιοχή. Η οργάνωση των δεδομένων κατά αυτό τον τρόπο συνεισφέρει στην αφαίρεση πληροφορίας ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της ομάδας που εργάστηκε στην ψηφιοποίηση του Δαβίδ²² (Digital Michelangelo Project). Η ερευνητική ομάδα ανέπτυξε έναν αλγόριθμο που βασίζεται στην τεχνική της εικονικής μνήμης και καταφέρνει να επεξεργαστεί και να απλοποιήσει μοντέλα με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το αρχικό μοντέλο του Δαβίδ έφερε 2 δισεκατομμύρια τρίγωνα, τα οποία μειώθηκαν σε μόλις 56 εκατομμύρια.

Σε κάποιες περιπτώσεις η απλοποίηση μπορεί να θεωρηθεί απλά μια προσπάθεια συμβιβασμού ανάμεσα στην ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου και του όγκου δεδομένων που το περιγράφει. Με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου απλοποίησης η απώλεια πληροφορίας είναι, προφανώς, αναπόφευκτη.

Ο Πίνακας V συνοψίζει τις μειώσεις που δέχεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο²³, που προέρχεται από αρχικό πολυγωνικό πλέγμα 34.970 τριγώνων, υπό την επίδραση διαφόρων μεθόδων απλοποίησης γεωμετρίας. Οι αλγόριθμοι που συγκρίνονται είναι οι Quadric Error, Quadric Error Weighted [100], Απλοποίηση του Stan Melax [101] και ένας απλός αλγόριθμος που αφαιρεί σε κάθε εκτέλεση του τις μικρότερες σε μήκος τριγωνικές πλευρές [102]. Το πολυγωνικό πλέγμα απλοποιείται με σταθερό ποσοστιαίο βήμα ενώ τα αποτελέσματα που περιέχει ο πίνακας ανταποκρίνονται στο τελικό πλήθος των τριγώνων του πλέγματος. Ας σημειωθεί ότι η απλοποίηση εφαρμόζεται στο αρχικό γεωμετρικό πλέγμα.

Πίνακας V. Σύγκριση αποτελεσμάτων αλγορίθμων απλοποίησης γεωμετρίας

Ποσοστό απλοποίησης (%)	(Α) Quadric Error Weighted	(Β) Quadric Error	(Γ) Melax's Simplification	(Δ) Shortest Edge First
95%	1.059	1.040	1.403	1.444
90%	2.132	2.116	2.936	3.053
85%	3.203	3.267	4.559	4.708
80%	4.228	4.632	6.195	6.381
75%	5.975	6.205	7.883	8.039
70%	7.949	7.959	9.614	9.762
65%	9.897	9.782	11.400	11.470
60%	11.838	11.582	13.128	13.219
55%	13.774	13.429	14.900	14.957
50%	15.705	15.310	16.698	16.682
45%	17.621	17.198	18.550	18.437
40%	19.558	19.116	20.309	20.172

²² Ο Δαβίδ αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα έργα του Michelangelo (1501-04).

²³ Αντίγραφο της Αφροδίτης της Μήλου (3^{ος} π.Χ. αιώνας έως 150 π.Χ.). Ψηφιοποιήθηκε με τη μέθοδο Σχήμα-Από-Σιλουέτες.

Ποσοστό απλοποίησης (%)	(Α) Quadric Error Weighted	(Β) Quadric Error	(Γ) Melax's Simplification	(Δ) Shortest Edge First
35%	21.500	21.111	22.081	21.955
30%	23.432	23.120	23.963	23.711
25%	25.136	25.100	25.933	25.467
20%	27.172	27.209	27.901	27.169
15%	29.294	29.292	29.766	28.849
10%	31.271	31.217	31.656	30.602
5%	33.167	33.132	33.440	34.920
0%	34.970	34.970	34.970	34.970

Ενδιάμεσα στάδια διαδικασιών παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 60, Εικόνα 61). Χαρακτηριστικό φαινόμενο είναι η εμφάνιση κενών (ασυνέχειες στο πολυγωνικό πλέγμα) στις απλοποιημένες εκδόσεις της γεωμετρίας. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στον αλγόριθμο (Δ) όπου τα κενά εμφανίζονται πολύ νωρίς (πολύ πιο πριν από τις άλλες μεθόδους).

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια αξιολόγησης ενός αλγορίθμου απλοποίησης γεωμετρίας είναι τα παρακάτω [100]:

- Αποτελεσματικότητα: η ικανότητα του αλγορίθμου να απλοποιεί με γρήγορους ρυθμούς σύνθετα μοντέλα
- Ποιότητα: οι προσεγγίσεις που προκύπτουν από τον αλγόριθμο διατηρούν την υψηλότερη δυνατή πιστότητα των λεπτομερειών του αρχικού μοντέλου
- Γενικότητα: η αναμενόμενη παρόμοια συμπεριφορά του αλγορίθμου κάτω από οποιεσδήποτε πιθανές μορφές επιφάνειας

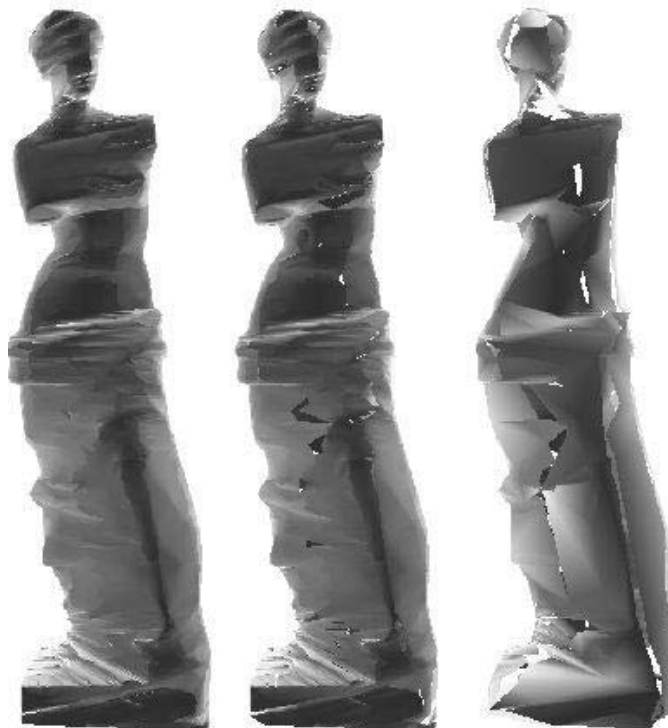


34.970 Τρίγωνα

15.705 τρίγωνα

1.059 τρίγωνα

Quadric - Garland & Heckbert [100]



34.970 Τρίγωνα

15.310 τρίγωνα

1.040 τρίγωνα

Quadric - Garland & Heckbert [100]

Εικόνα 61. Αλγόριθμοι απλοποίησης Quadric



Αλγόριθμος Stan Melax [101]

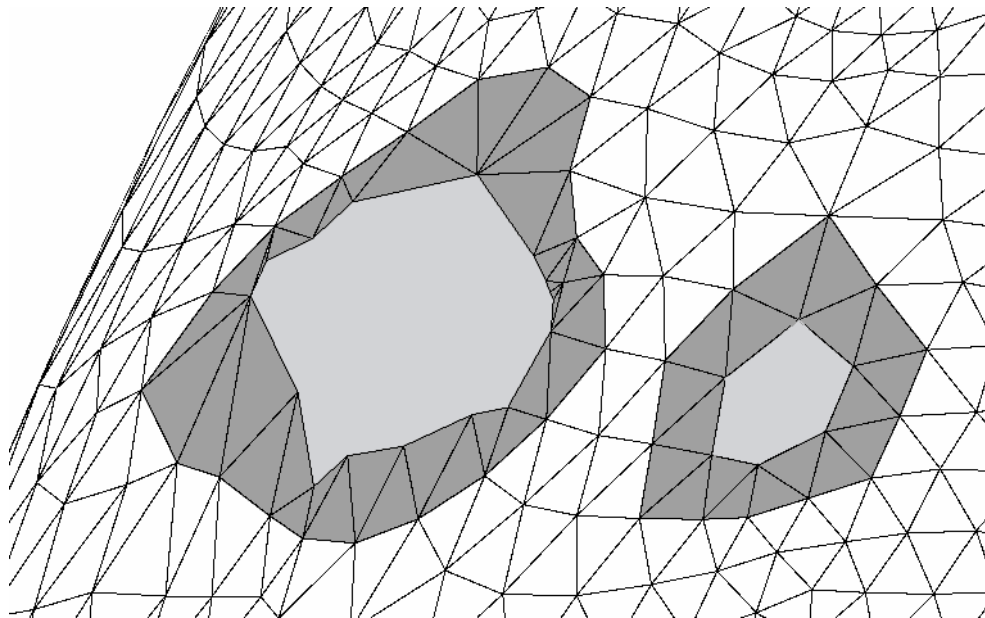


Shortest Edge Αλγόριθμος - Jeff Somers [102]

Εικόνα 62. Αλγόριθμοι απλοποίησης

1.9 Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών

Σε ομαλές ή επίπεδες επιφάνειες η συμπλήρωση των κενών μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια απλή διαδικασία *παρεμβολής* (interpolation). Οι Wang και Oliveira [72] περιγράφουν μια διαδικασία για την αυτόματη αναγνώριση γεωμετρικών ασυνεχειών και της απαλοιφής τους. Τα κενά αναγνωρίζονται αναλύοντας το τριγωνικό πλέγμα σε κυκλική φορά, ενώ, ταυτόχρονα, πραγματοποιείται αναζήτηση για μη κοινές πλευρές (Εικόνα 62). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δε δύναται να αναγνωρίσει τα σημεία της επιφάνειας όπου πραγματικά υπάρχει ασυνέχεια. Επίσης δεν αντιλαμβάνεται τις περιοχές που πάσχουν από υπό-δειγματοληψία (αραιά τοποθετημένα τρίγωνα). Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η συμμετοχή του χρήστη. Μόλις αναγνωριστεί το κενό δημιουργούνται τα ενδιάμεσα σημεία βάσει των γειτονικών τους. Τα τρίγωνα που εμφανίζονται χρωματισμένα με γκρι σκούρο χρώμα στην Εικόνα 62 αποτελούν τα *συμφραζόμενα παρεμβολής*, πάνω στα οποία βασίζεται ο αλγόριθμος για να γεμίσει το κενό.



Εικόνα 63. Αναγνώριση ασυνεχειών σε τριγωνικό πλέγμα

Αν και υπάρχουν αρκετές και διαφορετικές τεχνικές απαλοιφής ασυνεχειών, τα αποτελέσματά τους, τις περισσότερες φορές, δε συμβαδίζουν με την πληρο-

φορία που φέρουν τα πραγματικά αντικείμενα. Παρόλα αυτά, όμως, αποτελούν τη μοναδική λύση αντιμετώπισης του συγκεκριμένου προβλήματος.

Μια εναλλακτική τεχνική για τη συμπλήρωση κενών σε νέφη σημείων έχει προταθεί από τους Carr et al.[73]. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πολύ-αρμονικές πολικές συναρτήσεις. Μπορεί και διαχειρίζεται μεγάλους όγκους δεδομένων και παράγει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως τεχνική τμηματοποίησης και αναδιοργάνωσης νεφών σημείων.

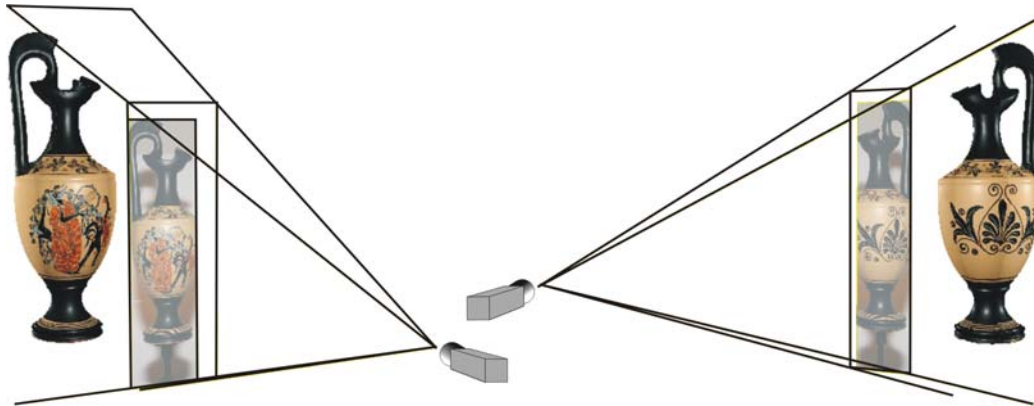
1.10 Δημιουργία υφής

Σε εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής, η χρωματική πληροφορία υφής των αντικειμένων που ψηφιοποιούνται δεν είναι απαραίτητη και αποτελεί πλεονασμό. Η συγκεκριμένη άποψη έρχεται σε αντίθεση με τις ανάγκες ψηφιοποίησης των πολιτισμικών αντικειμένων. Η πληροφορία υφής προσδίδει στο αντικείμενο φωτορεαλισμό. Μεγάλο τμήμα της πληροφορίας που φέρουν τα πολιτιστικά αντικείμενα βρίσκεται αποτυπωμένο στην υφή τους. Πάμπολλες είναι, για παράδειγμα, οι περιπτώσεις στις οποίες η διακόσμηση ενός αρχαιολογικού ευρήματος φέρει ζωτικής σημασίας πληροφορία για έναν αρχαιολόγο.

Η τεχνητή ανακατασκευή της όψης ενός αντικειμένου είναι ένα από τα τελευταία στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης. Πολλές εφαρμοσμένες τεχνικές προβάλλουν, άμεσα, φωτογραφίες πάνω στη γεωμετρία του αντικειμένου για να δημιουργήσουν τους λεγόμενους *χάρτες υφής* (texture maps) (Εικόνα 63). Διαφορετικές εικόνες συγχωνεύονται για τη δημιουργία του τελικού χάρτη υφής. Η συγχώνευση αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιων τεχνικών ανάμιξης των χρωμάτων ανάμεσα στα όρια των εικόνων (βλέπε *Σχήμα-Από-Σιλουέτες*). Εκτός από το μεγάλο πλεονέκτημα της ρεαλιστικής απόδοσης του αντικειμένου, η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζει κάποια προβλήματα. Η πληροφορία υφής του αντικειμένου εμφανίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού, οι οποίοι είναι, πολλές φορές, απαγορευτικοί για διαδικασίες φωτορεαλιστικής απόδοσης. Με άλλα λόγια, το αντικείμενο εμφανίζεται πάντα στις συνθήκες φωτισμού που περιέχουν οι φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν



ως βάση για την δημιουργία του τελικού χάρτη υφής. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, έχουν πραγματοποιηθεί πάμπολλες μελέτες για την παραγωγή χαρτών υφής ανεξαρτήτως συνθηκών φωτισμού [9]-[11].



Εικόνα 64. Προβολή εικόνων πάνω στο πολυγωνικό πλέγμα

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, εκτός από την ανακατασκευή γεωμετρίας στα σημεία όπου υπάρχουν κενά, κάποιες φορές, είναι απαραίτητη και η ανακατασκευή της πληροφορίας υφής. Η διαδικασία των *moving-least-squares* μπορεί να εφαρμοστεί για την ανακατασκευή τεχνητών ομαλά μεταβαλλόμενων χρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της χρωματικής τιμής ενός εικονοστοιχείου ανάλογα με τις τιμές που έχει η γεωμετρία στον άξονα Z στο συγκεκριμένο σημείο και με την πληροφορία από τα γειτονικά εικονοστοιχεία.



2

Γενικά χαρακτηριστικά συστημάτων και η συμβολή τους στη διαδικασία ψηφιοποίησης

2.1 Εισαγωγή

Η ακρίβεια ψηφιοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως το επικρατέστερο κριτήριο για την επιλογή ενός σαρωτή. Υπάρχει, όμως, στην πραγματικότητα, ένα πλήθος άλλων χαρακτηριστικών, τα όποια πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την πρακτική εφαρμογή συστημάτων ψηφιοποίησης και μπορεί να παίζουν καθοριστικό ρόλο σε μια εργασία ψηφιοποίησης. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα γενικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν μια διαδικασία ψηφιοποίησης.

2.2 Η ταχύτητα ψηφιοποίησης

Η διαδικασία σάρωσης μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα, ιδιαίτερα όταν απαιτούνται υψηλής πυκνότητας νέφη σημείων. Ένας ρυθμός κοντά στα 10.000-30.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο θεωρείται, γενικά, επαρκής για πολλές εφαρμογές. Ο ρυθμός απόκτησης δεδομένων δε συμβάλει σημαντικά στη μείωση του συνολικού χρόνου που απαιτεί μια εργασία. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα εμφανές αφού στο συνολικό χρόνο αποπεράτωσης συνυπολογίζονται και οι

χρόνοι άλλων εργασιών, όπως η μετεγκατάσταση του σαρωτή σε διαφορετικά σημεία, η βαθμονόμηση του και πιθανοί έλεγχοι. Έτσι, μια δραματική αύξηση στο ρυθμό απόκτησης δεδομένων δεν αναμένεται να προσφέρει σημαντική μείωση στο συνολικό χρόνο της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων.

2.3 Οι τεχνικές βαθμονόμησης

Για τον προσδιορισμό των επιδόσεων ενός τρισδιάστατου σαρωτή είναι απαραίτητη η βαθμονόμησή του. Θεωρητικά η βαθμονόμηση πρέπει να βασίζεται σε τυποποιημένες διαδικασίες, οι οποίες, δυστυχώς, δεν υπάρχουν ακόμη για συστήματα τρισδιάστατης σάρωσης [79]. Το ISO 10360-2:1994 περιγράφει τις μεθόδους για την εκτίμηση των επιδόσεων ενός *Συστήματος Μέτρησης Συντεταγμένων*. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αισθητήρα αφής σε συνδυασμό με γνώση ενός καρτεσιανού συστήματος αξόνων. Η βαθμονόμηση τους πραγματοποιείται με την απομόνωση και αποτύπωση σημείων σε γνωστές θέσεις. Στα *συστήματα τρισδιάστατης σάρωσης από απόσταση* δεν υπάρχει κάποια μέθοδος απομόνωσης σημείων και συνεπώς, η ανεξάρτητη βαθμονόμηση είναι αδύνατη. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος μη εφαρμογής του συγκεκριμένου προτύπου ISO.

Η γεωμετρική πολυπλοκότητα και η μη-γραμμική φύση των οπτικών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στους τρισδιάστατους σαρωτές επιβάλλει κάποιες μορφές βαθμονόμηση πριν από οποιαδήποτε μέτρηση. Κάποιες από τις κλασικές μεθόδους βαθμονόμησης περιλαμβάνουν χαρτογραφήσεις ή μετασχηματισμούς προοπτικής πάνω σε δεδομένα που έχουν αποτυπώσει οι οπτικοί αισθητήρες. Τα δεδομένα έχουν την μορφή δισδιάστατων εικόνων. Η πολυπλοκότητα και η ποικιλία των αλγορίθμων βαθμονόμησης εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από τους διαφορετικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται. Δύο βασικοί τύποι μεθόδων βαθμονόμησης είναι:

- μέθοδος σημείων αναφοράς (*reference artifact*)
- μέθοδος γεωμετρίας συστήματος (*system geometry*)

Η βαθμονόμηση του συστήματος αποτελεί τη βάση μιας θεωρητικής προσέγγισης των επιδόσεων ενός συστήματος. Οι πραγματικές επιδόσεις επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που ψηφιοποιούνται αλλά και από τους ίδιους τους οπτικούς αισθητήρες. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις (ανακλάσεις, απορρόφηση και διάθλαση δέσμης φωτός, κοκ). Από την άλλη, το λογισμικό που συνοδεύει το σαρωτή παίζει σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο υπολογισμός της πραγματικής επίδοσης ακρίβειας μέτρησης ενός σαρωτή πρέπει να υποστηρίζεται από τα χαρακτηριστικά του λογισμικού που αναλαμβάνει να ανακτήσει την πληροφορία βάθους.

2.4 Η επαλήθευση της ακρίβειας

Είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο ή διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδος για την εκτίμηση της ακρίβειας των συστημάτων σάρωσης [80]. Πολλές φορές ο χρήστης αναγκάζεται να αναπτύξει τις δικές τους μεθόδους επαλήθευσης. Ο Beraldin το 1997 [80] παρουσίασε μια μέθοδο μέτρησης της ακρίβειας του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου που βασίζεται σε *ψηφιακούς θεοδόλιχους* και *φωτογραμμετρία*. Το αντικείμενο που ψηφιοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης του Beraldin ήταν το άγαλμα της Μαγδαληνής²⁴ ενώ το σύστημα ψηφιοποίησης ήταν της Optonet Srl²⁵. Ο Πίνακας VI περιγράφει το βαθμό αβεβαιότητας σ που φέρει το τρισδιάστατο μοντέλο. Τα αποτελέσματα της επαλήθευσης ήταν παρόμοια με αυτά που υπολογίσθηκαν κατά την διάρκεια της βαθμονόμησης [80].

Πίνακας VI. Παράδειγμα ασάφειας μετρήσεων

	Αξονας X $\sigma_x(\mu\text{m})$	Αξονας Y $\sigma_y(\mu\text{m})$	Αξονας Z $\sigma_z(\mu\text{m})$	Περιοχή σάρωσης (mm^2)	Βάθος (mm)
Αρχική Πρόχειρη Σάρωση	35	20	125	310x230	140
Στάδιο Γεμίματος Κενών	18	11	75	225x165	100
Υψηλής Ανάλυσης Σάρωση	10	6	21	80x58	50

²⁴ Μαγδαληνή του Donatello (1446 – 1450). Το ύψος του αγάλματος είναι γύρω στα 180 cm.

²⁵ OPTO 3D-RANGER. Το σύστημα εφαρμόζει την τεχνική *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως*. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων ψηφιοποίησης κοντινών αποστάσεων.

2.5 Τα όρια απόστασης για ορθή λειτουργία και παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων

Οι προδιαγραφές για το βεληγεκές των σαρωτών κοντινής απόστασης πρέπει πάντα να τίθενται υπό αμφισβήτηση [5]. Οι πιθανές αποστάσεις κάλυψης σχετίζονται πάντα από την ανακλαστικότητα του ίδιου του αντικειμένου και από άλλους παράγοντες όπως η διαύγεια της ατμόσφαιρας, ο περιβάλλον φωτισμός και οποιαδήποτε άλλη επιπρόσθετη ακτινοβολία φυσική (π.χ. ήλιος) ή τεχνηκή (ακτινοβολία από παρεμβαλλόμενες πηγές).

2.6 Το οπτικό πεδίο

Οι σταθεροί σαρωτές χωρίς μηχανοκίνητους άξονες περιστροφής έχουν ένα περιορισμένο οπτικό πεδίο. Τυπικά, μπορούν να σαρώσουν μια περιοχή 40° επί 40° που αντιστοιχεί σχεδόν σε $0,5$ ακτίνια στερεάς γωνίας (μια πλήρης σφαίρα έχει περίπου $12,6$ ακτίνια στερεάς γωνίας). Από την άλλη, σαρωτές με έναν άξονα κίνησης μπορούν να σαρώσουν περίπου 450° επί 320° ή $4,5$ ακτίνια στερεάς γωνίας, ενώ συστήματα με δύο άξονες (πανοραμικής άποψης) μπορούν να σαρώσουν τα πάντα εκτός από μια κωνική περιοχή κοντά στις 300° γύρω από το ναδίρ. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν τη σάρωση σε ένα οπτικό πεδίο που πλησιάζει τα $11,7$ ακτίνια στερεάς γωνίας. Τα μεγάλα οπτικά πεδία παίζουν σημαντικό ρόλο σε περιπτώσεις κλειστών χώρων όπως σε ένα δωμάτιο.

Γενικότερα, οι σαρωτές τριγωνοποίησης εισάγουν ένα μεγαλύτερο πλήθος προβλημάτων, που οφείλεται κυρίως στο γεγονός της αδυναμίας πλήρους οπτικής επαφής με το σύνολο της απαιτούμενης πληροφορία. Σε ορισμένες περιπτώσεις τίθεται, συνεπώς, το ερώτημα του κατά πόσο είναι εύκολη ή εφικτή η απόκτηση πληροφορίας όταν αυτή είναι διαθέσιμη από μία και μόνο οπτική γωνία.

Πρόσφατα, ερευνητές από το πανεπιστήμιο του Οχάιο σε συνεργασία με την Cyberware²⁶ ανέπτυξαν λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντε-

²⁶ Cyberware – Εταιρία ανάπτυξης συστημάτων τρισδιάστατης σάρωσης – <http://www.cyberware.com/>.



λοποίηση του οπτικού μονοπατιού που πρέπει να ακολουθήσει ο σαρωτής τους για να καλύψει πλήρως το αντικείμενο [78].

2.7 Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

Κάποιοι χρήστες καθώς και συγκεκριμένες εφαρμογές απαιτούν την ύπαρξη υψηλής ποιότητας φωτογραφικών ψηφιακών συστημάτων μέσα στον ίδιο το σαρωτή, αυξάνοντας πολύ σημαντικά το συνολικό κόστος της απαιτούμενης υλικοτεχνικής υποδομής. Καθώς το αγοραστικό κοινό των τρισδιάστατων σαρωτών είναι ακόμη περιορισμένο, η μέση οδός που προτείνουν οι εταιρείες ανάπτυξης είναι η τοποθέτηση εξωτερικής φωτογραφικής μηχανής πάνω στο σαρωτή μόνο όταν αυτό ζητείται από τον αγοραστή. Η τοποθέτηση γίνεται με τη χρήση κάποιου βαθμονομημένου μετατροπέα.

2.8 Η μεταφορά του συστήματος ψηφιοποίησης

Ένας εύκολος στη μεταφορά σαρωτής θα πρέπει να είναι μικρός σε διαστάσεις και ελαφρύς. Πολλές από τις εμπορικές προτάσεις που ενδείκνυνται για αποτύπωση πολιτιστικών αντικείμενων είναι σχετικά ογκώδεις και δεν μπορούν να μεταφερθούν (π.χ. ως αποσκευές σε χώρο επιβατών ενός αεροπλάνου). Σε αρκετές εργασίες τεκμηρίωσης πολιτισμικής κληρονομιάς όπου οι μακρινές αποστάσεις είναι κάτι συνηθισμένο, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην κατασκευή του εξοπλισμού αλλά και στους ειδικούς τρόπους μεταφοράς του συστήματος που προτείνει η εκάστοτε εταιρεία κατασκευής. Ο χρόνος μεταφοράς των συστημάτων περιλαμβάνεται στον χρονοδιάγραμμα εργασιών ψηφιοποίησης ως χρόνος που ο σαρωτής δεν είναι διαθέσιμος [84].

2.9 Η τροφοδοσία ισχύος του συστήματος

Οι σαρωτές που λειτουργούν με μπαταρίες είναι σαφώς πιο ευπροσάρμοστοι σε σύγκριση με αυτούς που χρειάζονται μια μόνιμη γραμμή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Οι φορητές γεννήτριες μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε τέτοιες περιπτώσεις. Ένα βασικό θέμα που προκύπτει είναι οι πιθανές



απαιτούμενες καλωδιώσεις και η εγκατάστασή τους σε χώρους όπως είναι ένα μουσείο. Οι φορητές γεννήτριες ανήκουν στην κατηγορία του επιπρόσθετου εξοπλισμού που αποφέρει αύξηση στο συνολικό όγκο του συστήματος ψηφιοποίησης.

3

Λειτουργικότητα λογισμικού συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης

3.1 Εισαγωγή

Κάθε εμπορικό σύστημα ψηφιοποίησης συνοδεύεται από λογισμικό, το οποίο, εκτός από τη διαχείριση του σαρωτή επιτρέπει στο χρήστη και την αποτελεσματική επεξεργασία και εξαγωγή των δεδομένων. Το λογισμικό που ακολουθεί τους σαρωτές βασίζεται συνήθως στη γνωστή αρχιτεκτονική ολοκλήρωσης ανεξάρτητων μονάδων (modules). Κάθε μονάδα αναλαμβάνει να βοηθήσει το χρήστη στην αποπεράτωση μια συγκεκριμένης διαδικασίας. Η λειτουργικότητα και οι δυνατότητες του λογισμικού επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου και του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την επεξεργασία των δεδομένων.

Όπως περιγράφηκε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφαλαίο, μια τυπική διαδικασία τρισδιάστατης αποτύπωσης αποτελείται από διαφορετικά βήματα που ακολουθούνται με μια συγκεκριμένη σειρά ανάλογα με την μεθοδολογία και το αντικείμενο. Έχοντας σαν κριτήριο αυτά τα βήματα μπορούμε να προσδιορίσουμε τις εξής μονάδες λογισμικού:

- Λογισμικό για τον έλεγχο του συστήματος σάρωσης

- Λογισμικό για την επεξεργασία και βελτιστοποίηση του νέφους σημείων
- Λογισμικό για τοποθέτηση προτύπων γεωμετρικών σχημάτων μέσα στο νέφος σημείων για σύγκριση της ορθότητας των αποτελεσμάτων
- Λογισμικό για την δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος
- Λογισμικό για την επεξεργασία και χαρτογράφηση της πληροφορίας υφής στην επιφάνεια του μοντέλου (Texture Mapping) με δυνατότητες εξομοίωσης σύνθετων επιφανειακών χαρακτηριστικών (π.χ. γυαλάδα, τραχύτητα)
- Λογισμικό για τη διαχείριση των τελικών δεδομένων και οργάνωσης όλης της εργασίας

Σε κάποιες περιπτώσεις, ενώ οι επιδόσεις ενός σαρωτή είναι εντυπωσιακές, το λογισμικό που τον συνοδεύει είναι απογοητευτικό. Καμία εταιρεία δεν προσφέρει ακόμη πραγματικά επαρκές λογισμικό για το σύστημα της [6]. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι κάποιες από τις μονάδες λογισμικού απαιτούν μεγάλη προγραμματιστική γνώση και εμπειρία. Οι ομάδες μηχανικών λογισμικού των εταιρειών που αναπτύσσουν τον τεχνικό εξοπλισμό δεν μπορούν να προσφέρουν τόσο πολύπλοκο λογισμικό, συνήθως για λόγους κόστους. Από την άλλη πλευρά γνωστά εμπορικά πακέτα CAD και τρισδιάστατης μοντελοποίησης δεν είναι φτιαγμένα για να μπορούν να χειριστούν τον όγκο πληροφορίας που αποδίδουν οι σαρωτές. Έτσι, ανεξάρτητες εταιρείες λογισμικού αποφάσισαν να επενδύσουν στην ανάπτυξη εφαρμογών για την επεξεργασία δεδομένων που προέρχονται αποκλειστικά από τρισδιάστατους σαρωτές. Καθώς, μάλιστα, το ενδιαφέρον για την τρισδιάστατη αποτύπωση συνεχώς αυξάνεται δίνεται στις εταιρείες ένα ακαθόριστο χρονικό περιθώριο να συνεχίσουν να αναπτύσσουν τις εφαρμογές τους παράλληλα με την εξέλιξη των σαρωτών πραγματοποιώντας έμμεσα μια μακροπρόθεσμη επένδυση. Σήμερα, οι ανάγκες ενός χρήστη που επιθυμεί γρήγορη και αξιόπιστη επεξεργασία τρισδιάστατων δεδομένων δεν καλύπτονται από ένα και μοναδικό πακέτο λογισμικού. Αυτό επιβάλλει τη χρήση διαφορετικών εφαρμογών. Σε κάποιες περιπτώσεις αναγκάζεται ο χρήστης να φτάσει σε σημείο συγγραφής των δικών του εργαλείων για να καλύψει κάποιες πολύ συγκεκριμένες ανάγκες. Βλέποντας την



πορεία προόδου που διαγράφει η αγορά τρισδιάστατων σαρωτών τα τελευταία χρόνια μπορεί κάποιος να ελπίζει πως στο κοντινό μέλλον θα εδραιωθεί σαν τεχνολογία που θα υποστηρίζεται από υψηλής ποιότητας λογισμικό.

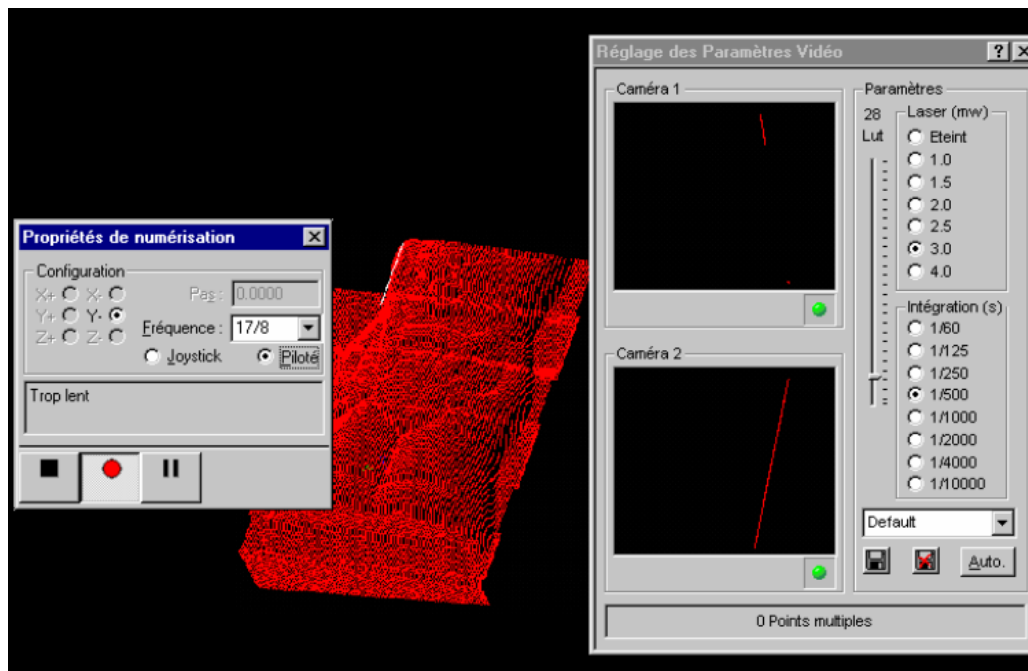
Στο παρόν κεφάλαιο γίνονται αναφορές σε κάποια χαρακτηριστικά που συναντούμε στο λογισμικό των συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης και παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργικότητα του συστήματος κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης. Μερικές αναφορές σχετίζονται αποκλειστικά με λογισμικό που συναντούμε σε σαρωτές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων, ενώ άλλες είναι εφαρμόσιμες και σε συστήματα που βασίζονται σε *παθητικές μεθόδους* (Σχήμα από *X*, *φωτογραμμετρία*, *κοκ*).

3.2 Λογισμικό ελέγχου του συστήματος σάρωσης κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης

Η πολυπλοκότητα χρήσης ενός σαρωτή αντικατοπτρίζεται και στο λογισμικό που τον συνοδεύει. Μερικές από τις βασικότερες ευκολίες που παρέχει το λογισμικό για τον έλεγχο του σαρωτή κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης αναλύονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

3.2.1 Παράθυρο προβολής στόχου

Μια διαδικασία σάρωσης μπορεί να οργανωθεί πολύ καλύτερα αν το λογισμικό μπορεί να εμφανίσει ακόμα και σε πραγματικό χρόνο το τμήμα του αντικειμένου που ψηφιοποιείται. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους του σαρωτή που επηρεάζουν την διαδικασία αποτύπωσης. Οι ρυθμίσεις αυτές μπορεί να είναι η ακρίβεια αποτύπωσης, η ένταση της ακτίνας λέιζερ, ή ακόμα και η ένταση φωτεινότητας του μοτίβου σε περιπτώσεις παθητικών συστημάτων. Οι βέλτιστες ρυθμίσεις πραγματοποιούνται έχοντας σα γνώμονα την πληροφορία που παρέχει το λογισμικό του σαρωτή. Στην Εικόνα 64 εικονίζεται στιγμιότυπο από το λογισμικό ενός σαρωτή ακτίνων λέιζερ. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ένταση της ακτίνας λέιζερ ενώ ταυτόχρονα βλέπει τι ακριβώς αποτυπώνει το σύστημα και σε ποιο σημείο πάνω στο αντικείμενο βρίσκεται.



Εικόνα 65. Λογισμικό Polygonia της εταιρίας Kreon - ρύθμιση της δέσμης φωτός

Κάποια συστήματα επιτρέπουν τη ρύθμιση των οπτικών τους αισθητήρων με αποτέλεσμα την άμεση βελτίωση ποιότητας των δεδομένων. Σε χειροκίνητα συστήματα που βασίζονται σε κάποιο βραχίονα συναντούμε και τη δυνατότητα προβολής του νέφους σημείων καθώς αυτό δημιουργείται σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης μπορεί να περιστρέψει το νέφος και γενικά να το φέρει σε εκείνη την οπτική γωνιά που τον εξυπηρετεί καλύτερα. Το σημείο του αντικειμένου πάνω στο οποίο ανακλάται η δέσμη φωτός εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα μέσα στο νέφος σημείων. Αυτό αποτελεί απαραίτητη πληροφορία για το χρήστη που πρέπει να γνωρίζει σε κάθε χρονική στιγμή ποιο σημείο της επιφάνειας αποτυπώνεται, ώστε να αποφασίζει αν θα επιμείνει στο σημείο ή θα προχωρήσει σε κάποιο άλλο.

3.2.2 Μέθοδοι οπτικής αναπαράστασης και διαχείρισης νέφους σημείων

Ο όγκος πληροφορίας αυξάνεται ανάλογα με τις διαστάσεις του αντικειμένου που αποτυπώνεται. Το λογισμικό, για να μπορέσει να ανταποκριθεί στις ανάγκες του χρήστη και να εξυπηρετεί άμεσα τις εντολές του, χρησιμοποιεί σύνθετους αλγόριθμους που μειώνουν τον όγκο πληροφορίας με έξυπνο τρόπο,



ώστε να επιτρέπουν στην κάρτα τρισδιάστατων γραφικών να παρουσιάζει τα δεδομένα με υψηλό ρυθμό ανανέωσης (frame rate). Η μείωση του όγκου δεδομένων γίνεται με την αναγνώριση των σημείων που ανήκουν στο οπτικό πεδίο του χρήστη. Το λογισμικό αναλαμβάνει μόνο του να υπολογίσει το βέλτιστο συμβιβασμό ανάμεσα στην πυκνότητα του νέφους σημείων και στην ταχύτητα απόκρισης στις εντολές. Ο χρήστης μπορεί να περιστρέψει το νέφος, να πλησιάζει ή να απομακρυνθεί από αυτό σε έναν εικονικό τρισδιάστατο χώρο. Του επιτρέπεται, επίσης, να επιλέγει τμήματα από το νέφος ή ακόμα και μεμονωμένα σημεία.

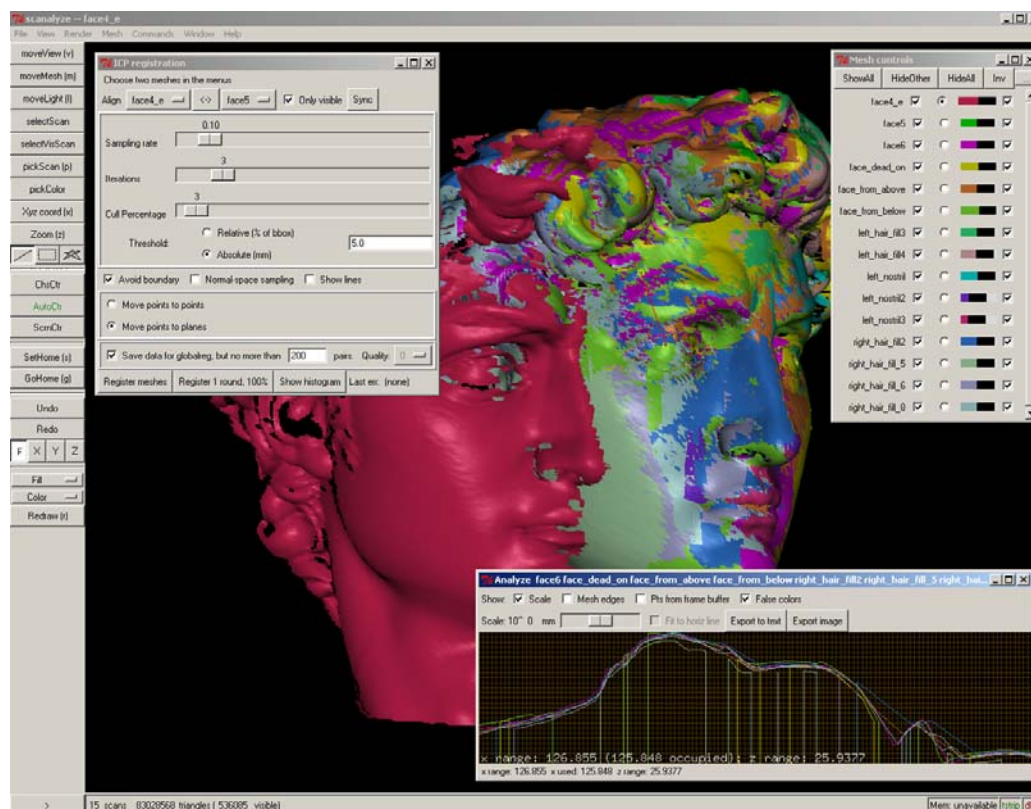
3.3 Λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων

Οι διαδικασίες που συναντούμε κατά την επεξεργασία των δεδομένων έχουν υψηλές απαιτήσεις, τόσο σε επίπεδο αλγορίθμων, όσο και σε επίπεδο ενός λειτουργικού γραφικού περιβάλλοντος που θα επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιεί τις εργασίες του εύκολα. Μερικές από τις βασικότερες ευκολίες που παρέχει το λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

3.3.1 Διαδικασία καταχώρησης τμηματικών σαρώσεων

Η διαδικασία καταχώρησης είναι μια χειροκίνητη διαδικασία που πραγματοποιείται από το χρήστη μέσα σε ένα τρισδιάστατο διαδραστικό περιβάλλον. Σημαντικό λοιπόν για το χρήστη είναι να μπορεί να χρησιμοποιεί και να διακρίνει τους *ειδικούς στόχους* που ορίζουν τα κοινά σημεία ανάμεσα στις τμηματικές σαρώσεις. Η καλύτερη λύση που μπορεί να προσφέρει ένα λογισμικό για τη διαδικασία καταχώρησης είναι ο ταυτόχρονος έλεγχος των επικαλυπτόμενων τμημάτων αλλά και των σημείων αναφοράς που δίνει ο χρήστης. Στην Εικόνα 65 φαίνεται το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής Scanalyze του Εργαστηρίου Γραφικών του Πανεπιστημίου Stanford. Το συγκεκριμένο λογισμικό διατίθεται δωρεάν υπό την μορφή πηγαίου κώδικα μέσα από το Διαδίκτυο. Οι διαφορετικοί χρωματισμοί που παρατηρούνται στο μοντέλο αναπαριστούν τις τμηματικές σαρώσεις. Ενώ το γράφημα κάτω δεξιά αποτελεί μια δισδιάστατη προβολή της

επιφάνειας των επικαλυπτόμενων σαρώσεων που επιτρέπει στο χρήστη την καλύτερη επίβλεψη της ευθυγράμμισης.



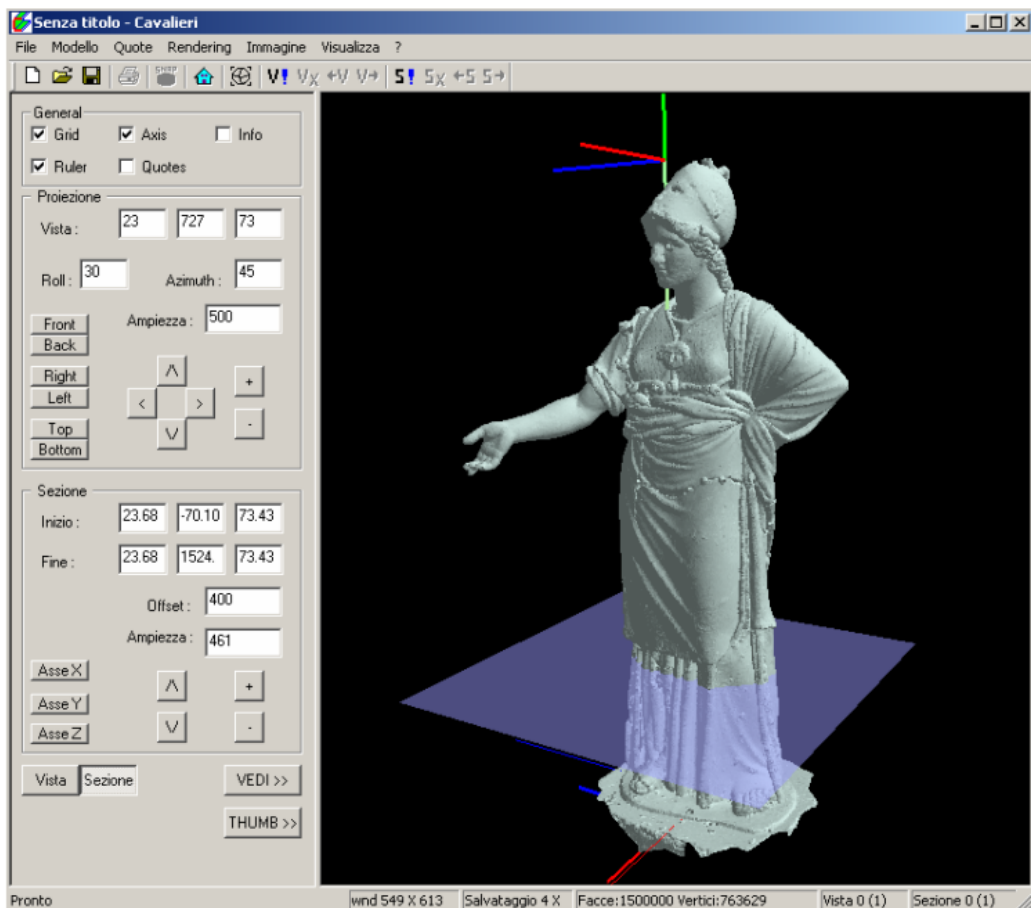
Εικόνα 66. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής ευθυγράμμισης τμηματικών σαρώσεων

3.3.2 Φιλτράρισμα νέφους σημείων

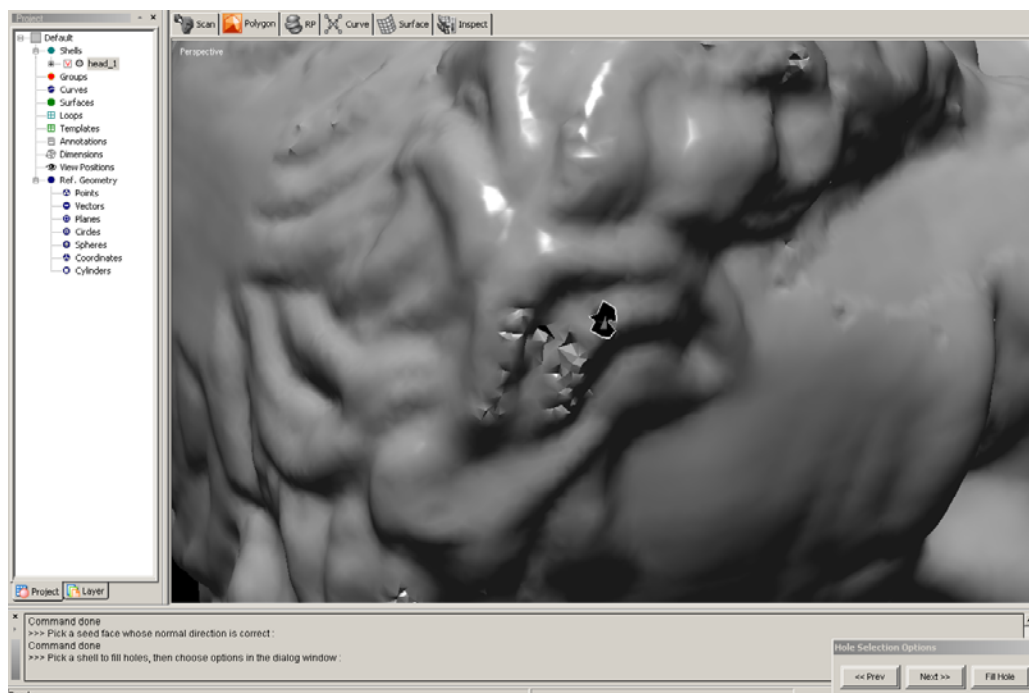
Ένα καλής ποιότητας λογισμικό θα πρέπει να μπορεί να πραγματοποιήσει τον ομαλό καταμερισμό σημείων μέσα στο νέφος. Σε προχωρημένα λογισμικά συναντούμε την ύπαρξη κατωφλίων και άλλων ρυθμίσεων που αφορούν στα φίλτρα π.χ. στην επιλογή διατήρησης του συνολικού όγκου που καταλαμβάνει το νέφος. Οι επιπρόσθετες αυτές ρυθμίσεις δίνουν στο χρήστη ένα μεγαλύτερο εύρος επιλογών βελτιώνοντας τα αποτελέσματα της διαδικασίας φιλτραρίσματος. Τα αποτελέσματα των φίλτρων μπορεί να γίνουν ορισμένες φορές ιδιαίτερα έντονα. Το λογισμικό ενημερώνει το χρήστη πριν την εφαρμογή του φίλτρου για τα πιθανά του αποτελέσματα. Αυτό προκύπτει είτε με μηνύματα είτε με κάποια ενδεικτικά ποσοστά απώλειας ακρίβειας.

3.3.3 Πολυγωνικά πλέγματα και οπτική αναπαράσταση

Οι προχωρημένοι αλγόριθμοι δημιουργίας πολυγωνικών (τριγωνικών) πλεγμάτων επιτρέπουν τη μοντελοποίηση δομών που φέρουν εσωτερικά τους κενά (hollows) αλλά και ανοιχτές δομές, όπως για παράδειγμα το εσωτερικό ενός βάζου. Το λογισμικό που διατίθεται μαζί με τα συστήματα αποτύπωσης ποικίλει σε επίπεδο ποιότητας και δυνατοτήτων. Η δημιουργία ενός αποδεκτού μοντέλου μπορεί να επιτευχθεί με ένα καλοσχεδιασμένο λογισμικό στο ένα δέκατο του χρόνου που θα απαιτούσε κάποιο άλλο. Το γραφικό περιβάλλον που συναντούμε στα περισσότερα λογισμικά αποτελείται από ένα κεντρικό παράθυρο όπου προβάλλεται το μοντέλο ενώ όλα τα διαθέσιμα εργαλεία βρίσκονται γύρω από αυτό (Εικόνα 66, Εικόνα 67).



Εικόνα 67. Φιλικό γραφικό περιβάλλον – Digital Minerva – ISTI-CNR



Εικόνα 68. RapidForm2002: αυτόματη αναγνώριση και ομαλοποίηση ασυνεχειών

Στα ποιο πρόσφατα λογισμικά συναντούμε και τη δυνατότητα μοντελοποίησης με NURBS²⁷. Αυτή η μέθοδος μειώνει τον όγκο πληροφορίας που απαιτείται για την αποθήκευση του μοντέλου. Η ανωτερότητα τους εμφανίζεται κυρίως σε αντικείμενα με ομαλές επιφάνειες καθώς αφαιρεί τον πιθανό θόρυβο πάνω από το πλέγμα

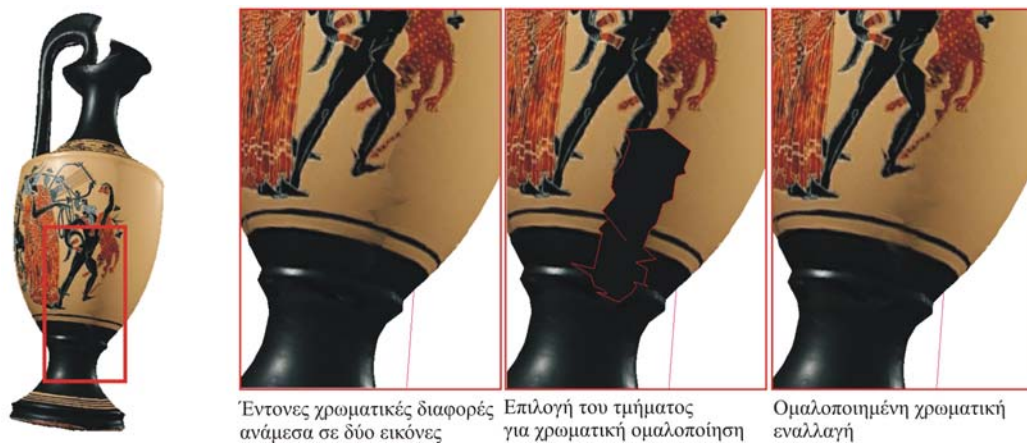
3.3.4 Πληροφορία υφής, χαρτογράφηση εικόνων και ρεαλιστική απόδοση

Οι διαδικασίες διαχείρισης της πληροφορίας υφής είναι ποικίλες και πολλές φορές αδύνατο να συμπεριληφθούν όλες σε μία και μόνο εφαρμογή αφού ο ερευνητικός χώρος της φωτογραμμετρίας και της εφαρμοσμένης επεξεργασίας εικόνας είναι μεγάλος. Μερικές από τις βασικές ιδέες που έχουν αναπτυχθεί αλγοριθμικά και αποτελούν μονάδες λογισμικού είναι ο συνδυασμός πληροφορίας υφής από διαφορετικές φωτογραφικές πηγές, η προβολή εικόνων πάνω στη γεωμετρία και το ομαλό συνονθύλευμα τους. Για την χρωματική ομοιομορφία

²⁷ NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines): μαθηματική αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Η αναπαράσταση γίνεται με καμπύλες τύπου *spline* αντί πλήθους διακριτών σημείων.



το λογισμικό προσφέρει δισδιάστατα φίλτρα εικόνων που πραγματοποιούν ομαλοποίηση των χρωματικών διαφορών που εμφανίζουν οι φωτογραφίες. Ένα παράδειγμα αποτελέσματος ομαλοποίησης χρωματικών διαφορών φαίνεται στην Εικόνα 68.



Εικόνα 69. Εργαλείο ομαλοποίησης χρωματικών διαφορών – Viewpoint 3D Photo Studio

Το λογισμικό εξομοιώνει τα ανακλαστικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του αρχικού αντικειμένου και επιτρέπει την απόδοση των επιφανειών με εντονότερα χαρακτηριστικά. Έτσι, με ψηφιακό τρόπο, γίνονται οι αποδόσεις των φωτοσκιάσεων που δημιουργούν οι τραχιές επιφάνειες αλλά και οι ανακλάσεις που δημιουργούν οι λείες και γυαλιστερές επιφάνειες. Ένα παράδειγμα διαφόρων τεχνητών αποδόσεων φωτοσκίασης φαίνεται στην Εικόνα 69.



Εικόνα 70. Τεχνητές αποδόσεις φωτοσκίασης και χαρακτηριστικών επιφάνειας

3.3.5 Διαχείριση Δεδομένων και καταγραφή διεργασιών

Οι διαδικασίες που απαιτούνται για να καταλήξουμε από ένα νέφος σημείων στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο είναι πολλές και πολύπλοκες. Είναι χρήσιμο για το λογισμικό να κρατά αυτά τα βήματα με κάποιας μορφής ιστορικό έτσι ώστε να επιτρέπει στο χρήστη να γυρίσει σε προηγούμενες καταστάσεις εύκολα και γρήγορα. Σε διαδικασίες που περιλαμβάνουν μετασχηματισμούς θα πρέπει να αποθηκεύονται δεδομένα όπως οι πιθανές σταθερές γεωμετρικές αποκλίσεις. Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού προβάλλει τις διαφορές ανάμεσα στο αρχικό νέφος σημείων και στο επεξεργασμένο μοντέλο. Το πλήθος των διαφορετικών τύπων αρχείων τρισδιάστατης γεωμετρίας που υποστηρίζει το λογισμικό επιτρέπει στο χρήστη να μεταφέρει άμεσα τα δεδομένα του σε άλλες εμπορικές εφαρμογές. Υπάρχουν πολλά πρότυπα αρχείων, τα οποία ακολουθούνται πιστά από εμπορικά πακέτα τρισδιάστατων σαρωτών. Η μετατροπή σε κάποιο από τα πρότυπα γίνεται ενημερώνοντας το χρήστη για τις πιθανές απώλειες ακρίβειας ή αλλαγές που θα υποστούν τα δεδομένα.

Η εκτενής ανάλυση του θέματος διαχείρισης και αποθήκευσης των δεδομένων περιλαμβάνεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

3.4 Ενδεικτικός κατάλογος λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων τρισδιάστατων σαρωτών

Ο Πίνακας VII περιέχει συγκεντρωτικά πακέτα λογισμικού (εμπορικά και ερευνητικά), τα οποία χρησιμοποιούνται για επεξεργασία δεδομένων από τρισδιάστατους σαρωτές.

Πίνακας VII. Εμπορικά και ερευνητικά πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων από τρισδιάστατους σαρωτές

Όνομασία Λογισμικού	Εταιρεία Ανάπτυξης	Περιγραφή Λογισμικού	Ιστοσελίδα
3D Delaunay Triangulation	Visual Computing Lab	Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος από νέφος σημείων	http://vcg.isti.cnr.it/
3DRESHAPER™	Technodigit	Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος από νέφος σημείων και διαχείριση	http://www.technodigit.com/
Cheap 3D Scanning	Nicholas Phillips	Λογισμικό τρισδιάστατης σάρωσης με την τεχνική «σχήμα από σκιά»	http://sans.chem.umbc.edu/~nicholas/blender/3dscan
CySlice	Cyberware	Το CySlice χρησιμοποιείτε για την εξαγωγή splines από πολυγωνικά πλέγματα	http://www.cyberware.com/products/cyslice.html
CopyCAD	Delcam	Προσφέρει ένα πλήρες περιβάλλον αντίστροφης μηχανικής	http://www.copycad.com/
Cadmus Fashion	Raindrop geomagic	Λογισμικό πακέτο που παρέχει εργαλεία για αντίστροφη μηχανική και δημιουργία NURBS	http://www.geomagic.com/
Cocone	Jyamiti group	Μετασχηματισμός νέφους σημείων σε πολυγωνικό πλέγμα (διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων)	http://www.cse.ohio-state.edu/~tamaldey/
DeskProto	Delft Spline Systems	Το DeskProto είναι ένα 3D CAM λογισμικό πακέτο για Ταχεία Προτυποποίηση	http://www.deskproto.com/
Easy3DScan	Tower Graphics	Λογισμικό που συνεργάζεται με συστήματα Minolta Vivid για αυτοματοποιημένη σάρωση	http://www.towergraphics.it/
Jade	Visual Computing Lab	Λογισμικό απλοποίησης πολυγωνικού πλέγματος	http://vcg.isti.cnr.it/
PointMaster	Knotenpunkt	Πλήρες περιβάλλον αντίστροφης μηχανικής και διαχείρισης νεφών σημείων	http://www.knotenpunkt.com/
PolyWorks	InnovMetric Software	Λογισμικό για επεξεργασία νεφών σημείων οποιουδήποτε τύπου τρισδιάστατου σαρωτή	http://www.innovmetric.com/
MatchPoint	MatchGraph	Λογισμικό που επιτρέπει την επεξεργασία μεγάλου όγκου νέφης σημείων με πολλές δυνατότητες	http://www.matchgraph.com
MatchSurf	MatchGraph	Λογισμικό πακέτο που παρέχει εργαλεία για αντίστροφη μηχανική και δημιουργία NURBS	http://www.matchgraph.com/
Metrolog	Metrologic Group	Λογισμικό για επεξεργασία νεφών σημείων οποιουδήποτε τύπου τρισδιάστατου σαρωτή	http://www.metrologic.fr
MeshAlign	Visual Computing Lab	Λογισμικό για την ευθυγράμμιση τμηματικών σαρώσεων	http://vcg.isti.cnr.it/
MeshEdit	Visual Computing Lab	Λογισμικό για την επεξεργασία πολυγωνικών πλεγμάτων	http://vcg.isti.cnr.it/
MeshMerge	Visual Computing Lab	Λογισμικό για την ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων	http://vcg.isti.cnr.it/
Imageware Surfacer	Maya Metrix	Μοντελοποίηση τρισδιάστατων επιφανειών με τεχνικές Beizer και NURBS	http://www.mayametrix.com/
BASE	METRIS	Λογισμικό για επεξεργασία νεφών σημείων οποιουδήποτε τύπου τρισδιάστατου σαρωτή	http://www.metris.be/
Paraform	Paraform	Λογισμικό για επεξεργασία νεφών σημείων οποιουδήποτε τύπου τρισδιάστατου σαρωτή	http://www.paraform.com
PointCloud	Floating Point Solutions	Μετασχηματισμός νέφους σημείων σε πολυγωνικό πλέγμα	http://www.fpsols.com/
Point Cloud	Kubit GmbH	Λογισμικό για επεξεργασία νεφών σημείων οποιουδήποτε τύπου τρισδιάστατου σαρωτή	http://www.kubit.de
PolyTrans	Okino Computer Graphics	Ακριβής μετατροπές ανάμεσα σε διαφορετικού τύπου αρχείων τρισδιάστατων γραφικών	http://www.okino.com/



Όνομασία Λογισμικού	Εταιρεία Ανάπτυξης	Περιγραφή Λογισμικού	Ιστοσελίδα
QSLim	Michael Garland	Λογισμικό απλοποίησης πολυγωνικού πλέγματος	http://graphics.cs.uiuc.edu/~garland/software/
QSplat	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό οπτικής αναπαράστασης νεφών σημείων με πολλαπλά στάδια ακρίβειας	http://www-graphics.stanford.edu/software
RapidformXO	INUS Technology Inc.	Ολοκληρωμένη λύση διαχειρίσεις και επεξεργασίας δεδομένων από τρισδιάστατους σαρωτές	http://www.rapidform.com/
Rhino3D	Robert McNeel & Associates	Πακέτο μοντελοποίησης με χρήση NURBS για αντίστροφης μηχανικής & Ταχεία Προτυποποίηση	http://www.rhino3d.com/
RevWorks	Ravware	Ολοκληρωμένη λύση διαχειρίσεις και επεξεργασίας δεδομένων από τρισδιάστατους σαρωτές	http://www.revworks.com/
Scanalyze	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό ενοποίησης τμηματικών σαρώσεων	http://www-graphics.stanford.edu/software
ScanView	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό παρουσίασης μεγάλου όγκου δεδομένων πάνω από διαδίκτυο	http://www-graphics.stanford.edu/software
Surface/Volume Simplification	Visual Computing Lab	Λογισμικό απλοποίησης πολυγωνικού πλέγματος και ογκομετρικού	http://vcg.isti.cnr.it/
Visualization ToolKit	Kitware Inc	Ανοιχτού λογισμικού βιβλιοθήκη για την οπτική αναπαράσταση τρισδιάστατων δεδομένων	http://public.kitware.com/
Verisurf	Verisurf Software	Λογισμικό πραγματοποίησης μετρήσεων ακριβείας σε δεδομένα τρισδιάστατων σαρωτών	http://www.verisurf.com
Volume Visualization	Visual Computing Lab	Οπτική αναπαράσταση ογκομετρικών δεδομένων με πολλαπλές αναλύσεις	http://vcg.isti.cnr.it/
VollFill	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό απαλοιφής κενών σε πολυγωνικά πλέγματα με ογκομετρική διάχυση	http://www-graphics.stanford.edu/software
VripPack	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό ενοποίησης χαρτών βάθους	http://www-graphics.stanford.edu/software
Weaver	Visual Computing Lab	Σύστημα δημιουργίας πληροφορίας υψής και προβολής σε τρισδιάστατα μοντέλα	http://vcg.isti.cnr.it/
Wrap	Geomagic	Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος από νέφος σημείων και διαχείριση	http://www.rsi.gmbh.de/
Zeta	Visual Computing Lab	Δημιουργία πολυγωνικών πλεγμάτων με μεταβλητή ποιότητα	http://vcg.isti.cnr.it/
ZipPack	Stanford Computer Graphics	Λογισμικό μετασχηματισμού χαρτών βάθους σε πολυγωνικά πλέγματα	http://www-graphics.stanford.edu/software

4

Οργάνωση εργασιών ψηφιοποίησης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει μια επισκόπηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που συναντούμε σε εργασίες τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Προτείνει το διαχωρισμό των εργασιών σε κατηγορίες που προκύπτουν από τις ιδιότητες που διέπουν τους θησαυρούς της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Γίνονται αναφορές σε μεγάλα ερευνητικά έργα του χώρου και σχολιάζονται τα αποτελέσματά τους. Εξετάζονται επίσης οι συνδυάστηκες λύσεις διαφορετικών μεθοδολογιών που έχουν ως απώτερο σκοπό τη βέλτιστη ψηφιοποίηση βάση των προδιαγραφών και αναγκών του εκάστοτε ερευνητικού έργου.

4.2 Οργάνωση και διαχείριση τρισδιάστατης αποτύπωσης

Οι εργασίες ψηφιοποίησης απαιτούν αναλυτική και προσεκτική σχεδίαση όλων των επιμέρους ενεργειών για την επίτευξη του τελικού τους στόχου. Οι μελέτες βασίζονται σε ένα πλάνο που καλύπτει με σαφήνεια θέματα όπως:

- ο βασικός σκοπός και στόχος της εργασίας

- το κοινό όπου απευθύνεται
- τα οφέλη από μια τέτοια δραστηριότητα
- το προσωπικό που θα εργαστεί
- η ασφάλεια του πολιτιστικού θησαυρού
- η οργάνωση των επιμέρους εργασιών
- ο χώρος πραγμάτωσης των εργασιών
- τα αναμενόμενα αποτελέσματα
- χρονοδιαγράμματα
- διαδικασίες διαχείρισης

Ο κύκλος ζωής ενός τεχνικού έργου τρισδιάστατης αποτύπωσης αποτελείται από διαφορετικά στάδια. Αυτά είναι τα εξής:

- Προετοιμασία για ψηφιοποίηση
- Διαχείριση αυθεντικών χειροτεχνημάτων
- Δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας
- Η διαδικασία ψηφιοποίησης
- Σύλληψη μεταδεδομένων
- Αποθήκευση και διαφύλαξη του ψηφιακού πρωτότυπου υλικού
- Δημοσίευση υλικού και διάδοση της πληροφορίας

Κατά την πρακτική εφαρμογή των σταδίων αυτών παρατηρούνται σχέσεις και εξαρτήσεις ανάμεσα τους, ενώ η σειρά που εμφανίζονται παραπάνω δεν θα πρέπει να θεωρηθεί απόλυτη. Πολλές φορές παρόμοιες εργασίες αποτελούν πηγή γνώσης και εμπειρίας. Αποτελούν έναν πρακτικό οδηγό αφού τα λάθη και οι αδυναμίες που παρουσιάστηκαν έχουν αναγνωριστεί και αντιμετωπιστεί.

Ιδιαίτερα στο χώρο της τρισδιάστατης αποτύπωσης, η αναφορά σε άλλες εργασίες αποτελεί μια απόλυτα ενδεικνύομενη κίνηση αφού ο χώρος δεν είναι ακόμη πραγματικά ώριμος, και πολλά νέα θέματα αναδεικνύονται συνεχώς. Οι πιο πρόσφατες εργασίες αποτελούν πραγματικό θησαυρό ιδεών για πιθανές υλικοτεχνικές και διαδικασιακές λύσεις. Η αναζήτηση απαντήσεων σε προηγούμενες εργασίες απαιτεί αρκετό χρόνο, αλλά συνήθως αποφέρει οφέλη και αποδεικνύεται πολύτιμη. Είναι πλέον κοινά αποδεκτό πως ο χρόνος που

αφιερώνεται για την σχεδίαση και οργάνωση μιας ψηφιοποίησης σχετίζεται απόλυτα με την ευκολία διαχείρισης και εκτέλεσής της.

Ένα έργο τρισδιάστατης αποτύπωσης δεν θα πρέπει να ξεκινά πριν τον καθορισμό των τελικών στόχων και τη μορφή των παραδοτέων. Για παράδειγμα ένα έργο που έχει στόχο την προβολή αρχαιολογικών εκθεμάτων χωρίς να έχει από πριν εξασφαλίσει την άδεια για τη διαδικτυακή δημοσίευση τους ίσως να καταλήξει σε αποτυχία. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση εφαρμογής μιας ανάρμοστης μεθόδου ψηφιοποίησης. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων και ίσως να οδηγήσει σε τρισδιάστατα μοντέλα που δεν πληρούν τις προδιαγραφές του έργου.

Η τεκμηρίωση των τελικών στόχων είναι απαραίτητη. Η απάντηση στην ερώτηση «Γιατί;» είναι σημαντική, και θα πρέπει να απαντηθεί πριν την έναρξη της ψηφιοποίησης. *Ο βασικός στόχος και ο σκοπός ενός έργου τρισδιάστατης ψηφιοποίησης παίζουν τον καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου ψηφιοποίησης.* Οι μέθοδοι αποτύπωσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις διαστάσεις των αντικειμένων.

Η αξία των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ανυπολόγιστη λόγω της σπανιότητας τους αλλά και της πληροφορίας που μεταφέρουν. Τα δομικά τους υλικά τις περισσότερες φορές είναι εύθραυστα και αυτό επιβάλλει τη φύλαξη τους σε ειδικούς χώρους. *Είναι πολύ σημαντικό κατά την εκτέλεση μιας μελέτης ψηφιοποίησης να μην προκληθεί η παραμικρή φθορά στα πολιτιστικά αντικείμενα.* Η επιλογή του κατάλληλου χώρου ψηφιοποίησης είναι μια βασική διαδικασία για την απόλυτη προστασία των αντικειμένων. Σε περιπτώσεις που το επιτρέπει ο προϋπολογισμός του έργου θα πρέπει να οριστεί ένας χώρος ως «Χώρος Ψηφιοποίησης». Μόνο εκεί θα πρέπει να πραγματοποιούνται οι αποτυπώσεις των αντικειμένων και πουθενά αλλού. Αυτός ο χώρος θα πρέπει να πληρεί όλες τις προϋποθέσεις (π.χ. περιβάλλον φωτισμός, υγρασία, θερμοκρασία κτλ) που καταδεικνύουν οι αρχαιολόγοι ως σημαντικές απαιτήσεις για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των αντικειμένων. Σε πολλές περιπτώσεις η έκθεση σε ηλιακό φως απαγορεύεται. Το κάπνισμα, το φαγητό και το ποτό στο χώρο ψηφιοποίησης επίσης θα πρέπει να απαγορεύεται. Σε περιπτώσεις όπου ο προϋπολογισμός του έργου δεν επιτρέπει την οργάνωση ενός χώρου ψηφιο-

ποίησης, τότε θα πρέπει να ακολουθηθούν άλλες διαδικασίες, οι οποίες θα περιορίζουν στο ελάχιστο τις μετακινήσεις των αντικειμένων. Η διαχείριση και η ασφάλεια των αντικειμένων ανατίθεται σε άτομα με ειδική εμπειρία που να μπορούν να αναγνωρίζουν τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα πολιτιστικά αντικείμενα. Η αναγνώριση του επιπέδου ικανοτήτων και η εμπειρία του προσωπικού που θα εργαστεί για το συγκεκριμένο τεχνικό έργο αποτελεί σημαντικό βήμα προς την επιτυχία. Το ανθρώπινο δυναμικό θα πρέπει να είναι ενημερωμένο για τα σενάρια διαχειρίσεις των αντικειμένων. Η παρακολούθηση εκπαιδευτικών σεμιναρίων αποτρέπει πιθανές καταστάσεις καταστροφής αναγκατάστατων πολιτιστικών αντικειμένων.

Κάθε έργο τρισδιάστατης αποτύπωσης οφείλει να ακολουθεί κάποια μεθοδολογία διασφάλισης των πολιτισμικών αντικειμένων. Η μεθοδολογία αυτή θα πρέπει να περιέχει εναλλακτικά σενάρια, τα οποία θα περιγράφουν τρόπους αντιμετώπισης απρόσμενων καταστάσεων. *Σε περιπτώσεις που η παρούσα κατάσταση ενός αντικειμένου αφήνει πολλές πιθανότητες για φθορά κατά τη μεταφορά του, τότε προτιμότερο θα ήταν να επιλεγεί μια μέθοδος που δεν απαιτεί τη μετακίνηση των αντικειμένων.*

Πριν την έναρξη της αποτύπωσης, ειδικοί (αρχαιολόγοι) εξετάζουν κάθε αντικείμενο και αποφασίζουν αν επιτρέπεται να ψηφιοποιηθεί με τη μέθοδο που έχει επιλεγεί. Επιπρόσθετα, αναφέρουν όλες τις ιδιαίτερες διαδικασίες διαχείρισης που θα πρέπει να ακολουθηθούν. Ένας κατάλογος με τα αντικείμενα και τις μεθόδους διαχείρισης συντάσσεται και ακολουθείται πιστά από το προσωπικό που θα πραγματοποιήσει την ψηφιοποίηση. Ο κατάλογος αυτός αποτελεί μέρος μιας σύνθετης βάσης γνώσεων που αφορούν το συγκεκριμένο έργο ψηφιοποίησης και τις μεθοδολογίες ψηφιοποίησης που θα ακολουθηθούν.

Η επιτυχία ενός τεχνικού έργου τρισδιάστατης αποτύπωσης βασίζεται στην προετοιμασία αποτελεσματικής αντιμετώπισης όλων των ενδεχόμενων. Όπως και οποιοδήποτε άλλο τεχνικό έργο έτσι και αυτά της αποτύπωσης πολιτισμικής κληρονομιάς βασίζονται σε μια *ανάλυση κινδύνων*. Η μετάδοση των ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων πάνω από το διαδίκτυο είναι μια μορφή δημοσίευσης. Τα μοντέλα μπορεί να προστατεύονται από νομικά πλαίσια δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Τέτοια προβλήματα καλύπτονται από την *ανάλυση κινδύ-*



νων που συνήθως περιέχει ερωτήματα σχετικά με τις συνέπειες χρήσης του υλικού χωρίς άδεια αλλά και ποιες ενέργειες θα μπορούσαν να ακολουθηθούν για να βρεθούν οι δικαιούχοι ή κάτοχοι. Άλλοι πιθανοί κίνδυνοι σχετίζονται με την εξασφάλιση της αυθεντικότητας του πολιτισμικού θησαυρού.

Ο κατάλληλος υλικοτεχνικός εξοπλισμός και το λογισμικό θα πρέπει να είναι διαθέσιμα και έτοιμα προς χρήση πριν την έναρξη του έργου. Κάποιες δοκιμές του εξοπλισμού θα ήταν συνετό να πραγματοποιηθούν. Κανένα πολιτισμικό αντικείμενο δεν θα πρέπει να μεταφερθεί στο χώρο ψηφιοποίησης πριν από την εξακρίβωση της λειτουργικότητας του εξοπλισμού. Η επιλογή του καταλληλότερου εξοπλισμού μπορεί να θεωρηθεί ως το βασικότερο παραδοτέο της παρούσας Μελέτης. Είναι ευρέως αποδεκτό πως τα καλύτερα αποτελέσματα αποφέρει ο ενδελεχής έλεγχος της παραμικρής λεπτομέρειας που διέπει τη διαδικασία συλλογής δεδομένων και την αλυσίδα διαδικασιών επεξεργασίας τους [84].

Η συνδυαστική χρήση μεθοδολογιών που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες είναι κάθε άλλο παρά απαγορευτική. Έχει αποδειχθεί άλλωστε ως μια από τις πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις για σύνθετα έργα ψηφιοποίησης.

Σε μια προσπάθεια συγκέντρωσης των βασικών προβλημάτων που παρουσιάζουν τα έργα τρισδιάστατης αποτύπωσης ο καθηγητής Marc Levoy του πανεπιστημίου Stanford κατέληξε σε οκτώ βασικά προβλήματα. Αυτά είναι:

- Οπτικά μη-συνεργάσιμες επιφάνειες
- Σάρωση σε σημεία που δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή
- Εξασφάλιση των ευαίσθητων αντικείμενων
- Ψηφιοποίηση μεγάλων αντικειμένων με υψηλή ακρίβεια
- Μεταβολή ακρίβειας σάρωσης στο ίδιο οπτικό πεδίο
- Διόρθωση γεωμετρικών ασυνεχειών σε πυκνά πολυγωνικά πλέγματα
- Διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων
- Δημιουργία ψηφιακών αρχείων τρισδιάστατων αντικειμένων

4.3 Έργα αποτύπωσης πολιτιστικής κληρονομιάς – Case studies

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες τρισδιάστατης αποτύπωσης του πολιτισμικού μας. Κάποιες από αυτές είχαν διάρκεια που φτάνει έως και μερικά χρόνια. Κύρια αιτία, ήταν οι χρονοβόρες διαδικασίες αποτύπωσης και επεξεργασίας. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς για τη διαχείριση του μεγάλου όγκου πληροφορίας. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται αναφορά σε κάποια σημαντικά έργα με στόχο να δοθεί στον αναγνώστη μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα από το χώρο της τεκμηρίωσης του πολιτισμικού θησαυρού. Τα έργα αυτά λειτουργούν ταυτόχρονα ως παραδείγματα (case studies) αλλά και βάσεις για τους τρόπους διεξαγωγής μελλοντικών έργων.

4.3.1 Case Study 1: Digital Michelangelo – 3D scanning of large statues (1998-2000)

Ένα από τα σημαντικότερα έργα αποτύπωσης είναι το Digital Michelangelo – 3D Scanning of Large statues (1998-2000) [10]. Η οργάνωση του έργου έγινε με το διαχωρισμό των εργασιών στις εξής τρεις βασικές κατηγορίες:

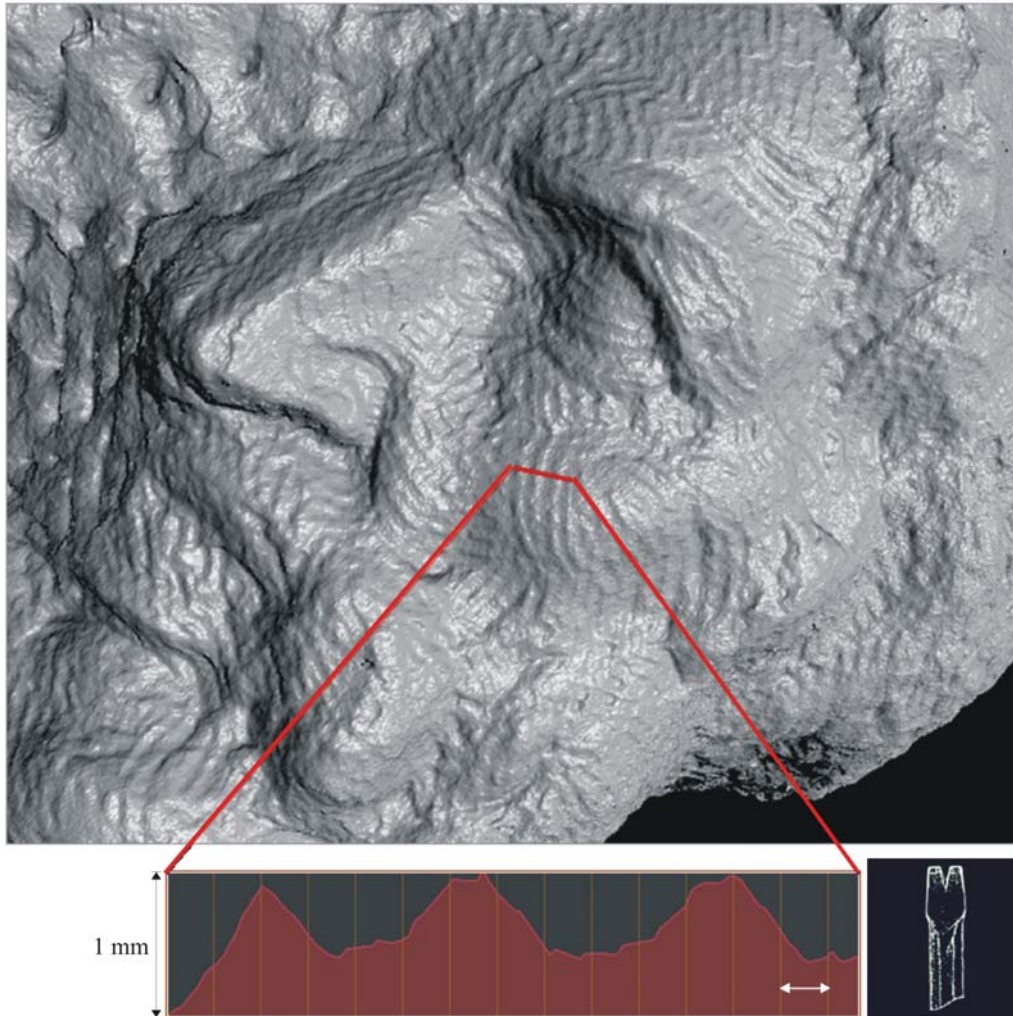
- Σχεδίαση του σαρωτή
- Σάρωση του αγάλματος
- Επεξεργασία των δεδομένων

Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να τονιστεί είναι η προσέγγιση της ερευνητικής ομάδας, που προτίμησε να σχεδιάσει το δικό της σαρωτή με βασικό κριτήριο τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου. Φυσικά, κάτι τέτοιο σχετίζεται με τον προϋπολογισμό του έργου και το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό. Ο σαρωτής κατασκευάστηκε από την εταιρία Cyberware inc²⁸ βάση των απαιτήσεων της ερευνητικής ομάδας. Σχεδιάστηκε ώστε να συλλέγει πλη-

²⁸ Cyberware inc – <http://www.cyberware.com/>.



ροφορία σε υψηλή ανάλυση για να μπορεί να αποτυπώσει τα σημάδια που άφησε η σμίλη του Michelangelo, όπως φαίνεται στην Εικόνα 70.



Εικόνα 71. St. Matthew – Το σημάδι που αφήνει η σμίλη εμφανίζεται στο τρισδιάστατο μοντέλο

Η κατασκευή του σαρωτή επέτρεπε την ψηφιοποίηση επιφανειών οποιασδήποτε κλίσης, ενώ μπορούσε να κινηθεί με ευκολία προς κάθετες και οριζόντιες διευθύνσεις. Στα μειονεκτήματα του συστήματος συγκαταλέγονται η δυσκολία μετακίνησης λόγω βάρους και η χρονοβόρα διαδικασία εγκατάστασης. Για την αποτύπωση της υφής χρησιμοποίησαν ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Μετά από διαδικασίες επεξεργασίας και βαθμονόμησης χαρτογραφήθηκαν τμήματα από 7,000 εικόνες πάνω στην τρισδιάστατη γεωμετρία. Καθώς πολλά σημεία ήταν κοινά ανάμεσα στις φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκε η κλασική τεχνική της

ανάμιξης χρωμάτων. Ο όγκος γεωμετρικής πληροφορίας του Δαβίδ αγγίζει τα δύο δισεκατομμύρια σημεία και η μέθοδος συμπίεσης που εφαρμόστηκε είναι ο απλός αλγόριθμος *run length encoding*²⁹. Για την οπτική αναπαράσταση του μεγάλου όγκου πληροφορίας χρησιμοποίησαν μια προοδευτική μέθοδο φωτοσκίασης σημείων. Στην πραγματικότητα πολλές λύσεις αποτέλεσαν πρακτική εφαρμογή προηγούμενων ερευνητικών ιδεών στο χώρο των τρισδιάστατων γραφικών. Με το πέρας του έργου, μια πληθώρα από θέματα τέθηκαν προς συζήτηση και για περαιτέρω έρευνα. Τα πιο σημαντικά είναι τα εξής:

- Η κατασκευή σαρωτών που θα μπορούν να μετακινηθούν και να εγκατασταθούν εύκολα
- Θεωρήθηκε ότι όλες οι επιφάνειες των αγαλμάτων έχουν χαρακτηριστικά συμβατά με το νόμο συνημίτονου Lambert (matte). Τέτοιες επιφάνειες είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν (στην πράξη) και θα πρέπει να γίνουν μελέτες για διάχυση των ακτίνων λέιζερ στα υποστρώματα του μαρμάρου
- Τα κενά που εμφανίζουν τα δεδομένα εξαιτίας των γεωμετρικών και τοπολογικών συνθέσεων θα πρέπει να αντιμετωπισθούν με την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων μετασχηματισμού των νεφών σημείων σε τριγωνικά πλέγματα
- Το μέγεθος του τρισδιάστατου μοντέλου θίγει θέματα αποθήκευσης δεδομένων και τεχνικές για μακροχρόνια αρχειοθέτηση.

Εκτός από τον ειδικά κατασκευασμένο σαρωτή από την Cyberware, στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκαν αλλά δύο διαφορετικά συστήματα σαρωτών για να καλύψουν τις απαιτήσεις των αντικειμένων³⁰ που ψηφιοποιήθηκαν. Για τα δύσκολα σημεία εφαρμόστηκε ένα χειροκίνητο σύστημα με ρομποτικό βραχίονα της Faro³¹ και για τα αρχιτεκτονικά τμήματα γύρω από τα αγάλματα

²⁹ Ο αλγόριθμος αντικαθιστά συνεχόμενες σειρές που αποτελούνται από την ίδια τιμή με το πλήθος τους ακολουθούμενο από την αντίστοιχη τιμή. Για παράδειγμα η σειρά αριθμών "128 128 128 128 128" κωδικοποιείται ως "5 128" (δηλ. πέντε φορές η τιμή 128).

³⁰ Το έργο Digital Michelangelo περιελάμβανε την ψηφιοποίηση έργων του Michelangelo. Αυτά είναι τα εξής St. Matthew(1503), Bearded Slave, Slave Atlas, Awakening Slave, Young Slave (1519-36), Night, Day, Dusk, Dawn (1526-33) (Εικόνα 73).

³¹ Faro Technologies – <http://www.faro.com/>.



ένα σύστημα της σειράς Cyrax από την Leica³². Ο Πίνακας VIII συνοψίζει κάποια γενικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αποτύπωση του αγάλματος του Δαβίδ [10], ενώ στην Εικόνα 71 εικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο του.

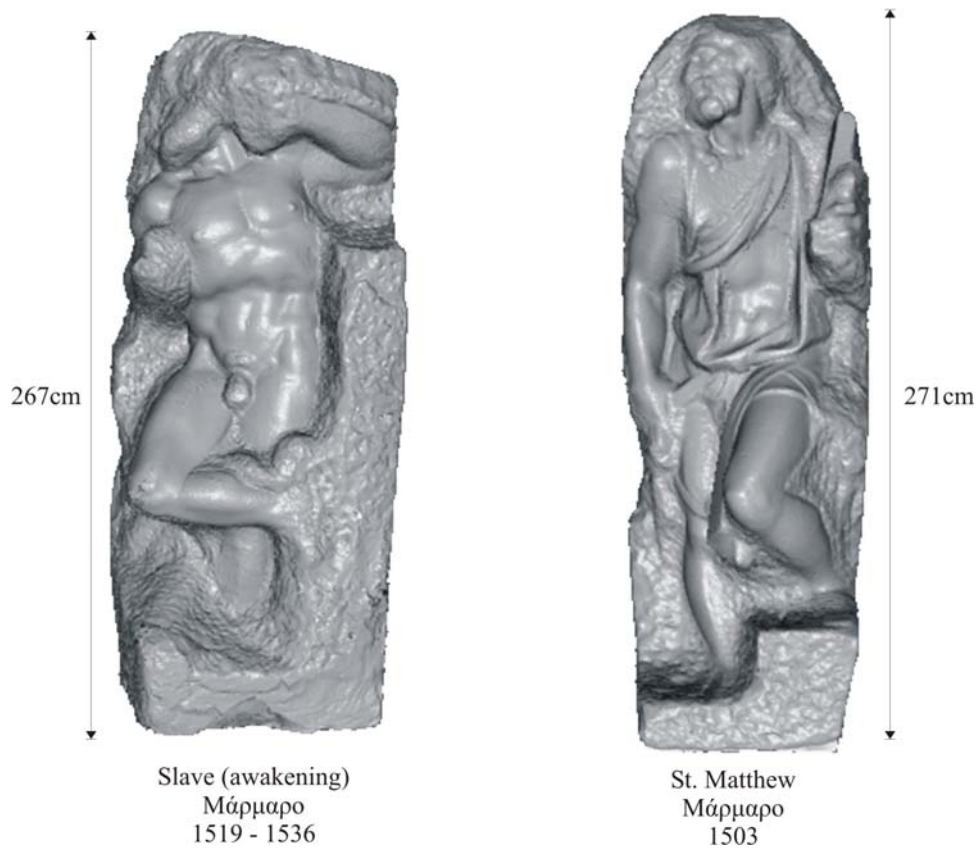
Πίνακας VIII. Γενικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αποτύπωση του «Δαβίδ»

Χαρακτηριστικά Αγάλματος		Δεδομένα Ψηφιοποίησης	
Ύψος	5.17 m	Πλήθος πολυγώνων	2 δισεκατομμύρια
Επιφάνεια	19m ²	Πλήθος φωτογραφιών	7,000
Όγκος	2.2m ³	Μέγεθος συμπιεσμένων δεδομένων	32GB (lossless)
Βάρος	5,800kg		
Άλλα Δεδομένα			
Σύνολο προσωπικού ομάδας ψηφιοποίησης		22 άτομα	
Προσωπικό που βρισκόταν παρόν στο μουσείο		3 άτομα κατά μέσο όρο	
Χρόνος τρισδιάστατης ψηφιοποίησης		360 ώρες μέσα σε 30 ημέρες	
Ανθρωπόωρες ψηφιοποίησης		1,080	
Ανθρωπόωρες μετά-επεξεργασίας		1,500	



Εικόνα 72. David - Michelangelo

³² Leica Geosystems HDS, Inc. (πρώην Cyra Technologies) - <http://hds.leica-geosystems.com/>.



Εικόνα 73. Έργα που ψηφιοποιήθηκαν στα πλαίσια του Digital Michelangelo Project



Εικόνα 74. Florentine Pietà - Michalangelo



Άλλο ένα έργο του Michelangelo το οποίο αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας και ψηφιοποίησης είναι η Florentine Pieta (Εικόνα 73). Το άγαλμα ενδείκνυται για ψηφιοποίηση και εικονική μελέτη, καθώς περιέχει ημιτελή και κατεστραμμένα σημεία καθώς και μερικώς αποκατεστημένα τμήματα. Ανάδοχος του έργου ήταν η IBM η οποία δηλώνει πως το συγκεκριμένο έργο αποτελεί την πιο εκτεταμένη έρευνα που έχει γίνει σε συγκεκριμένο έργο τέχνης και έχει αποφέρει ταυτόχρονα θετικά αποτελέσματα και για τους ιστορικούς και τους τεχνολόγους. Ο συγκεκριμένος όγκος δεδομένων φέρνει στα όριά τους τις παρούσες μεθόδους οπτικής αναπαράστασης, δίνοντας έτσι το έναυσμα για ανάπτυξη αλγορίθμων που θα οδηγήσουν, στο μέλλον, σε καλύτερες οπτικές αποδόσεις [105]. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως*. Το άγαλμα ψηφιοποιήθηκε τμηματικά. Πραγματοποιήθηκαν, συνολικά, 800 τμηματικές σαρώσεις σε αποστάσεις από 750 χιλιοστά έως του ενός μέτρου. Κάθε τμηματική σάρωση περιέχει από 10.000 έως 20.000 σημεία. Η πληροφορία υψής φέρει βάθος χρώματος 24 bit, ενώ εφαρμόστηκαν και ειδικά συστήματα³³ για την βαθμονόμηση τους για την ορθή απόδοση τους. Το ύψος του αγάλματος είναι 2,5 μέτρα ενώ το βάρος του αγγίζει τους 10 τόνους. Ο τελικός, συνολικός, όγκος των δεδομένων αγγίζει τα 10 GB. Οι δυσκολίες που αντιμετώπισε η ομάδα ψηφιοποίησης ήταν αρκετές. Η πρόσβαση στο χώρο του μουσείου όπου φυλάσσεται το γλυπτό επιτρεπόταν νυχτερινές ώρες και κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Η ομάδα δεν έπρεπε να αφήνει πίσω της το παραμικρό ίχνος που θα πρόδιδε ότι γίνονται εργασίες μέσα στο χώρο του μουσείου της Φλωρεντίας. Η ψηφιοποίηση έλαβε χώρα τον Ιανουάριο και, δυστυχώς, στο μουσείο δεν υπήρχε θέρμανση. Τα πρωινά χρησιμοποιούνταν κυρίως για την επεξεργασία των δεδομένων. Οι δύσκολες συνθήκες εργασίας επηρέασαν την ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου που παρουσίαζε γεωμετρικές ασυνέχειες. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι γεωμετρικές ασυνέχειες δεν μπορούσαν να εντοπιστούν πριν την τελική συγχώνευση των τμηματικών σαρώσεων. Αυτό ανάγκασε την ερευνητική ομάδα να πραγματοποιήσει μια δεύτερη επίσκεψη στη Φλωρε-

³³ X-Rite – <http://www.x-rite.com> – Συστήματα χρωματικής βαθμονόμησης.

ντία. Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο φέρει γεωμετρική ακρίβεια που αγγίζει το ένα χιλιοστό [105].

4.3.2 Case Study 2: Ψηφιοποίηση του Ερμή του Πραξιτέλη

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και ένα πρόσφατο έργο ψηφιοποίησης που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος του Υπουργείου Πολιτισμού. Το ενδιαφέρον με το συγκεκριμένο έργο είναι ότι η ψηφιοποίηση βασίστηκε μόνο σε εμπορικές λύσεις. Το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση ήταν ο Ερμής του Πραξιτέλη (343 π.Χ.) και το σύστημα ψηφιοποίησης είναι το δημοφιλές Vivid-900 της εταιρείας Minolta. Το έργο περιελάμβανε την κατασκευή ειδικού ικριώματος γύρω από το γλυπτό, έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί ο σαρωτής σε τέτοιες οπτικές γωνίες που θα του επιτρέπουν να αποτυπώσει πλήρως το άγαλμα (Εικόνα 74).



Εικόνα 75. Ερμής του Πραξιτέλη



Το ικρίωμα είχε ξύλινες βάσεις, για το ανθρώπινο προσωπικό, που είχαν φάρδος ένα μέτρο και βρίσκονταν σε κάποια απόσταση από το γλυπτό, έτσι ώστε να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο πιθανών φθορών από την επαφή του με το σαρωτή ή τις καλωδιώσεις. Αναπτύχθηκε σχέδιο δράσης που όριζε τα σημεία ψηφιοποίησης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σύνολο των τμηματικών σαρώσεων και, ταυτόχρονα, να εξασφαλισθεί ακόμα περισσότερο η ακεραιότητα του γλυπτού. Οι ελαφρές μετατοπίσεις του ικριώματος προκάλεσαν σε αρκετά σημεία θόρυβο στα δεδομένα. Όλες οι τμηματικές σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν από απόσταση 1 μέτρου από το άγαλμα, με ανάλυση 0,5 mm και ακρίβεια μέτρησης 0,25 mm. Σκοπός και αυτής της μελέτης ήταν η αποτύπωση των λεπτομερειών που άφηνε η σμίλη του Πραξιτέλη. Η Ελληνική ομάδα αντιμετώπισε το ίδιο πρόβλημα με την ομάδα της IBM (Digital Michelangelo) αφού το μουσείο που φυλάσσεται το άγαλμα ήταν αυτό που αποφάσιζε για τις ώρες που θα πραγματοποιηθεί η αποτύπωση. Η διαδικασία αποτύπωσης διήρκεσε δύο ημέρες και οι τμηματικές σαρώσεις είχαν ένα ποσοστό κοινών δεδομένων (επικάλυψη) περί το 20% με 30%. Το ποσοστό των επικαλυπτόμενων επιφανειών, όπως έχουμε αναφέρει, επιτρέπει την ορθή ενοποίηση και την αναγνώριση πιθανών πηγών θορύβου στην τρισδιάστατη γεωμετρία. Το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων ήταν 649 και το τριγωνικό πλέγμα αποτελούνταν από 269.178.117 τρίγωνα. Το σύνολο των δεδομένων ήταν 10 GB ενώ ο συμπιεσμένος όγκος του έφτανε τα 4 GB. Ένα από τα βασικά συμπεράσματα της ομάδας ψηφιοποίησης αποτελεί η αναφορά στην επάρκεια δυνατοτήτων του συστήματος να αποτυπώσει γεωμετρικές λεπτομέρειες μικρότερες από 1 mm [87].

4.3.3 Case Study 3: Η Μαγδαληνή του Michelangelo

Η Μαγδαληνή του Michelangelo (1455) είναι ένα ξύλινο γλυπτό ύψους 1,8 μέτρων (Εικόνα 75). Υπέστη φθορές εξαιτίας μιας πλημμύρας, και έχασε το χρυσό στρώμα που το κάλυπτε. Συνεπώς, η προσπάθεια τρισδιάστατης αποτύπωσης έγινε με το γλυπτό να παρουσιάζει μια σκοτεινή χρωματικά επιφάνεια ασύμβατη με τους σαρωτές. Έτσι, επιχειρήθηκε ένας συνδυασμός της μεθόδου

Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως και της *Φωτογραμμετρίας*. Η *Φωτογραμμετρία* εφαρμόστηκε για την ακριβέστερη ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων με αποτέλεσμα το τρισδιάστατο μοντέλο της *Μαγδαληνής* να είναι γεωμετρικής ακρίβειας της τάξης του 0,5 mm (Εικόνα 76). Ο σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρίας *Optonet*³⁴. Το σύστημα λειτουργεί σε ένα ρυθμό 210.000 σημείων ανά δευτερόλεπτο. Η μέθοδος των τμηματικών σαρώσεων με κοινά σημεία ακολουθήθηκε και αυτή την φορά (αφού είναι κοινός αποδεκτό ότι αποδίδει). Ο αλγόριθμος *ICP* χρησιμοποιήθηκε για την ευθυγράμμιση των τμημάτων. Ο υπολογιστής που επεξεργάστηκε τα δεδομένα ήταν εξοπλισμένος με 2GB μνήμης RAM. Σκοπός του έργου ήταν να μετρηθεί το άγαλμα με υψηλή ακρίβεια και όχι να παρουσιασθεί σε κάποιο εικονικό περιβάλλον. Η ομάδα του έργου πιστεύει πως κατάφερε με αυτό το συνδυασμό μεθοδολογιών να προσφέρει σημαντική πρόοδο στο χώρο της ψηφιακής αποτύπωσης αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς [106].



Εικόνα 76. Μαγδαληνή – Michelangelo (1455)

³⁴ Optonet Srl Brescia Italy - <http://www.optonet.it/>.



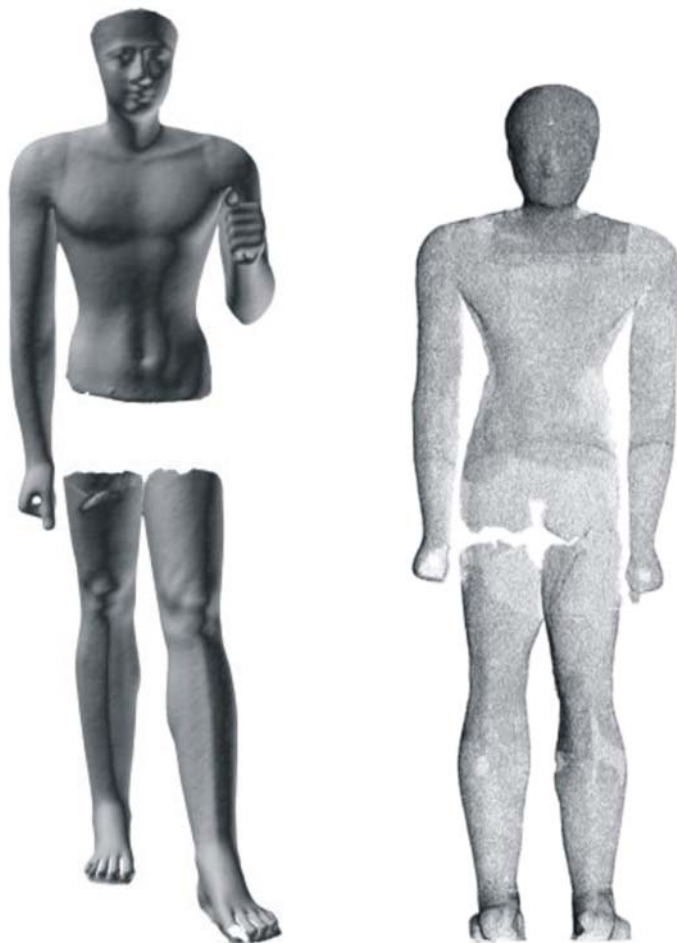
Εικόνα 77. Μαγδαληνή – τρισδιάστατο μοντέλο

4.3.4 Case Study 4: Ψηφιοποίηση αγαλμάτων Φαραώ Ρερί

Το 1897 ανακαλύφθηκαν δύο μεταλλικά αγάλματα του Φαραώ Ρερί του πρώτου. Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο σε συνεργασία με άλλους οργανισμούς ανέλαβε την αναπαλαίωση και την ψηφιακή τεκμηρίωση των αγαλμάτων. Το μεγαλύτερο άγαλμα έχει ύψος 1,78 m ενώ το μικρότερο μόλις 65 cm και είναι κατασκευασμένα από φύλλα χαλκού ενωμένα με ένα είδος μεταλλικών ελασμάτων. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας τεκμηρίωσης τα αγάλματα αποτυπώθηκαν τρισδιάστατα με έναν εμπορικό σαρωτή της εταιρείας Mensi³⁵ ο οποίος βασίζεται στη μέθοδο ενεργητικής τριγωνοποίησης με ακτίνες λέιζερ. Η διαδικασία ψηφιοποίησης διήρκησε 8 ημέρες, ενώ, και για άλλη μια φορά, η ομάδα ψηφιοποίησης αντιμετώπισε προβλήματα πρόσβασης στα αντικείμενα, αφού το μουσείο επέτρεπε την αποπεράτωση των εργασιών μόνο σε συγκεκριμένες ώρες. Το μεγαλύτερο άγαλμα αποτυπώθηκε από 29 διαφορε-

³⁵ Mensi – Ο σαρωτής Mensi S25 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αποστάσεις από 2 μέτρα έως 20 μέτρα με ακρίβεια 0,6 mm για τις πιο κοντινές επιφάνειες κάτω από ιδανικές συνθήκες.

τικές οπτικές γωνίες καταγράφοντας 1.800.000 σημεία. Για το μικρό άγαλμα αποτυπώθηκαν 500.000 σημεία από 10 οπτικές γωνίες. Η ακρίβεια αποτύπωσης άγγιξε το 1 mm, ανάλυση απόλυτα αποδεκτή με τα σημερινά δεδομένα και τις ικανότητες των εμπορικών συστημάτων. Μετά την αποπεράτωση της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων, η αναπαράσταση του μεγάλου αγάλματος αποτελούνταν από 2.000.000 τρίγωνα και του μικρότερου από 900.000 τρίγωνα. Η ομάδα ψηφιοποίησης περιγράφει, σαν πρώτο πρόβλημα που αντιμετώπισε, τη λειτουργία του σαρωτή σε περιβάλλον με θερμοκρασίες που άγγιζαν τα όρια ορθής λειτουργίας. Αναφέρεται, επίσης, ο αργός ρυθμός αποτύπωσης που αποδίδει το συγκεκριμένο σύστημα. Το συνολικό βάρος του εξοπλισμού που μεταφέρθηκε από τη Γερμανία στην Αίγυπτο ήταν 150 κιλά [84].

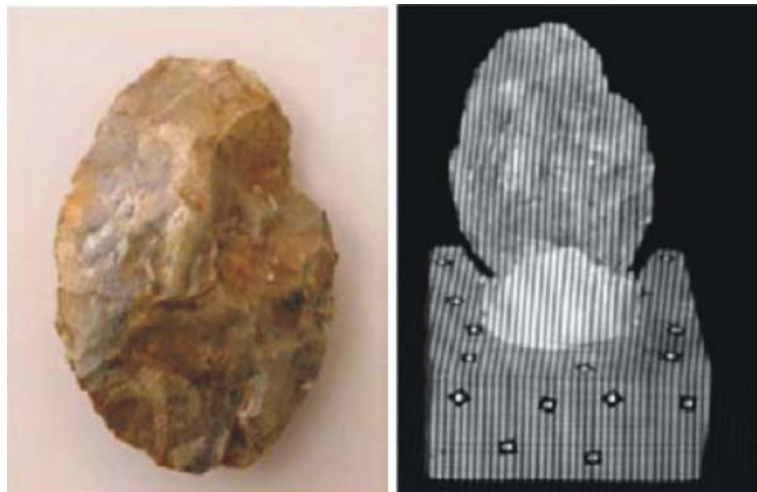


Εικόνα 78. Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του Φαραώ Ρεπί



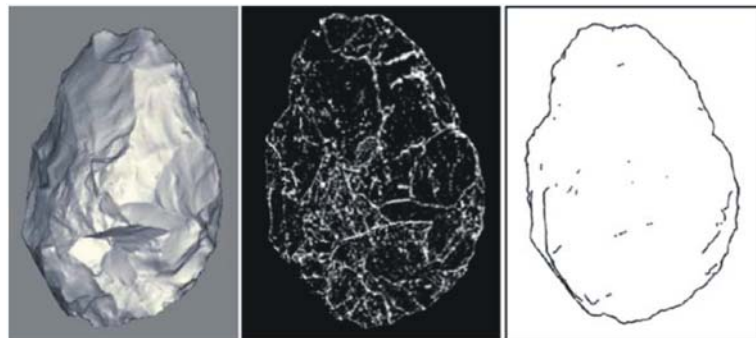
4.3.5 Case Study 5: Ψηφιοποίηση παλαιολιθικών ευρημάτων

Σε ένα έργο³⁶ αναζήτησης μεθόδων δημοσίευσης ευρημάτων της παλαιολιθικής εποχής, Γερμανοί αρχαιολόγοι και μηχανικοί συνεργάστηκαν στην ανάπτυξη μια ειδικευμένης μεθοδολογίας τρισδιάστατης αποτύπωσης. Τα ευρήματα προέρχονταν από την κοιλάδα του ποταμού Ρήνου. Το μεγάλο πλήθος ευρημάτων απαιτούσε μια μέθοδο γρήγορης αποτύπωσης. Η μέθοδος *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* επιλέχθηκε ως η καλύτερη λύση συνυπολογίζοντας τόσο το θέμα του χρόνου όσο και της ποιότητας.



Εύρημα
παλαιολιθικής
εποχής

Ψηφιοποίηση
με την τεχνική
“Σχήμα απο δονημένο φως”



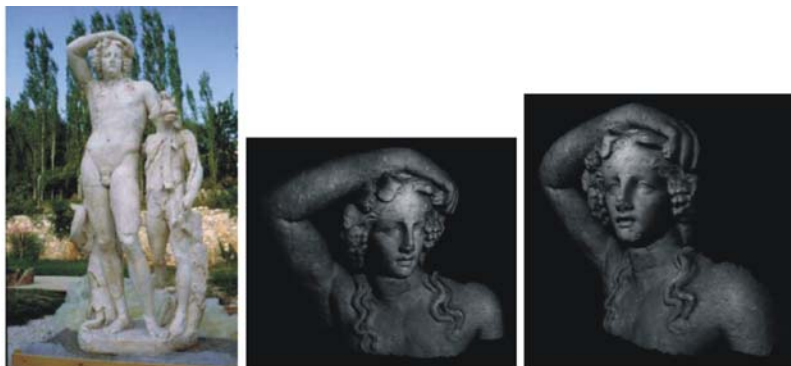
Διαφορετικές μέθοδοι οπτικοποίησης

Εικόνα 79. Ψηφιοποίηση παλαιολιθικών ευρημάτων

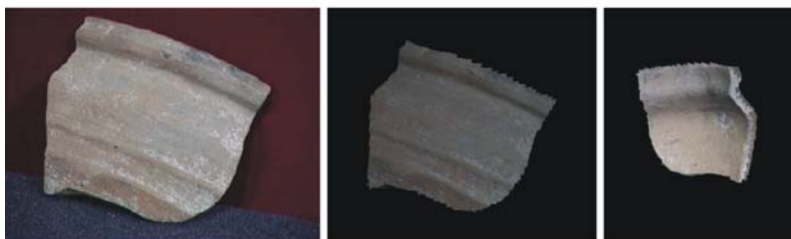
³⁶ Τίτλος της Μελέτης "Paleolithic land use in Rheinhessen" – <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/>.

Η επιλογή του εμπορικού συστήματος έγινε με κριτήριο το μέγιστο βαθμό διαθέσιμων οπτικών πεδίων λειτουργίας. Το ATOS II της εταιρίας GOM GmbH³⁷ επιλέχθηκε μέσα από ένα πλήθος άλλων υποψήφιων εμπορικών συστημάτων. Οι ρυθμίσεις του σαρωτή επιτρέπουν την αποτύπωση όγκου πληροφορίας που αγγίζει τα 250mm x 250mm x 200mm. Το λογισμικό που συνοδεύει το σύστημα προβολής δομημένου φωτός δύναται να επεξεργαστεί 1.300.000 σημεία με ακρίβεια 0,02 mm. Έτσι, ο χρόνος αποτύπωσης του κάθε αντικειμένου άγγιξε τα 45 λεπτά. Στο χρόνο αυτό περιλαμβάνεται η διαδικασία ενοποίησης των τμηματικών σαρώσεων και η απαλοιφή των ασυνεχειών της γεωμετρίας. Με τη χρήση εμπορικού λογισμικού επιτεύχθηκε η απλοποίηση των μοντέλων. Ο τύπος αρχείων αποθήκευσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το STL [84]. Στην Εικόνα 78 δίνεται ένα παράδειγμα αντικειμένου που ψηφιοποιήθηκε μαζί με διάφορες μεθόδους οπτικής αναπαράστασης.

4.3.6 Case Study 6: 3D Murale Project



Το Άγαλμα του Διόνυσου και οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του



Τμήμα Αγγείου που βρέθηκε στην Πισιδία και η τρισδιάστατη αναπαράσταση του

Εικόνα 80. Δείγματα από τα τρισδιάστατα μοντέλα του έργου 3D Murale

³⁷ GOM GmbH – <http://www.gom.com/>.



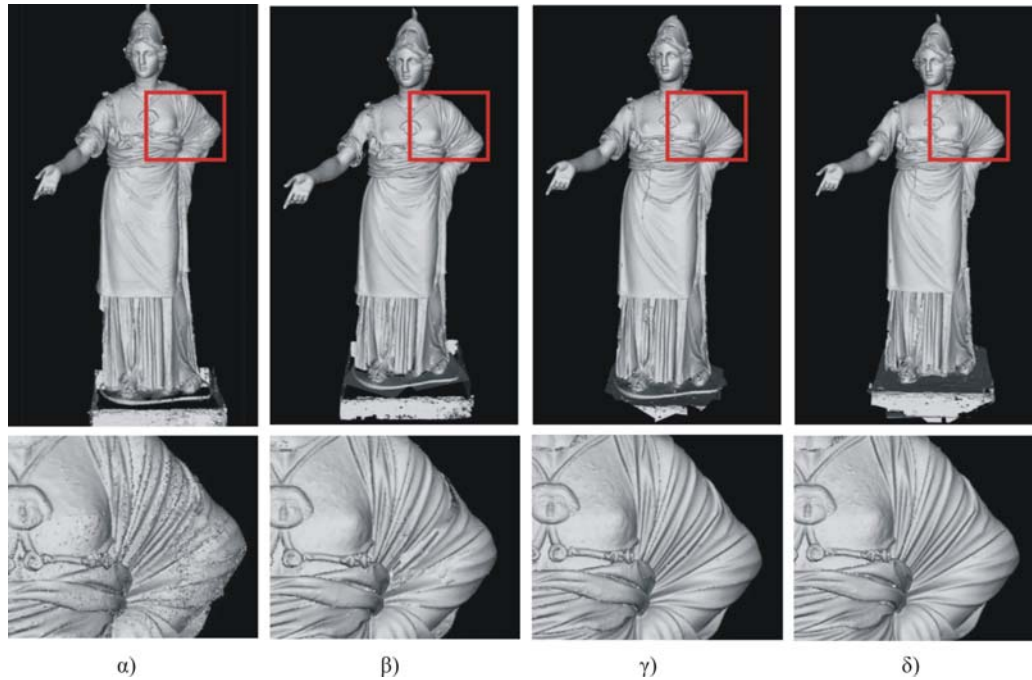
Ένα ακόμα σύνθετο έργο αποτύπωσης, συντήρησης και οπτικής αναπαράστασης είναι το 3D Murale. Στο έργο συμμετέχουν ερευνητές από διαφορετικές χώρες, ενώ η καθοδήγηση γίνεται από πανεπιστήμιο του Brunel (Μ. Βρετανία) με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη πολυμεσικών συστημάτων και εργαλείων που θα επιτρέπουν τη μέτρηση αντικειμένων και μνημείων, την τρισδιάστατη αποτύπωσή τους και την οπτική αναπαράστασή τους μέσα σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Ο χώρος που επιλέχθηκε για την εφαρμογή των εργαλείων της μελέτης είναι η αρχαία πόλη της Πισιδίας στην Τουρκία [110]. Στην Εικόνα 79 παρουσιάζονται δείγματα από τα τρισδιάστατα μοντέλα του έργου 3D Murale.

4.3.7 Case Study 7: Ψηφιοποίηση μπρούτζινου αγάλματος Minerva of Arezzo

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το έργο³⁸ αποτύπωσης του μπρούντζινου αγάλματος Minerva of Arezzo που ανακαλύφθηκε το 1541 και φυλάσσεται στο αρχαιολογικό μουσείο της Φλωρεντίας. Η καταγωγή του αγάλματος είναι αμφίβολη. Μπορεί να αποτελεί ένα Ελληνικό έργο, το οποίο χρονολογείται περί τον 3^ο π.Χ. αιώνα. Μπορεί, όμως, να αποτελεί αντίγραφο που δημιουργήθηκε την περίοδο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας τον 1^ο μ.Χ. αιώνα. Σκοπός του έργου ήταν η ψηφιοποίηση του αγάλματος πριν, κατά την διάρκεια και μετά το τέλος της διαδικασίας αποκατάστασης. Η ερευνητική ομάδα προσπάθησε να αποδείξει στους συντηρητές έργων τέχνης πως η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια διαγνωστική μέθοδος που προσφέρει σημαντική βοήθεια και αποτελεί βασικό εργαλείο στην δουλειά τους. Το προσωπικό που ανέλαβε το έργο αποτελούνταν από επιστήμονες της πληροφορικής και αρχαιολόγους. Για την αποτύπωση του αγάλματος χρησιμοποιήθηκαν τρία συστήματα αποτύπωσης με διαφορετικές μεθόδους. Η διαδικασία αποκατάστασης και συντήρησης περιλαμβάνει την παραγωγή σχεδίων που βασίζονται σε ορθογραφικές προβολές του αντικειμένου. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε ένα λογισμικό με ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει την απόκτηση ορθογραφικών προβολών απευθείας

³⁸ Minerva Project – (2000 – 2003) – <http://vcg.isti.cnr.it/>.

από το τρισδιάστατο μοντέλο [107]. Ο Πίνακας ΙΧ παρουσιάζει κάποια ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά που αφορούν στις διαφορετικές εκδόσεις του αγάλματος που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του έργου και ειδικότερα, σε τέσσερις φάσεις. Στην Εικόνα 80 φαίνονται οπτικές αναπαραστάσεις από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ψηφιοποίησης κατά τις φάσεις αυτές.



Εικόνα 81. Αποτελέσματα του Digital Minerva (2000-2003)

Πίνακας ΙΧ. Στατιστικά αποτύπωσης Minerva of Arezzo

3Δ Σαρωτής	Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως (CNR ³⁹)		Ακτίνες λέιζερ (INOA ⁴⁰)		Minolta Vivid 900	
	Α	Β	Γ	Δ	Ε	Σ
Μοντέλο	Οκτώβριος 2000	Απρίλιος 2001	Μάρτιος 2002	Οκτώβριος 2002	Μάρτιος 2003	Οκτώβριος 2003
Χρόνος Αποτύπωσης	5 ημέρες 146 τμημ. σαρ.	4 ημέρες 172 τμημ. σαρ.	1 ημέρα 297 τμημ. σαρ.	1 ημέρα 306 τμημ. σαρ.	1 ημέρα 306 τμημ. σαρ.	1 ημέρα 306 τμημ. σαρ.
Χρόνος Επεξεργασίας	6 εβδομάδες	3 εβδομάδες	1,5 εβδομάδα	4 μέρες	4 μέρες	4 μέρες
Ακρίβεια (mm)	0,57	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
Τρίγωνα (εκ)	26	30	65,6	68,5	68,5	68,5

³⁹ CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche - <http://www.cnr.it/>.

⁴⁰ INOA - ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA APPLICATA- <http://www.ino.it/>.

5

Προσδιορισμός της βέλτιστης μεθοδολογίας αποτύπωσης κινητών αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα του εγχειριδίου της παρούσης Μελέτης, αφού προσδιορίζει τους κανόνες και τα κριτήρια για την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου καθώς και των κατάλληλων εμπορικών συστημάτων ψηφιοποίησης.

5.2 Άμεση σύγκριση μεθόδων

Η σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και από την υποκειμενική κατηγοριοποίηση της ποιότητας των τρισδιάστατων μοντέλων. Η μέθοδος ψηφιοποίησης με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων αποφέρει τα ακριβέστερα γεωμετρικά αποτελέσματα. Από την άλλη, η μέθοδος προβολής δομημένου φωτισμού αποδίδει καλύτερη γεωμετρία από τη μέθοδο Σχήμα-Από-Σιλουέτες αλλά όχι καλύτερη από τα συστήματα λέιζερ. Τα

αποτελέσματα της *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* είναι ανώτερα από αυτά της μεθόδου *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* αφού καταφέρνει να ανακτήσει γεωμετρία από κοίλες επιφάνειες. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η μέθοδος *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* είναι η τεχνική που συνδυάζει κάποια από τα στοιχεία αυτοματισμού της *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* με τη δυνατότητα αποδεκτής ακρίβειας γεωμετρικών αποτελεσμάτων. Επίσης, «συμπεριφέρεται» καλύτερα από τους σαρωτές λέιζερ σε ημιδιαφανή και χρωματιστά αντικείμενα άλλα όχι καλύτερα από ότι η *Σχήμα-Από-Σιλουέτες*.

Η μέθοδος της *Στερεοφωτογράφισης* (Stereo-Close Range Photogrammetry) αποτελεί το κύριο εργαλείο, εδώ και αρκετές δεκαετίες, στο χώρο της αρχαιολογικής τεκμηρίωσης. Έχει αποδεχτεί αποτελεσματική όταν υπάρχει περιορισμένος χρόνος πρόσβασης στο αντικείμενο [88]. Είναι μια *παθητική μέθοδος*, η οποία βασίζεται περισσότερο σε λογισμικό παρά σε υλικοτεχνικό εξοπλισμό. Ο όγκος της γεωμετρικής πληροφορίας που θα εξαχθεί από τις φωτογραφίες σχετίζεται με τις σωστές οπτικές γωνίες που έχουν επιλεγεί. Η *στερεοφωτογράφιση* προσφέρει ένα γρήγορο τρόπο «αντίστροφης μοντελοποίησης» αντικειμένων από φωτογραφίες, όπου, όμως, η πυκνότητα των σημείων του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου δεν είναι συνήθως μεγάλη, με αποτέλεσμα να μην αποφέρει τα αποτελέσματα που φέρει η σάρωση με δομημένο φως. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής είναι η απόκρυψη της χαμηλής ποιότητας γεωμετρικής πληροφορίας μετά τη χρήση πληροφορίας υψής. Αυτό το συναντούμε και στη *Σχήμα-Από-Σιλουέτες*.

Οι Park, Shin και Chang [83] σε μια μελέτη προσδιορισμού της φθοράς λίθινων αρχαίων μνημείων συγκρίνουν τη δυνατότητα εφαρμογής της αποτύπωσης με λέιζερ και της ψηφιακής *Στερεοφωτογράφισης*. Ο βασικός τους προβληματισμός είναι ότι, ενώ η *Στερεοφωτογράφιση* είναι γρήγορη και εύκολη κατά την διαδικασία συγκέντρωσης δεδομένων, η επεξεργασία για την απόκτηση της τρίτης διάστασης είναι αρκετά δύσκολη. Πόσο μάλλον, στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου η επιφάνεια των λίθων είναι τρομερά πολύπλοκη. Στην πραγματικότητα τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των λίθων δεν αφήνουν και πολλά περιθώρια επιλογής. Η ψηφιοποίηση με ακτίνες λέιζερ απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο για τη συλλογή των δεδομένων αλλά σε αντίθεση με τη

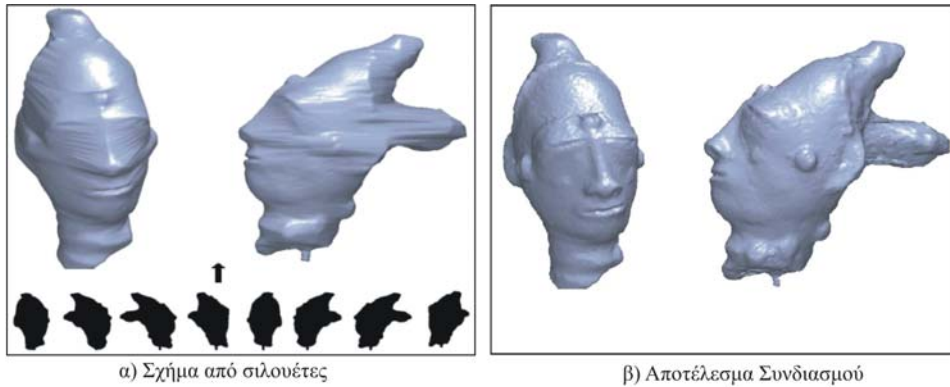
Στερεοφωτογράφιση δεν χρειάζεται τόσο μεγάλο χρόνο μετά-επεξεργασίας. Αυτό την κάνει πιο «συμβατή» με την ακανόνιστη και τραχιά επιφάνεια των λίθων [83].

Οι Bohler et al [84] αναφέρουν σε μια δημοσίευση τους πως η *Στερεοφωτογράφιση* δε λειτουργεί με αποδεκτά αποτελέσματα σε περιπτώσεις ανάγλυφων σε λευκό μάρμαρο, καθώς δεν ανακτούν μεγάλη ποσότητα πληροφορίας υφής. Οι ορθογραφικές φωτογραφίες από *Στερεοφωτογράφιση* μπορούν να φανούν χρήσιμες για κάποιους σκοπούς αλλά όχι για την τρισδιάστατη ψηφιακή αποτύπωση του μοντέλου. Οι Bohler et al [84] επισημαίνουν επίσης το γεγονός ότι η ψηφιοποίηση με ακτίνες λέιζερ είναι χρονοβόρα αλλά είναι και η μοναδική με τόσο καλά αποτελέσματα.

Πολλές φορές συναντούμε και συνδυασμούς δύο μεθόδων για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων. Ένας συνδυασμός, ο οποίος αποφέρει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα καλύπτοντας υψηλής ανάλυσης γεωμετρία και πληροφορίας υφής είναι η μέθοδος που προτείνουν οι Hernandez και Schmitt [21]. Η μέθοδος συνδυάζει τον αυτοματισμό της *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* και την ποιότητα τρισδιάστατης γεωμετρίας που προσφέρει η *Στερεοφωτογράφιση*. Η μέθοδος ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες, καθώς προσφέρει σχεδόν αυτοματοποιημένα αποτελέσματα χωρίς την ανάγκη μετά-επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων έρχεται να δώσει απάντηση στο πρόβλημα της *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* στη μοντελοποίηση κοίλων επιφανειών. Ίσως είναι η μοναδική μέθοδος που ξεχωρίζει για την ποιότητα των αποτελεσμάτων της και της αυτοματοποιημένης διαδικασίας αποτύπωσης. Δυστυχώς δεν υπάρχει ακόμα κάποιο εμπορικό σύστημα που να βασίζεται στην συγκεκριμένη τεχνική. Στην Εικόνα 81 μπορείτε να διακρίνετε τη βελτίωση των αποτελεσμάτων με το συνδυασμό των δύο τεχνικών.

Γενικότερα, οι υπάρχουσες μέθοδοι τρισδιάστατης αποτύπωσης υποφέρουν από πολλούς περιορισμούς. Ακόμα και με τη χρήση των πιο σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων και λογισμικού, συγκεκριμένα βήματα επεξεργασίας γίνονται μόνο όταν ο όγκος πληροφορίας δεν ξεπερνά κάποια συγκεκριμένα όρια. Αν η ανάπτυξη του εξοπλισμού και του λογισμικού συνεχίσουν στους ρυθμούς των προηγούμενων χρόνων τότε αρκετά προβλήματα θα έχουν ξεπε-

ραστεί μέσα στα επόμενα χρόνια. Ίσως ακόμα επιτευχθεί και ο συνδυασμός της ψηφιοποίησης ακτίνων λέιζερ με φωτογραμμετρικά δεδομένα υφής για αποτύπωση μεγάλων και πολύπλοκων πολιτιστικών αντικειμένων που οι διαστάσεις τους ξεπερνάνε τα 5 m [84]. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων μπορεί να αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα [85][86].



γ) Υποκειμενική σύγκριση πραγματικού και ψηφιακού μοντέλου

Εικόνα 82. Συνδυασμός των μεθόδων Σχήμα-Από-Σιλουέτες και Στερεοφωτογράφιση



5.3 Κανόνες επιλογής της βέλτιστης μεθόδου τρισδιάστατης αποτύπωσης

Για λόγους ακρίβειας πρέπει να επαναλάβουμε πως ως *κινητά πολιτιστικά αντικείμενα* ορίζονται όλα τα πολιτιστικής ή ιστορικής αξίας αντικείμενα που οι διαστάσεις τους ποικίλουν μεταξύ μερικών εκατοστών έως και μερικών μέτρων. Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα αντικειμένων που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι τα ακόλουθα:

- Νομίσματα
- Εργαλεία και αντικείμενα από ξύλο
- Σκεύη καθημερινής χρήσης και άλλα κεραμικά
- Κοσμήματα
- Αγγεία
- Γλυπτά
- Ειδώλια
- Ενδυμασίες
- Έπιπλα
- Διακοσμήσεις σε τοιχία
- Επιγραφές
- Επιτύμβιες στήλες
- Προτομές
- Όπλα
- Μουσικά όργανα
- Αντικείμενα εκκλησιαστικής τέχνης
- Πίνακες ζωγραφικής

Είναι κοινώς αποδεκτό πως καμία από τις υπάρχουσες μεθόδους τρισδιάστατης ψηφιοποίησης δεν μπορεί να καλύψει όλες τις περιπτώσεις. Κάτι τέτοιο οφείλεται κυρίως στην ποικιλομορφία που παρουσιάζει ο πολιτιστικός μας θησαυρός. Το πλήθος των διαφορετικών μεθόδων αποτύπωσης που συναντούμε σε εμπορικά και ερευνητικά συστήματα είναι αποτέλεσμα συνεχούς έρευνας για την ανακάλυψη εκείνης της γενικευμένης υλικοτεχνικής μεθόδου που θα επι-

τρέπει, με ελάχιστες τροποποιήσεις, την αντιμετώπιση όλων των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζουν τα πολιτιστικά αντικείμενα. Με τα σημερινά δεδομένα είναι αδύνατη η ανάδειξη μιας μεθοδολογίας ως βέλτιστη. Κύριο αντικείμενο σύγκρισης στο κεφάλαιο αυτό αποτελούν οι μέθοδοι που επικράτησαν ως εμπορικές λύσεις. Αυτές είναι οι εξής:

- Σαρωτές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων
- Σαρωτές προβολής μοτίβου (Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως)
- Σαρωτές φωτογραφικών μεθόδων (Σχήμα-Από-Σιλουέτες)
- Συστήματα Μέτρησης Συντεταγμένων με αισθητήρες αφής

Πολλές φορές συναντούμε αυτές τις μεθόδους να εφαρμόζονται και σε αντικείμενα (π.χ. αγάλματα, επιγραφές, κ.α.) που το μέγεθος τους ξεπερνά ακόμα και τα πέντε μέτρα. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη ψηφιοποίησης τους με υψηλή ακρίβεια, την οποία μπορούν να αποδώσουν μόνο οι συγκεκριμένες μέθοδοι. *Ο διαχωρισμός της παρούσας Μελέτης σε δύο εγχειρίδια δεν θα πρέπει να οδηγεί τον ανάγνωστη σε συμπεράσματα που θέτουν τις δύο κατηγορίες ως ανεξάρτητες.* Έχουν εμφανιστεί πολύπλοκες μελέτες ψηφιοποίησης όπου ο συνδυασμός μεθόδων και από τις δύο κατηγορίες απόφερε καλύτερα αποτελέσματα. Οι επιστημονικές δημοσιεύσεις που προκύπτουν από τέτοιες μελέτες προβάλλουν εντυπωσιακά αποτελέσματα. Οι συνδυαστικές κινήσεις για την αποπεράτωση έργων ψηφιοποίησης σχετίζονται απόλυτα με το περιεχόμενο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του φυσικού αντικείμενου. Η ανάγκη αποτύπωσης κάποιων τμημάτων με υψηλή ακρίβεια αλλά και το αντίστροφο είναι μια απόφαση που θα πρέπει να λαμβάνεται από τους επιστημονικούς υπεύθυνους των αντίστοιχων έργων, αφού ληφθούν υπόψη και όλοι οι αλληλένδετοι παράγοντες⁴¹. Πρακτικά είναι αδύνατο να προταθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί. Κάτι τέτοιο είναι εκτός των ορίων της συγκεκριμένης Μελέτης, τουλάχιστον κατά το διάστημα συγγραφής της, Άλλωστε η Μελέτη κατευθύνεται, ουσιαστικά, προς τις πρακτικές εμπορικές λύσεις ψηφιοποίησης.

⁴¹ Αρχικός σκοπός έργου, χρονικά πλαίσια αποπεράτωσης, επιπρόσθετος χρόνος επεξεργασίας δεδομένων.



Τα έργα ψηφιοποίησης με επίκεντρο τη γεωμετρική ακρίβεια είναι γνωστά και ως «Έργα Αρχαιοθέτησης», αφού απώτερο σκοπό έχουν την ψηφιακή αρχειοθέτηση και διαφύλαξη. Με αυτό τον τρόπο ακόμα και αν καταστραφεί το πραγματικό αντικείμενο θα υπάρχει αποθηκευμένη η τρισδιάστατη ψηφιακή μορφή του. Η υψηλή ακρίβεια που θα διέπει το τρισδιάστατο μοντέλο θα επιτρέπει στις επόμενες γενιές να αντλήσουν πληροφορίες παρόμοιας ποιότητας με αυτή που θα αντλούσαν από το αυθεντικό αντικείμενο. Αν πραγματικά χρειάζεται να επιβάλουμε μια και μόνο μέθοδο ψηφιοποίησης τότε αυτή είναι η τεχνική τριγωνοποίησης με *ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων*. Παρέχει πολύ μεγάλο όγκο πληροφορίας και είναι εφαρμόσιμη σε αρκετές περιπτώσεις. Τα συστήματα αυτά αποδεδειγμένα αποτυπώνουν τα αντικείμενα με την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια που μπορεί να περιμένει κανείς σήμερα. Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στο εξής αναπόφευκτο γεγονός: όταν εκτελούμε μια ψηφιοποίηση με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια⁴² ενός συστήματος λέιζερ, στην πραγματικότητα κάνουμε δειγματοληψία της πληροφορίας που φέρει η επιφάνεια του αντικειμένου. Ίσως το *θεώρημα του Nyquist* σχετικά με τους ρυθμούς δειγματοληψίας μιας κυματομορφής να έχει εφαρμογή και στην συγκεκριμένη περίπτωση. Αν τα τρισδιάστατα μοντέλα που θα προκύψουν από την ψηφιοποίηση θα χρησιμοποιηθούν για έρευνα και μελέτη από επιστήμονες τότε ίσως η μέθοδος αποτύπωσης με ακτίνες λέιζερ να είναι η καλύτερη λύση. Θυμηθείτε το παράδειγμα ψηφιοποίησης του St. Matthew του Michelangelo (§4.3.1). Η ψηφιοποίηση του μοντέλου έγινε με σκοπό την αναγνώριση του ίχνους που άφησε πάνω στο μάρμαρο η σμίλη του γλύπτη. Έχοντας σα γνώμονα την παράγραφο αυτή καταλήγουμε στον πρώτο κανόνα επιλογής μιας μεθόδου αποτύπωσης.

Το επίπεδο της γεωμετρικής ακρίβειας αποτελεί κριτήριο επιλογής μιας μεθόδου.

⁴² Μεγέθη κλάσης που αγγίζουν μερικά μικρόμετρα (μm) βάσει της σημερινής τεχνολογίας.

Στον αντίποδα της αποτύπωσης με υψηλή ακρίβεια έρχονται οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις που περιέχουν *ελλείψεις*⁴³. Είναι βέβαιο πως ψηφιοποιημένα αντικείμενα που προκύπτουν από μεθόδους όπως η *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* και η *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* συνεχίζουν να είναι χρήσιμα για μελέτη αφού οι αρχαιολόγοι πολλές φορές μπορούν να αντλήσουν πληροφορίες από κάποια πολύ βασικά χαρακτηριστικά που φέρουν τα αντικείμενα. Σε αυτές τις περιπτώσεις όπου η γεωμετρική λεπτομέρεια δεν είναι το πρωτεύον κριτήριο τότε το βάρος της επιλογής πέφτει σε άλλα κριτήρια.

Παράγοντες όπως ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος ψηφιοποίησης και οι απαιτούμενες εργατοώρες για την περαιτέρω επεξεργασία τους, αποτελούν σημαντικότητα κριτήρια επιλογής μεθόδου ψηφιοποίησης.

Από τον δεύτερο κανόνα προκύπτει το σημαντικό κριτήριο του συνολικού χρόνου που απαιτεί η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Όταν εφαρμόζονται τεχνικές ψηφιοποίησης ακτίνων λέιζερ ή δομημένου φωτισμού είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα χρειαστούν πολλαπλές σαρώσεις για την πλήρη κάλυψη του αντικείμενου. Η τεχνική *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* δημιουργεί απευθείας μοντέλα πολυγωνικού πλέγματος χωρίς γεωμετρικές ασυνέχειες. Το παραγόμενο μοντέλο φέρει αυτόματα και την πληροφορία υψής. Ίσως είναι η μοναδική μέθοδος που η απαιτούμενη μετά-επεξεργασία των μοντέλων της περιορίζεται στην απλοποίηση της γεωμετρίας τους. Οι ιδιότητες της μεθόδου αυτής δικαίως την κατατάσσουν στην κατηγορία των πλέον αυτοματοποιημένων. Με αυτό καταλήγουμε και στο τρίτο κριτήριο επιλογής μιας μεθόδου.

Ο βαθμός αυτοματοποίησης μιας μεθόδου αποτελεί σημαντικό κριτήριο για το χρόνο αποπεράτωσης της ψηφιοποίησης και την εξειδίκευση του προσωπικού.

Παρόλο που οι τρεις προηγούμενοι κανόνες επιτρέπουν τη δρομολόγηση επιλογής κάποιας μεθόδου υπάρχει άλλο ένα σημαντικό κριτήριο, το οποίο πολύ εύκολα μπορεί να ανατρέψει τα πάντα. Όπως έχουμε αναλύσει σε προηγούμενα κεφάλαια, τα χαρακτηριστικά επιφάνειας που φέρουν τα πολιτιστικά

⁴³ Μέθοδοι που βασίζονται σε ένα σύνολο από δισδιάστατες εικόνες συνήθως παράγουν τρισδιάστατα μοντέλα που περιέχουν έλλειψης και σφάλματα στη γεωμετρία τους. Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στον κεφάλαιο που αναφέρεται στις τεχνικές *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* και *Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση*.

αντικείμενα προκαλούν ασυμβατότητες στην εφαρμογή ορισμένων μεθόδων. Προτείνονται, βέβαια, διάφορες λύσεις, ώστε να ξεπεραστούν αυτές οι ασυμβατότητες. Δυστυχώς, οι λύσεις αυτές δεν είναι πάντα εφαρμόσιμες, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για πολιτιστικά αντικείμενα. Κάποιοι κατασκευαστές σαρωτών προτείνουν την κάλυψη των αντικειμένων με συγκεκριμένο είδος σκόνης που θα αυξήσει την συμβατότητα της επιφάνειας του αντικειμένου με τη μέθοδό τους. Η αναφορά και μόνο σε μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποίησε το Ι.Π.Ε.Τ.⁴⁴ αποδεικνύει την απαγόρευση την εφαρμογή της τεχνικής σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς αφού υπάρχει πιθανότητα μόνιμης φθοράς. Καταλήγουμε λοιπόν στο ότι:

Ο δείκτης συμβατότητας των χαρακτηριστικών της επιφάνειας ενός αντικειμένου και μιας μεθόδου ψηφιοποίησης αποτελεί βασικό κριτήριο επιλογής.

Το θέμα της φθοράς των πολιτιστικών αντικειμένων στενεύει τα περιθώρια εφαρμογής των συστημάτων μέτρησης συντεταγμένων με αισθητήρες αφής. Η απόλυτα τεχνική μέθοδος έρχεται να απαντήσει αρνητικά στο κρίσιμο ερώτημα της ασφάλειας και ακεραιότητας των πολιτιστικών αντικειμένων. Η επαφή με την επιφάνεια του αντικειμένου που αποτυπώνεται είναι απαραίτητη. Η κατάσταση των πολιτιστικών αντικειμένων δεν επιτρέπει τέτοιου είδους διαχείριση και αυτό θέτει άμεσα τα συστήματα της κατηγορίας αυτής εκτός συναγωνισμού. Φυσικά το θέμα της φθοράς των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της τρισδιάστατης αποτύπωσης δεν αφήνει εντελώς «ανέγγιχτες» και τις τεχνικές που βασίζονται στην προβολή κάποιας μορφής φωτός, αλλά εκεί οι συνέπειες είναι αποδεδειγμένα λιγότερο επιβλαβείς.

Τα τέσσερα βασικότερα κριτήρια επιλογής αποτελούν μερική απάντηση στο πρόβλημα. Το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου συνδυάζονται με τις ικανότητες των διαθέσιμων εμπορικών συστημάτων. Το κλειδί στον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης αποτελεί το συνταίριασμα της θεωρητικής πλευράς μιας μεθόδου με τις επιδόσεις της

⁴⁴ Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας – <http://www.ipet.gr>. Το πείραμα περιελάμβανε την κάλυψη της επιφάνειας του αντικειμένου με μια ειδική λευκή σκόνη. Η συγκεκριμένη σκόνη έρχεται σε μορφή σπρέι και η πραγματική της χρήση είναι για να ανακαλύπτονται ρωγμές στις επιφάνειες μετάλλων. Ύστερα από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε ότι η αφαίρεση της σκόνης δεν είναι καθόλου απλή διαδικασία και πολλές φορές καταλήγει αδύνατη μιας και η ίδια σκόνη έχει κατασκευαστεί για να διεισδύει στους πόρους του υλικού και δεν αφαιρείται εξολοκλήρου.

υλικοτεχνικής της ολοκλήρωσης. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να γίνει μια σύγκριση των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων εμπορικών συστημάτων της κάθε μεθόδου, ώστε να αναγνωριστεί το σύστημα με την μεγαλύτερη συσχέτιση με το συγκεκριμένο, κάθε φορά, πρόβλημα.

5.4 Κριτήρια επιλογής εμπορικού συστήματος τρισδιάστατης σάρωσης

Η ποικιλία των σημερινών εμπορικών συστημάτων τρισδιάστατης σάρωσης καταφέρνει να περιπλέξει ακόμα περισσότερο τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η επιλογή τους. Είναι δεδομένο πως η απόκτηση ενός εμπορικού συστήματος βασίζεται σε έρευνα αγοράς και εντοπισμό των διαθέσιμων επιλογών. Ακριβώς το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των τρισδιάστατων σαρωτών. Στις επόμενες παραγράφους καταβάλλεται μια προσπάθεια προσδιορισμού των τεχνικών χαρακτηριστικών που σε συνδυασμό με τους τέσσερις βασικούς κανόνες επιλογής μιας μεθόδου, όπως διατυπώθηκαν, αποτελούν μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία επιλογής. Ο αναλυτικός κατάλογος των εμπορικών συστημάτων που περιλαμβάνει η Μελέτη αποτελεί τη βάση για το σχολιασμό των τεχνικών χαρακτηριστικών που ακολουθεί.

Ξεκινώντας από το θέμα του αυτοματισμού μπορούμε και διακρίνουμε ότι πολλοί εμπορικοί σαρωτές⁴⁵ επικοινωνούν με ένα περιστρεφόμενο τραπέζι και επιτρέπουν την αυτόματη ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων, αφού γνωρίζουν την οπτική γωνία που έχει αποτυπωθεί το κάθε τμήμα. Με άλλα λόγια, η μετά-επεξεργασία δεν περιλαμβάνει διαδικασίες ευθυγράμμισης και ενοποίησης τμηματικών σαρώσεων. Με αυτά τα συστήματα εύκολα μπορεί να χαρακτηρίσει κανείς τη διαδικασία αποτύπωσης ως μια *ρουτίνα* με μοναδικό σημείο τροποποίησης τη μέθοδο ασφαλούς τοποθέτησης των αντικειμένων πάνω στο περιστρεφόμενο τραπέζι. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν ρυθμούς ψηφιοποίησης που αγγίζουν πολλές φορές και τα πέντε αντικείμενα σε μια εργάσιμη μέρα.

⁴⁵ Συστήματα τρισδιάστατης σάρωσης *LPX* της *Roland*. Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων ψηφιοποίησης κινητών αντικειμένων.



Στον αντίποδα της αυτοματοποίησης βρίσκεται το γεγονός ότι αυτά τα συστήματα περιορίζουν ως προς τις διαστάσεις των αντικειμένων που μπορούν να ψηφιοποιήσουν. Πιο γενικευμένες τεχνικές λύσεις, που δεν υποστηρίζουν τη διαχείριση περιστρεφόμενων τραπεζιών, δίνουν την ελευθερία στο χρήστη να αποφασίσει αυτός ποια μεθοδολογία θα ακολουθήσει για να συλλέξει το σύνολο των τμηματικών σαρώσεων που απαιτούνται για την ανακατασκευή του μοντέλου. Η διαδικασία σάρωσης χάνει, στην πραγματικότητα, το χαρακτηρισμό της *αυτοματοποιημένης* αλλά διευρύνεται σημαντικά το πεδίο εφαρμογής του συστήματος.

Η ευκολία χειρισμού οποιασδήποτε συσκευής παίζει σημαντικό ρόλο στην εμπορική της επιτυχία. Πολλές φορές η επιλογή ενός σαρωτή γίνεται βάσει της φιλικότητας τους συστήματος προς το χρήστη. Κάποιος μπορεί να διακρίνει εύκολα τις διαφορές στον τρόπο λειτουργίας ανάμεσα σε παλαιότερα και νεότερα συστήματα. Το γεγονός ότι μπορούμε να διακρίνουμε διαφορές σε μια τόσο νέα εμπορική αγορά είναι μια σημαντική ένδειξη για τη βελτίωση των σαρωτών στο μέλλον.

Το επίπεδο δυσκολίας της διαδικασίας ψηφιοποίησης μεταβάλλεται ανάλογα με το αντικείμενο που αποτυπώνεται. Το σύστημα σάρωσης είναι ο βασικός καταλύτης που καθορίζει τη διάρκεια της ψηφιοποίησης αλλά και την απαιτούμενη ανθρώπινη προσπάθεια. Είναι σημαντικό ο χειριστής του συστήματος ψηφιοποίησης να μπορεί να το χρησιμοποιήσει εύκολα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σύγκριση ανάμεσα σε συστήματα ακτίνων λέιζερ που βασίζονται σε χειροκίνητους βραχίονες και σε άλλα ποιο σύγχρονα που εφαρμόζουν την θεωρία μετάδοσης ραδιοκυμάτων⁴⁶. Ενώ τα πρώτα απαιτούν ακόμα και μυϊκές ικανότητες για τον χειρισμό τους, τα ποιο σύγχρονα, με διαστάσεις λίγο μεγαλύτερες από το μέγεθος μιας ανθρώπινης παλάμης επιτρέπουν την ψηφιοποίηση με τρόπο παρόμοιο με αυτό της χρήσης ενός πινέλου.

Το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων ορίζεται από το οπτικό πεδίο ή τον ωφέλιμο όγκο λειτουργίας του εκάστοτε σαρωτή. Όσο μεγαλύτερο είναι το

⁴⁶ Το μοντέλο FastScan Cobra της Polhemus θεωρείται ένα από τα πιο εύκολα στην χρήση συστήματα ψηφιοποίησης που βασίζεται σε ακτίνες λέιζερ. Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων ψηφιοποίησης κινητών αντικειμένων.

οπτικό πεδίο του συστήματος τόσο λιγότερες τμηματικές σαρώσεις απαιτούνται. Το εύρος του βάθους πεδίου σε συνδυασμό με το εύρος του οπτικού πεδίου επιτρέπουν την ευκολότερη σάρωση των *δύσκολων σημείων*⁴⁷.

Συστήματα που απαιτούν βαθμονομήσεις κάθε φορά που μεταβάλλεται η θέση τους στο χώρο δεν προτείνονται, καθώς η διάρκεια της ψηφιοποίησης αυξάνεται δραματικά. Η αύξηση του χρόνου υπολογίζεται από το γινόμενο του χρόνου διαδικασίας βαθμονόμησης επί το πλήθος των διαφορετικών θέσεων που θα λάβει ο σαρωτής. Υπάρχουν συστήματα που ο χρόνος βαθμονόμησης μπορεί να ξεπερνάει ακόμα και τις δύο ώρες. Η διαδικασία βαθμονόμησης των συστημάτων καθορίζει την πιστότητα των τρισδιάστατων μοντέλων. Συνήθως προτιμώνται συστήματα όπου η βαθμονόμηση γίνεται μια φορά για ένα αρκετά μεγάλο εύρος αντικείμενων με διαφορετικές διαστάσεις. Ευχής έργο θα ήταν η επιλογή ενός συστήματος με αυτοματοποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια αποτίμηση των χαρακτηριστικών που συναντούμε στο λογισμικό που συνοδεύει τους σαρωτές. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η αγορά εμπορικού λογισμικού από άλλες εταιρείες. Αυτό το λογισμικό αποτελεί επιπρόσθετο κόστος για ένα έργο ψηφιοποίησης. Πολλοί σαρωτές συνοδεύονται από λογισμικό αμφιβόλου ποιότητας και λειτουργικότητας. Είναι πολύ πιθανό το λογισμικό που συνοδεύει τους σαρωτές να μην καλύπτει όλες τις ανάγκες ενός έργου. Φιλότιμες προσπάθειες έχουν γίνει από διάφορες εταιρείες, ώστε να παρέχουν τουλάχιστον κάποιους από τους βασικούς αλγόριθμους επεξεργασίας. Το φιλικό γραφικό περιβάλλον του λογισμικού καθώς και η λειτουργικότητα, η σταθερότητα και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του, συμβάλουν στο χρόνο επεξεργασίας και στα τελικά αποτελέσματα της ψηφιοποίησης. Με τον ίδιο τρόπο που εξετάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός σαρωτή για να εξακριβωθεί αν καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες ενός έργου, με τον ίδιο τρόπο θα πρέπει να εξασφαλισθεί και η λειτουργικότητα του λογισμικού.

⁴⁷ Ως *δύσκολα σημεία* ορίσουμε όλες τις περιοχές στην επιφάνεια των αντικείμενων που απαιτούν τη μεταβολή εστίασης της ακτίνας λέιζερ λόγω της θέσης τους. Θεωρούνται επίσης όλα τα σημεία των επιφανειών με υψηλές γεωμετρικές μεταβολές που προκαλούν διάχυση στη δέσμη φωτός και απαιτούν τη μεταβολή της ισχύος της δέσμης λέιζερ, ώστε να σαρωθούν χωρίς θόρυβο.



Τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή ενός συστήματος τρισδιάστατης αποτύπωσης για κινητά πολιτιστικά αντικείμενα προκύπτουν από το ίδιο το έργο, την ανάλυση και την οργάνωσή του. Ο Πίνακας X παρουσιάζει, οργανωμένα, κάποια από αυτά τα κριτήρια. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να θεωρηθούν ως τα μοναδικά κριτήρια επιλογής καθώς η βαρύτητάς τους μεταβάλλεται κατά περίπτωση.

Πίνακας X. Βασικά κριτήρια επιλογής τρισδιάστατου σαρωτή

Βασικά κριτήρια επιλογής ενός τρισδιάστατου σαρωτή για την αποτύπωση κινητών πολιτιστικών αντικειμένων
1. Οπτικό πεδίο σάρωσης και ταχύτητα αποτύπωσης
2. Ακρίβεια αποτύπωσης τρισδιάστατης γεωμετρίας
3. Ανάλυση αποτύπωσης του σαρωτή
4. Αποτύπωση πληροφορίας υφής και ποιότητα αυτής
5. Ακρίβεια αντιστοίχισης γεωμετρικής πληροφορίας και πληροφορίας υφής
6. Επίπεδο φιλικότητας προς το χρήστη
7. Διαδικασία βαθμονόμησης (απαιτούμενος χρόνος και ευκολία αποπεράτωσης)
8. Περιβαλλοντολογικά χαρακτηριστικά για ορθή λειτουργία του σαρωτή
9. Μέσος όρος συνολικού χρόνου αποτύπωσης ενός αντικειμένου
10. Μέσος όρος συνολικού χρόνου επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου
11. Ανάγκη χρήσης λογισμικού από άλλες εταιρείες για επεξεργασία
12. Φορητότητα του συστήματος
13. Υπολογιστικές απαιτήσεις
14. Υποστηριζόμενα format τρισδιάστατων αρχείων για εξαγωγή μοντέλων
15. Προσωπικό που απαιτείται για την διαδικασία αποτύπωσης
16. Απαιτήσεις μεταφοράς αντικειμένων (χρήση περιστρεφόμενου τραπεζιού)
17. Επιπρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται στον χώρο της αποτύπωσης
18. Υποκειμενικό κριτήριο συμπεριφοράς και απόδοσης σαρωτή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά επιφάνειας των αντικειμένων (αντανακλάσεις, χρωματισμοί, κοκ)
19. Μέσος όρος συνολικού χρόνου εγκατάστασης και τοποθέτησης του σαρωτή
20. Αντιμετώπιση πιθανών δυσκολιών κατά την διαδικασία αποτύπωσης
21. Κόστος συστήματος
22. Εγγύηση συστήματος σάρωσης
23. Προαιρετικός εξοπλισμός που συνοδεύει το σαρωτή
24. Ειδικές ρυθμίσεις του σαρωτή που επιτρέπει η κατασκευάστρια εταιρεία για την καλύτερη προσαρμογή του συστήματος στις ανάγκες του εκάστοτε έργου

Ένας πιο συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών που μπορεί να αποτελέσουν κριτήρια επιλογής μεθόδου και συστήματος τρισδιάστατης ψηφιοποίησης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων είναι ο Πίνακας XI, στον οποίο αναφέρονται και οι πιθανές ρεαλιστικές επιλογές για κάθε κριτήριο.

Πίνακας XI. Τα 9 βασικότερα κριτήρια επιλογής μεθόδου και συστήματος ψηφιοποίησης

Κριτήριο	Πιθανές ρεαλιστικές επιλογές
1. Κόστος	Κλάση 10.000 € Κλάση 20.000 € Κλάση 50.000 € Κλάση 100.000 € Κλάση 200.000 € Κλάση 500.000 €
2. Υλικό	Μάρμαρο Μέταλλο Κεραμικό Ύφασμα
3. Μέγεθος	Μικρό (-20cm) Μεσαίο (25-60cm) Μεγάλο (65cm-)
4. Φορητότητα	Ναι/Όχι
5. Ακρίβεια	Χαμηλή (Σχήμα-Από-Σιλουέτες) Μεσαία (Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως) Μεγάλη (Λείζερ)
6. Υφή	Ναι/Όχι
7. Παραγωγικότητα	Μικρή (1-2 αντικείμενα/ημέρα) Μεσαία (3-5 αντικείμενα/ημέρα) Μεγάλη (6+ αντικείμενα/ημέρα)
8. Εξειδίκευση	Ελάχιστη Μικρή Μεγάλη
9. Συμβατότητα με πρότυπα	Ναι/Όχι

Ο πίνακας αυτός είναι κατάλληλα εκφρασμένος, έτσι ώστε να μπορεί πολύ εύκολα να διαμορφωθεί ως μια check-list από όποιον είναι κάτοχος πολιτιστικής κληρονομιάς και ενδιαφέρεται να επιλέξει μεθοδολογία και σύστημα ψηφιοποίησης, ή, ακόμη, να μπορεί να παράγει εύκολα προδιαγραφές για την προμήθεια συστήματος τρισδιάστατης ψηφιοποίησης κινητών αντικειμένων. Υπό αυτή την έννοια, αποτελεί και ένα από τα βασικότερα αποτελέσματα της παρούσης Μελέτης.

6

Έρευνα αγοράς συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης

6.1 Εισαγωγή

Η αγορά των εμπορικών συστημάτων τρισδιάστατης σάρωσης είναι αρκετά ευρεία. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των έργων ψηφιοποίησης πολιτιστικών αντικειμένων αποκλείουν, όμως, πολλές από τις διαθέσιμες επιλογές. Αυτό οφείλεται στις έντονες ασυμβατότητες εφαρμογής των σημερινών συστημάτων στον πολιτιστικό χώρο.

Το παρόν κεφάλαιο περιέχει αναφορές σε εμπορικά συστήματα που ανήκουν σε διαφορετικές μεθοδολογίες ψηφιοποίησης. Έτσι, το τμήμα αυτό της Μελέτης έρχεται να συμπληρώσει το προηγούμενο κεφάλαιο προσδιορισμού της βέλτιστης μεθόδου αποτύπωσης. Ακολουθούν πίνακες όπου μπορεί κανείς να βρει όλα τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα σάρωσης αντικειμένων, οργανωμένα σε κατηγορίες με βάση την τεχνική ψηφιοποίησης που ακολουθούν και τη δυνατότητα αποτύπωσης της πληροφορία υφής του αντικειμένου. Τέλος, υπάρχει ένας εκτενής κατάλογος όλων των εταιρειών και των συστημάτων εμπορικών τους. Ο κατάλογος περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η ακρίβεια των συστημάτων, οι περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας, οι διαστάσεις τους,

οι απαιτήσεις τροφοδοσίας, οι υπολογιστικές απαιτήσεις και άλλα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά, όπως είναι οι χρόνοι εγγύησης και ο διαθέσιμος προαιρετικός εξοπλισμός.

6.2 Αναφορές σε εμπορικά συστήματα

Εδώ συγκεντρώνονται αναφορές σε εμπορικά συστήματα τρισδιάστατης σάρωσης που φέρουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα κάνουν να ξεχωρίζουν.

6.2.1 Σαρωτές ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων

Τα πιο γνωστά συστήματα που βασίζονται στην τριγωνοποίηση με ακτίνες λέιζερ κατασκευάζονται από την Cyberware⁴⁸. Η εταιρεία έχει διατηρήσει την ίδια γραμμή παραγωγής των συγκεκριμένων μοντέλων για περισσότερο από δέκα χρόνια. Διαθέτει διαφορετικά συστήματα ανάλογα με το μέγεθος των αντικειμένων που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν. Μπορούν και αποτυπώνουν από ένα κόσμημα έως και ολόκληρο ανθρώπινο σώμα. Στο βασικό σύστημα σάρωσης υπάρχουν δύο καθρέφτες, οι οποίοι συλλέγουν την ακτίνα λέιζερ από διαφορετικές γωνίες. Αυτό αποσκοπεί στην αποφυγή σάρωσης σκιών. Συνεπάγεται όμως την αύξηση των διαστάσεων των σαρωτών με αποτέλεσμα να γίνονται σύνθετες κατασκευές, μη φορητές και με αυξημένο κόστος, καθιστώντας τους κακή επιλογή για πολλές εφαρμογές [89].

Άλλο ένα γνωστό και επιτυχημένο σύστημα αποτύπωσης που χρησιμοποιεί την ίδια αρχή λειτουργίας παράγεται από τη Minolta. Η σειρά σαρωτών Vivid⁴⁹ χρησιμοποιούν ένα γαλβανομετρικό ηλεκτροκινητήρα, τον οποίο χρησιμοποιεί για τη σάρωση του αντικειμένου με την ακτίνα λέιζερ. Με τη χρήση δύο διαφορετικών αισθητήρων αποτύπωσης εικόνας (CCD) το σύστημα αποτυπώνει γεωμετρία και υφή.

⁴⁸ Cyberware of Monterey, California – <http://www.cyberware.com/>.

⁴⁹ Για περισσότερες πληροφορίες για το συγκεκριμένο σύστημα ανατρέξτε στον αναλυτικό κατάλογο συστημάτων ψηφιοποίησης κινητών αντικειμένων.



Ο πιο σύγχρονος σαρωτής τριγωνοποίησης είναι πιθανόν το σύστημα *ColorScan* του National Research Council of Canada (NRC⁵⁰), το οποίο ψηφιοποιεί τη γεωμετρία και την πληροφορία υψής της επιφάνειας με ένα μόνο πέρασμα, σε αντίθεση με το σύστημα της Minolta. Το σύστημα του NRC επιτρέπει την αντιστοίχιση πραγματικής 24-bit χρωματικής πληροφορίας σε κάθε ογκομετρικό στοιχείο. Τα υψηλά επίπεδα ακρίβειας που θέτει το σύστημα του NRC υπόσχεται και το σύστημα της Arius3D⁵¹. Στην πραγματικότητα βασίζεται στην ίδια ιδέα με το σύστημα του NRC.

6.2.2 Σαρωτές προβολής μοτίβου (Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως)

Τη μέθοδο αυτή συναντούμε σε πολλά έργα αποτύπωσης πολιτιστικών αντικειμένων. Το πλήθος των διαθέσιμων εμπορικών συστημάτων την κατατάσσουν ως τη δεύτερη πιο δημοφιλή μέθοδο. Υποστηρίζεται από ποικιλία συστημάτων που μπορούν να ψηφιοποιήσουν αυτόματα αντικείμενα, τα οποία φτάνουν παρέχουν ταυτόχρονα πληροφορία γεωμετρίας και υψής για αντικείμενα μεγεθών που φτάνουν μέχρι αυτό ενός ανθρώπου. Το κόστος των σαρωτών αυξάνεται ανάλογα με τις δυνατότητες τους στην προβολή φωτεινών μοτίβων.

Υπάρχουν συστήματα που έχουν αναπτυχθεί πάνω σε ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές χειρός και χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται μια συμβατική ψηφιακή μηχανή. Η εταιρία Minolta⁵² έχει αναπτύξει μια ψηφιακή μηχανή (Minolta 3D 1500) που αποτυπώνει τρισδιάστατες φωτογραφίες. Δυστυχώς, αποτελεί σήμερα άλλο ένα προϊόν που βρίσκεται εκτός παραγωγής. Ελάχιστα είναι τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα που ακολουθούν τη φιλοσοφία της ενσωμάτωσης του τρισδιάστατου σαρωτή σε μια συσκευή παρόμοια με φωτογραφική μηχανή. Δύο από αυτά είναι το «*The Handy*» της εταιρείας EOIS⁵³ και το «*Shapeware*» της Eyetronics⁵⁴. Το σύστημα της EOIS

⁵⁰ National Research Council of Canada – <http://www.nrc-cnrc.gc.ca>. Το σύστημα προσφέρεται ως υπηρεσία σάρωσης από την XYZRGB - <http://www.xyzrgb.com/>.

⁵¹ Arius 3D – <http://www.arius3d.com/>.

⁵² Konica Minolta – <http://www.konicaminolta.com/>.

⁵³ EOIS – <http://www.eois.com/>.

λειτουργεί με μπαταρίες που προσφέρουν αυτονομία έως και 20 λεπτά ενώ η ανάλυση της κάμερας είναι 1280x960 εικονοστοιχεία. Τα συστήματα αυτά, όπως είναι αναμενόμενο, παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα φιλικότητας προς το χρήστη, ενώ το οπτικό σύστημα της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιούν περιορίζει το οπτικό πεδίο σάρωσης με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολλές τμηματικές σαρώσεις που, κατά την ενοποίηση τους, θα εισάγουν γεωμετρικές ασάφειες και σφάλματα.

Πολλές εταιρείες έχουν αναπτύξει σαρωτές δομημένου φωτός για την ψηφιοποίηση *ανθρωπίνων σωμάτων*. Για την ασφάλεια των ανθρώπων εφαρμόζεται η προβολή συμβατικού λευκού φωτός. Βασικό μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι οι διαστάσεις τους, που δεν επιτρέπουν μετακινήσεις. Από την άλλη πλευρά όμως βρίσκουν απόλυτη εφαρμογή στη γρήγορη τρισδιάστατη αποτύπωση ενδυμασιών. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων απέναντι σε αυτά της τριγωνοποίησης (προβολή ακτίνων λέιζερ) είναι η μεγαλύτερη οπτική γωνία που διαθέτουν καθώς η προβολή του μοτίβου μπορεί να γίνει από το ίδιο σημείο που βρίσκεται ο αισθητήρας σύλληψης της εικόνας (CCD). Τέλος στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγεται και η σύνθετη κατασκευή τους [89].

6.2.3 Σαρωτές φωτογραφικών μεθόδων (Σχήμα-Από-Σιλουέτες)

Σε αντίθεση από τους σαρωτές λέιζερ τα εμπορικά συστήματα που βασίζονται στην τεχνική *Σχήμα-Από-Σιλουέτες* είναι ελάχιστα. Πολύ πρόσφατα διακόπηκε η υποστήριξη ενός από τα πιο επιτυχημένα συστήματα της συγκεκριμένης τεχνικής. Πρόκειται για το πακέτο 3D Photo Studio της εταιρείας Viewpoint⁵⁵, το οποίο φέρνει τη μέθοδο πραγματικά στα όριά της. Το λογισμικό υποστηρίζει την αυτοματοποιημένη διαχείριση περιστρεφόμενου τραπεζιού και την αυτόματη λήψη από δύο ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ενώ χειρίζεται και επαγγελματικά φωτιστικά συστήματα για την απαλοιφή των σκιών κατά τη διάρκεια αποτύπωσης της πληροφορίας υψής. Με άλλα λόγια, αποτελεί ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα τρισδιάστατης ανακατασκευής αντικειμένων. Η

⁵⁴ Eyetronics – <http://www.eyetronics.com/>.

⁵⁵ Viewpoint – <http://www.viewpoint.com/>.

συμβατότητα του συστήματος με ελάχιστα περιστρεφόμενα τραπέζια περιορίζει το πλήθος των εφαρμογών. Πιο γενικευμένο είναι το σύστημα της Canon⁵⁶. Επιτρέπει την ελεύθερη φωτογράφιση αντικειμένων που φτάνουν σε διαστάσεις έως και μερικά μέτρα. Το μοντέλο φωτογραφίζεται πάνω σε ένα κωδικοποιημένο μοτίβο, το οποίο μπορεί να εκτυπώσει ο ίδιος ο χρήστης σε ό,τι διαστάσεις αυτός επιθυμεί, αρκεί, βέβαια, να τον καλύπτει ο φακός της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιεί.

6.2.4 Συστήματα Μέτρησης Συντεταγμένων με αισθητήρες αφής

Οι σαρωτές αυτοί αποτυπώνουν μόνο τη γεωμετρία των αντικειμένων. Τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα είναι ελάχιστα. Ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το PIX-30 της Roland⁵⁷. Το σύστημα διαθέτει υψηλή διακριτική ικανότητα και επιτρέπει την αποτύπωση επιφανειών από πήλινα αντικείμενα αλλά και φρούτα.

Η αρχή λειτουργίας των *Συστημάτων Μέτρησης Συντεταγμένων* τα αναδεικνύει ως τα μοναδικά συστήματα όπου η αποτελεσματικότητά τους μένει ανεπηρέαστη από διαφανείς και αντανακλαστικές επιφάνειες. Αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα αποτύπωσης πολύπλοκων αντικειμένων όταν υπάρχουν σημεία που δεν μπορούν να αγγίξουν οι αισθητήρες.

Η συγχώνευση τμηματικών σαρώσεων είναι μια διαδικασία που συναντούμε και σε αυτήν τη μέθοδο. Για την ολοκληρωμένη αποτύπωση ενός αντικειμένου χρειάζεται η τοποθέτηση του πάνω στο σαρωτή με διαφορετικούς προσανατολισμούς, έτσι ώστε να αποτυπωθούν όλες οι πλευρές του.

Υπάρχουν συστήματα με αισθητήρες μέτρησης πίεσης που χρησιμοποιούν τη μετάδοση του ήχου για την ανάκτηση της θέσης τους μέσα στον χώρο. Με τον τρόπο αυτό αφήνουν μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων στο χρήστη καθώς χρησιμοποιεί το σαρωτή ακριβώς όπως είναι μολύβι. Ένα σύστημα που βασίζεται στην ανάκλαση ηχητικών κυμάτων διατίθεται από τη εταιρεία GTCO

⁵⁶ 3D S.O.M – Canon – <http://www.canon.com/>.

⁵⁷ Roland – <http://www.roland.com>.

CalComp Peripherals⁵⁸ και ονομάζεται «*Freepoint 3D Sonic Digitizer*». Η ακρίβεια του συστήματος αγγίζει τα 0,01 εκατοστά. Καθώς η διαδικασία σάρωσης είναι χειροκίνητη στα περισσότερα⁵⁹ συστήματα, η πυκνότητα του νέφους σημείων βασίζεται καθαρά στο χρόνο που θα αφιερώσει ο χειριστής του συστήματος στο να πάρει μετρήσεις από όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία. Αυτό ακριβώς είναι και το βασικό ερώτημα που τίθεται σχετικά με την εφαρμογή των χειροκίνητων συστημάτων. Αμφισβητείται η εφαρμογή τους σε αντικείμενα που φέρουν πολύπλοκη γεωμετρική πληροφορία κάτι που είναι απολύτως φυσικό και συνηθισμένο σε πολιτισμικά χειροτεχνήματα. Φανταστείτε την εφαρμογή ενός σαρωτή αφής στην αποτύπωση μιας μαρμάρινης προτομής. Σε θεωρητικό επίπεδο είναι εφικτή η αποτύπωση αφού ο σαρωτής καταφέρνει να καλύψει όλο τον όγκο του αντικείμενου αλλά ποιος θα είναι ο συνολικός χρόνος διεξαγωγής της διαδικασίας ψηφιοποίησης ενός και μόνο αντικειμένου;(!) Το νέφος σημείων που θα αποδώσει ο σαρωτής θα απαιτεί και επιπρόσθετο χρόνο για την επεξεργασία του.

6.3 Κατηγοριοποίηση συστημάτων σάρωσης αντικειμένων

Η οργάνωση των πινάκων που ακολουθούν γίνεται με βάση τη μέθοδο στην οποία βασίζεται το εκάστοτε σύστημα. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- ✕: Δε σαρώνει πληροφορία υφής
- ✓: Σαρώνει πληροφορία υφής
- : Δεν υπάρχει σχετική πληροφορία

Ο Πίνακας XII συγκεντρώνει τα συστήματα ψηφιοποίησης που βασίζονται σε *τριγωνοποίηση ακτίνων λέιζερ*. Ο Πίνακας XIII συγκεντρώνει τα συστήματα ψηφιοποίησης που κάνουν χρήση της μεθόδου *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως*. Αντίστοιχα, ο Πίνακας XIV συγκεντρώνει τα συστήματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο *Σχήμα-από-Σιλουέτες*. Ο Πίνακας XV αναφέρει τα συστήματα που

⁵⁸ GTCO CalComp Peripherals – <http://www.gtcocalcomp.com/>.

εφαρμόζουν την τεχνική της αφής. Ο Πίνακας XVI συγκεντρώνει τα συστήματα που χρησιμοποιούν ακτίνες-X, και, τέλος, ο Πίνακας XVII αναφέρει τα συστήματα που χρησιμοποιούν την εκπομπή ηχητικών σημάτων.

Πίνακας XII. Τριγωνοποίηση με ακτίνες λέιζερ

Κατασκευαστής	Όνομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
3D Digital Corporation	Optix 400S, Optix 400L	✗
	Optix 400M	✓
	Optix 400H	✓
3D Scanners	ModelMaker W35/W70/W140	-
3Q	Qloneator Pro 100,200	✗
Arius 3D	Arius 3D	✓
Cyberware	Desktop Scanner 15	✗
	3030RGB/HIREZ/MM	✓
	3033RGB/PS	✓
	3030RGB/MS	✓
	WB4	✓
	WBX	✗
Digibotics	Series II Desktop	-
	Series II Heavy Duty	-
	Series III	-
Faro	LaserTracker	✗
INTECU - Callidus	CT 900	✗
	CT 180	✗
INO	3D Laser Profiling Sensor	✗
	MapScan	✗
KREON	KLS51	✗
	KLS171	✗
	ZEPHYR	✗
LaserDesign	Όλη η σειρά Surveyor	✗
Minolta	Vivid 910 fw	✓
	Vivid 910	✓
	Vivid 700	✓
Metris	LC15	✗
	LC50	✗
	XC Cross Scanner	✗
Nextec	Hack	✗
Perceptron	Contour Probe Sensor	✗
Polhemus	FastScan Cobra	✗
Renishaw	Cyclone	✗
Roland	LPX-250	✗
	LPX-1200	✗
	PICZA PIX-4	✗
	MDX-20	✗
	MDX-15	✗
ShapeGrabber	SG-100	✗
	SG-1000	✗

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
	Foot Scanner	✗
	PRM330-SG1002	✗
	PRM330-SG102	✗
	LM600-SG102	✗
	LM1250-SG1002	✗
	LM1750-SG1002	✗
	AI810-SG102	✗
	AI300-SG102	✗
	AI600-SG102	✗
Steinbichler Optotechnik	T-Scan Smart	✗
	Comet VarioZoom	✗
Vitronic	Vitus Pro	✗
	Vitus Smart	✗
	Vitus Ahead	✗
	Pedus	✗
Surphaser	Suphaser	✓
Wolf & Beck	OTP Series	✗
	ORS Series	✗
	OTM Series	✗

Πίνακας XIII. Σχήμα από Δομημένο Φως

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
Breuckmann GmbH	optoTOP HE100	✓
	optoTOP HE200	✓
	optoTOP HE400	✓
	optoTOP HE600	✓
	optoTOP SL400	✓
	TriTOS-HE	✓
EOIS	Handy	✓
	Moire Portable	✓
Eyetrionics	BodyScanner	✓
	HeadScanner	✓
	Shapeware	✓
Genex	Rainbow 25	✓
	Rainbow 50	✓
	Rainbow 100	✓
	Rainbow 250	✓
GOM mbH	ATOS standard	✗
	ATOS Standard SO	✗
	ATOS II	✗
	ATOS II SO	✗
	ATOS III	✗
	ATOS III SO	✗
inSpeck	3D Capturor II	✓
Optonet	Opto 3D-Ranger	✓
TC2	3D Body Scanner	✓

Πίνακας XIV. Σχήμα από Σιλουέτες

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
Canon	3D S.O.M	✓
UZR GmbH & Co KG	iModeller	✓
Viewpoint 3D	3D Photo Studio (Καταργήθηκε)	✓

Πίνακας XV. Τεχνική Αφής

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
Faro	Platinum Arm	✗
	Titanium Arm	✗
	Gage	✗
	Advantage	✗
	Scan Arm	✗
Immersion	Microscribe G2	✓
	Microscribe G2X	✗
	Microscribe G2L	✗
	Microscribe G2LX	✗
Roland	PICZA PIX-30	✗

Πίνακας XVI. Ακτίνες Χ

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
Konoscope Series	Aracor	✗

Πίνακας XVII. Εκπομπή ηχητικών σημάτων

Κατασκευαστής	Ονομασία Συστήματος	Πληροφορία Υφής
GTCO CalComp Peripherals	Freepoint 3D Sonic Digitizer	✗



6.4 Αναλυτικοί κατάλογοι Συστημάτων Σάρωσης Αντικειμένων

Κατασκευαστής	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Scanners	3Q
Όνομασία Προϊόντος	Optix 400S	Optix 400M	Optix 400H	Optix 400L	ModelMaker W35/W70/W140	QloneratorPRO 100
URL	http://www.3ddigitalcorp.com/	http://www.3ddigitalcorp.com/	http://www.3ddigitalcorp.com/	http://www.3ddigitalcorp.com/	http://www.3dscanners.co.uk	http://www.3q.com/
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	6.7 mw – Class 1	30 mw – Class 2	30 mw – Class 2	30 mw – Class 2	5mW Class III	30 mw – Class 2
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	100 – 200mm	300-650mm	350 – 550mm	300 – 900mm		300 – 900mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel)	Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel)	Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel)	Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel)		Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel)
Ακρίβεια	1000 σημεία ανά γραμμή 60 μικρά @ 100 mm 120 μικρά @ 200 mm	1000 σημεία ανά γραμμή 175 μικρά @ 300 mm 375 μικρά @ 650 mm	1000 σημεία ανά γραμμή 100 μικρά @ 350 mm 160 μικρά @ 550 mm	1000 σημεία ανά γραμμή 175 μικρά @ 300 mm 520 μικρά @ 900 mm		1000 σημεία ανά γραμμή 175 μικρά @ 300 mm 520 μικρά @ 900 mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	10,000	10,000	10,000	10,000	30 stripes/sec	10,000
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	16M True Colour	16M True Colour	-	Όχι	-
Υποστηριζόμενα Formats	.pmjx – binary (XYZ) raw coordinates in text file	.pmjx – binary (XYZ) raw coordinates in text file	.pmjx – binary (XYZ) raw coordinates in text file	.pmjx – binary (XYZ) raw coordinates in text file		DXF,OBJ,IGES,STL,VRML
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Στεγνή Ατμόσφαιρα		Στεγνή Ατμόσφαιρα
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου		Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	254 x 172 x 95	254 x 172 x 95	254 x 172 x 95	445 x 174 x 95		445 x 174 x 95
Βάρος Συστήματος (kg)	1.64	1.64	1.64	2.33		2.33
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-		-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	332	-	-		-



Κατασκευαστής	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Digital Corporation	3D Scanners	3Q
Όνομασία Προϊόντος	Optix 400S	Optix 400M	Optix 400H	Optix 400L	ModelMaker W35/W70/W140	QloneratorPRO 100
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	USB adapters	USB adapters	USB adapters	USB adapters		USB adapters
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP	Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP	Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP	Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP		Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	-	-	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	3Q	Aracor	Arius 3D	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH
Όνομασία Προϊόντος	QloneratorPRO 200	Konoscope Series	Arius3D	optoTOP – He 100	optoTOP – He 200	optoTOP – He 400
URL	http://www.3q.com/	http://www.aracor.com	http://www.arius3d.com/	http://www.breuckmann.com	http://www.breuckmann.com	http://www.breuckmann.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Ακτίνες Χ	Τριγωνοποίηση	Δομημένος φωτισμός	Δομημένος φωτισμός	Δομημένος φωτισμός
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	30 mw – Class 2	160KV – 130KV ισχύς ακτίνας	1 mW Red, 2 mW Green and 0.5 mW Blue	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	300 – 900mm	Διάμετρος αντικειμένου 200-10mm		Όγκος μέτρησης 80 x 60 x 50	Όγκος μέτρησης 160x125x100	Όγκος μέτρησης 320x250x200
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	Κάθετος άξονας 1040 βήματα Οριζοντίως sub-pixel (< από 1/10 pixel) 1000 σημεία ανά γραμμή	Μια εικόνα	X, Y:250 dpi, Z:25 microns, 3 sigma	0.8 x 0.6 της διαγωνίου εικόνας (1380 x 1040 pixel)	0.8 x 0.6 της διαγωνίου εικόνας (1380 x 1040 pixel)	0.8 x 0.6 της διαγωνίου εικόνας (1380 x 1040 pixel)
Ακρίβεια	175 μικρά @ 300 mm 520 μικρά @ 900 mm	1024x1024x1024 pixel Μέγεθος pixel 0.2 – 0.01mm	-	+/- 15 μm	+/- 20 μm	+/- 40 μm

Κατασκευαστής	3Q	Aracor	Arius 3D	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH
Όνομασία Προϊόντος	QloneratorPRO 200	Konoscope Series	Arius3D	optoTOP – He 100	optoTOP – He 200	optoTOP – He 400
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	10,000		3000 (x,y,z) & (r,g,b)	1,300,000 σημεία (XYZ)	1,300,000 σημεία (XYZ)	1,300,000 σημεία (XYZ)
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	Όχι	Ναι	Διαθέσιμο προαιρετικά	Ναι	Ναι
Υποστηριζόμενα Formats	DXF,OBJ,IGES,STL,VRML	-	ASCII,IGES,DXF,OBJ,3DS,STL,CAD	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Στεγνή Ατμόσφαιρα	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Οποιοδήποτε συνθήκες φωτισμού εκτός από υπεριώδης	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	445 x 174 x 95	2.4384 x 0.9144 x1.8288 m	Η Ιστοσελίδα αναφέρει περίπου μέγεθος κουτιού από παπούτσια	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα
Βάρος Συστήματος (kg)	2.33	-	-	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	Βάση του συστήματος μπορεί να έχει μέγεθος για ένα γραφείο έως ένα δωμάτιο ανάλογα με τις ανάγκες	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	332	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	230V / 0.7A / 150Watt	230V / 0.7A / 150Watt	230V / 0.7A / 150Watt
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	USB adapters	-	-	IEEE 1394 Firewire	IEEE 1394 Firewire	IEEE 1394 Firewire
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Standard PC with MS Windows 98,ME,2000,XP	-	Παραδίδεται με υπολογιστή	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP
Εγγύηση	-	-	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	Λογισμικό 3D Image Suite	Φορητό PC, λογισμικό, συγκεκριμένο οπτικό πεδίο	Φορητό PC, λογισμικό, συγκεκριμένο οπτικό πεδίο	Φορητό PC, λογισμικό, συγκεκριμένο οπτικό πεδίο



Κατασκευαστής	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Canon Research Centre Europe Ltd	Cyberware	Cyberware
Όνομασία Προϊόντος	optoTOP – He 600	optoTOP – SL 400	TriTOS-HE	3D S.O.M	Desktop 3D Scanner Model 15	Mini Model Shop 3D Scanner Model 3030RGB/HIREZ/MM
URL	http://www.breuckmann.com	http://www.breuckmann.com	http://www.breuckmann.com	http://www.cre.canon.co.uk/3dsom	http://www.cyberware.com	http://www.cyberware.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Δομημένος φωτισμός	Δομημένος φωτισμός	Δομημένος φωτισμός	Σχήμα από σιλουέτες	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου	Πηγή φωτός 100W λάμπα αλογόνου	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	Όγκος μέτρησης 480x380x300	320 x 220	Όγκος μέτρησης 160x125x100	Ανάλογο με τον φακό της φωτογραφικής μηχανής	X ή Θ:250mm, Y(min Z):150, Y (max Z):170,Z:75	X ή Θ:350mm, Y(min Z):130, Y (max Z):170,Z:150
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	0.8 x 0.6 της διαγωνίου εικόνας (1380 x 1040 pixel)	X,Y interpolated 200 μm	-	20 Φωτογραφίες του αντικειμένου	X ή Θ: 300μm-1mm Y:300μm,Z:50-200μm	X ή Θ: 150μm-1mm Y:313μm,Z:50-200μm
Ακρίβεια	+/- 50 μm	16μm	+/- 20 μm	-	-	-
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	1,300,000 σημεία (XYZ)	768 x 512 pixels	1280 x 1024 pixels λγότερο από δευτερόλεπτο	-	14,580 (x,y,z)	14,580 (x,y,z) & (r,g,b)
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	-	24 bits για r,g,b
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML	ASCII,BRE,STL,PLY,VRML	VRML	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SCR,ASCII,OBJ,VRML,και άλλα	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SCR,ASCII,OBJ,VRML,και άλλα
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %	Θερμοκρασία 0-50 C Υγρασία 20-80 %	-	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %
Περιβάλλον Φωτισμός	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου	Χαμηλό φωτισμό, όχι φως ηλίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα	Ανάλογα με την βάση συν 150mm μήκος αισθητήρα	-	73.8 x 45 x 27.5	51 x 48 x 36.5
Βάρος Συστήματος (kg)	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό	1.5 έως 2.5 ανάλογα με τον φακό	-	13.6	29
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	73.8 x 82.5 x 81.3
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	332	-	-	92.3
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	-	Όχι	Όχι

Κατασκευαστής	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Breuckmann GmbH	Canon Research Centre Europe Ltd	Cyberware	Cyberware
Όνομασία Προϊόντος	optoTOP – He 600	optoTOP – SL 400	TriTOS-HE	3D S.O.M	Desktop 3D Scanner Model 15	Mini Model Shop 3D Scanner Model 3030RGB/HIREZ/MM
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	230V / 0.7A / 150Watt	230V / 0.7A / 150Watt	230V / 0.7A / 150Watt	-	Κατά επιλογή 90-135VAC/175-264VAC, 47-63Hz	Κατά επιλογή 100V,120V,220V,240V 47-63Hz
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	110W	200W
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	IEEE 1394 Firewire	IEEE 1394 Firewire	IEEE 1394 Firewire	Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή, Εκτυπωτή για τους πίνακες βαθμονόμησης	SCSI	SCSI
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP	Intel P4, > 2Ghz, >512 MB RAM MS Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows XP	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	-	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	Φορητό PC, λογισμικό, συγκεκριμένο οπτικό πεδίο	-	Φορητό PC, λογισμικό, τρίποδες, συγκεκριμένο οπτικό πεδίο	Νέα επαγγελματική έκδοση βρίσκεται υπό-ανάπτυξη	-	3030HRC επεκτείνει την ανάλυση υψής έως και 16 φορές

Κατασκευαστής	Cyberware	Cyberware	Cyberware	Cyberware	Digibotics	Digibotics
Όνομασία Προϊόντος	Whole body Scanner WBX	Head & Face Scanner Model 3003RGB/PS	Whole body scanner WB4	Model Shop Color 3D Scanner Model 3030RGB/MS	Series II Desktop	Series II Heavy Duty
URL	http://www.cyberware.com	http://www.cyberware.com	http://www.cyberware.com	http://www.cyberware.com	http://www.digibotics.com	http://www.digibotics.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	-	-	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	Βάθος 130, Ύψος 200, Πλάτος 50 cm (ελλειπτικό)	X ή Θ: 1m, Y (min Z):260,Y (max Z):340,Z:300	Βάθος 120, Ύψος 200 (Κυλινδρικό)	X ή Θ: 1m, Y (min Z):260,Y (max Z):340,Z:300	457mm διάμετρος όγκου 457 mm ύψος	457mm διάμετρος όγκου 457 mm ύψος
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	4 x 2 x 0.5	X ή Θ: 0.25-1 Y:700μm,Z:100μm	5 x 2 x 0.5	X ή Θ: 0.25μm-1mm Y:700μm, Z:100μm	-	-
Ακρίβεια	-	-	-	-	-	-
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	60,000 (x,y,z) & φωτεινότητα	14,580 (x,y,z) & (r,g,b)	60,000 (x,y,z) & (r,g,b)	4,580 (x,y,z) & (r,g,b)	-	-



Κατασκευαστής	Cyberware	Cyberware	Cyberware	Cyberware	Digibotics	Digibotics
Όνομασία Προϊόντος	Whole body Scanner WBX	Head & Face Scanner Model 3003RGB/PS	Whole body scanner WB4	Model Shop Color 3D Scanner Model 3030RGB/MS	Series II Desktop	Series II Heavy Duty
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	24 bits για r,g,b	24 bits για r,g,b ή 8 bit grayscale	24 bits (RGB)	-	-
Υποστηριζόμενα Formats	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SC R, ASCII,OBJ,VRML,και άλλα	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SC R, ASCII,OBJ,VRML,και άλλα	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SC R, ASCII,OBJ,VRML,και άλλα	3DS,DXF,IGES,PLY,STL,SC R, ASCII,OBJ,VRML,και άλλα	DXF, IGES, IBL, OBJ, STL, and ASCII XYZ	DXF, IGES, IBL, OBJ, STL, and ASCII XYZ
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %	Θερμοκρασία 16-30 C Υγρασία 0-70 %	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	-	-
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Y) (cm αν δεν αναφέρεται)	261 x 235 x 290	51 x 48 x 36.5	360 x 292 x 300	51 x 48 x 36.5	-	-
Βάρος Συστήματος (kg)	300	29	450	29	-	-
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Y) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	161.3 x . x 155	-	182.5 x 122.5 x 192.5	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	142	-	332	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	-	-
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (M x Π x Y) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	90 – 135VAC/175-264VAC 47-63Hz	Κατά επιλογή 100V,120V,220V,240V 47-63Hz	90 – 135VAC/175-264VAC 47-63Hz	Κατά επιλογή 100V,120V,220V,240V 47-63Hz	110V	110V
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	1500W	500W	1500W	500W	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	SCSI 4 adapters	SCSI	SCSI 4 adapters	SCSI	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000	Pentium 1.7GHz,256 RAM,3D Graphics Card, MS XP,2000	486/133MHz with 32 Mbytes memory, 500 Mbytes hard disk.	486/133MHz with 32 Mbytes memory, 500 Mbytes hard disk.
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	Λογισμικό CyDir,DigiSize,CySlice,Mtool	3030HRC επεκτείνει την ανάλυση υψής έως και 16 φορές	Λογισμικό CyDir,DigiSize,CySlice,Mtool	3030HRC επεκτείνει την ανάλυση υψής έως και 16 φορές	-	-

Κατασκευαστής	Digibotics	EyeTronics	EOIS	EOIS	Faro	Faro
Όνομασία Προϊόντος	Series III	Shapeware	Handy	Moiré Portable/CMM/Custom	Gage	Faro Arm - Platinum
URL	http://www.digibotics.com	http://www.eyetronics.com	http://www.eois.com	http://www.eois.com/	http://www.faro.com	http://www.faro.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Τριγωνοποίηση	Δομημένο φωτισμό	Δομημένος φωτισμός	Δομημένος φωτισμός	Χειροκίνητος Βραχίονας με αισθητήρα αφής	Χειροκίνητος Βραχίονας με αισθητήρα αφής
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	-	-	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	450 – 914mm διάμετρος όγκου 457 -1828mm ύψος	-	200x200x120mm	X:75-100-150mm Z:40-60-80mm	Ακτίνα κύκλου 60cm	-
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	300Kb (pixels ανά δευτερόλεπτο)	XY ανάλυση: 0.15-0.2-0.3 Z ανάλυση: 0.08-0.1-0.15	-	-
Ακρίβεια	-	-	1280x960 pixels	0.2 – 0.3 -0.4 mm	0.005mm	0.01mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	-	-	Λειτουργεί σαν φωτογραφική μηχανή	300Kb pixel ανά δευτερόλεπτο	-	-
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	24 bits (RGB)	Πραγματικά Χρώματα	-	-	-
Υποστηριζόμενα Formats	DXF, IGES, IBL, OBJ, STL, and ASCII XYZ	3DS, LWO,HRC,XSI,OBJ,IV,STL, DXI,WRL	IGS,STL,ASCII,BMP,JPE G	IGS,STL,ASCII,BMP,JPE G	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	Σχετική Υγρασία 95% Θερμοκρασία 10 – 40 C	Σχετική Υγρασία 95% Θερμοκρασία 10 – 40 C
Περιβάλλον Φωτισμός	-	-	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	Φορητή συσκευή	200x150x100mm	125x175x50mm	-	-
Βάρος Συστήματος (kg)	-	-	1,5Kg	0.7Kg αισθητήρας	-	-
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Faro Arm	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	Βλέπε www.faro.com	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	-	Όχι	Όχι	Όχι	-	-
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ)	-	-	-	-	-	-



Κατασκευαστής	Digibotics	EyeTronics	EOIS	EOIS	Faro	Faro
Όνομασία Προϊόντος	Series III	Shapeware	Handy	Moiré Portable/CMM/Custom	Gage	Faro Arm - Platinum
Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)						
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	-	85-245 VAC, 50/60Hz	85-245 VAC, 50/60Hz
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	Μπαταρίες	Μπαταρία διάρκειας 20 λεπτών	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	Θύρα RS-232	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	486/133MHz with 32 Mbytes memory, 500 Mbytes hard disk.	P3 1Ghz, 512MB RAM, OpenGL 3D Graphics Card, MS WINDOWS XP,LINUX,SGI IRIX	Δεν απαιτείται για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων. 150Kb (επεξεργασία σημεία ανά δευτερόλεπτο)	-	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM
Εγγύηση	-	-	90 μέρες (επιπρόσθετη μετά από επικοινωνία)	-	1 χρόνο & επέκταση	1 χρόνο & επέκταση
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	Faro	Faro	Faro	Faro	Genex	Genex
Όνομασία Προϊόντος	Faro Arm - Titanium	Faro Arm - Advantage	Faro Arm – Scan Arm	Laser Tracker	Rainbow 25	Rainbow 50
URL	http://www.faro.com	http://www.faro.com	http://www.faro.com	http://www.faro.com	http://www.genextech.com	http://www.genextech.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Χειροκίνητος Βραχίονας με αισθητήρα αφής	Χειροκίνητος Βραχίονας με αισθητήρα αφής	Χειροκίνητος Βραχίονας με αισθητήρα αφής	Laser Class II, 150-250 MicroWatt,	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	-	-	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	-	-	-	Ακτίνα 0m – 35m	32 x 25 x 16 mm	69 x48 mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	442,368 (768 x 576) data points	442,368 (768 x 576) data points
Ακρίβεια	0.02 mm	0,00508mm	50 μm	10μm + 0.8 μm/m	25 μm	50 μm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	-	-	28 εικόνες/δευτερόλεπτο 13440 σημεία ανά δευτερο.	1000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο	<1 για συλλογή, 5 για γρήγορη προβολή, 30 – 60 για πλήρης προβολή με χρώμα 1 – 2 για συλλογή	<1 για συλλογή, 5 για γρήγορη προβολή, 30 – 60 για πλήρης προβολή με χρώμα 1 – 2 για συλλογή
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	-	-	-	RGB	RGB



Κατασκευαστής	Faro	Faro	Faro	Faro	Genex	Genex
Όνομασία Προϊόντος	Faro Arm - Titanium	Faro Arm - Advantage	Faro Arm - Scan Arm	Laser Tracker	Rainbow 25	Rainbow 50
Υποστηριζόμενα Formats	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA	IGES,VDA,STEP,DES,CA TIA	DAT, DXF,GTI,IGES,PNT,STL,VRML 2D: BMP,JPEG, RAW	DAT, DXF,GTI,IGES,PNT,STL,VRML 2D: BMP,JPEG, RAW
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Σχετική Υγρασία 95% Θερμοκρασία 10 – 40 C	Σχετική Υγρασία 95% Θερμοκρασία 10 – 40 C	Σχετική Υγρασία 95% Θερμοκρασία 0 – 40 C	Σχετική Υγρασία 30-90% Θερμοκρασία 15 - 27 C	Σχετική Υγρασία 30-90% Θερμοκρασία 15 - 27 C	Σχετική Υγρασία 30-90% Θερμοκρασία 15 - 27 C
Περιβάλλον Φωτισμός	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό	Δεν επηρεάζεται από φωτισμό	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	124 x 44 x 105 mm	Κεφαλή Λείζερ 280 x 535 mm	32.5x33.6x13.5	32.5x33.6x13.5
Βάρος Συστήματος (kg)	-	-	Αισθητήρας: 0.53kg	18-20kg	5,44	5,44
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	160 x 180 x 280 mm	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	5 kg	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	-	-	-	-	-	-
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	85-245 VAC, 50/60Hz	85-245 VAC, 50/60Hz	85-245 VAC, 50/60Hz	110 ή 240 Volts AC	110 ή 220 Volts AC	110 ή 220 Volts AC
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	-	Video Grabber card	Video Grabber card
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM	MS Windows XP, Pentium 4 2Ghz, 5120 RAM	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP
Εγγύηση	1 χρόνο & επέκταση	1 χρόνο & επέκταση	1 χρόνο & επέκταση	1 χρόνο & επέκταση	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	Τρίποδας, μαγνητικές βάσεις, τηλεχειριστήριο, ασύρματο δίκτυο	Μεταβολές στην ακρίβεια του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες	Μεταβολές στην ακρίβεια του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες



Κατασκευαστής	Genex	Genex	Geometrix	GOM mbH	GOM mbH	GOM mbH
Όνομασία Προϊόντος	Rainbow 100	Rainbow 250	FaceVision 200	ATOS Standard	ATOS Standard SO	ATOS II
URL	http://www.genextech.com	http://www.genextech.com	http://www.geometrix.com	http://www.gom.com	http://www.gom.com	http://www.gom.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	-	-	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	100 x 80 mm	250x200 x200mm	Χρησιμοποιείται σε συστήματα ασφαλείας	135x108x108–350x280x280mm ³	35x28x20–200x160x150 mm ³	135x108x108 – 1700x1360x1360 mm ³
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	442,368 (768 x 576) data points	442,368 (768 x 576) data points	-	-	-	-
Ακρίβεια	100 μm	250 μικρά	-	0.1 – 0.5 mm	0.045 – 0.25	0.08 mm έως 1mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	<1 για συλλογή, 5 για γρήγορη προβολή, 30 – 60 για πλήρης προβολή με χρώμα 1 – 2 για συλλογή	<1 για συλλογή, 5 για γρήγορη προβολή, 30 – 60 για πλήρη προβολή με χρώμα 1 – 2 για συλλογή	-	440.000 σε 8 δευτερόλεπτα (50Hz) 310 000 σε 8 δευτερόλεπτα (60Hz)	440.000 σε 8 δευτερόλεπτα (50Hz) 310 000 σε 8 δευτερόλεπτα (60Hz)	1.300.000 σε 7 δευτερόλεπτα
Δεδομένα Χρώματος (bits)	RGB	RGB	-	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	DAT, DXF,GTI,IGES,PNT,STL,VRML 2D: BMP,JPEG, RAW	DAT, DXF,GTI,IGES,PNT, STL,VRML 2D: BMP,JPEG, RAW	-	ASCII,STL	ASCII,STL	ASCII,STL
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Σχετική Υγρασία 30-90% Θερμοκρασία 15 - 27 C	Σχετική Υγρασία 30-90% Θερμοκρασία 15 - 27 C	-	Παρόμοιες συνθήκες με PC	Παρόμοιες συνθήκες με PC	Παρόμοιες συνθήκες με PC
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	32.5x33.6x13.5	32.5 x 33.6 x 13.5	8x6.3x17.6	61 x 160 x 125 cm ³	60 x 80 45 cm ³	52x70x90x22x11 cm ³
Βάρος Συστήματος (kg)	5,44	5,44 kg	Αισθητήρας 0.6kg	Αισθητήρας 3-5kg	Αισθητήρας 3-5kg	Αισθητήρας 3-5kg
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	Πλήρες Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg	Πλήρες Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg	Πλήρες Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	-	-	-	-	-	-
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ)	-	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	Genex	Genex	Geometrix	GOM mbH	GOM mbH	GOM mbH
Όνομασία Προϊόντος	Rainbow 100	Rainbow 250	FaceVision 200	ATOS Standard	ATOS Standard SO	ATOS II
(cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	110 ή 220 Volts AC	110 ή 220 Volts AC	120V AC	90-240V,600VA	90-240V,600VA	90-240V,600VA
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	Video Grabber card	Video Grabber card	Ethernet	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	MS Windows 2000,XP Professional &.NET, Linux or Solaris	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	-	2 χρόνια	2 χρόνια	2 χρόνια
Προαιρετικά σύνεργα	Μεταβολές στην ακρίβεια του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες	Μεταβολές στην ακρίβεια του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες	Βάση για εξωτερική χρήση	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων

Κατασκευαστής	GOM mbH	GOM mbH	GOM mbH	GTCO CalComp Peripherals	Immersion	Immersion
Όνομασία Προϊόντος	ATOS II SO	ATOS III	ATOS III SO	Freepoint 3D Sonic Digitizer	MicroScribe G2	MicroScribe G2X
URL	http://www.gom.com	http://www.gom.com	http://www.gom.com	http://www.gtco.com	http://www.immersion.com	http://www.immersion.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Προβολή λευκού φωτεινού μοτίβου/ CCD camera	Εκπομπή Ηχητικών Σημάτων	Αφής	Αφής
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	-	-	-	-	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	35x28x20-200x160x150 mm ³	150x150x100 – 2000x2000x2000 mm ³	65x65x40 – 300x300x300 mm ³	XL: 1x1x1, XL2: 2.4x2.4x2.4 4 XL3: 4.8x2.4x2.4 m	127cm	127cm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	-	-
Ακρίβεια	0.03 mm έως 0.15mm	0.075 – 1 mm	0.03 – 0.15	0.01cm	0.38 mm	0.23 mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	1.300.000 σε 7 δευτερόλεπτα	4.000.000 σε 8 δευτερόλεπτα (50Hz)	4.000.000 σε 8 δευτερόλεπτα (50Hz)	Baud: Έως και 38.4K	Χειροκίνητο	1000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII,STL	ASCII,STL	ASCII,STL	-	DXF,IGES,OBJ,TXT,3DS, VRML κ.α.	DXF,IGES,OBJ,TXT,3DS, VRML κ.α.
Συνθήκες Λειτουργίας						



Κατασκευαστής	GOM mbH	GOM mbH	GOM mbH	GTCO CalComp Peripherals	Immersion	Immersion
Όνομασία Προϊόντος	ATOS II SO	ATOS III	ATOS III SO	Freepoint 3D Sonic Digitizer	MicroScribe G2	MicroScribe G2X
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	Παρόμοιες συνθήκες με PC	Παρόμοιες συνθήκες με PC	Παρόμοιες συνθήκες με PC	-	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Ακόμα και σε συνθήκες έντονου φωτισμού	Ακόμα και σε συνθήκες έντονου φωτισμού	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	60x80x45 cm ³	50x73x30x12 cm ³	60x80x45 cm ³	43.9x7.6x34.3mm	-	-
Βάρος Συστήματος (kg)	Αισθητήρας 3-5kg	Αισθητήρας 3-5kg	Αισθητήρας 3-5kg	5.2kg	-	-
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	Πλήρης Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg	Πλήρης Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg	Πλήρης Σύστημα (οδηγός,PC,βάσεις) 70-120kg	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	-	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	90-240V,600VA	90-240V,600VA	90-240V,600VA	100/120/220/240 VAC, 50/60Hz	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	RS-232	RS-232 ή USB 1.1	RS-232 ή USB 1.1
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)	Το σύστημα ακολουθείτε από υπολογιστή (XEON 3.2GHz, 2 or 4MB RAM)	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft DOS, Windows 3X/95/98,NT	PC, Macintosh, και SGI	PC, Macintosh, και SGI
Εγγύηση	2 χρόνια	2 χρόνια	2 χρόνια	-	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων	Φωτογραμμετρικό σύστημα βελτίωσης μετρήσεων	-	Λογισμικό	Λογισμικό

Κατασκευαστής	Immersion	Immersion	inSpeck	INTECU - Callidus	INTECU - Callidus	INO
Όνομασία Προϊόντος	MicroScribe G2L	MicroScribe G2LX	3D Capturor II	CT 900	CT 180	3D Laser Profiling Sensor
URL	http://www.immersion.com	http://www.immersion.com	http://www.inspeck.com	http://www.intecu.de	http://www.intecu.de	http://www.ino.qc.ca
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Αφής	Αφής	Οπτικό / Σχήμα από δομημένο φως	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	-	Ασφαλείς για τους ανθρώπους λάμπα αλογόνου	3B (Σύμφωνα με EN 60825-1) μήκος κήματος λ= 670 +/- 10 nm	1 (Σύμφωνα με EN 60825-1) μήκος κήματος λ= 670 +/- 10 nm	35mW έως 5W
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	167cm	167cm	Μοντέλο SF:352x264cm,MF:630x472,LF:1195x896, Βάθος πεδίου: 450cm	Dmax: 1600mm,Hmax:1400mm	Dmax: 350mm,Hmax:375mm	300 mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	0.6,0.6,0.5	Κάθετη κίνηση κεφαλής 0.1mm	0.1mm	-
Ακρίβεια	0.43 mm	0.30 mm		10 μικρά	25 μικρά	900 Βαθος 0.25 mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	1000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Χειροκίνητο	0.4 δευτερόλεπτα	4000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	4000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	κατανομές/δευτερόλεπτο 256 σημεία ανά κατανομή
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Ναι	Ναι (640x480)	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	DXF,IGES,OBJ,TXT,3DS, VRML κ.α.	DXF,IGES,OBJ,TXT,3DS, VRML κ.α.	SZE,STL,OBJ,κ.α.	ASCII,XYZ	ASCII,XYZ	-
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	Θερ.15-30 C Υγρα. 10-75%	Θερ.15-30 C Υγρα. 10-75%	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Δεν επηρεάζεται από οποιονδήποτε φωτισμό	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Μέγιστη διάχυση φωτός 400 lux	Δεν επηρεάζεται από οποιονδήποτε φωτισμό	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	Ύψος 1.67m	-	190 x 97 x 186	95 x 51.5 x 85.3	-
Βάρος Συστήματος (kg)	-	5,44kg	-	450	140	-
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι χρησιμοποιούνται ειδικές βάσεις	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (M x Π x Υ)	-	-	-	-	-	-



Κατασκευαστής	Immersion	Immersion	inSpeck	INTECU - Callidus	INTECU - Callidus	INO
Όνομασία Προϊόντος	MicroScribe G2L	MicroScribe G2LX	3D Capturor II	CT 900	CT 180	3D Laser Profiling Sensor
Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)						
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	230V AC +/- 10%. 48-66Hz	230V AC +/- 10%. 48-66Hz	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	5V ή μέσω θύρας USB	-	200W Κατανάλωση 3A(10 A μέγιστο)	100W Κατανάλωση 2A(6 A μέγιστο)	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	RS-232 ή USB 1.1	RS-232 ή USB 1.1	FireWire	RS-232 (115200 bits/sec) Ethernet	RS-232 (115200 bits/sec)	Διαθέσιμη PCI θήρα
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	PC, Macintosh, και SGI	PC, Macintosh, και SGI	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP
Εγγύηση	-	-	1 χρόνο	1 χρόνο (επεκτάσιμο)	1 χρόνο (επεκτάσιμο)	-
Προαιρετικά σύνεργα	Λογισμικό	Λογισμικό	-	Εκπαίδευση, υπηρεσίες συντήρησης, βάση συμβολαίου, μεταφορά προϊόντος από την ίδια την εταιρία	Εκπαίδευση, υπηρεσίες συντήρησης, βάση συμβολαίου, μεταφορά προϊόντος από την ίδια την εταιρία	Κατασκευή και ρυθμίσεις αισθητήρα ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής

Κατασκευαστής	INO	Kreon	Kreon	Kreon	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	MapScan	KLS51	KLS171 Model	Zephyr Model	Surveyor DT-2000 Desktop	Surveyor PS-Series PS – 2000C
URL	http://www.ino.qc.ca	http://www.kreon3d.com	http://www.kreon3d.com	http://www.kreon3d.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Μήκος κύματος 670nm	-	-	-	-	6.7mw – Class 1
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	100 – 200 mm	30 μοίρες	45 μοίρες	30 μοίρες	+/- 22 μοίρες	30 μοίρες / Βάθος πεδίου 200-750mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	100mm/δευτερόλεπτο	42 µm	120 µm	42 µm	-	-
Ακρίβεια	~1 mm	10 µm	25 µm	10 µm	0.001’’	500 µm @ 200mm 900 µm @ 750mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	16.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	20.000 ανά δευτερόλεπτο	20.000 ανά δευτερόλεπτο	60 εικόνες ανά δευτερόλεπτο / 480 σημεία ανά εικόνα	50.000 συντεταγμένες ανά δευτερόλεπτο	512 σημεία ανά σάρωση έως και 500 σαρώσεις
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	16M True Colour
Υποστηριζόμενα Formats	STL,ASCII	STL,IGES,DXF,ASCII κ.α	STL,IGES,DXF,ASCII κ.α	STL,IGES,DXF,ASCII κ.α	STL,NURBS	.pmjx format, binary (X,Y,Z)



Κατασκευαστής	INO	Kreon	Kreon	Kreon	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	MapScan	KLS51	KLS171 Model	Zephyr Model	Surveyor DT-2000 Desktop	Surveyor PS-Series PS – 2000C
						και πληροφορία υψής (640x480 pixels), XYZ in text format, raw δεδομένα σάρωσης και βίντεο
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	Συσκευή αναγνώρισης Θέσης 195 x 275 x 60 mm ³	Κεφαλή Σαρωτή 16 x 11 cm	Κεφαλή Σαρωτή 32 x 96.6 cm	150 x 55 x 70	44 x 81 x 40	24.5 x 25 x 8
Βάρος Συστήματος (kg)	-	1	1,3	η κεφαλή του σαρωτή <400 γραμμάρια	η κεφαλή του σαρωτή 34	2
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	Κάμερα 175 x 90 x 115 mm ³	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι με μετατροπέα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	240 x 185 x 40 mm ³	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	115 VAC	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	12 VDC	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	PC Standard data link	PC Standard data link	PC Standard data link	Τυπική USB	Τυπική USB
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP
Εγγύηση	90 days	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	Μετατροπέας για τρίποδα, βαλίτσα μεταφοράς, λογισμικό ανάλυσης 3D δεδομένων	Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν (π.χ. Faro Arm),βαλίτσα μεταφοράς (αεροπλάνο)	Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν (π.χ. Faro Arm),βαλίτσα μεταφοράς (αεροπλάνο)	Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν (π.χ. Faro Arm),βαλίτσα μεταφοράς (αεροπλάνο)	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων



Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor PS-Series PS – 4000S	Surveyor PS-Series PS – 4000M	Surveyor PS-Series PS – 4000H	Surveyor PS-Series PS – 4000L	Surveyor PS-Series CS – 2822	Surveyor PS-Series CS – 3926
URL	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	6.7mw – Class 1	30mw – Class 2	6.7mw – Class 1	30mw – Class 2	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	30 μοίρες / Βάθος πεδίου 100-200mm	30 μοίρες / Βάθος πεδίου 300-650mm	15 μοίρες / Βάθος πεδίου 350-550mm	30 μοίρες / Βάθος πεδίου 300-900mm	700 x 550 x 500 mm	1000 x 650 x 500 mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	52 mm ανά δευτερόλεπτο	52 mm ανά δευτερόλεπτο
Ακρίβεια	60 μm @ 100 mm 120 μm @ 200 mm	170 μm @ 300mm 375 μm @ 650mm	100 μm @ 350 mm 160 μm @ 550 mm	175 μm @ 300mm 520 μm @ 900mm	3.0 + 3.5 L μm	3.0 + 3.5 L μm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	Έως και 1000 σημεία ανά σάρωση, Έως και 1000 σαρώσεις	Έως και 1000 σημεία ανά σάρωση, Έως και 1000 σαρώσεις	Έως και 1000 σημεία ανά σάρωση, Έως και 1000 σαρώσεις	Έως και 1000 σημεία ανά σάρωση, Έως και 1000 σαρώσεις	14,400 σημεία ανά δευτερόλεπτο	52 mm ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	16M True Colour	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	.pmjx format, binary (X,Y,Z) και πληροφορία υψής (640x480 pixels), XYZ in text format, raw δεδομένα σάρωσης και βίντεο	.pmjx format, binary (X,Y,Z) και πληροφορία υψής (640x480 pixels), XYZ in text format, raw δεδομένα σάρωσης και βίντεο	.pmjx format, binary (X,Y,Z) και πληροφορία υψής (640x480 pixels), XYZ in text format, raw δεδομένα σάρωσης και βίντεο	.pmjx format, binary (X,Y,Z) και πληροφορία υψής (640x480 pixels), XYZ in text format, raw δεδομένα σάρωσης και βίντεο	ASCII	ASCII
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	20 – 22° C	20 – 22° C
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	25.4 x 17.2 x 9.5	24.5 x 25 x 8	25.4 x 17.2 x 9.5	44.5 x 17.4 x 9.5	1380 x 1060 x 2525	1680 x 1060 x 2525mm
Βάρος Συστήματος (kg)	1.64	1.64	1.64	2.33	740	925
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ)	-	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor PS-Series PS – 4000S	Surveyor PS-Series PS – 4000M	Surveyor PS-Series PS – 4000H	Surveyor PS-Series PS – 4000L	Surveyor PS-Series CS – 2822	Surveyor PS-Series CS – 3926
Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)						
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	-	230 V 50Hz (κατά επιλογή 110V 60 Hz)	230 V 50Hz (κατά επιλογή 110V 60 Hz)
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	Τυπική USB	Τυπική USB	Τυπική USB	Τυπική USB	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000.XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000.XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000.XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000.XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000.XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000.XP
Εγγύηση	-	-	-	-	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων	Λογισμικό για επεξεργασία 3D δεδομένων, Βραχιόνες άλλων εταιριών που μπορούν να συνδυαστούν, Περιστρεφόμενο τραπέζι για την αυτόματη σάρωση αντικειμένων	Λογισμικό Winmeil Plus και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Winmeil Plus και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής

Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor PS-Series CS – 7133	Surveyor PS-Series CS – 7139	Surveyor PS-Series CS – 11839	Surveyor DS - 2000 Series	Surveyor DS - 3000 Series	Surveyor DS - 4000 Series
URL	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	1800 x 850 x 700 mm	1800 x 850 x 850 mm	1800 x 850 x 850 mm	DS-2020/30: Μέγιστο ύψος αντικείμενου 345 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση DS-2530: 445 mm	Μέγιστο ύψος αντικείμενου 485 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση	Μέγιστο ύψος αντικείμενου 485 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	75 mm ανά δευτερόλεπτο	75 mm ανά δευτερόλεπτο	52 mm ανά δευτερόλεπτο	-	-	-
Ακρίβεια	2.5 + 3.5 L μm	2.5 + 3.5 L μm	10 + 15 L < 40 μm	DS-2020: 0.015mm DS-2030: 0.016mm DS-2530: 0.017mm	DS-3040: 0.020 mm DS-3060: 0.021mm	DS-4060: 0.022 mm DS-4080: 0.022 mm DS-60120: 0.034 mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας	75 mm ανά δευτερόλεπτο	75 mm ανά δευτερόλεπτο	75 mm ανά δευτερόλεπτο	Μέγιστο 610 mm ανά	Μέγιστο 610 mm ανά	Μέγιστο 610 mm ανά



Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor PS-Series CS – 7133	Surveyor PS-Series CS – 7139	Surveyor PS-Series CS – 11839	Surveyor DS - 2000 Series	Surveyor DS - 3000 Series	Surveyor DS - 4000 Series
(σημεία ανά δευτερόλεπτο)				δευτερόλεπτο	δευτερόλεπτο	δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	20 – 22° C	20 – 22° C	20 – 22° C	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	2670 x 1495 x 2783mm	2670 x 1595 x 2900mm	3780 x 1595 x 2900	DS- 2020:1100x1000x2160mm DS-2030:990 x1400x2360mm DS- 2530:1380x1150x2400mm	DS-3040:1375 x 1855 x 2845 mm DS-3060:1375 x 2540 x 2845 mm	DS-4060: 1625 x 2540 x 2845mm DS-4080: 1625 x 3050 x 2845mm DS-60120: 2364 x 4195x3965mm
Βάρος Συστήματος (kg)	2450	3250	1300	DS-2020: 815 DS-2030: 545 DS-2530: 815	DS-3040: 1365 DS-3060: 2955	DS-4060: 3185 DS-4080: 5000 DS-60120: 10730
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	230 V 50Hz (κατά επιλογή 110V 60 Hz)	230 V 50Hz (κατά επιλογή 110V 60 Hz)	230 V 50Hz (κατά επιλογή 110V 60 Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο



Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor PS-Series CS – 7133	Surveyor PS-Series CS – 7139	Surveyor PS-Series CS – 11839	Surveyor DS - 2000 Series	Surveyor DS - 3000 Series	Surveyor DS - 4000 Series
Προαιρετικά σύνεργα	Λογισμικό Winneil Plus και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Winneil Plus και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Winneil Plus και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής
Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	Minolta	Minolta
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor DS - 5000 Series	Surveyor DS - 4500 Series	Surveyor DS - 6000 Series	Surveyor DM Series	Vivid 910 fw	Vivid 910
URL	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.laserdesign.com	http://www.minolta3d.com	http://www.minolta3d.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	<1μW Class II & III	Class I (FDA) – ασφαλές για το μάτι	Class I (FDA) – ασφαλές για το μάτι
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	Μέγιστο ύψος αντικείμενου 485 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση	Μέγιστο ύψος αντικείμενου 760 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση	Μέγιστο ύψος αντικείμενου 760 mm με το αισθητήρα σε κάθετη θέση	-	Από 360 x 270 έως 900 x 1200 mm	Από 360 x 270 έως 900 x 1200 mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	-	-
Ακρίβεια	DS-5080: 0.024mm DS-50100:0.025mm DS-50120:0.027mm	DS-4560: 0.021mm DS-4580: 0.023mm DS-45100: 0.024mm	DS-6060: 0.027mm DS-6080: 0.029mm DS-60100: 0.031mm	0,009652 mm	1.12 mm μέγιστη ανάλυση	0.008 mm μέγιστη ανάλυση
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	Μέγιστο 610 mm ανά δευτερόλεπτο	Μέγιστο 760 mm ανά δευτερόλεπτο	Μέγιστο 760 mm ανά δευτερόλεπτο	15.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	76.800 σημεία ανά 0.3 δευτερόλεπτα	307.000 σημεία ανά 0.3 δευτερόλεπτα
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	640 x 480 pixels x 24 bit πλήρες χρώμα ή ασπρόμαυρο	640 x 480 pixels x 24 bit πλήρες χρώμα ή ασπρόμαυρο
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII	ASCII	ASCII	ASCII	STL, DXF, OBJ, AXCIIPoints, VRML	STL, DXF, OBJ, AXCIIPoints, VRML
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	68° F ± 3/ 20° C ± 1.8° C Υγρασία: 50% ± 15%	10° έως 40° C Σχετική υγρασία 85% η λιγότερο	10° έως 40° C Σχετική υγρασία 85% η λιγότερο
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	DS-5080: 1880 x 3225 x 3000mm DS-50100: 1880 x 3735 x 3000 m DS-50120: 1880x 4245 x3000mm	DS-4560: 1985 x 2415 x 3965 mm DS-4580: 1985 x 2925 x 3965 mm DS-45100: 1985 x 3430 x 3965 mm	DS-6060: 2365 x 2670 x 3965 mm DS-6080: 2365 x 3175 x 3965 mm DS-60100: 2365 x 3685 x 3965 mm	725 x 900 x 1050 mm	213 x 413 x 271 mm	213 x 413 x 271 mm
Βάρος Συστήματος (kg)	DS-5080: 6365	DS-4560: 5410	DS-6060: 6500	102	11	11



Κατασκευαστής	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	LaserDesign	Minolta	Minolta
Όνομασία Προϊόντος	Surveyor DS - 5000 Series	Surveyor DS - 4500 Series	Surveyor DS - 6000 Series	Surveyor DM Series	Vivid 910 fw	Vivid 910
	DS-50100: 7275 DS-50120: 9095	DS-4580: 6595 DS-45100: 7730	DS-6080: 7910 DS-60100: 9320			
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	120 V AC, 60Hz,15A (προαιρετικά 220 V AC, 50Hz)	100 – 240 V AC,50-60 Hz, αυτόματη αλλαγή	100 – 240 V AC,50-60 Hz, αυτόματη αλλαγή, 0,6 A
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	-	SCSI II (DMA synchronous transfer) RS-232 serial port για περιστρεφόμενο τραπέζι	SCSI II (DMA synchronous transfer)
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Windows® NT όχι Win2000 Pentium CPU, 256MB RAM, OpenGL 3D Card SGI running IRIX (Octane, Indigo, Indy and O2 series). 256 MB RAM	Windows® NT όχι Win2000 Pentium CPU, 256MB RAM, OpenGL 3D Card SGI running IRIX (Octane, Indigo, Indy and O2 series). 256 MB RAM
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Λογισμικό Geomet jr και άλλα πακέτα, αισθητήρας αφής	Περιστρεφόμενο τραπέζι, κάρτα μνήμης, τρίποδας	Περιστρεφόμενο τραπέζι, κάρτα μνήμης, τρίποδας

Κατασκευαστής	Minolta	Metris	Metris	Metris	Nextec	Optonet
Όνομασία Προϊόντος	Vivid 700	LC15	LC50	XC Cross Scanner	Hack	OPTO 3D – Ranger
URL	http://www.minolta3d.com	http://www.metris.be	http://www.metris.be	http://www.metris.be	http://www.nextec-wiz.com	http://www.optonet.it
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Class II 25mW	Class IIA	Class IIA	Class IIA	-	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	Από 70 x 70 έως 1100 x 1100mm	15x15mm	50mm	3 x 50mm	-	300-500mm

Κατασκευαστής	Minolta	Metris	Metris	Metris	Nextec	Optonet
Όνομασία Προϊόντος	Vivid 700	LC15	LC50	XC Cross Scanner	Hack	OPTO 3D – Ranger
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	100 mm/δευτερόλεπτο	-
Ακρίβεια	200 x 200 x256 σημεία	25μm	15μm	15μm	2 μm	768 x 576 εικονοστοιχεία 0.1mm – 0.02mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	0.6 δευτερόλεπτα	19200 σημεία ανά δευτερόλεπτο	19200 σημεία ανά δευτερόλεπτο	3 x 6400 σημεία ανά δευτερόλεπτο	40 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Όλη η διαδικασία <2 δευτερόλεπτα 500.000 σημεία
Δεδομένα Χρώματος (bits)	640 x 480 pixels x 24 bit πλήρες χρώμα ή ασπρόμαυρο	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	RGB
Υποστηριζόμενα Formats	STL, DXF, OBJ, AXCH points, VRML	-	-	-	-	-
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	10° έως 40° C Σχετική υγρασία 85% ή λιγότερο	-	-	-	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	-
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	210 x 325 x 365 mm	105x62x105mm	110x70x150mm	147x135x87 mm	Hawk 5-4-4: 500 x 400 x 400 mm Hawk 7-6-4: 700 x 550 x 400 mm Hawk 7-7-5: 700 x 650 x 500 mm Hawk 10-6-4: 1000 x 550 x 400 mm Hawk 10-7-5: 1000 x 650 x 500 mm Hawk12-7-5: 1200 x650 x 500 mm Hawk 14-7-5: 1400x650 x 500 mm	Αισθητήρας: 6kg Τρίποδας: 0.4kg
Βάρος Συστήματος (kg)	9	Κεφαλή Σαρωτή 300g	Κεφαλή Σαρωτή 300g	Κεφαλή Σαρωτή 510g	Hawk 5-4-4: 245, Hawk 7-6-4: 740 Hawk 7-7-5:800, Hawk 10-6-4:870, Hawk 10-7-5: 950, Hawk12-7-5:1050, Hawk 14-7-5:1150	Κεφαλή Σαρωτή: 6kg
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	100 – 240 V AC,50-60 Hz, αυτόματη αλλαγή, 0.6 A	-	-	-	-	110/220 V AC. 16A
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο	SCSI II (DMA synchronous transfer	Renishaw PH10(M)	Renishaw PH10(M)	Renishaw PH10(M)	-	-



Κατασκευαστής	Minolta	Metris	Metris	Metris	Nextec	Optonet
Όνομασία Προϊόντος	Vivid 700	LC15	LC50	XC Cross Scanner	Hack	OPTO 3D – Ranger
του συστήματος						
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Windows® NT όχι Win2000 Pentium CPU, 256MB RAM, OpenGL 3D Card SGI running IRIX (Octane, Indigo, Indy and O2 series). 256 MB RAM	-	-	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP
Εγγύηση	1 χρόνο	-	-	-	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	Περιστρεφόμενο τραπέζι, κάρτα μνήμης, τρίποδας	-	-	-	Renishaw PH10 Μηχανοκίνητη κεφαλή, ειδικές βάσεις στηρίγματος	-

Κατασκευαστής	Perceptron	Polhemus	Renishaw	Roland	Roland	Roland
Όνομασία Προϊόντος	ScanWorks	FastScan Cobra	Cyclone	LPX-250 Scanner	LPX-1200 Scanner	PICZA PIX-4
URL	http://www.perceptron.com	http://www.polhemus.com	http://www.renishaw.com	http://www.rolanddga.com	http://www.rolanddga.com	http://www.rolanddga.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Class IIm	670nm, 1mW, Class II	-	Μήκος κύματος 600 έως 700 nm, >0.39W	Μήκος κύματος 600 έως 700 nm, >0.39W	-
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	30-50mm/ Βάθος πεδίου 75mm	Ανάλογα με την απόσταση από το αντικείμενο 150mm έως 200mm	600 x 500 x 370 mm	Διάμετρος x Ύψος 254 x 406 mm	Επίπεδη σάρωση (M x Y): 130x203 mm Περιστροφική (Διάμετρος x Y): 130 x 203mm	152.4 x 101.6 x 60.5 mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	0.42mm από σημείο σε σημείο	Ανάλογα με την απόσταση από το αντικείμενο 0.5mm έως 200mm	1μm	50mm	50mm	XY άξονας – 0.05 έως 5 mm Z άξονας – 9 mm ανά δευτερόλεπτο
Ακρίβεια	50 μικρά	-	-	-	-	-
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	23,040 σημεία ανά δευτερόλεπτο	50 γραμμές/δευτερόλεπτο	400 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Περιστρεφόμενο τραπέζι 15 grm, Κεφαλή Λείζερ: 15grm Ταχύτητα τροφοδοσίας Λείζερ: 50mm	Περιστρεφόμενο τραπέζι 15 grm, Κεφαλή Λείζερ: 15grm Ταχύτητα τροφοδοσίας Λείζερ: 50mm	XY άξονας - 30 mm ανά δευτερόλεπτο Z άξονας – 9 mm ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	-	-	-	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	-	3ds,ascii,dxf,igs,obj,mat,styl,VRML, obj,iv,	-	STL,DXF,IGES	-	DXF,VRML,STL,3DMF,BMP,Grayscale,Point Group
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	10 – 30 C/ 10% - 90% Υγρασία	Στεγνή Ατμόσφαιρα	10° C έως 38° C / Υγρασία: 20% έως 80%	5° – 40° C / Υγρασία 35-80%	10° – 40° C / Υγρασία 35-80%	5 - 40° C / Υγρασία 35-80%
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Μεταλλικά αντικείμενα & Ηλεκτρομαγνητικά πεδία ίσως επηρεάσουν την λειτουργία.	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου

Κατασκευαστής	Perceptron	Polhemus	Renishaw	Roland	Roland	Roland
Όνομασία Προϊόντος	ScanWorks	FastScan Cobra	Cyclone	LPX-250 Scanner	LPX-1200 Scanner	PICZA PIX-4
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	105x52x90mm	Μήκος: 23 cm	1273 x 2113 x 656 mm	508 x 736 x 406 mm	443 x 396 x 609 mm	313 x 304 x 276
Βάρος Συστήματος (kg)	340g	-	200	32	35	4.9
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	Κεντρική μονάδα που περιέχει το τροφοδοτικό 27,94 x 28,956 x 9,156	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	100 – 240V AC/ 72 Watts, 50/60Hz	-	90 – 265 V AC,47 -60 Hz	Μετατροπέας AC 110/220V	Μετατροπέας AC 110/220V	Μετατροπέας AC 110/220V
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	80 Watts	DC 19V, 2.1A	DC 19V, 2.1A,20W	DC 12V 1.5A
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	USB, Ethernet,Serial θήρες	ECP παράλληλη θύρα	-	RS-232C, D-sub 25pin	USB	RS-232C
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	P4 PC,60GB HD,1GB RAM, 120MB VIDEO RAM, με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows XP	Pentium III, 600Mhz, 128MB RAM for Win 2000, OpenGL	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP
Εγγύηση	-	-	-	-	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	-	Λογισμικό για βελτιστοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων	Scanning styli kit, βάσεις αντικραδασμικές, σφιγκτήρες	3 μέτρα καλώδιο RS-232	-	-

Κατασκευαστής	Roland	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber
Όνομασία Προϊόντος	PICZA PIX-30	Module Scan Device SG - 100	Module Device SG -1000	Foot Scanner
URL	http://www.rolanddga.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com
Επιδόσεις				
Τεχνική Σάρωσης	Αφής με πιέζοαισθητήρες	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λέιζερ	-	Class II – 670 nm	Class II – 670 nm	Class II
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	304.8 x 203.2 x 60.5 mm	90 mm έως 160 mm	170 mm έως 585 mm	-

Κατασκευαστής	Roland	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber
Όνομασία Προϊόντος	PICZA PIX-30	Module Scan Device SG - 100	Module Device SG -1000	Foot Scanner
URL	http://www.rolanddga.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	XY άξονας – 0.05 έως 5 mm Z άξονας – 9 mm ανά δευτερόλεπτο	20µm	20µm	-
Ακρίβεια	-	< 1µm	Κοντά < 1µm, Μακριά 5µm	0.5mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	XY άξονας - 30 mm ανά δευτερόλεπτο Z άξονας – 9 mm ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	17 δευτερόλεπτα για πλήρη σάρωση 10,590 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	DXF, VRML, STL, 3DMF, BMP, Grayscale, Point Group	XYZ, 3pi, pif	XYZ, 3pi, pif	ASCII και άλλα
Συνθήκες Λειτουργίας				
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	5 - 40° C / Υγρασία 35-80%	15-40° C / Υγρασία 50 ± 20%	15-40° C / Υγρασία 50 ± 20%	15-40° C / Υγρασία 50 ± 20%
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά				
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	478 x 465 x 341	208 x 75 x 123mm	295 x 75 x 131 mm	35 x 51 x 69 cm
Βάρος Συστήματος (kg)	11	Κεφαλή Σαρωτή 1.08	Κεφαλή Σαρωτή 1.14	34
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	Μετατροπέας AC 110/220V	Μετατροπέας AC 110/220V	Μετατροπέας AC 110/220V	120V AC



Κατασκευαστής	Roland	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber
Όνομασία Προϊόντος	PICZA PIX-30	Module Scan Device SG - 100	Module Device SG -1000	Foot Scanner
URL	http://www.rolanddga.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	DC 12V 1.5A	8-30V DC / 12 VDC 230 mA	8-30V DC / 12 VDC 230 mA	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	RS-232C	Firewire IEEE 1394	Firewire IEEE 1394	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Το σύστημα περιλαμβάνει και υπολογιστή	Το σύστημα περιλαμβάνει και υπολογιστή	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows,2000,XP
Εγγύηση	-	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	-

Κατασκευαστής	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber
Όνομασία Προϊόντος	PRM330 – SG1002	PLM300 – SG102	LM600 – SG102	LM1250 – SG1002	LM1750 – SG1002	AI810 – SG102
URL	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Class II	Class II	Class II	Class II	Class II	Class II
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	330 μοίρες πανοραμικής λήψης	300mm ή 600mm γραμμικής κίνησης	600x160x165	1250x750x1150mm	1750x750x1150mm	80 x 60 x 60 cm αυτόματα 125 x 80 x 70 μονού περάσματος σάρωση
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	-	-	-	-
Ακρίβεια	0.125mm	0.05mm	0.03mm	0.1mm	0.1mm	0.04mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού
Γενικά Χαρακτηριστικά						



Κατασκευαστής	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber	ShapeGrabber
Όνομασία Προϊόντος	PRM330 – SG1002	PLM300 – SG102	LM600 – SG102	LM1250 – SG1002	LM1750 – SG1002	AI1810 – SG102
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	35 x 51 x 69 cm	- (Μεταφέρσιμο)	790 x 400 x 490 mm	1380 x 1040 x 1320 mm	1880 x 1040 x 1320 mm	1.91 x 0.92 x 2.21 m
Βάρος Συστήματος (kg)	14	16 έως 20	16	95	105	726
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	-
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	ShapeGrabber	ShapeGrabber	Steinbichler Optotechnik	Steinbichler Optotechnik	Surphaser	TC2
Όνομασία Προϊόντος	AI300 – SG102	AI600 – SG102	Comet T-Scan Smart Triangulation Scanner	Comet VarioZoom	Surphaser	3D Body Scanner
URL	http://www.shapegrabber.com	http://www.shapegrabber.com	http://www.steinbichler.de	http://www.steinbichler.de	http://www.surphaser.com	http://www.tc2.com
Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωσης	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Διαφορά Φάσης	Δομημένο Φως
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Class II	Class II	Class II – 670nm	Class II – 670nm	Class IIb – 7mW & Class IIIa – 5mW	Λευκό Φως
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	300mm γραμμικής κίνησης 300x150x150mm	600mm γραμμικής κίνησης 600x150x150mm	Βάθος πεδίου μέτρησης 75 mm,Μήκος σάρωσης 90mm	-	22 ⁰ -36 ⁰ - 2 μέτρα διάμετρος αντικειμένου στις 22 μοίρες	2,1x1.2x1m
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-	0.35 – 3.5 mm	-	-	2 x 2 mm πυκνότητα

Κατασκευαστής	ShapeGrabber	ShapeGrabber	Steinbichler Optotechnik	Steinbichler Optotechnik	Surphaser	TC2
Όνομασία Προϊόντος	AI300 – SG102	AI600 – SG102	Comet T-Scan Smart Triangulation Scanner	Comet VarioZoom	Surphaser	3D Body Scanner
Ακρίβεια	0.04mm	0.04mm	0.1 – 0.2 mm	-	25 μm	πλέγματος < 1mm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	15,000 έως 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Συχνότητα Σάρωσης 25-250Hz έως και 6666 σημεία ανά δευτερόλεπτο	-	200,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	800,000 σημεία
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι	Όχι	-	Προαιρετικά	Ναι
Υποστηριζόμενα Formats	ASCII και άλλα	ASCII και άλλα	-	-	STL,DXF,XYZ, OpenInventor,MSH	VRML,.ord, IGES, ASCII, direct export to Microsoft Excel
Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	-	-
Περιβάλλον Φωτισμός	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Ανεξαρτήτου Φωτισμού	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	-	-	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	420x560x710mm	420x560x1010mm	Μέγεθος αισθητήρα: 185x100x145 mm	-	50.8 x 15.2 x 15.2 cm	5' x9' / καταλαμβάνει 45 τετραγωνικά πόδια
Βάρος Συστήματος (kg)	30	35	1.9	-	9	-
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι	Όχι	-	Ναι	-
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	120V ή 220 V AC 50/60Hz	120V ή 220 V AC 50/60Hz	-	-	100 – 240 V AC	15 ^A
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	Λειτουργεί και με μπαταρίες	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	-	-	-	IEEE 1394 Firewire	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	-	-	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP	-	Pentium II ή IV > 1Ghz, 1GB RAM, 80GB Σκληρός δίσκος, Windows	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows 2000,XP



Κατασκευαστής	ShapeGrabber	ShapeGrabber	Steinbichler Optotechnik	Steinbichler Optotechnik	Surphaser	TC2
Όνομασία Προϊόντος	AI300 – SG102	AI600 – SG102	Comet T-Scan Smart Triangulation Scanner	Comet VarioZoom	Surphaser	3D Body Scanner
Εγγύηση	1 χρόνο	1 χρόνο	1 χρόνο	-	2000 ή XP	-
Προαιρετικά σύνεργα	-	-	-	-	Ψηφιακή κάμερα για πληροφορία υψών	-

Κατασκευαστής	UZR	Vitronic	Vitronic	Vitronic	Vitronic	Wolf&Beck
Όνομασία Προϊόντος	iModeller	Vitus Pro - 3D Body Scanner	Vitus Smart - 3D Body Scanner	Vitus ahead - 3D Head Scanner	Pedus - 3D foot Scanner	OTP Series
URL	http://www.uzrtechnology.de	http://www.vitronic.com	http://www.vitronic.com	http://www.vitronic.com	http://www.vitronic.com	http://www.wolfbeck.com

Επιδόσεις						
Τεχνική Σάρωση	Σχήμα από σιλουέτες	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	-	-	-	-	-	Class II 680nm
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	Ανάλογο με τον φακό της φωτογραφικής μηχανής	1200 x 800 x 2100 m	1000 x 800 x 2040 m	Διάμετρος: 400 x Ύψος: 100mm	340x160x80mm	-
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	20 Φωτογραφίες του αντικειμένου	-	-	-	-	-
Ακρίβεια	-	X:2mm,Y:2mm,Z:2mm	X:5mm,Y:5mm,Z:4mm	-	X:1mm,Y:1mm,Z:2mm	-
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	-	21 δευτερόλεπτα για μια πλήρης σάρωση	11 δευτερόλεπτα για μια πλήρης σάρωση	10 δευτερόλεπτα για μια πλήρης σάρωση	7 δευτερόλεπτα για μια πλήρης σάρωση	-
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	VRML	-	-	-	-	-

Συνθήκες Λειτουργίας						
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	-	-	-	-	-	18° C – 22° C/Υγρασία 80%
Περιβάλλον Φωτισμός	-	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου

Γενικά Χαρακτηριστικά						
Διαστάσεις Συστήματος (M x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	2500 x 1800 x 3050 mm	2100 x 1900 x 2820 mm Διαστάσεις κολώνας που προβάλλουν τη δέσμη φωτός: 80x160x2700mm	1135 x 1135 x 1750 mm	800 x 600 x 570 mm	121.3x45x49mm
Βάρος Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	260g (Κεφαλή Λείζερ)



Κατασκευαστής	UZR	Vitronic	Vitronic	Vitronic	Vitronic	Wolf&Beck
Όνομασία Προϊόντος	iModeller	Vitus Pro - 3D Body Scanner	Vitus Smart - 3D Body Scanner	Vitus ahead - 3D Head Scanner	Pedus - 3D foot Scanner	OTP Series
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-	-	-	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	-	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-	-	-	-	-
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	--	-	-	-	-	-
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows XP	-	-	-	-	-
Εγγύηση	-	-	-	-	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	Αναβαθμίσεις λογισμικού	-	-	-	-	-

Κατασκευαστής	Wolf&Beck	Wolf&Beck
Όνομασία Προϊόντος	ORS Series	OTM Series
URL	http://www.wolfbeck.com	http://www.wolfbeck.com
Επιδόσεις		
Τεχνική Σάρωση	Τριγωνοποίηση	Τριγωνοποίηση
Τύπος Ακτίνας Λείζερ	Class II 680 nm	Class II 680 nm
Οπτικό Πεδίο /Χώρος Λειτουργίας (mm)	20mm	3mm
Βήμα Δειγματοληψία (x,y,z) (mm)	-	-
Ακρίβεια	<= 20μm	0.3μm
Ταχύτητα Δειγματοληψίας (σημεία ανά δευτερόλεπτο)	-	3.500 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Δεδομένα Χρώματος (bits)	Όχι	Όχι
Υποστηριζόμενα Formats	-	-



Κατασκευαστής	Wolf&Beck	Wolf&Beck
Όνομασία Προϊόντος	ORS Series	OTM Series
Συνθήκες Λειτουργίας		
Θερμοκρασία / Υγρασία(%)	10° C – 22° C/Υγρασία 80%	10° C – 40° C/Υγρασία 80%
Περιβάλλον Φωτισμός	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου ή εργαστηρίου
Γενικά Χαρακτηριστικά		
Διαστάσεις Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	173.9x93x112.4mm	189.2x59x52mm
Βάρος Συστήματος (kg)	1.1 (Κεφαλή Λέιζερ)	OTM3S/OTM3SA: 200g OTM3/OTM3M: 350g OTM3A: 750g
Διαστάσεις Κινούμενο Συστήματος (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	-
Βάρος Κινούμενο Συστήματος (kg)	-	-
Δέσιμο σαρωτή πάνω σε τυπικό τρίποδα	Όχι	Όχι
Διαστάσεις Τροφοδοτικού (Μ x Π x Υ) (cm αν δεν αναφέρεται)	-	290x220x88mm
Βάρος Τροφοδοτικού (kg)	-	2.5
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Εναλλασσόμενου (volts/watt)	-	-
Απαιτήσεις τροφοδοσίας Σταθερού (volts/watt)	-	24 Volt / 0,5 A
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για έλεγχο του συστήματος	-	PCI slot,RS-232
Υπολογιστικές Απαιτήσεις για επεξεργασία δεδομένων	-	Τυπικό PC με επιταχυντή γραφικών OpenGL, Microsoft Windows XP
Εγγύηση	-	-
Προαιρετικά σύνεργα	-	Αισθητήρες με μεταβλητή ανάλυση, ισχύς ακτίνας λέιζερ κ.α.



6.5 Τεχνικές Προδιαγραφές Συστημάτων Τρισδιάστατης Σάρωσης

Πίνακας XVIII. Πίνακας συστημάτων προβολής ακτίνων λέιζερ κοντινών αποστάσεων

Πεδίο Εφαρμογής	Αντικείμενα μερικών εκατοστών (1cm – 20cm)	αντικείμενα με μέγεθος μέγιστης πλευράς (20cm-60cm)	αντικείμενα με μέγεθος μέγιστης πλευράς (60cm -5m)
Κατηγορία ακτίνας λέιζερ	Class I (FDA) ή Class II (IEC) Ασφαλές για το ανθρώπινο μάτι	Class I (FDA) ή Class II (IEC) Ασφαλές για το ανθρώπινο μάτι	Class I (FDA) ή Class II (IEC) Ασφαλές για το ανθρώπινο μάτι
Αυτόματη εστίαση	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Ανταλλάξιμοι οπτικοί φακοί	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Οπτικό πεδίο σάρωσης	1 cm έως 20cm και στους τρεις άξονες	20cm έως 60cm και στους τρεις άξονες	60cm έως 5m και στους τρεις άξονες
Βήμα δειγματοληψίας	Z: 25μm – 100μm Y: 100μm - 500μm X: 100μm - 500μm	Z: 100μm – 400μm Y: 100μm - 700μm X: 100μm - 700μm	Z: 100μm – 1cm Y: 100μm – 1cm X: 100μm – 1cm
Λεδομένα χρώματος	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία
Πληροφορία υψής	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Ταχύτητα δειγματοληψίας	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Μεταβολή έντασης ακτίνας λέιζερ	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας
Συνθήκες φωτισμού λειτουργίας σε εξωτερικό χώρο	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου
Θερμοκρασία λειτουργίας	0° έως 50°	0° έως 50°	0° έως 50°
Υγρασία περιβάλλοντος λειτουργίας	65% - 80%	65% - 80%	65% - 80%
Υγρασία περιβάλλοντος αποθήκευσης	75% - 95%	75% - 95%	75% - 95%
Λειτουργικό σύστημα	Microsoft Windows 2000, XP	Microsoft Windows 2000, XP	Microsoft Windows 2000, XP
Υπολογιστικές απαιτήσεις για έλεγχο δεδομένων	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit
Φορητότητα	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Αυτοματοποιημένη διαδικασία σάρωσης	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Αυτοματοποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Τροφοδοσία	100V – 240V, 50 – 60 Hz	100V – 240V, 50 – 60 Hz	100V – 240V, 50 – 60 Hz
Εγγύηση	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη

Πίνακας XIX. Πίνακας συστημάτων προβολής δομημένου φωτός

Πεδίο εφαρμογής	Αντικείμενα μερικών εκατοστών (1cm – 20cm)	Αντικείμενα με μέγεθος μέγιστης πλευράς (20cm-60cm)	Αντικείμενα με μέγεθος μέγιστης πλευράς (60cm -5m)
Αυτόματη εστίαση	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Ανταλλάξιμοι οπτικοί φακοί	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Οπτικό πεδίο σάρωσης	1 cm έως 20cm και στους τρεις άξονες	20cm έως 60cm και στους τρεις άξονες	60cm έως 5m και στους τρεις άξονες
Βήμα δειγματοληψίας	Z: 25μm – 400μm Y: 100μm - 400μm X: 100μm - 400μm	Z: 100μm – 700μm Y: 100μm - 700μm X: 100μm - 700μm	Z: 100μm – 1cm Y: 100μm – 1cm X: 100μm – 1cm
Λεδομένα χρώματος	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση	Επιθυμητό - Βάθος χρωμάτων 24bit, Ανάλυση
Πληροφορία υψής	περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία	περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία	περιοχής ελάχιστο 640x480 εικονοστοιχεία
Ταχύτητα δειγματοληψίας	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο	Ελάχιστο: 3000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
Μεταβολή έντασης ακτίνας λέιζερ	Επιθυμητό	Επιθυμητό	Επιθυμητό
Συνθήκες φωτισμού λειτουργίας σε εξωτερικό χώρο	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας	Προαιρετική λειτουργία ακόμα και σε καταστάσεις έντονης ηλιοφάνειας
Συνθήκες φωτισμού λειτουργίας σε εσωτερικό χώρο	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου	Τυπικές συνθήκες γραφείου/εργαστηρίου
Θερμοκρασία λειτουργίας	0° έως 50°	0° έως 50°	0° έως 50°
Υγρασία περιβάλλοντος λειτουργίας	65% - 80%	65% - 80%	65% - 80%
Υγρασία περιβάλλοντος αποθήκευσης	75% - 95%	75% - 95%	75% - 95%
Λειτουργικό σύστημα	Microsoft Windows 2000, XP	Microsoft Windows 2000, XP	Microsoft Windows 2000, XP
Υπολογιστικές απαιτήσεις για έλεγχο δεδομένων	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit	RS-232,USB 1.0,USB 2.0,IEEE 1394,Ethernet 100Mbps,1GBit
Φορητότητα	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Αυτοματοποιημένη διαδικασία σάρωσης	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Αυτοματοποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης	Επιθυμητή	Επιθυμητή	Επιθυμητή
Τροφοδοσία	100V – 240V, 50 – 60 Hz	100V – 240V, 50 – 60 Hz	100V – 240V, 50 – 60 Hz
Εγγύηση	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη	Τουλάχιστον ένας χρόνος και προαιρετικά επεκτάσιμη

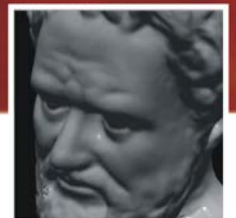
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

Περιγραφή παραγόμενων
ψηφιακών δεδομένων







I

Συσκευές και μέσα αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων

1.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη του τρόπου επικοινωνίας του ανθρώπου έχει να επιδείξει πολλές και ποικίλες μορφές ανταλλαγής πληροφορίας. Στην αρχή της εξέλιξής μας, επικοινωνούσαμε με τη γλώσσα του σώματος και διάφορες ζωώδεις κραυγές, η διάδοση της γνώσης περνούσε από γενιά σε γενιά μέσω της μίμησης των πρεσβύτερων από τους νεότερους και η εξάπλωσή της ακολουθούσε τις μετακινήσεις των φυλών από τόπο σε τόπο. Πολύ αργότερα, έκανε την εμφάνιση του ο υποτυπώδης γραπτός λόγος με σκαριφήματα στους βράχους των σπηλαίων και ακολούθησε ο οργανωμένος προφορικός λόγος, ενώ τα διάφορα σκαριφήματα συμπλήρωσαν τα γράμματα και η οργάνωσή τους σε λέξεις και προτάσεις με νόημα. Μέχρι σήμερα, η αποτύπωση των γραμμάτων στο χαρτί, σε συνδυασμό με σχέδια και φωτογραφίες για την απεικόνιση του φανταστικού και την αποτύπωση του υπαρκτού, αποτελούν το κύριο μέσο διάδοσης και διάσωσης της γνώσης των ανθρώπων. Ωστόσο, ο ηλεκτρισμός και οι τεχνολογίες που πηγάζουν από αυτόν, τείνουν να αλλάξουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται και διατηρείται η πληροφορία σήμερα και με μια απλή

παρατήρηση φαίνεται να το έχει επιτύχει. Η μετατροπή της πληροφορίας σε ηλεκτρισμό και ηλεκτρομαγνητικά κύματα, επέτρεψε την ταχύτατη διάδοσή της πέρα από κάθε σύνορο. Με την εξάπλωση όμως των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τη μετατροπή της πληροφορίας από άναρχη ροή ηλεκτρονίων σε κωδικοποιημένους παλμούς ηλεκτρικής ενέργειας αντιληπτούς από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διαδικασία γνωστή ως ψηφιοποίηση, οδηγηθήκαμε σε μια νέα εποχή, όπου η πληροφορία δημιουργείται και αποτυπώνεται εξ αρχής με τρόπο αντιληπτό μόνο μέσω των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτός ο τρόπος έκφρασης της πληροφορίας είναι ο λεγόμενος ψηφιακός και δομείται από το 0 και 1. Μόνο με συνδυασμούς αυτών των δυο στοιχείων, που δηλώνουν αν θα περάσει ή όχι ηλεκτρικό ρεύμα από κάποιο κύκλωμα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές είναι σε θέση να αποτυπώσουν και να αναπαράγουν οποιαδήποτε μορφή πληροφορίας. Από απλό κείμενο και αριθμούς, μέχρι εικόνες, ήχο, βίντεο και οτιδήποτε άλλα δεδομένα, όσο πολύπλοκα και αν είναι αυτά. Όλα περιγράφονται με αλληλουχίες των Bit, δηλαδή των δομικών στοιχείων της ψηφιακής αναπαράστασης, που δεν είναι άλλα από τα ψηφία 0 και 1.

Πίνακας XX. Μονάδες μέτρησης μεγέθους ψηφιακών δεδομένων

Μονάδα (συντομογραφία)	Τιμή που αντιπροσωπεύει
bit	ένα δυαδικό ψηφίο το 0 ή το 1
Byte	8 bit
Kilobyte (KB)	1.024 Byte
Megabyte (MB)	1.048.576 Byte ή 1024 KB
Gigabyte (GB)	1.048.576 KB ή 1024 MB
Terabyte (TB)	1.048.576 MB ή 1024 GB

Τα Bits λόγω της δυαδικής τους υπόστασης, οργανώνονται σε αλυσίδες με μέγεθος ανάλογο του 2 υψωμένου σε κάποια δύναμη. Έτσι, για να εκφραστεί κάποιος αριθμός από το 0 μέχρι το 255, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής χρησιμοποιεί μια αλυσίδα με 8 Bit, όπου 1 Bit μπορεί να είναι ή το 0 ή το 1. Αυτό δικαιολογείται εύκολα από απλούς κανόνες της στατιστικής, ένας εκ των οποίων μας διδάσκει πως αν έχουμε 2 στοιχεία συνδυαζόμενα ανά 8, τότε οι πιθανοί συνδυασμοί που μπορούμε να έχουμε είναι 2 εις την ογδόη, δηλαδή 256 διαφορετικούς συνδυασμούς. Συνεπώς, αν ήταν να εκφράσουμε 256 διαφορετικά νούμερα από το 0 μέχρι το 255, θα μπορούσαμε να το πετύχουμε

οργανώνοντας μηδενικά και άσους σε οκτάδες. Κατά τον τρόπο αυτό, το 0 θα απεικονίζονταν με 8 μηδενικά (00000000), το 1 με 7 μηδενικά και έναν άσο στο τέλος (00000001) και το 255 με 8 άσους (11111111). Το ίδιο συμβαίνει και για την αναπαράσταση μιας λέξης, όπου το κάθε γράμμα εκφράζεται από έναν αριθμό από το 0 μέχρι το 255, μιας εικόνας, ενός τρισδιάστατου μοντέλου ή οτιδήποτε άλλο που η ψηφιακή του αναπαράσταση θα μας εξυπηρετούσε.

Αλληλουχίες από 0 και 1 δομούν τις εντολές και τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y), όπως επίσης και τις εντολές και τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την εργασία του ανθρώπου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Λειτουργικά συστήματα, προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων όπως κείμενα, λογιστικά φύλα, εικόνες, ήχοι, βίντεο και λοιπά, όπως επίσης και τα δεδομένα τα ίδια, όλα περιγράφονται από τεράστιες αλυσίδες ψηφίων, τις οποίες κανείς δε μπορεί να τις συντάσσει από την αρχή, κάθε φορά που θα θέτει σε λειτουργία τον ηλεκτρονικό του υπολογιστή. Για το λόγο αυτό, οι πληροφορίες αυτές πρέπει να διατηρούνται σε κάποιο μέσο ψηφιακής αποθήκευσης. Στους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, η αποθήκευση των δεδομένων και των εντολών γίνονταν σε τρυπητές καρτέλες από χαρτόνι. Πολύ γρήγορα όμως, ο ολοένα αυξανόμενος όγκος των δεδομένων αφενός και η ανάγκη για ταχύτερους ρυθμούς επεξεργασίας τους αφετέρου, οδήγησαν στην εμφάνιση πληθώρας τεχνολογικών λύσεων για την ψηφιακή αποθήκευση της πληροφορίας. Οι χρήστες ηλεκτρονικών υπολογιστών σήμερα έχουν στη διάθεσή τους πάμπολλες λύσεις για την ψηφιακή αποθήκευση των δεδομένων τους. Ωστόσο, η τεχνολογική προσέγγιση που ακολουθεί ο κάθε κατασκευαστής, ως την απάντησή του στο θέμα της ψηφιακής αποθήκευσης δεδομένων, μπορεί να είναι τόσο διαφορετικά υλοποιημένη σε σχέση με άλλες, ώστε να μην είναι η καταλληλότερη επιλογή για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται διεξοδικά και παρουσιάζονται αναλυτικά πρακτικές και λύσεις αποθήκευσης και αρχειοθέτησης μεγάλων και πολύπλοκων δομών δεδομένων, όπως αυτές που παράγονται από την ψηφιοποίηση φυσικών αντικειμένων και χώρων. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία της ψηφιοποίησης, για αρχειακούς και επιστημονικούς

λόγους, είναι ογκώδη αρχεία των οποίων το μέγεθος σχετίζεται άμεσα με την ανάλυση της ψηφιοποίησης σε συνδυασμό με τον αριθμό των διαστάσεων και χαρακτηριστικών προς ψηφιοποίηση.

Τα θέματα που προκύπτουν κατά την αποθήκευση και αρχειοθέτηση ψηφιοποιημένης πληροφορίας έγκεινται σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία της αποθήκευσης και στην κατηγορία της ανάκτησης της πληροφορίας. Για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες υπάρχουν θέματα που σχετίζονται με τις φυσικές ιδιότητες του αποθηκευτικού μέσου και κατά συνέπεια της αποθηκευτικής συσκευής, όπως επίσης και θέματα που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται τα αποθηκευμένα δεδομένα, εν μέσω κάποιου λογισμικού ή κάποιου πρωτοκόλλου οργάνωσης αρχείων.

1.2 Μέσα αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων και συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής τους

Οι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές κάνουν χρήση τουλάχιστον δύο επιπέδων για την αποθήκευση των δεδομένων που διαχειρίζονται. Το πρώτο επίπεδο είναι αυτό στο οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα για μικρό χρονικό διάστημα κατά την επεξεργασία τους από τον κεντρικό επεξεργαστή του υπολογιστή. Αυτός ο αποθηκευτικός χώρος πρέπει να είναι ταχύτατος έτσι ώστε η επεξεργασία των δεδομένων να γίνεται όσο το δυνατό γρηγορότερα. Αυτό το επίπεδο, το οποίο είναι γνωστό και ως πρωτεύων αποθηκευτικός χώρος, υλοποιείται στην κεντρική μνήμη (RAM: Random Access Memory – Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης) του ηλεκτρονικού υπολογιστή, η οποία είναι ταχύτατη αλλά ακριβή και χάνει την πληροφορία που έχει αποθηκευμένη με τη διακοπή τροφοδοσίας της με ηλεκτρικό ρεύμα. Για να μη χαθούν οι πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη RAM του ηλεκτρονικού υπολογιστή, αλλά και για να αυξηθεί η αποθηκευτική ικανότητα δεδομένων πέρα από την περιορισμένη και ακριβή χωρητικότητα που προσφέρει η κεντρική μνήμη, γίνεται χρήση ενός δεύτερου επιπέδου. Στο δεύτερο επίπεδο, οι πληροφορίες πρέπει να διατηρούνται και μετά την παύση τροφοδοσίας του συστήματος με ηλεκτρική ενέργεια, όπως επίσης και να παρέχονται, με μικρότερο κόστος,

χώροι αποθήκευσης δεδομένων πολλαπλάσιου μέγεθος από αυτούς που προσφέρει η κεντρική μνήμη του υπολογιστή. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο επίπεδο αυτό, πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμα για της ανάγκες του χρήστη και του ηλεκτρονικού υπολογιστή και η γρήγορη μεταφορά τους στην κεντρική μνήμη εγγυημένη. Το δεύτερο επίπεδο, γνωστό και ως δευτερεύων αποθηκευτικός χώρος, εκπροσωπείται από τον σκληρό δίσκο του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος προσφέρει, σχετικά με μικρό κόστος, ευμεγέθεις αποθηκευτικούς χώρους, όπου τα δεδομένα μπορούν να διατηρηθούν για πολλά χρόνια, χωρίς καν την τροφοδοσία της αποθηκευτικής συσκευής με ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο φρενήρης ρυθμός παραγωγής δεδομένων όμως, ανάγκασε πολλούς χρήστες υπολογιστών να καταφύγουν και σε τρίτο επίπεδο αποθήκευσης των δεδομένων τους. Σε αυτό το επίπεδο, η πληροφορία αποθηκεύεται σε κάποιο φτηνό αλλά αξιόπιστο αποθηκευτικό μέσο εκτός του ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο όμως για μείωση του κόστους είναι αργό. Η αποθήκευση στο τρίτο επίπεδο γίνεται είτε γιατί δεν χρησιμοποιείται η πληροφορία πολύ συχνά και υπάρχει ανάγκη απελευθέρωσης γρήγορου αποθηκευτικού χώρου στο δεύτερο επίπεδο αποθήκευσης του συστήματος, είτε για λόγους φτηνής εφεδρικής αποθήκευσης κρίσιμων δεδομένων, που η απώλεια τους λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος ή κακής χρήσης δεν είναι επιθυμητή. Συνήθως για τις ανάγκες αποθήκευσης του τρίτου επιπέδου χρησιμοποιούνται οι μαγνητικές ή οπτικές ταινίες αποθήκευσης δεδομένων, οι οποίες θεωρούνται σήμερα ως το φτηνότερο αποθηκευτικό μέσο μεγάλης χωρητικότητας που διατίθεται στην αγορά πληροφορικής.

Ωστόσο υπάρχουν πολλά άλλα μέσα και πολλές άλλες πρακτικές για την αποθήκευση δεδομένων δευτέρου και τρίτου επιπέδου, που καθιστούν τη σωστή επιλογή τους επίπονη διαδικασία.

Η επιλογή του αποθηκευτικού μέσου για τις ανάγκες αποθήκευσης και αρχειοθέτησης όπως και για οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή, είναι άμεσα συνυφασμένη με την ταχύτητα διάθεσης της αποθηκευμένης πληροφορίας προς τους χρήστες, αλλά και με τον όγκο της σε Megabytes. Η ταχύτητα διάθεσης των δεδομένων είναι παράγωγο του χρόνου πρόσβασης στα δεδομένα και του

ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων. Με τον όρο χρόνο πρόσβασης εννοείτε ο χρόνος που μεσολαβεί από την αίτηση του χρήστη για δεδομένα μέχρι τον εντοπισμό τους από την αποθηκευτική συσκευή. Όσο πιο μικρός είναι αυτός ο χρόνος τόσο πιο γρήγορη είναι η απόκριση της αποθηκευτικής συσκευής στις αιτήσεις του χρήστη για δεδομένα. Ωστόσο, ο χρόνος πρόσβασης από μόνος του δεν καθορίζει την ταχύτητα εξυπηρέτησης του χρήστη από την αποθηκευτική συσκευή. Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων, ο οποίος καθορίζει το ποσό των δεδομένων που μπορεί να μεταφέρει μια αποθηκευτική συσκευή από το μέσο αποθήκευσης στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή ή αντίστροφα, μέσα σε ένα δευτερόλεπτο. Συνεπώς, η ταχύτητα μιας αποθηκευτικής συσκευής είναι ανάλογη με τον ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων και αντιστρόφως ανάλογη προς το χρόνο πρόσβασης στα δεδομένα.

Τα αποθηκευτικά μέσα που είναι διαθέσιμα στην αγορά σήμερα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που αποθηκεύονται και ανακτώνται τα δεδομένα. Οι κατηγορίες αυτές προκύπτουν ύστερα από τις διαφορές στην αρχή λειτουργίας του κάθε αποθηκευτικού μέσου, έτσι τα αποθηκευτικά μέσα κατηγοριοποιούνται στα μαγνητικά, στα οπτικά και στα στερεής κατάστασης (solid state). Συνεπώς, αν τα δεδομένα ανακτώνται και αποθηκεύονται σε κάποιο φυσικό μέσο με χρήση του μαγνητισμού το μέσο αυτό θεωρείται μαγνητικό, στην περίπτωση χρήσης του φωτός θεωρείται οπτικό και στην περίπτωση χρήσης κυκλωμάτων μνήμης θεωρείται στερεής κατάστασης.

1.2.1 Μαγνητικά μέσα αποθήκευσης

Τα μαγνητικά μέσα αποθήκευσης δεδομένων αποτελούν σήμερα τον πιο διαδεδομένο και πολυχρησιμοποιημένο τρόπο διατήρησης δεδομένων πέρα από τη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ήδη από το 1950, η μαγνητική αποθήκευση δεδομένων, στη μορφή μαγνητικών κυλίνδρων, χρησιμοποιούνταν σαν κύρια μνήμη για υπολογιστικά συστήματα χαμηλού κόστους. Ωστόσο, για την αποθήκευση των περιεχομένων της κύριας μνήμης χρησιμοποιήθηκε από το 1951 και μετά, εποχή που εμφανίστηκε η μαγνητική ταινία αποθήκευσης



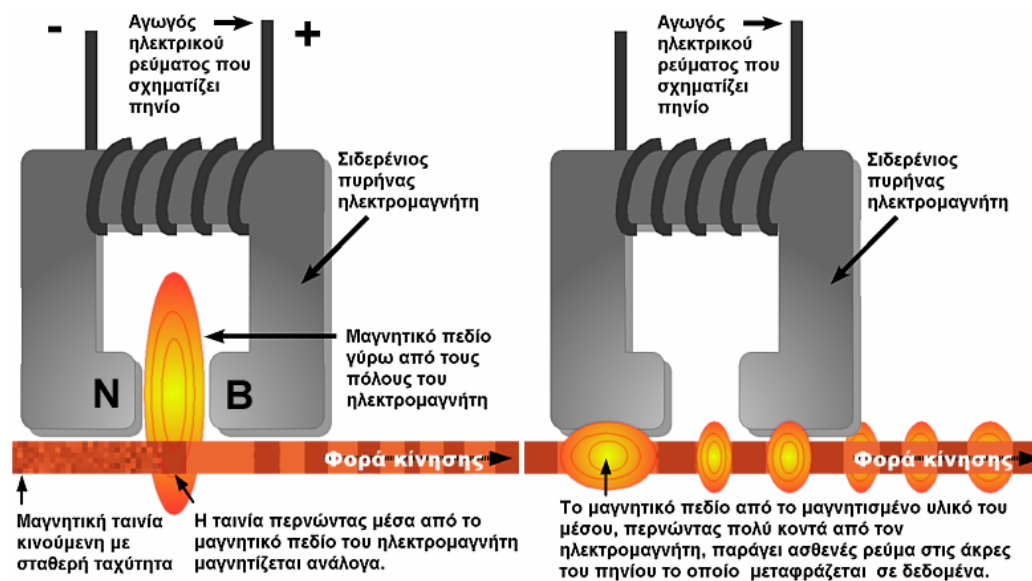
δεδομένων. Πολύ γρήγορα όμως, οι ερευνητές της IBM αντιλήφθηκαν το μεγάλο μειονέκτημα της μαγνητικής ταινίας, αυτό της πολύ αργής σειριακής πρόσβασης στα δεδομένα. Έτσι, το 1956 η IBM παρουσίασε ένα νέο τύπο αποθηκευτικού μέσου, ικανό να παρέχει ταχύτατη τυχαία πρόσβαση σε όλα τα αποθηκευμένα δεδομένα. Αυτό το μέσο ήταν ο μαγνητικός δίσκος, ο οποίος μέχρι και σήμερα αποτελεί τη βασική δευτερεύουσα συσκευή αποθήκευσης δεδομένων (πρωτεύων συσκευή αποθήκευσης θεωρείται η μνήμη του H/Y) αλλά και τον κυριότερο τρόπο φορητότητάς τους [113].

Μέχρι σήμερα, οι μαγνητικές ταινίες και δίσκοι είναι οι μοναδικοί αντιπρόσωποι της μαγνητικής αποθήκευσης. Παρά το πέρασμα του χρόνου και τις εξελίξεις λόγω των απαιτήσεων της σύγχρονης αγοράς, η βασική αρχή λειτουργίας τους παραμένει η ίδια. Το αποθηκευτικό μέσο κινείται με σταθερή ταχύτητα πολύ κοντά ή εφαπτομενικά σε έναν ηλεκτρομαγνήτη, με τον οποίο ανταλλάσσουν επαγωγικά τα μαγνητικά τους πεδία.

Στα μαγνητικά αποθηκευτικά μέσα η πληροφορία έχει τη μορφή μοτίβων μαγνητικής ροής. Αυτά τα μοτίβα δημιουργούνται στη μαγνητική επιφάνεια του μέσου αποθήκευσης, από έναν ηλεκτρομαγνήτη στην κεφαλή της συσκευής εγγραφής. Ο ηλεκτρομαγνήτης αυτός, μαγνητίζεται ανάλογα με τα δεδομένα προς αποθήκευση και μεταφέρει επαγωγικά το μαγνητικό του πεδίο στο υλικό του αποθηκευτικού μέσου. Το αποθηκευτικό μέσο είναι κατασκευασμένο ή επιστρωμένο με σιδηρομαγνητικό υλικό, το οποίο προσδίδει στην επιφάνεια του την ικανότητα να μαγνητίζεται μόνιμα. Με αυτόν τον τρόπο, η αποθηκευμένη πληροφορία καθίσταται αναγνώσιμη για μεγάλο χρονικό διάστημα από τις αντίστοιχες συσκευές ανάγνωσης.

Η ανάγνωση των δεδομένων από το μέσο αποθήκευσης γίνεται με παρόμοιο τρόπο. Η μόνη διαφορά στην όλη διαδικασία είναι πως κατά την ανάγνωση, αντί να στέλνει η συσκευή ηλεκτρική ενέργεια στον ηλεκτρομαγνήτη της κεφαλής, αφουγκράζεται την ηλεκτρική ενέργεια που δημιουργείται λόγω επαγωγής. Πιο συγκεκριμένα, ο ίδιος ηλεκτρομαγνήτης που χρησιμοποιείται για την εγγραφή των δεδομένων στο μαγνητικό μέσο αποθήκευσης, χρησιμοποιείται και για την ανάγνωση της αποθηκευμένης πληροφορίας από αυτό. Καθώς το μαγνητισμένο υλικό του αποθηκευτικού μέσου περνά πολύ

κοντά από τον ηλεκτρομαγνήτη της κεφαλής, λόγω επαγωγής δημιουργείται ηλεκτρική τάση στους αγωγούς που φέρνουν ηλεκτρική ενέργεια στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη. Αυτή η επαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ερμηνεύεται από τη συσκευή ανάγνωσης στα αποθηκευμένα δεδομένα [114]. Σήμερα ωστόσο, πολλές συσκευές, κυρίως η συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής μαγνητικών ταινιών, χρησιμοποιούν άλλους ηλεκτρομαγνήτες για εγγραφή και άλλους για ανάγνωση.



Εικόνα 83. Αρχή λειτουργίας μαγνητικής αποθήκευσης κατά την εγγραφή και ανάγνωση

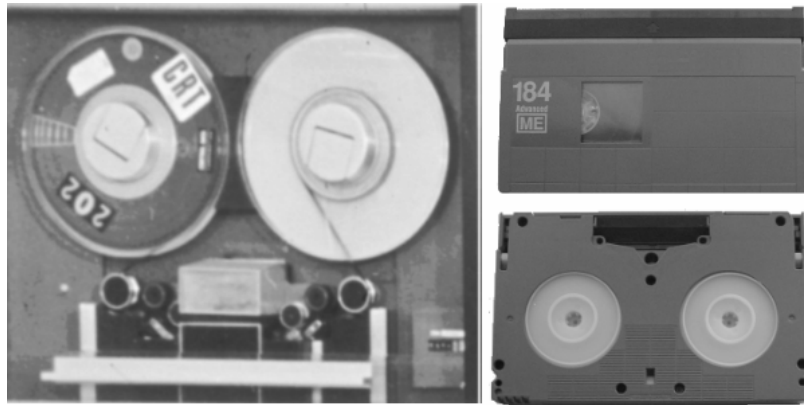
Η παραπάνω μέθοδο εγγραφής και ανάγνωσης είναι κανόνας για όλα τα μέσα μαγνητικής αποθήκευσης, από τις ταινίες και τους σκληρούς ή μαλακούς δίσκους, μέχρι και την ειδική περίπτωση των μαγνητο-οπτικών δίσκων που περιγράφονται παρακάτω.

1.2.1.1 Μαγνητικές ταινίες

Η μαγνητική αποθήκευση σαν ιδέα υπήρχε από το 1900. Εκείνη την εποχή ο εφευρέτης Valdemar Poulsen κατασκεύασε μια συσκευή ικανή να αποθηκεύει ήχο με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη σε ένα λεπτό ατσάλινο σύρμα [114]. Αυτή η συσκευή έθεσε τα θεμέλια της σειριακής μαγνητικής αποθήκευσης, πάνω στην οποία βασίστηκε η όλη φιλοσοφία της μαγνητικής ταινίας

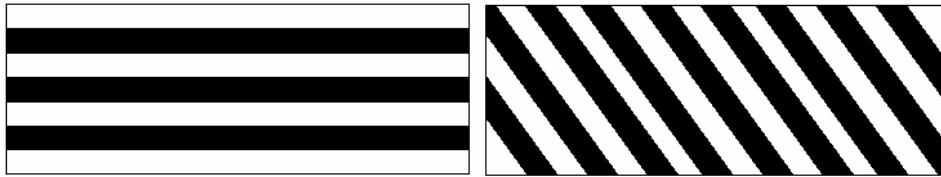
δεδομένων. Το 1951 οι Presper Eckert και John Mauchly χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά, σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή UNIVAC I, μαγνητικές ταινίες από μέταλλο για την αποθήκευση των δεδομένων του. [113]. Στην αρχή οι μαγνητικές ταινίες ήταν μεταλλικές αλλά μετά την ανάμιξη της IBM το 1952, άρχισε η μαζική παραγωγή τους από πλαστικό. Οι έρευνες της IBM για τη βελτίωση των μαγνητικών υλικών, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αξιόπιστων μαγνητικών ταινιών μεγάλης χωρητικότητας, οι οποίες γρήγορα υιοθετήθηκαν ως κύρια αποθηκευτική λύση και από τους πιο διστακτικούς χρήστες. [114]. Από τότε μέχρι σήμερα, η αξιοπιστία των μαγνητικών ταινιών και η πυκνότητά τους σε δεδομένα, έχει αυξηθεί δραματικά. Ωστόσο, η χρήση τους ως κύρια λύση δευτερεύουσας αποθήκευσης δεδομένων, πέρα δηλαδή από τη φυσική μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, έχει αντικατασταθεί κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από τους μαγνητικούς δίσκους.

Η αιτία της αντικατάστασης των μαγνητικών ταινιών από τους μαγνητικούς δίσκους, βρίσκεται στον τρόπο σειριακής αποθήκευσης των δεδομένων που επέβαλε η φιλοσοφία της αποθήκευσης σε ταινία. Η μαγνητική ταινία δεν είναι παρά μια λεπτή κορδέλα πολύ μεγάλου μήκους, κατασκευασμένη από πολύ εύκαμπτο υλικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να μαγνητίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα, θεωρητικά μόνιμα. Η μαγνητική ταινία είναι τυλιγμένη σε ένα καρούλι και ενώνεται με το κέντρο δεύτερου καρουλιού, στο οποίο τυλίγεται και ξετυλίγεται κατά την ανάγνωση και εγγραφή της. Παλιότερα, τα καρούλια αυτά ήταν ανεξάρτητα και λόγω της μικρής πυκνότητας των μαγνητικών ταινιών σε δεδομένα, τεράστια. Με τη σταδιακή αύξηση της αναλογίας δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό, λόγω της χρήση σύγχρονων υλικών και μεθόδων κατασκευής μαγνητικών ταινιών αλλά και ηλεκτρομηχανικών διατάξεων για την εγγραφή και ανάγνωσή τους, επήλθε και η δραματική μείωση του μεγέθους τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μαγνητικών ταινιών με τη συμπαγή μορφή της κασέτας, η οποία και απαντάται μέχρι και σήμερα σε διάφορους τύπους και μεγέθη.



Εικόνα 84. Μαγνητική ταινία σε ξεχωριστά καρούλια και σε κασέτα

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που συντέλεσε στην αύξηση της χωρητικής ικανότητας των μαγνητικών ταινιών, είναι ο τρόπος εγγραφής στην επιφάνεια της ταινίας. Όταν άρχισε η χρήση των μαγνητικών ταινιών ως μέσο αποθήκευσης δεδομένων, υιοθετήθηκε για την εγγραφή των δεδομένων ο ίδιος γραμμικός τρόπος εγγραφής που εφαρμόζονταν για την αναλογική αποθήκευση του ήχου, εφαρμογή στην οποία η μαγνητική ταινία ήδη είχε ιστορία μισού αιώνα. Τα δεδομένα γράφονταν γραμμικά σε μια και αργότερα σε πολλές παράλληλες ζώνες κατά μήκος της μαγνητικής ταινίας. Η χρήση παράλληλων ζωνών αποθήκευσης δεδομένων πάνω στην ίδια επιφάνεια της μαγνητικής ταινίας, συνέβαλε στον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας του μέσου αποθήκευσης. Ωστόσο, λόγω των φυσικών περιορισμών που τίθενται από το αποθηκευτικό μέσο και τις συσκευές εγγραφής / ανάγνωσης, η τεχνολογία της σειριακής εγγραφής δεδομένων σε παράλληλες ζώνες είχε φτάσει τα όριά της. Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα παρουσιάστηκε το 1987 από την εταιρία Exabyte σε συνεργασία με τη Sony [115]. Ήταν βασισμένη στην τεχνολογία της ελικοειδούς εγγραφής της ταινίας, που εισήγαγε στα μέσα της δεκαετίας του 50 η εταιρεία Ampex για τη μαγνητική εγγραφή και αναπαραγωγή κινούμενης εικόνας (βίντεο) [116]. Αυτή η προσέγγιση εγγραφής και ανάγνωσης της μαγνητικής ταινίας είχε ως αποτέλεσμα εφαρμογής της, στη μαγνητική αποθήκευση δεδομένων, τον τετραπλασιασμό της χωρητικότητας των τότε μαγνητικών ταινιών [115].



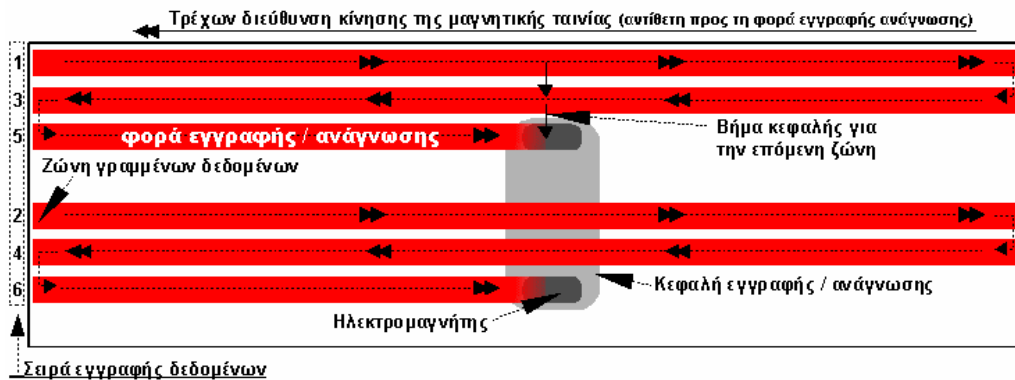
Εικόνα 85: Γραμμική εγγραφή δεδομένων σε παράλληλες ζώνες και ελικοειδή εγγραφή

Από τότε μέχρι σήμερα, η τεχνική της ελικοειδούς εγγραφής έχει δοκιμαστεί και έχει αποδείξει την υπεροχή της σε πολλά σημεία, σε σύγκριση με τη γραμμική εγγραφή. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ελικοειδή εγγραφή της ταινίας δεν περιορίζονται μόνο στην αύξηση της χωρητικότητας. Σημαντική είναι και η προσφορά της στην ταχύτητα εγγραφής και ανάγνωσης όπως επίσης και στη μείωση της φθοράς και μηχανικής καταπόνησης της μαγνητικής ταινίας.

Η αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων στις μαγνητικές ταινίες, είναι συνυφασμένη με την αύξηση της χωρητικής ικανότητας των ταινιών σε δεδομένα, αλλά και με την αύξηση της ταχύτητας με την οποία διέρχεται η μαγνητική ταινία από την κεφαλή ανάγνωσης και εγγραφής. Επομένως, θα μπορούσαμε κάλλιστα να υποθέσουμε πως όταν μια μαγνητική ταινία, πλάτους 1 ίντσας, έχει την ικανότητα αποθήκευσης 5 Megabytes ανά τετραγωνική ίντσα και διέρχεται με ταχύτητα 2 ιντσών το δευτερόλεπτο μπροστά από την κεφαλή, τότε η ταχύτητα εγγραφής και ανάγνωσης δεδομένων θα είναι περίπου ίση με 10 Megabytes το δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση της ελικοειδούς εγγραφής ο παραπάνω συλλογισμός είναι σωστός, ωστόσο στην περίπτωση της γραμμικής εγγραφής σε παράλληλες ζώνες δεν ισχύει. Ο λόγος βρίσκεται στο ότι για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της πυκνότητας σε δεδομένα των σύγχρονων μαγνητικών ταινιών, οι παράλληλες ζώνες δεδομένων πρέπει να είναι πυκνογραμμένες σε τέτοιο βαθμό, ώστε η χρήση ισάριθμων παράλληλων κεφαλών εγγραφής και ανάγνωσης είναι τεχνικά ανέφικτη. Για να επιτευχθεί λοιπόν η μεγαλύτερη δυνατή συμπύκνωση των κενών μεταξύ των παράλληλων ζωνών δεδομένων, για την καλύτερη εκμετάλλευση της μαγνητικής επιφάνειας της ταινίας, αντί για ισάριθμες των ζωνών παράλληλες κεφαλές, χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερες σε μεγάλα διαστήματα μεταξύ τους και η ταινία γράφεται με οφιοειδή τρόπο. Κατά την οφιοειδή εγγραφή η μαγνητική

ταινία γράφεται και προς τις δύο κατευθύνσεις. Όταν η συσκευή κατά την ανάγνωση ή εγγραφή φτάσει στο τέλος της ταινίας, τότε η κεφαλή μετατοπίζεται ελαφρά προς τα κάτω και συνεχίζει στην παρακείμενη ζώνη αλλά με τη μαγνητική ταινία να κινείται προς την αντίθετη φορά.

ΟΦΙΟΕΙΔΗΣ ΕΓΓΡΑΦΗ



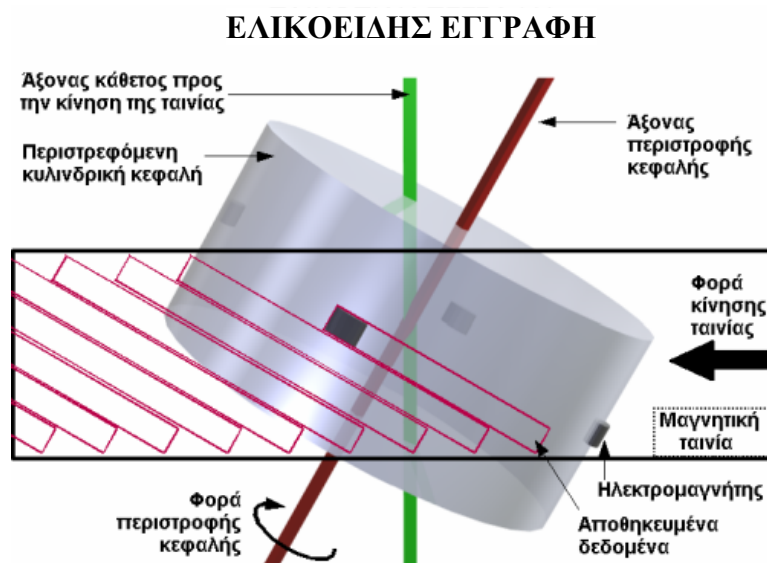
Εικόνα 86. Οφιοειδής εγγραφή / ανάγνωση μαγνητικής ταινίας

Με τη μέθοδο της οφιοειδούς εγγραφής και ανάγνωσης, για να εκπληρωθεί η ολική εγγραφή ή ανάγνωση της μαγνητικής ταινίας, πρέπει αυτή να σαρωθεί πολλές φορές από την κεφαλή της συσκευής. Σαν συνέπεια, ο χρόνος της καθολικής εγγραφής ή ανάγνωσης της μαγνητικής ταινίας είναι πολλαπλάσιος των περασμάτων που κάνει η ταινία μπροστά από την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης, όπως είναι πολλαπλάσια επίσης και η φθορά της μαγνητικής ταινίας. Η σχέση που δίνει τον χρόνο t της διαδικασίας ολικής εγγραφής ή ανάγνωσης της ταινίας, είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με το συνολικό μήκος της ταινίας s προς την ταχύτητα με την οποία περνά η ταινία μπροστά από την κεφαλή v , επί τον αριθμό των παράλληλων ζωνών δεδομένων N προς τον αριθμό n των ηλεκτρομαγνητών που γράφουν ή διαβάζουν παράλληλα. Από τον παρακάτω τύπο εξαιρούνται αμελητέα αλλά υπαρκτά χρονικά ποσά, όπως είναι οι καθυστερήσεις κατά την επιτάχυνση και επιβράδυνση της ταινίας για την αλλαγή της κατεύθυνσης, αλλά και ο χρόνος που απαιτείται για τη μετακίνηση της κεφαλής από ζώνη σε ζώνη.

$$t = \frac{s \cdot N}{v \cdot n}$$



Κατά τη μέθοδο της ελικοειδούς εγγραφής και ανάγνωσης, ο χρόνος με τον οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία της ολικής εγγραφής ή ανάγνωσης της μαγνητικής ταινίας, είναι ίσος με το χρόνο που απαιτείται για τη σάρωση της επιφάνειάς της από την κεφαλή της συσκευής για μια μόνο φορά. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη της ειδικής κεφαλής που χρησιμοποιείται για την ελικοειδή εγγραφή και ανάγνωση της ταινίας. Η κεφαλή αυτή, αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο κύλινδρο στην κυλινδρική επιφάνεια του οποίου είναι συμμετρικά τοποθετημένοι οι ηλεκτρομαγνήτες εγγραφής και ανάγνωσης. Ο κύλινδρος αυτός περιστρέφεται σε άξονα κεκλιμένο σε σχέση με τη διεύθυνση κίνησης της μαγνητικής ταινίας, έτσι ώστε οι ηλεκτρομαγνήτες στην επιφάνειά του κυλίνδρου να διασχίζουν τη μαγνητική ταινία διαγώνια και όχι παράλληλα όπως συμβαίνει στη γραμμική εγγραφή της ταινίας.



Εικόνα 87. Ελικοειδή εγγραφή / ανάγνωση μαγνητικής ταινίας

Το αποτέλεσμα είναι σχεδόν πλήρη εκμετάλλευση της μαγνητικής επιφάνειας της ταινίας μόνο με μια σάρωση. Συνεπώς, ο χρόνος t της διαδικασίας ολικής εγγραφής ή ανάγνωσης της ταινίας είναι ανάλογος με το μήκος της ταινίας s προς την ταχύτητα διέλευσης της ταινίας από την κεφαλή v .

$$t = \frac{s}{v}$$

Λόγω της ικανότητας να καλύπτει με μια σάρωση σχεδόν ολόκληρη την ωφέλιμη επιφάνεια της μαγνητικής ταινίας, η ελικοειδής μέθοδο εγγραφής και ανάγνωσης είναι πολύ γρηγορότερη από την οφιοειδή γραμμική εγγραφή σε παράλληλες ζώνες. Ακόμα και αν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη γραμμική μέθοδο, κεφαλές με ισάριθμους με τις παράλληλες ζώνες δεδομένων ηλεκτρομαγνήτες παράλληλης εγγραφής και ανάγνωσης, ώστε να αποφευχθεί η πολλαπλή σάρωση της ταινίας, η σύγκριση, για ταινία του ίδιου πλάτους που διέρχεται με την ίδια ταχύτητα από την κεφαλή, θα ήταν και πάλι υπέρ της ελικοειδούς μεθόδου. Αυτό εξηγείται από τη διαφορά στον όγκο δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό, που μπορεί να διακρίνει η κάθε μέθοδο. Ο πίνακας που ακολουθεί παραθέτει τη σχετική πυκνότητα που προσφέρουν σύγχρονες μαγνητικές ταινίες, ως αντιπροσωπευτικά δείγματα των δύο μεθόδων σάρωσης.

Πίνακας XXI. Σχετική πυκνότητα δεδομένων μεταξύ ελικοειδούς και γραμμικής σάρωσης

Μοντέλο	ΑΙΤ-1	ΑΙΤ-2	M2	DLT8000	LTO	SDLT
Μέθοδος Σάρωσης	Ελικοειδής	Ελικοειδής	Ελικοειδής	Γραμμική	Γραμμική	Γραμμική
Πυκνότητα Γραμμικής Εγγραφής (kilobits ανά ίντσα)	116	167	165	98	131	113
Επιφανειακή Πυκνότητα (kilobits ανά τετραγωνική ίντσα)	268	385	342	40	100	119
Φόρμα (ίντσες)	3.5	3.5	5.25 μισού ύψους	5.25	5.25	5.25

Από τον παραπάνω πίνακα, η υπεροχή της ελικοειδούς σάρωσης έναντι της γραμμικής είναι προφανής. Αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων εγγραφής και ανάγνωσης δεδομένων, έγκειται στον τρόπο διαχωρισμού των γειτονικών ζωνών δεδομένων μεταξύ τους. Για να μπορεί η συσκευή ανάγνωσης και εγγραφής να ξεχωρίζει το ίχνος των δεδομένων της ίδιας ζώνης, έτσι ώστε να διαβάσει τα δεδομένα με τη σειρά που έχουν αποθηκευτεί, η κάθε ζώνη χωρίζεται από τις διπλανές της με κενό. Στην περίπτωση της ελικοειδούς σάρωσης, επειδή η ζώνες εν σειρά αποθηκευμένων δεδομένων είναι πολύ κοντές, δεν ξεπερνούν σε μήκος τις 3 ίντσες, δεν υπάρχει κίνδυνος απόκλισης

τους από την ευθεία που περνούν οι ηλεκτρομαγνήτες της κεφαλής και έτσι τα κενά του μεταξύ διαχωρισμού τους είναι πολύ μικρά. Στην περίπτωση δε της γραμμικής εγγραφής σε παράλληλες ζώνες, επειδή τα δεδομένα αποθηκεύονται σε σειρές με μήκος όσο το μήκος της μαγνητικής ταινίας, οι αποκλείσεις από την παράλληλη ευθεία που ορίζεται από τις πλευρές της ταινίας είναι μεγάλες. Επομένως, για την αποφυγή εγγραφής δεδομένων πάνω σε δεδομένα γειτονικής ζώνης, αφήνονται ευμεγέθη καινά διαχωρισμού, των οποίων το μέγεθος είναι πολλαπλάσιο από το αντίστοιχο που χρησιμοποιείται στην ελικοειδή σάρωση. Επίσης λόγω της απόκλισης αυτής, κατά την ανάγνωση δεδομένων, για την αποφυγή διέλευσης του ηλεκτρομαγνήτη ανάγνωσης από άγραφη περιοχή, η ζώνες των αποθηκευμένων δεδομένων είναι πολύ φαρδύτερες απ' ό τι τις αντίστοιχες της ελικοειδούς σάρωσης. Συνολικά λοιπόν, οι παραπάνω τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά τη γραμμική εγγραφή σε παράλληλες ζώνες, έχουν σαν συνέπεια πολύ μεγαλύτερη σπατάλη αποθηκευτικού χώρου σε σύγκριση με την ελικοειδή εγγραφή. Η πυκνότητα σε γραμμές δεδομένων που επιτυγχάνεται με την ελικοειδή εγγραφή είναι 6 με 7 φορές μεγαλύτερη από αυτή της γραμμικής παράλληλων ζωνών.

Πίνακας XXII. Σχετική πυκνότητα ζωνών δεδομένων ανά ίντσα μαγνητικής ταινίας

Μοντέλο	DLT 7000	TR-5	MAMMOTH	DDS-3
Μέθοδο Σάρωσης	Γραμμική	Γραμμική	Ελικοειδής	Ελικοειδής
Ζώνες ανά ίντσα	416	343	2209	2806

Αυτή η συμπύκνωση των δεδομένων που επιτυγχάνεται με την ελικοειδή εγγραφή, καθιστά δυνατή την πολύ αργή κίνηση της ταινίας, χωρίς όμως να υποβιβάζονται οι επιδόσεις της συσκευής σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, έναντι αντίστοιχων συσκευών που λειτουργούν βάση της γραμμικής σάρωσης σε παράλληλες ζώνες. Για να πετύχουν ικανοποιητικές, για τις σύγχρονες εφαρμογές, ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, οι συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης που βασίζονται στη γραμμική σε παράλληλες ζώνες μέθοδο, μεταφέρουν τη μαγνητική ταινία μπροστά από τη μαγνητική κεφαλή με ταχύτητες κοντά στις 160 ίντσες το δευτερόλεπτο, αντιθέτως, οι συσκευές που

βασίζονται στην ελικοειδή σάρωση επιτυγχάνουν παρόμοια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, με ταχύτητα μεταφοράς της ταινίας κοντά στη μία με δύο ίντσες το δευτερόλεπτο. Λόγω των μεγάλων ταχυτήτων μεταφοράς ταινίας με τις οποίες λειτουργούν οι συσκευές γραμμικής ανάγνωσης και εγγραφής, η μηχανική καταπόνηση που δέχεται η μαγνητική ταινία, από το τέντωμα κατά την επιτάχυνση και επιβράδυνσή της, είναι 8 με 10 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη καταπόνηση που δέχονται οι ταινίες κατά την ελικοειδή σάρωση. Λόγω της μεγαλύτερης μηχανικής καταπόνησης που δέχονται, οι μαγνητικές ταινίες γραμμικής σάρωσης κατασκευάζονται παχύτερες από τις αντίστοιχες ελικοειδούς σάρωσης. Σαν επακόλουθο, ο όγκος που καταλαμβάνεται από μαγνητική ταινία συγκεκριμένου μήκους, είναι πολύ μεγαλύτερος αν η ταινία προορίζεται για χρήση σε συσκευή γραμμικής σάρωσης, από τον όγκο που θα καταλάμβανε για χρήση σε συσκευή ελικοειδούς σάρωσης. Το μεγαλύτερο πάχος της μαγνητικής ταινίας γραμμικής σάρωσης, σε συνδυασμό με τη μικρότερη πυκνότητα της σε δεδομένα σε σύγκριση με την ελικοειδή σάρωση, καθιστούν τη γραμμική λιγότερο αποδοτική για εφαρμογές όπου λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο όγκος που καταλαμβάνουν τα αποθηκευμένα δεδομένα. Μια τέτοια εφαρμογή είναι οι αυτοματοποιημένες βιβλιοθήκες μαγνητικών ταινιών, στις οποίες η υψηλή αναλογία δεδομένων ανά κυβικό εκατοστό είναι σημαντικό σημείο αναφοράς για το μεταξύ διαχωρισμό τους. Οι συνέπειες της υψηλής ταχύτητας μεταφοράς της ταινίας όμως δεν σταματούν εδώ. Η γραμμική σάρωση απαιτεί περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της σε σχέση με την ελικοειδή. Η τυπική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν αντίστοιχες συσκευές με την ίδια χωρητική ικανότητα, είναι 2 φορές μεγαλύτερη στην περίπτωση που γίνεται χρήση γραμμικής σάρωσης. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη γραμμική σάρωση για την πλήρη εγγραφή ή ανάγνωση της μαγνητικής ταινίας, είναι αρκετά μεγαλύτερη από το διπλάσιο της αντίστοιχης που απαιτείται κατά την ελικοειδή σάρωση, αφού για να γίνει η πλήρη εγγραφή ή ανάγνωση της ταινίας με τη γραμμική μέθοδο, η ταινία σαρώνεται από άκρη σε άκρη παραπάνω της μια φοράς, λόγω του οφιοειδή τρόπου εγγραφής. Η παραπάνω ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη γραμμική εγγραφή, συμβάλει στην αύξηση του κόστους



κατοχής των συσκευών γραμμικής σάρωσης έναντι των αντίστοιχων ελικοειδούς σάρωσης. Συνοψίζοντας, η ελικοειδή σάρωση προσφέρει μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων σε μικρότερο πακέτο, απαιτεί λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για την αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων, καταπονεί λιγότερο τις μαγνητικές ταινίες αλλά και τα υπεύθυνα για την κίνηση τους υποσυστήματα της συσκευής ανάγνωσης / εγγραφής, είναι ταχύτερη για την αναζήτηση και ανάκτηση αποθηκευμένων δεδομένων και έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί πολύ περισσότερο από τη γραμμική σάρωση.

Σήμερα, η ελικοειδής εγγραφή της μαγνητικής ταινίας έχει επικρατήσει έναντι της γραμμικής και χρησιμοποιείται σε πολλούς τύπους κασετών από διάφορους κατασκευαστές. Παρά την αποδεδειγμένη υπεροχή της ελικοειδούς εγγραφής, οι υποστηρικτές της γραμμικής εγγραφής σε παράλληλες ζώνες είναι αρκετοί. Λόγω της σταδιακή συρρίκνωσης των ηλεκτρονικών υποσυστημάτων, είναι δυνατό να χωρέσουν στη λεπτή μαγνητική ταινία ακόμα περισσότερες παράλληλες ζώνες δεδομένων, καθιστώντας τη γραμμική αποθήκευση ολοένα και πιο ανταγωνιστική. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται η IBM, η οποία εισήγαγε μέρος της τεχνολογίας των μαγνητικών κεφαλών για σκληρούς δίσκους στην κατασκευή κεφαλών για τις συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής μαγνητικών ταινιών. Με την πρωτοποριακή αυτή τεχνική κατασκευής, κατέστη δυνατό σε διάστημα 166.5 μικρομέτρων να χωρέσουν 16 ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία για την ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων. Η IBM εφαρμόζοντας την τεχνολογία αυτή στα προϊόντα της σειράς LTO πέτυχε την εγγραφή 512 παράλληλων ζωνών δεδομένων [119]. Ωστόσο, ο μεγαλύτερος λόγος προτίμησης της γραμμικής εγγραφής έναντι της ελικοειδής, είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η σύναψη της κεφαλής ανάγνωσης/εγγραφής με τη μαγνητική ταινία που βρίσκετε μέσα στην κασέτα. Κατά τη γραμμική εγγραφή, η κεφαλή της συσκευής ανάγνωσης και εγγραφής έρχεται σε επαφή με τη μαγνητική ταινία από μια μικρή θύρα στο εξωτερικό κέλυφος της κασέτας. Αντίθετα, κατά την ελικοειδή εγγραφή, ολόκληρη η μεγάλη πλευρά της κασέτας ανοίγει και ειδικοί μηχανισμοί της συσκευής εξάγουν τμήμα της ταινίας έξω από την κασέτα, έτσι ώστε αυτή να αγκαλιάσει τον περιστρεφόμενο κύλινδρο της κεφαλής. Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται από ένα πολύπλοκο

ηλεκτρομηχανικό σύστημα, το οποίο είναι αρκετά πιο ευαίσθητο και δαπανηρό στην κατασκευή από τον αντίστοιχο μηχανισμό που χρησιμοποιείται για τη σύναψη κεφαλής και ταινίας κατά τη γραμμική σάρωση. Λόγω της πολυπλοκότητας και ευαισθησίας των συσκευών που βασίζονται στην ελικοειδή σάρωση της ταινίας, οι πιθανότητες παρουσίασης κάποιας βλάβης της συσκευής, που μπορεί να προξενήσει βλάβη και στο μέσο αποθήκευσης, είναι πολύ μεγαλύτερες. Επί πλέον, λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας της ταινίας που βρίσκεται σε επαφή με μηχανισμούς της συσκευής εγγραφής και ανάγνωσης, η μεταφορά σκόνης και άλλων σκουπιδιών, από τη συσκευή στο αποθηκευτικό μέσο και αντίστροφα, είναι πολύ εντονότερη κατά την ελικοειδή σάρωση απ ό τι στη γραμμική. Έτσι, σε χώρους με έντονη παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων, η λειτουργία συσκευών που βασίζονται στην ελικοειδή σάρωση της ταινίας, παρουσιάζει πολύ γρηγορότερα σφάλματα σε σχέση με τις συσκευές γραμμικής σάρωσης [120].

Η τεχνολογία της αποθήκευσης σε μαγνητική ταινία συνεχώς εξελίσσονται και προς τις δύο κατευθύνσεις, γραμμική και ελικοειδή σάρωση. Κύριος στόχος είναι η αύξηση της πυκνότητας των δεδομένων πάνω στη στενή επιφάνεια της μαγνητικής ταινίας, όπως επίσης και η ταυτόχρονη μείωση του όγκου της κασέτας που περιέχει την ταινία. Η γραμμική μέθοδο εγγραφής με τη βοήθεια της τεχνολογίας των σκληρών δίσκων, που εισήγαγε η IBM, προσπαθεί να ξανακερδίσει το έδαφος που έχασε λόγω της μικρότερης, σε σχέση με την ελικοειδή σάρωση, πυκνότητας σε ζώνες δεδομένων. Ο στόχος αυτός έχει επιτευχθεί στα εργαστήρια της IBM, με την εγγραφή ενός Terabyte (1000 Gigabytes) δεδομένων σε μαγνητική ταινία που με την παρούσα εμπορεύσιμη τεχνολογία γραμμικής σάρωσης, η χωρητικότητά της δεν ξεπερνούσε τα 100 Gigabytes [121]. Ωστόσο, η δυνατότητα εξέλιξης της ελικοειδούς σάρωσης προς την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας, αλλά και της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων, είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της γραμμικής, κυρίως λόγω της πολύ μικρότερης ταχύτητας διέλευσης της μαγνητικής ταινίας από την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή μεθόδων κατασκευής λεπτότερων μαγνητικών ταινιών με καλύτερα επιστρωμένες μαγνητικές επιφάνειες, όπως αυτή της επικάλυψης της ταινίας με μαγνητικό

υλικό μέσω εξάτμισης (AME - Advanced Metal Evaporation), που προσδίδουν πολύ μεγάλη πυκνότητα δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό, σε σύγκριση με τις ταινίες που κατασκευάζονται με την κλασική τεχνική των ενσωματωμένων μεταλλικών σωματιδίων (MP Metal Particles). Προς το παρόν, τέτοιες τεχνικές δε είναι εφαρμόσιμες για την κατασκευή ταινιών για χρήση σε συσκευές σειριακής εγγραφής, λόγω της μεγάλης φθοράς της μαγνητικής επιφάνειας και της μηχανική καταπόνηση της ταινίας, που οφείλονται στην υπερβολικά μεγάλη ταχύτητα διέλευσης του μαγνητικού μέσου από την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης της συσκευής. Οι κασέτες που περιέχουν μαγνητική ταινία κατασκευασμένη με την τεχνική AME, καταφέρνουν να αποθηκεύσουν κάποια ποσότητα πληροφορίας, καταλαμβάνοντας πολύ μικρότερο όγκο από αυτόν που θα καταλάμβανε, για την ίδια ποσότητα πληροφορίας, μια κασέτα που περιέχει ταινία κατασκευασμένη με την τεχνική των μεταλλικών σωματιδίων. Συνεπώς, μια αυτοματοποιημένη βιβλιοθήκη μαγνητικών ταινιών, θα έχει περισσότερη χωρητική ικανότητα με τη χρήση AME ταινιών παρά με τη χρήση MP ταινιών [122].

Για να μειωθεί ο όγκος που καταλαμβάνει μια κασέτα με ταινία τύπου MP, η εταιρεία Quantum εισήγαγε την τεχνολογία DLT tape. Η κασέτες που κάνουν χρήση της τεχνολογίας αυτής, περιέχουν μόνο ένα καρούλι στο οποίο είναι τυλιγμένη η μαγνητική ταινία. Το ένα άκρο της μαγνητικής ταινίας είναι ενωμένο με το κέντρο του καρουλιού της κασέτας, ενώ το άλλο άκρο είναι ενωμένο με έναν ελεύθερο πλαστικό οδηγό (γάντζο). Κατά την εισαγωγή της ταινίας μέσα σε μια συσκευή ανάγνωσης / εγγραφής κασετών τύπου DLT, ένας μηχανισμός αναλαμβάνει να τραβήξει το ελεύθερο άκρο της μαγνητικής ταινίας, από τον πλαστικό γάντζο και να το οδηγήσει στο καρούλι ξετυλίγματος της ταινίας, που βρίσκεται στο εσωτερικό της συσκευής. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι η μείωση του όγκου της κασέτας στο ήμισυ. Ωστόσο σε περίπτωση εσφαλμένης εισαγωγής της ελεύθερης άκρης της μαγνητικής ταινίας μέσα στη συσκευή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταστροφή της κασέτας. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι η μεταφορά βρομιάς από τη συσκευή στην κασέτα και αντίστροφα, λόγω της πλήρους εισαγωγής της μαγνητικής ταινίας μέσα στη συσκευή, όπως επίσης και ο πολύ μεγάλος χρόνος που

απαιτείται για την εισαγωγή και εξαγωγή της ταινίας από τη συσκευή, ο οποίος κυμαίνεται γύρω στα 10 δευτερόλεπτα για την εισαγωγή και φτάνει μέχρι τα 80 δευτερόλεπτα για την εξαγωγή, στην περίπτωση που η ταινία έχει ξετυλιχτεί πλήρως από την κασέτα και βρίσκεται τυλιγμένη στο καρούλι της συσκευής [123]. Παρά τα μειονεκτήματά της, η χρήση της κασέτας με μονό καρούλι έχει υιοθετηθεί και από άλλους κατασκευαστές μαγνητικών ταινιών, όπως την εταιρεία IBM που κατασκευάζει έτσι τις κασέτες της τύπου LTO. Γεγονός που οφείλεται στη δραματική μείωση του όγκου που καταλαμβάνουν οι κασέτες με μονό καρούλι και τη συνεπαγόμενη αύξηση της αναλογίας δεδομένων ανά κυβικό εκατοστό που επέφερε.

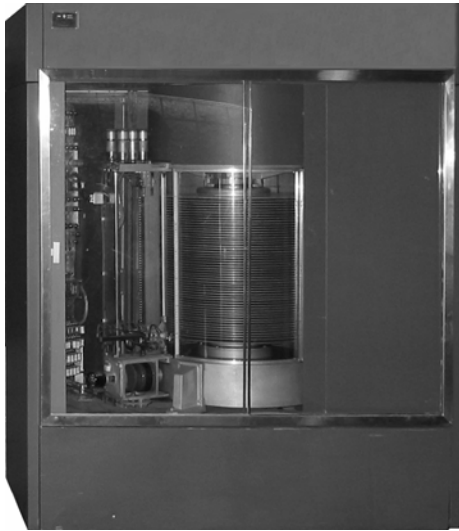
Παρά τη μικρότερη, σε σύγκριση με τους σκληρούς δίσκους, χωρητική ικανότητα δεδομένων ανά τετραγωνική ίντσα, η μαγνητική ταινία σαν αποθηκευτικό μέσο παίζει ακόμα μεγάλο ρόλο στη βιομηχανία της πληροφορικής. Ήδη μια φορά στο παρελθόν, ο ρόλος της μαγνητικής ταινίας ως δευτερεύων συσκευή αποθήκευσης δεδομένων, παραγκωνίστηκε από τους σκληρούς δίσκους λόγω της ταχύτητάς τους. Σήμερα όμως, ο ρόλος που διαδραματίζει η μαγνητική ταινία ταιριάζει περισσότερο στα χαρακτηριστικά της και δύσκολα θα αντικατασταθεί από κάποιο άλλο μέσο στο κοντινό μέλλον. Οι ευρύχωροι και φτηνοί αποθηκευτικοί χώροι δεδομένων που προσφέρουν οι σύγχρονες κασέτες μαγνητικών ταινιών, σε συνδυασμό με την αντοχή που επιδεικνύουν σε κραδασμούς και χτυπήματα, το μικρό τους μέγεθος, αλλά και η εύκολη μεταφορά τους, είναι μερικές από τις αρετές που τις έχουν κατατάξει ως την καλύτερη λύση εφεδρικής αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Ωστόσο, λόγω της σειριακής αναζήτησης δεδομένων, που αναγκαστικά διέπει τις μαγνητικές ταινίες, η ολική αντικατάστασή τους από κάποιο μέσο τυχαίας προσπέλασης, όπως οι δίσκοι, δε θα αργήσει.

1.2.1.2 Μαγνητικοί δίσκοι

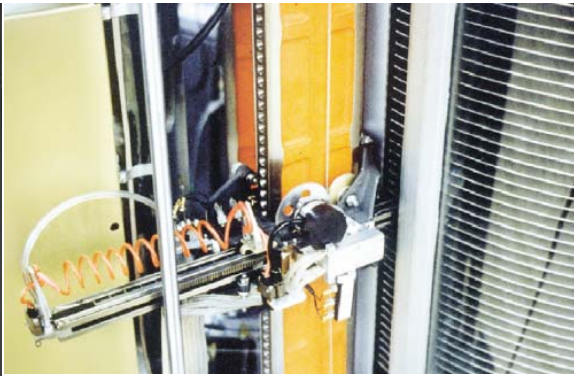
Ο μαγνητικός δίσκος ανακαλύφθηκε το 1956 από την εταιρεία IBM, ως λύση στο πρόβλημα της αργής σειριακής αναζήτησης δεδομένων της μαγνητικής ταινίας. Η IBM κατασκεύασε την πρώτη αποθηκευτική συσκευή που χρησιμοποιούσε μαγνητικούς δίσκους το 1956 και τη νοίκιαζε σε πελάτες

της με μηνιαία ή εβδομαδιαία συμβόλαια. Ήταν μια αποθηκευτική συσκευή δεδομένων στο μέγεθος βιβλιοθήκης, με την πρωτοφανή χωρητικότητα για την εποχή των 5.000.000 χαρακτήρων (5 Megabytes), όπως επίσης και τον πρωτοφανή τρόπο τυχαίας προσπέλασης των αποθηκευμένων δεδομένων, χάρις του οποίου η συσκευή ονομάστηκε RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control – Τυχαίας Προσπέλασης Μέθοδο Περιγραφής και Ελέγχου). Ο χρήστης της συσκευής αυτής είχε στη διάθεσή του οποιοδήποτε κομμάτι της αποθηκευμένης πληροφορίας σε 0,8 δευτερόλεπτα, σε αντίθεση με τα μερικά λεπτά που έπρεπε να περιμένει από μια συσκευή ανάγνωσης μαγνητικών ταινιών εκείνης της εποχής. Αυτή η αρχέγονη μορφή αποθηκευτικής συσκευής μαγνητικών δίσκων, αποτελείτο από 50 μεταλλικούς δίσκους με 24 ίντσες διάμετρο ο καθένας, οι οποίοι περιστρέφονταν με 1200 στροφές το λεπτό. Δύο μαγνητικές κεφαλές ήταν υπεύθυνες για την εγγραφή και ανάγνωση των δεδομένων και στις δύο πλευρές της επιφάνειας των 50 δίσκων και ήταν ικανές να μεταφέρουν δεδομένα με ρυθμό 12,5 Kilobytes ανά δευτερόλεπτο. Λόγω του υπερβολικού μεγέθους τους, οι πρώτες συσκευές αποθήκευσης σε μαγνητικούς δίσκους ονομάστηκαν καθηλωμένοι δίσκοι.

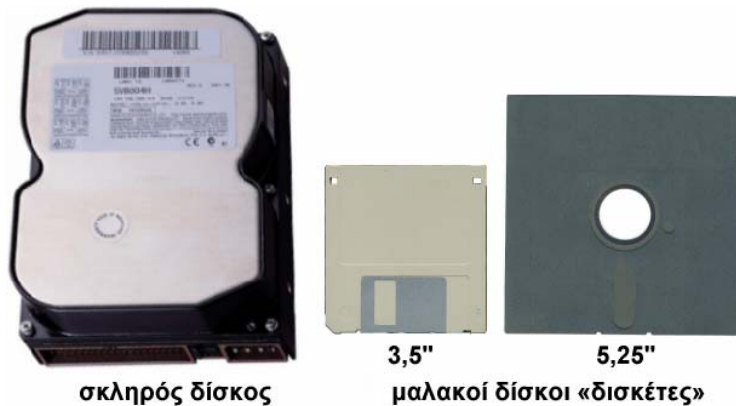
Πολύ αργότερα, γύρω στο 1967 όταν έκαναν την εμφάνισή τους οι πρώτοι μαλακοί δίσκοι (δισκέτες), επίσης εφεύρεση της IBM, οι ογκώδεις συσκευές με τους μεταλλικούς (καθηλωμένους δίσκους) μετονομάστηκαν σε σκληρούς δίσκους. Η ονομασία αυτή χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, για τη διαφοροποίηση μεταξύ αναλώσιμων εύκαμπτων πλαστικών δίσκων, που γράφονται και διαβάζονται από τις ανάλογες συσκευές και άκαμπτων δίσκων, κατασκευασμένων από μέταλλο ή γυαλί, που λειτουργούν σαν αυτόνομες αποθηκευτικές συσκευές. Οι σκληροί δίσκοι είναι συσκευές που περιέχουν έναν ή πολλούς άκαμπτους δίσκους, σφραγισμένους μαζί με όλη την ηλεκτρομηχανική υποδομή για την ανάγνωση και εγγραφή τους, μέσα σε αεροστεγή μεταλλικά κουτιά.



Εικόνα 88. Ο προπάτορας των σκληρών δίσκων RAMAC της IBM [113]



Εικόνα 89. Το σύστημα της διπλής μετακινούμενης κεφαλής της αποθηκευτικής συσκευής δεδομένων RAMAC [112]



σκληρός δίσκος

3,5"

μαλακοί δίσκοι «δισκέτες»

5,25"

Εικόνα 90. Τύποι μαγνητικών δίσκων αποθήκευσης δεδομένων

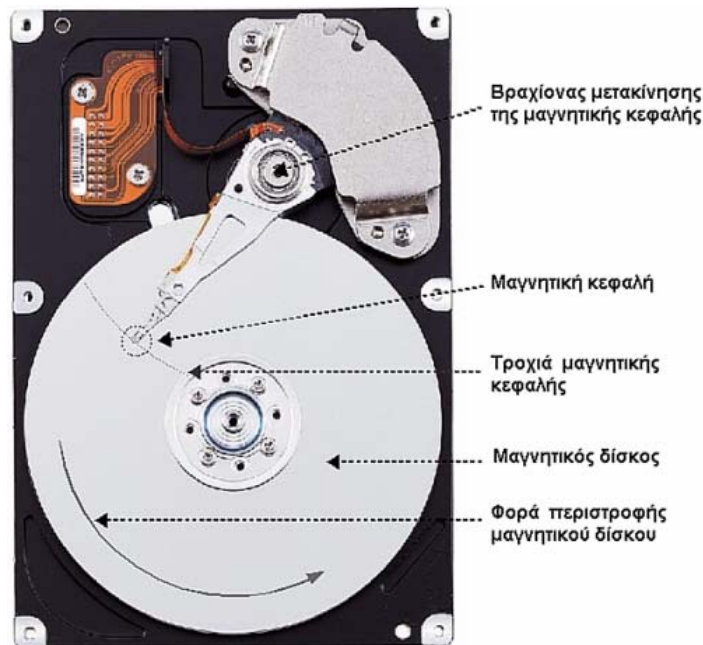
Από τότε μέχρι σήμερα, η κυριότερη εφαρμογή του σκληρού δίσκου συναντάται στη μόνιμη αποθήκευση των δεδομένων της ασταθούς μνήμης του ηλεκτρονικού υπολογιστή (RAM - Random Access Memory), όπως επίσης και για την αποθήκευση λοιπών πληροφοριών και προγραμμάτων, που χρησιμοποιούνται συχνά και δε πρέπει να χαθούν μετά τη διακοπή τροφοδοσίας του υπολογιστή με ηλεκτρικό ρεύμα. Παρομοίως, ο ρόλος των εύκαμπτων πλαστικών δίσκων έχει παραμείνει και αυτός αμετάβλητος, ως μέσο μεταφοράς και εφεδρικής αποθήκευσης δεδομένων [113][114].

Παρά την τεράστια ώθηση στην ταχύτητα προσπέλασης των δεδομένων που επέφεραν οι μαγνητικοί δίσκοι στο χώρο της αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων, η αρχή λειτουργία τους δε διαφέρει και πολύ από αυτή των



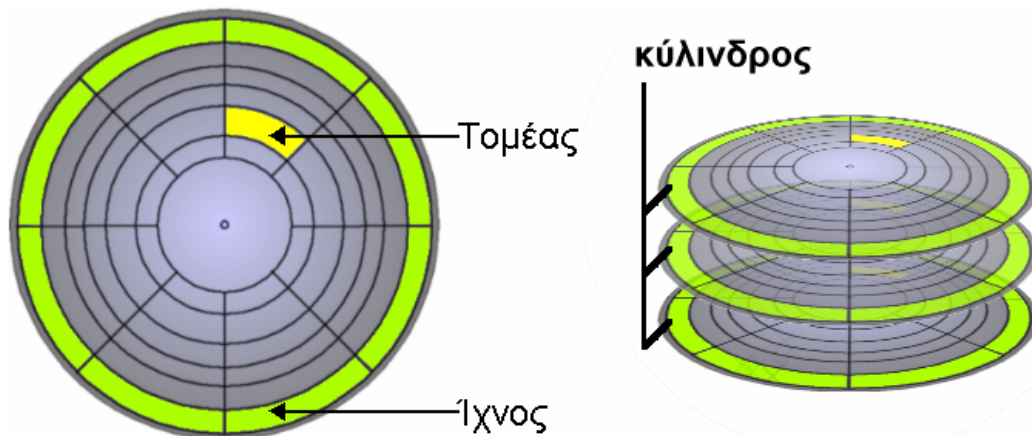
μαγνητικών ταινιών, αφού και τα δυο μέσα έχουν τις βάσεις τους στις θεμελιώδεις αρχές μαγνητικής αποθήκευσης, που παρουσιάστηκαν στην αρχή του αντίστοιχου κεφαλαίου. Η μόνη διαφορά, η οποία ευθύνεται για τη δραματική αύξηση της ταχύτητας προσπέλασης των δεδομένων, έγκειται στην αλλαγή σύνταξης των δεδομένων και την επέκτασή της από τη μια διάσταση στις δυο. Για να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο επιτεύχθηκε αυτή η αλλαγή στη διάταξη των δεδομένων και στην ταχύτητα προσπέλασης τους, θα περιγράψουμε σ' αυτό το κεφάλαιο τον τρόπο λειτουργίας του μαγνητικού δίσκου, ενώ ταυτόχρονα θα επισημαίνονται οι κύριες διαφορές του με τη μαγνητική ταινία.

Οι μαγνητικοί δίσκοι δεδομένων έχουν τις βάσεις τους στην αρχιτεκτονική των γραμμόφωνων (πικάπ), από την οποία εμπνεύστηκαν οι επιστήμονες της IBM τη βασική ιδέα αποθήκευσης δεδομένων σε δίσκο [125]. Το μέσο αποθήκευσης της πληροφορίας έχει σχήμα δίσκου και περιστρέφεται συνεχώς με σταθερή γωνιακή ταχύτητα γύρω από τον άξονά του. Στην περίπτωση της μαγνητικής ταινίας, η ταινία κινείται μόνο κατά την ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων, ή κατά την αναζήτηση κάποιου συγκεκριμένου κομματιού πληροφορίας κατά μήκος της, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη χρονικών ποσών, που συντελούν στην αύξηση του ήδη μεγάλου χρόνου προσπέλασης δεδομένων που χαρακτηρίζει τις μαγνητικές ταινίες. Στους μαγνητικούς δίσκους, ένας βραχίονας στο ελεύθερο άκρο του οποίου είναι στερεωμένη η κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης, κινείται από το κέντρο προς την περιφέρεια της επιφάνειας του δίσκου, κατά τέτοιο τρόπο ώστε, σε συνδυασμό με την περιστρεφόμενη κίνηση του δίσκου, η κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης των δεδομένων να έχει πρόσβαση σε όλη την επιφάνεια του μέσου αποθήκευσης. Στις μαγνητικές ταινίες, για να επιτευχθεί πρόσβαση σε ολόκληρη την επιφάνεια του μέσου, θα πρέπει η μαγνητική ταινία να ξετυλιχτεί από το καρούλι της τουλάχιστον μια φορά, στην καλύτερη περίπτωση της ελικοειδούς εγγραφής.



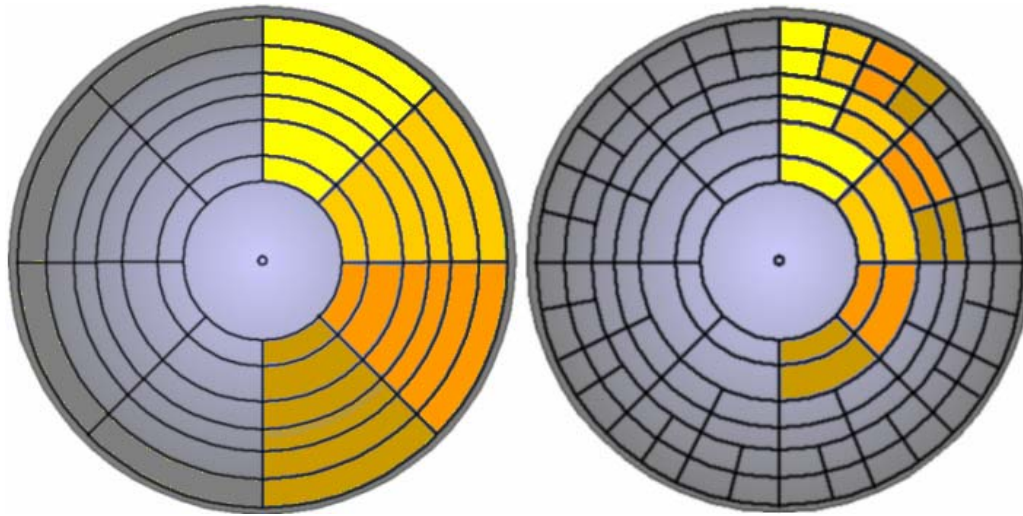
Εικόνα 91. Αρχιτεκτονική συσκευής αποθήκευσης δεδομένων σε μαγνητικό δίσκο

Σε αντίθεση με τη σπειροειδή εγγραφή του ήχου στους δίσκους βινυλίου, όπου η αποθηκευμένη πληροφορία είναι γραμμικής φύσεως, στους μαγνητικούς δίσκους δεδομένων η πληροφορία είναι οργανωμένη κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η εύρεση, ανάγνωση, τροποποίηση και διαγραφή της, να επιτυγχάνεται με όσο το δυνατό ταχύτερο και αξιόπιστο τρόπο. Έτσι, στο μαγνητικό δίσκο αποθήκευσης δεδομένων η πληροφορία είναι οργανωμένη σε ομόκεντρους κύκλους, τα αποκαλούμενα ίχνη (tracks), τα οποία διαιρούνται σε μικρά τόξα του κύκλου, τους λεγόμενους τομείς (sectors). Όλοι οι τομείς έχουν την ίδια αποθηκευτική ικανότητα δεδομένων, η οποία ορίζεται από τον κατασκευαστή του δίσκου. Για παράδειγμα, οι τομείς των σκληρών δίσκων έχουν την ικανότητα αποθήκευσης 512 Bytes, ανεξάρτητα σε ποιο ίχνος βρίσκονται. Στην περίπτωση των σκληρών δίσκων με περισσότερους του ενός μαγνητικούς δίσκους, τα ίχνη για την ίδια ακτίνα του κύκλου που ανήκουν σε όλο το πλήθος των δίσκων αποτελούν τον κύλινδρο (cylinder).



Εικόνα 92. Λογικός κερματισμός μαγνητικού δίσκου αποθήκευσης

Συνήθως, τα ίχνη των μαγνητικών δίσκων διαιρούνται σε ισόποσους τομείς, ανεξάρτητα από την απόστασή τους (ακτίνα) από το κέντρο του δίσκου. Σαν συνέπεια, ο αριθμός των τομέων που θα διαιρεθούν τα ίχνη του δίσκου, καθορίζεται από το μικρότερο σε μήκος ίχνος, δηλαδή από αυτό που βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο του δίσκου. Ο λόγος που γίνεται ο καθορισμός του αριθμού των τομέων από το πιο βραχύ ίχνος, εξηγείται από τον περιορισμό που θέτει η ποσότητα δεδομένων ανά τετραγωνική ίντσα που μπορεί να αποθηκευτεί στο μαγνητικό μέσo. Με αυτή τη λογική, όλα τα ίχνη, ακόμα και αυτά στο εξωτερικό του δίσκου με μήκος πολλαπλάσιο του πιο εσωτερικού, διαθέτουν τον ίδιο αποθηκευτικό χώρο με το μικρότερο σε μήκος ίχνος. Αποτέλεσμα αυτού του τρόπου λογικού κερματισμού της επιφάνειας του μαγνητικού δίσκου, είναι η κακή εκμετάλλευση της χωρητικής ικανότητας της. Ωστόσο, πολλοί κατασκευαστές μαγνητικών δίσκων αντιλήφθηκαν γρήγορα τη σπατάλη του αποθηκευτικού χώρου, της μεθόδου διαίρεσης των ιχνών σε ισόποσους τομείς και άρχισαν να κερματίζουν κάθε ίχνος ανάλογα με το μήκος του. Συνεπώς, το πλήθος των τομέων, στους οποίους διαιρείται κάποιο ίχνος του δίσκου, είναι ανάλογο της απόστασής του ίχνους από το κέντρο του δίσκου [153].



Εικόνα 93. Ισόποσος και ανάλογος με την απόσταση από το κέντρο κερματισμός των ίχνών

Ο χρόνος πρόσβασης στα δεδομένα των μαγνητικών δίσκων εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα μετακίνησης της κεφαλής εγγραφής και ανάγνωσης από το ένα ίχνος στο άλλο, αλλά και από τον χρόνο που απαιτείται ώστε να βρεθεί ο τομέας με τα ζητούμενα δεδομένα κάτω από την κεφαλή, χρόνος ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δίσκου. Επίσης, η ταχύτητα περιστροφής του δίσκου καθορίζει και το χρόνο διέλευσης του τομέα με τα ζητούμενα δεδομένα, κάτω από την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης. Ο χρόνος αυτός επηρεάζει άμεσα το ρυθμό με τον οποίο μεταφέρονται τα δεδομένα από και προς τη συσκευή αποθήκευσης. Αν για παράδειγμα ένας δίσκος περιστρέφεται με 50 στροφές το δευτερόλεπτο και το κάθε ίχνος του δίσκου διαιρείται σε 16 τομείς με χωρητικότητα 512 Bytes ο καθένας, τότε ο θεωρητικός μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων της συσκευής θα είναι ίσος με $(50 \times 16 \times 512) 409.600$ Bytes ανά δευτερόλεπτο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μαγνητικοί δίσκοι χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τους σκληρούς και τους μαλακούς, ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι, αλλά και από την εξάρτησή τους από κάποια συσκευή εγγραφής και ανάγνωσης.

Στην περίπτωση των σκληρών δίσκων, ο δίσκος, ή οι δίσκοι αποθήκευσης, είναι κατασκευασμένος από κάποιο μέταλλο ή γυαλί και είναι επιστρωμένος και στις δυο του όψεις, με κάποιο μαγνητικό υλικό το οποίο διατηρεί μόνιμα το μαγνητικό πεδίο που δέχεται. Συνήθως, στο εσωτερικό τους οι σκληροί δίσκοι

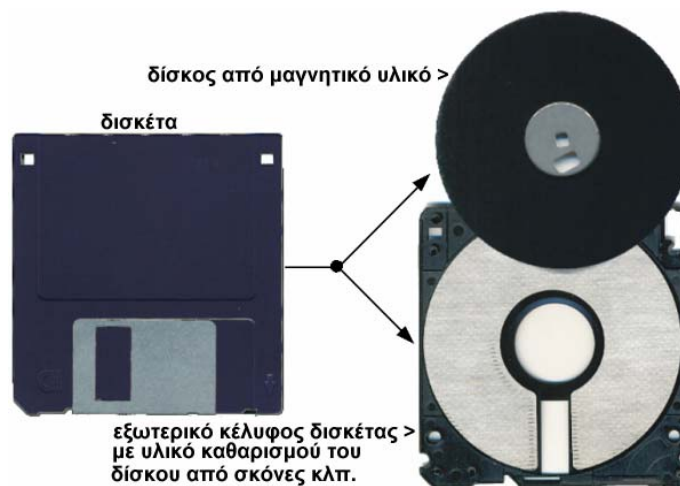


έχουν περισσότερους του ενός μεταλλικούς δίσκους, στοιβαγμένους τον έναν πάνω στον άλλο, με μικρό κενό μεταξύ τους, οι οποίοι περιστρέφονται μαζί από τον ίδιο ηλεκτροκινητήρα. Οι σημερινοί σκληροί δίσκοι περικλείουν από 2 μέχρι 4 δίσκους στο εσωτερικό τους, ενώ σε παλιότερες διατάξεις οι εσωτερικοί δίσκοι ξεπερνούσαν κατά πολύ τους 4. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο RAMAC με 50 μεταλλικούς δίσκους. Εντούτοις, οι απαιτήσεις των σύγχρονων εφαρμογών έχουν οδηγήσει πολλούς κατασκευαστές στη δημιουργία σκληρών δίσκων με μονό δίσκο δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, οι κατασκευαστές εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής του δίσκου και συνεπώς ταχύτερη δια-μεταγωγή των δεδομένων, θυσιάζοντας χωρητικότητα για κάθε επιπλέον εσωτερικό δίσκο. Επίσης, με την πρακτική αυτή αυξάνεται και η ταχύτητα προσπέλασης των δεδομένων, αφού ελαττώνεται ο αριθμός των παράλληλων βραχιόνων στήριξης των κεφαλών εγγραφής και ανάγνωσης, που απαιτούνται για κάθε επιπλέον δίσκο. Αυτό συντελεί στη μείωση του μετακινούμενου βάρους των βραχιόνων στήριξης των κεφαλών και συνεπώς της αδράνειάς τους, με επακόλουθο την ταχύτερη μετακίνησή των κεφαλών από τη μια θέση στην άλλη και συνάμα την ταυτόχρονη μείωση του χρόνου προσπέλασης των δεδομένων.

Οι σκληροί δίσκοι είναι αυτόνομες αποθηκευτικές συσκευές, οι οποίες παρέχουν στο χρήστη τους αρκετά μεγάλους χώρους αποθήκευσης δεδομένων με τρόπο αδιαφανή προς αυτόν. Ο χρήστης συνδέει τη συσκευή αυτή με τον υπολογιστή του, ή με οποιαδήποτε άλλη συσκευή δέχεται σκληρό δίσκο για την αποθήκευση δεδομένων και έχει στη διάθεσή του προκαθορισμένο αποθηκευτικό χώρο, ο οποίος μπορεί να γραφτεί και να σβηστεί χωρίς περιορισμούς για πάρα πολλές φορές. Ο μέσος όρος ζωής των σκληρών δίσκων ξεπερνά κατά πολύ τα 30 χρόνια χρήσης. Αρκεί βέβαια να τηρούνται κάποιες βασικές προϋπόθεσης για την καλή λειτουργία του, όπως ο εξαερισμός του δίσκου για την αποφυγή υπερθέρμανσης, η σταθερή τροφοδοσία του με την τάση και την ένταση ρεύματος που ορίζει ο κατασκευαστής κλπ. [161].

Οι μαλακοί μαγνητικοί δίσκοι ή δισκέτες, βασίζονται στην ίδια φιλοσοφία αποθήκευσης με τους σκληρούς δίσκους. Η κύρια διαφορά τους όμως με αυτούς, έγκειται στο γεγονός πως αντί να περιέχουν στο ίδιο πακέτο το μέσω

και το μηχανισμό ανάγνωσής του, οι μαλακοί δίσκοι περιέχουν μόνο το μέσο αποθήκευσης. Το πακέτο αυτό ονομάζεται δισκέτα και συνήθως είναι ένας τετράγωνος φάκελος από σκληρό πλαστικό, μέσα στον οποίο είναι τοποθετημένος ο δίσκος αποθήκευσης των δεδομένων, ο οποίος κατασκευάζεται από εύκαμπτο πλαστικό υλικό και επιστρώνεται ή εμπλουτίζεται με κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό, το οποίο του προσδίδει την ιδιότητα μαγνητικής αποθήκευσης. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευής, η δισκέτα αποκτά ανθεκτικότητα στις πτώσης και στις διάφορες μηχανικές καταπονήσεις, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται από αιωρούμενα και μη σωματίδια, που μπορούν να καταστρέψουν την ευαίσθητη επιφάνειά της.



Εικόνα 94. Ανατομεία μαλακού μαγνητικού δίσκου

Στην αγορά πληροφορικής, κυκλοφορούν πολλοί τύποι εύκαμπτων μαγνητικών δίσκων, σε διάφορα μεγέθη, περιβλήματα και χωρητικότητες ο καθένας. Ωστόσο, για την εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων από κάποιο τύπο δισκέτας, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί και η κατάλληλη συσκευή οδήγησης της, όπως ακριβώς και στις μαγνητικές ταινίες. Οι συσκευές αυτές διαθέτουν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά και ηλεκτρομηχανικά υποσυστήματα, που απαιτούνται για την ανάγνωση και εγγραφή του μαγνητικού δίσκου. Μια συσκευή οδήγησης (εγγραφής και ανάγνωσης) δισκέτας αποτελείται σχεδόν από τα ίδια υποσυστήματα που αποτελείται και ένας σκληρός δίσκος. Ωστόσο διαφοροποιούνται από τους σκληρούς δίσκους λόγω της ικανότητάς



τους να δέχονται αφαιρούμενους μαγνητικούς δίσκους. Γι' αυτό το λόγω, οι συσκευές αυτές έχουν στη μια τους πλευρά μια πόρτα από την οποία εισάγεται στο εσωτερικό τους η δισκέτα. Εκεί, ένας ηλεκτροκινητήρας αναλαμβάνει την περιστροφή του δίσκου με κάποια σταθερή ταχύτητα και ένας διπλός βραχίονας αναλαμβάνει τη μεταφορά των κεφαλών εγγραφής και ανάγνωσης στην πάνω και κάτω επιφάνεια του δίσκου.

Οι μαλακοί μαγνητικοί δίσκοι, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990, ήταν το δημοφιλέστερο μέσο μεταφοράς και διανομής δεδομένων, πέρα των σκληρών δίσκων που βρίσκονται καθηλωμένοι εντός των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για λόγους συμβατότητας όμως, η εξέλιξή τους σταμάτησε στις δισκέτες 3,5 ιντσών χωρητικότητα 1,44 Megabytes. Κάποιες εταιρίες, όπως η Iomega, η Sony, η 3M και άλλες, εκμεταλλεύτηκαν αυτή τη στασιμότητα στην αύξηση της χωρητικότητας του κοινού μαλακού δίσκου και δημιούργησαν εξελιγμένους μαγνητικούς μαλακούς δίσκους με χωρητικότητα πολλαπλάσια της τυπικής δισκέτας των 3,5 ιντσών, η οποία είχε καθιερωθεί ως βασικό στοιχείο του κάθε ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην αγορά εμφανίστηκαν δισκέτες με χωρητικότητες που ξεκινούν από 20 και 30 Megabytes και φτάνουν τα 120, 250 και 750. Κάποια δισκέτα από αυτές θα μπορούσε κάλλιστα να είχε αντικαταστήσει αυτή των 3,5 ιντσών με 1,44 Megabytes χωρητικότητα, που όλοι μας έχουμε ακόμα στον υπολογιστή μας και όμως σπανίως χρησιμοποιούμε. Ο λόγος για τον οποίο δεν είναι κοινώς αποδεκτές οι συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης μαλακών δίσκων μεγάλης χωρητικότητας, οφείλεται στην αποφυγή θέσπισης κάποιου κοινού προτύπου κατασκευής των μέσων και των συσκευών εγγραφής και ανάγνωσής τους, εξαιτίας του ανταγωνισμού των κατασκευαστών και των πνευματικών δικαιωμάτων από ευρεσιτεχνίες που έχουν στην κατοχή τους. Σαν αποτέλεσμα, η κάθε εταιρεία αναπτύσσει τη δική της τεχνολογία, με μόνο κοινό σημείο με αντίστοιχες υλοποιήσεις άλλων εταιριών, την επίτευξη παρόμοιων ή καλύτερων τεχνικών χαρακτηριστικών, όπως η χωρητικότητα και ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων, για να μην υπολείπονται τα προϊόντα τους από αυτά του ανταγωνισμού. Έτσι, οι επιλογές είναι τόσες πολλές και τόσο διαφορετικές μεταξύ τους, ώστε να οδηγούν τον πελάτη σε δίλημμα και να τον προτρέπουν

σε πιο κοινώς αποδεκτές τεχνολογίες. Μια τέτοια καλά θεσπισμένη τεχνολογία είναι ο οπτικός δίσκος τύπου CD (Compact Disk – Συμπαγής Δίσκος), του οποίου οι προδιαγραφές είχαν εδραιωθεί μεταξύ μεγάλων εταιριών, όπως της Sony και άλλες. Με την κατασκευή κάποιου προϊόντος βασισμένου σε κοινά πρότυπα, η αγορά κατακλύζεται από προϊόντα του ίδιου τύπου, απολύτως συμβατά μεταξύ τους, με διαφορές μόνο στο όνομα της κατασκευάστριας εταιρίας και στην ολοένα πτωτική πορεία της τιμής τους, λόγω του επιχειρησιακού ανταγωνισμού. Αντιθέτως, οι συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης ιδικού τύπου μαλακών μαγνητικών δίσκων κατασκευάζονται από τις ίδιες εταιρίες που κατασκευάζουν και τα αντίστοιχα μέσα αποθήκευσης, σαν αποτέλεσμα η συμβατότητα μεταξύ μέσων και συσκευών διαφορετικών εταιριών είναι ανύπαρκτη, όπως επίσης και η σχετικά με άλλες τεχνολογίες υψηλή τιμή αγοράς των συσκευών αλλά και των μέσων, λόγω μονοπωλίου. Αυτό οδήγησε στην περιθωριοποίηση των μαλακών δίσκων και περιόρισε την αγορά τους σε λίγες εφαρμογές, όπως αυτή της συχνής εφεδρικής αποθήκευσης αρχείων ενός μέσου χρήστη ή μιας μικρής επιχείρησης. Τα πλεονεκτήματα χρήσης μαλακών μαγνητικών δίσκων, όπως η πολλαπλή τους εγγραφή και διαγραφή, η ικανοποιητική τους χωρητική ικανότητα για αρχεία μεγέθους μερικών δεκάδων Megabytes και η ικανοποιητική ανθεκτικότητά, των σύγχρονων μοντέλων, στην κακή μεταχείριση και στο πέρασμα του χρόνου, θα αποτελούσαν κίνητρο αγοράς για πολλούς χρήστες. Ωστόσο η αρκετά χαμηλότερη τιμή αγοράς και η μεγαλύτερη χωρητική ικανότητα και ταχύτητα εγγραφής και ανάγνωσης δεδομένων, που επιδεικνύουν οι οπτικοί δίσκοι CD και οι συσκευές εγγραφή και ανάγνωσής τους, τους κατέστησαν πιο δελεαστική αγορά, παρά το μεγάλο τους μειονέκτημα αδυναμίας διαγραφής των περιεχομένων τους.

Από το 1963 και μετά, πολύ πριν την εμφάνιση των αφαιρούμενων μαλακών δίσκων, έκαναν την εμφάνισή τους συσκευές αποθήκευσης δεδομένων σε αφαιρούμενους μαγνητικούς άκαμπτους δίσκους. Ήταν συσκευές ίδιες με τους καθηλωμένους σκληρούς δίσκους, αλλά αντί οι μαγνητικοί δίσκοι να είναι οριστικά καθηλωμένοι μέσα στη συσκευή εγγραφής και ανάγνωσής τους, υπήρχε η δυνατότητα πολύ γρήγορης αφαίρεσης και αλλαγής τους. Η

πρώτη συσκευή αυτής της τεχνολογίας ήταν η IBM 1311, η οποία δέχονταν πακέτα δίσκων διαμέτρου 14 ιντσών, ικανά να αποθηκεύσουν 2 Megabyte δεδομένων [113]. Αντίστοιχες σύγχρονες υλοποιήσεις άκαμπτων αφαιρούμενων δίσκων, από την εταιρεία κατασκευής συσκευών και μέσω αποθήκευσης δεδομένων IOMEGA, προσφέρουν 35 Gigabytes αποθηκευτικής ικανότητας σε ένα δισκάκι διαμέτρου 2,5 ιντσών.

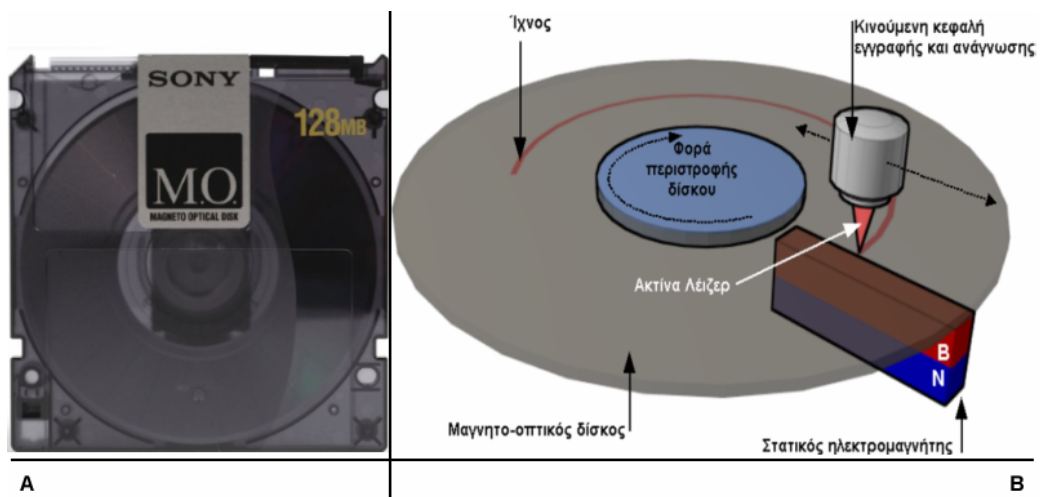
Η χρήση αφαιρούμενων δίσκων κατασκευασμένων από άκαμπτο υλικό, επέτρεψε την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του μέσου, το οποίο οδήγησε στη χρήση κεφαλών που πετούν πολύ κοντά στην επιφάνεια του μέσου αντί να γλιστρούν πάνω σ' αυτή. Οι μαγνητικές κεφαλές των παλαιότερης σχεδίασης συσκευών αφαιρούμενων μαγνητικών δίσκων, για την ανταλλαγή μαγνητικών πεδίων με το μέσο αποθήκευσης, πρέπει να εφάπτονται με την επιφάνεια του δίσκου καθώς αυτός περιστρέφεται. Για την αποφυγή της γρήγορης φθοράς του δίσκου από τη μακρόχρονη χρήση, η επιφάνεια τόσο των δίσκων, όσο και των κεφαλών εγγραφής και ανάγνωσης, επιστρώνεται με υλικά μείωσης της τριβής, πρακτική που καθιστά το μέσο λιγότερο αποδοτικό, αφού οι επιστρώσεις αυτές μειώνουν τη μαγνητική ανάλυσή και συνεπώς τη χωρητικής ικανότητας του αποθηκευτικού μέσου. Για την αποφυγή της φθοράς των κεφαλών και του μέσου, αλλά και για την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας του, οι σκληροί δίσκοι αλλά και οι οδηγοί σύγχρονων μαλακών και άκαμπτων δίσκων κάνουν χρήση ιπτάμενων κεφαλών. Οι κεφαλές αυτές σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αιωρούνται πάρα πολύ κοντά στην επιφάνεια του μέσου, εκμεταλλευόμενες ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα αέρος που δημιουργείται από τη γρήγορη περιστροφή του δίσκου. Η τεχνολογία των ιπτάμενων κεφαλών ήταν προνόμιο των σκληρών δίσκων σχεδόν από τότε που εμφανίστηκαν. Ωστόσο, στους αφαιρούμενους δίσκους εφαρμόστηκε πολύ αργότερα, λόγω των πολύ εύκαμπτων υλικών που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή τους και τα οποία δεν επέτρεπαν μεγάλες ταχύτητες περιστροφής του δίσκου. Για παράδειγμα, οι δισκέτες 3,5 ιντσών με 1,44 Megabyte χωρητικότητα που χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλους τους προσωπικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, περιέχουν ένα εύκαμπτο δισκάκι, το οποίο περιστρέφεται εντός της συσκευής εγγραφής και ανάγνωσης με 300 στροφές το λεπτό. Η ταχύτητα

αυτή είναι ανίκανη να δημιουργήσει το απαιτούμενο στρώμα αέρος για την ανύψωση ιπτάμενων κεφαλών και γι' αυτό το λόγω χρησιμοποιούνται κεφαλές που σέρνονται στην επιφάνεια του δίσκου. Για την αποφυγή φθοράς του δίσκου και των κεφαλών ο μαγνητικός δίσκος είναι συνήθως επιστρωμένος με τεφλόν (ιδικό υλικό με χαμηλό συντελεστή τριβής), παρ' όλα αυτά, οι δισκέτες αυτές θεωρούνται από τα πιο αναξιόπιστα μέσα μαγνητικής αποθήκευσης [114].

Οι άκαμπτοι αφαιρούμενοι μαγνητικοί δίσκοι παρουσιάζουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από τους αντίστοιχους μαλακούς. Η μεγάλη ακαμψία του αποθηκευτικού μέσου, επέτρεψε τη χρήση ιπτάμενων κεφαλών και ευαίσθητων υλικών με μεγαλύτερη χωρική ικανότητα δεδομένων, αφού η αποφυγή επαφής της κεφαλής με την επιφάνεια του μέσου είναι εγγυημένη. Η πολύ μεγαλύτερη αποθηκευτική τους ικανότητα, σε συνδυασμό με τη ταχύτατη μεταφορά δεδομένων και την πολύ γρήγορη απόκρισή τους στα αιτήματα του χρήστη, είναι υπεύθυνα για την προτίμηση των αφαιρούμενων άκαμπτων μαγνητικών δίσκων έναντι των μαλακών, σε εφαρμογές όπου ο όγκος των δεδομένων ξεπερνά τα 750 Megabytes. Η προοπτική της βιομηχανίας των άκαμπτων μαγνητικών δίσκων είναι ο εκτοπισμός της μαγνητικής ταινίας από χαμηλού ή μεσαίου κόστους λύση εφεδρικής αποθήκευσης, τουλάχιστον για δεδομένα όγκου μερικών δεκάδων Gigabytes.

Ένα ακόμα είδος δίσκων μαγνητικής αποθήκευσης δεδομένων είναι οι μαγνητο-οπτικοί δίσκοι. Αν και η ονομασία τους δηλώνει μια τελείως ανεξάρτητη κατηγορία αποθηκευτικών μέσων, ο τρόπος με τον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα στην επιφάνειά τους και η διαφορά του με τον αντίστοιχο τρόπο αποθήκευσης δεδομένων σε οπτικούς δίσκους, επιτρέπουν την κατάταξή τους στα μέσα μαγνητικής αποθήκευσης. Η πληροφορία στους μαγνητο-οπτικούς δίσκους αποθηκεύεται στη μορφή μαγνητικών μοτίβων, όπως ακριβώς και στα υπόλοιπα μέσα μαγνητικής αποθήκευσης. Η διαφοροποίησή τους όμως από τα συνηθισμένα μαγνητικά μέσα, εμφανίζεται κατά τη διάρκεια εγγραφής της πληροφορίας, όπου το αποθηκευτικό μέσο πρέπει να θερμανθεί για να γραφτεί η πληροφορία, όπως επίσης και κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης της αποθηκευμένης πληροφορίας, η οποία πραγματοποιείται με οπτικό και όχι ηλεκτρομαγνητικό τρόπο.

Όλα τα μαγνητικά υλικά έχουν τη φυσική ιδιότητα να χάνουν την αντίστασή τους σε ασκούμενα μαγνητικά πεδία καθώς η θερμοκρασία τους πλησιάζει κάποια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή, πάνω από την οποία τα υλικά χάνουν τελείως την αντίστασή τους ακόμα και στα πιο ασθενή εξωτερικά μαγνητικά πεδία, είναι γνωστή ως θερμοκρασία Κιουρί. Οι μαγνητο-οπτικοί δίσκοι είναι κατασκευασμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε η θερμοκρασία Κιουρί του αποθηκευτικού υλικού τους να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, υπό φυσιολογικές θερμοκρασίες, οι μαγνητο-οπτικοί δίσκοι είναι αδρανείς στα καθημερινά μαγνητικά πεδία. Η ιδιότητά τους αυτή, σε συνδυασμό με το πλαστικό προστατευτικό κάλυμμα τους, καθιστά τους μαγνητο-οπτικούς δίσκους ως ένα από τα πιο αξιόπιστα μέσα αποθήκευσης δεδομένων [114][164].



Εικόνα 95. Μαγνητο-οπτικό μέσο (Α) και σχηματική αναπαράσταση οδήγησής του (Β)

Για την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών για την εγγραφή δεδομένων στην επιφάνειά του μαγνητο-οπτικού δίσκου, χρησιμοποιείτε μια κόκκινη ακτίνα Λέιζερ υψηλής ισχύος, η οποία θερμαίνει στιγμιαία την περιοχή του μέσου στην οποία πρόκειται να εγγραφούν τα δεδομένα. Ανάλογα με την εστίαση της ακτίνας Λέιζερ, το μέγεθος της θερμαινόμενης επιφάνειας μπορεί να περιοριστεί σε μικροσκοπικό επίπεδο. Σύγχρονες υλοποιήσεις συσκευών εγγραφής και ανάγνωσης μαγνητο-οπτικών δίσκων είναι ικανές να εστιάσουν την ακτίνα Λέιζερ σε μια περιοχή της τάξεων του ενός τετραγωνικού μικρού ή

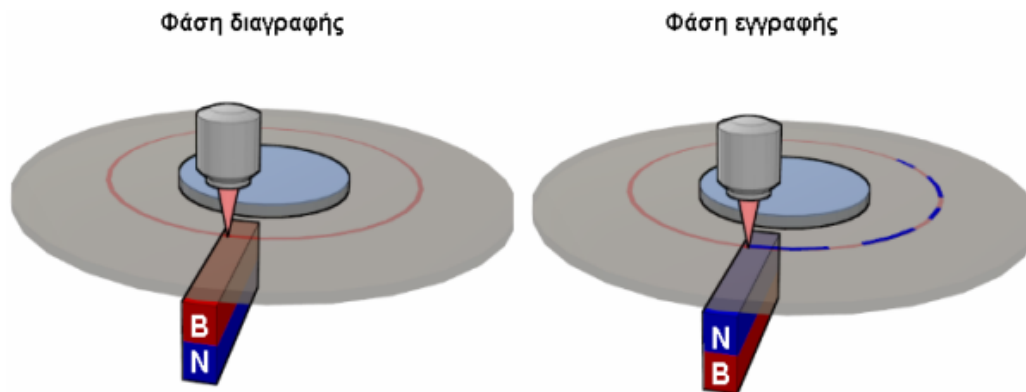
και μικρότερης, θερμαίνοντάς τη σχεδόν ακαριαία στους 200 βαθμούς Κελσίου, τιμή λίγο ανώτερη από τη θερμοκρασία Κιουρί των περισσότερων μαγνητο-οπτικών δίσκων. Έτσι μόνο αυτή η μικροσκοπική περιοχή μπορεί να επηρεαστεί από το μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνήτη εγγραφής, με επακόλουθο την επίτευξη σχετικά ικανοποιητικής συρρίκνωσης της επιφάνειας που καταλαμβάνει η αποθηκευμένη πληροφορία. Σε αντίθεση με τις κοινές συσκευές μαγνητικής αποθήκευσης, όπου ο ηλεκτρομαγνήτης εγγραφής βρίσκεται πάνω σε μια κινούμενη κεφαλή και το μέγεθός του περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό, στις συσκευές οδήγησης μαγνητο-οπτικών μέσων ο ηλεκτρομαγνήτης εγγραφής είναι σταθερός και το μέγεθός του καλύπτει μια μεγάλη περιοχή με πλάτος αρκετά μεγαλύτερο από το ίχνος της ακτίνας Λείζερ και μήκος λίγο μεγαλύτερο από την ωφέλιμη ακτίνα του δίσκου, ώστε το μαγνητικό του πεδίο να εφαρμόζεται σε όλη την περιοχή δράσης της κινούμενης κεφαλής Λείζερ (βλέπε προηγούμενη εικόνα). Από τη στιγμή που ο ηλεκτρομαγνήτης χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εγγραφή των δεδομένων και το μαγνητικό του πεδίο επηρεάζει μόνο την περιοχή που έχει θερμανθεί από το Λείζερ, δεν υπάρχει λόγος μετακίνησής του. Το μόνο μετακινούμενο σύστημα είναι η οπτική κεφαλή, ή οποία κατά την εγγραφή ακτινοβολεί την επιφάνεια του μέσου με Λείζερ υψηλής ισχύος, για να θερμανθεί μέχρι το σημείο Κιουρί, και με Λείζερ χαμηλής ισχύος κατά την ανάγνωση, για την ανάγνωση της αποθηκευμένης πληροφορίας. Η οπτική κεφαλή αποτελείται από μια πηγή πολωμένης ακτινοβολίας Λείζερ, συνήθως μια δίοδο Λείζερ με μήκος κύματος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κοντά στα 680 νανόμετρα, συνδυαζόμενη με τα κατάλληλα φίλτρα πόλωσης και από ευαίσθητα αισθητήρια αντίχνευσης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, που χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση των αποθηκευμένων δεδομένων.

Η ανάγνωση της πληροφορίας στα μαγνητο-οπτικά μέσα πραγματοποιείται με οπτικό και όχι ηλεκτρομαγνητικό τρόπο. Όταν μια πολωμένη ακτίνα φωτός πέσει κάθετα πάνω σε μια μαγνητισμένη γυαλιστερή επιφάνεια, η ακτινοβολία που επιστρέφει δεν έχει την ίδια πολικότητα με αυτή της πυγής αλλά είναι ελαφρώς περιστραμμένη. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της περιστροφής Κερ (Kerr rotation effect). Παρομοίως, όταν μια ακτίνα λείζερ φωτίζει τα μοτίβα



των αποθηκευμένων δεδομένων ενός μαγνητο-οπτικού δίσκου, η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι ελαφρώς περιστραμμένη, προς τη μια ή προς την άλλη κατεύθυνση αναλόγως της φοράς του μαγνητικού πεδίου του αποθηκευμένου Bit. Η ανακλώμενη ακτινοβολία συλλαμβάνεται από ευαίσθητους οπτικούς αισθητήρες, οι οποίοι ανιχνεύουν και την παραμικρή περιστροφή στην πολικότητα της ανακλώμενης ακτινοβολίας και έτσι γίνεται ο καθορισμός της ψηφιακής ταυτότητας του μαγνητικού πεδίου του μέσου σε 0 και 1.

Λόγο της διαφορετικής προσέγγισης στο μηχανισμό αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων των συσκευών οδήγησης μαγνητο-οπτικών δίσκων, παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ της ταχύτητας εγγραφής και της ταχύτητας ανάγνωσης της πληροφορίας. Η ταχύτητα εγγραφής του μαγνητο-οπτικού δίσκου είναι υποπολλαπλάσια της ταχύτητας ανάγνωσης, γεγονός που οφείλεται στη χρήση 2 περασμάτων (φάσεων περιστροφής του δίσκου) για την εγγραφή της πληροφορίας. Τα περισσότερα συμβατικά συστήματα αποθήκευσης δεδομένων σε μαγνητο-οπτικούς δίσκους, χρησιμοποιούν το πρώτο πέρασμα για τη διαγραφή τυχόν αποθηκευμένων δεδομένων από την επιφάνεια του δίσκου και το δεύτερο πέρασμα για την εγγραφή των νέων. Κατά το πρώτο πέρασμα, τη φάση της διαγραφής, καθώς ο δίσκος περιστρέφεται η ακτίνα λέιζερ θερμαίνει ολόκληρο το ίχνος του δίσκου κάτω από αυτή, ενώ ο στάσιμος ηλεκτρομαγνήτης εγγραφής μαγνητίζει ολόκληρο το ίχνος με το ίδιο μαγνητικό πεδίο. Κατόπιν, στο δεύτερο πέρασμα, τη φάση εγγραφής, το μαγνητικό πεδίο του στάσιμου ηλεκτρομαγνήτη αλλάζει πολικότητα με αποτέλεσμα τα δεδομένα που θα αποθηκευτούν να έχουν αντίθετη μαγνητική πολικότητα από αυτή που απέκτησε το ίχνος του δίσκου κατά τη φάση της διαγραφής. Κατά τη φάση εγγραφής των δεδομένων, η ένταση της ακτινοβολίας λέιζερ πάλλεται κατά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, μεταξύ της ελάχιστης τιμής και της μέγιστης ικανής να θερμάνει την περιοχή αποθήκευσης λίγο πάνω από το σημείο Κιουρί, με αποτέλεσμα να αποτυπώνεται στην επιφάνεια του μέσου το ανάλογο μαγνητικό μοτίβο των δεδομένων προς αποθήκευση. Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται χρήση και τρίτου περάσματος, κατά τη διάρκεια του οποίου επαληθεύονται τα δεδομένα που μόλις αποθηκεύτηκαν.



Εικόνα 96. Κατά τη φάση εγγραφής των δεδομένων η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη αντιστρέφεται και το λέιζερ αναβοσβήνει ώστε να δημιουργηθεί το κατάλληλο μοτίβο

Αυτές οι φάσεις εγγραφής των δεδομένων και σε συνδυασμό με τη μικρότερη ταχύτητα περιστροφής του δίσκου, ώστε να προλαβαίνει το λέιζερ να θερμάνει ως τη θερμοκρασία Κιουρί το υλικό του αποθηκευτικού μέσου, έχουν σαν αποτέλεσμα την πολύ αργή ταχύτητα αποθήκευσης δεδομένων. Με την ταχύτητα ανάγνωσης δεδομένων να κυμαίνεται στα ανεκτά, για πολλές εφαρμογές, επίπεδα των 3 με 5 Megabytes ανά δευτερόλεπτο και χρόνο προσπέλασης στα δεδομένα γύρω στα 60 χιλιοστά του δευτερολέπτου, οι σύγχρονες συσκευές οδήγησης μαγνητο-οπτικών δίσκων αποτελούν μια αρκετά γρήγορη πρόταση αποθηκευτικού μέσου. Ωστόσο, η ταχύτητα εγγραφής των συνηθισμένων συσκευών οδήγησης μαγνητο-οπτικών δίσκων δε ξεπερνά τα 0.8 Megabyte ανά δευτερόλεπτο, τιμή η οποία είναι πολύ χαμηλή για πολλές εφαρμογές, όπως επίσης και πολύ χαμηλότερη από αποθηκευτικά μέσα άλλων τεχνολογιών, όπως οι αφαιρούμενοι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι και οι οπτικοί. Παρόλα αυτά, η αξιοπιστία τους σαν μέσο αποθήκευσης και ο χρόνος ζωής τους, που κυμαίνεται μεταξύ 50 και 100 έτη αποθήκευσης σε συνθήκες δωματίου, αποτελούν τα κυριότερα κίνητρα προτίμησής τους έναντι άλλων μέσων και τα κυριότερα χαρακτηριστικά για τα οποία δεν έχουν εξαφανιστεί από την αγορά μέχρι σήμερα. Σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία της οπτικής και της μαγνητικής αποθήκευσης, εφευρέσεις όπως το μπλε λέιζερ και οι ιπτάμενες οπτικές κεφαλές που ίπτανται στα 30 μικρόμετρα από την επιφάνεια του μέσου, οδήγησαν στην κατασκευή πειραματικών διατάξεων ικανών να αποθηκεύσουν σε ένα δίσκο διαμέτρου 120 χιλιοστών 23 Gigabytes δεδομένων (17 Gigabits / τετραγωνική ίντσα). Ωστόσο οι ερευνητές



υποστηρίζουν πως με τη χρήση ιπτάμενων κεφαλών ικανών να ίπτανται στα 3 μικρόμετρα από την επιφάνεια του μέσου και εξελιγμένων τεχνικών εγγραφής και ανάγνωσης δίσκων όπως της DWDD (Domain Wall Displacement Detection – ανίχνευση της μετατόπισης των τοιχωμάτων των τομέων), είναι δυνατό να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της χωρητικής ικανότητας των μαγνητο-οπτικών μέσων και να φτάσει τα 40 Gigabits ανά τετραγωνική ίντσα, με αποτέλεσμα την κατασκευή μαγνητο-οπτικών δίσκων διαμέτρου 120 χιλιοστών με ικανότητα αποθήκευσης 50 Gigabytes δεδομένων [126].

1.2.1.3 Το μέλλον της μαγνητικής αποθήκευσης και το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο

Είναι γεγονός πως ακόμα και σήμερα η βιομηχανία της μαγνητικής αποθήκευσης βασίζεται στην τεχνολογία που εισήγαγε το 1900 ο εφευρέτης Valdemar Poulsen για τη μαγνητική καταγραφή του ήχου. Δηλαδή, τίποτα περισσότερο από ένα ηλεκτρομαγνήτη ο οποίος ακουμπά ή ίπταται πολύ κοντά σε μια επιφάνεια ικανή να μαγνητίζεται μόνιμα και με την οποία ανταλλάσσουν επαγωγικά τα μαγνητικά τους πεδία. Σίγουρα από τότε μέχρι σήμερα έχουν αλλάξει πολλά, ωστόσο η αρχή λειτουργίας έχει παραμείνει ή ίδια, ακόμα και στους σύγχρονους σκληρούς δίσκους, οι οποίοι λόγω της κατασκευής τους επιδεικνύουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό από οποιοδήποτε άλλο μέσο μαγνητικής αποθήκευσης.

Οι έρευνες για την εξέλιξη της μαγνητικής αποθήκευσης έχουν όλες επικεντρωθεί στο πως να στριμώξουν όλο και περισσότερα δεδομένα σε όσο το δυνατό μικρότερη επιφάνεια αποθηκευτικού μέσου. Για το λόγω αυτό, με το πέρασμα του χρόνου οι κεφαλές εγγραφής και ανάγνωσης κατασκευάζονται όλο και πιο μικρές, η απόσταση πτήσης τους πλησιάζει όλο και περισσότερο την επιφάνεια αποθήκευσής και το υλικό του μέσου αποθήκευσης εμπλουτίζεται με περισσότερα και μικρότερα σιδηρομαγνητικά στοιχεία, για την αύξηση της ανάλυσής του. Με τις παραπάνω τεχνικές, η βιομηχανία της μαγνητικής αποθήκευσης καταφέρνει ακόμα και σήμερα το διπλασιασμό της χωρητικής ικανότητας των μέσων κάθε 18 μήνες, διατηρώντας ωστόσο το

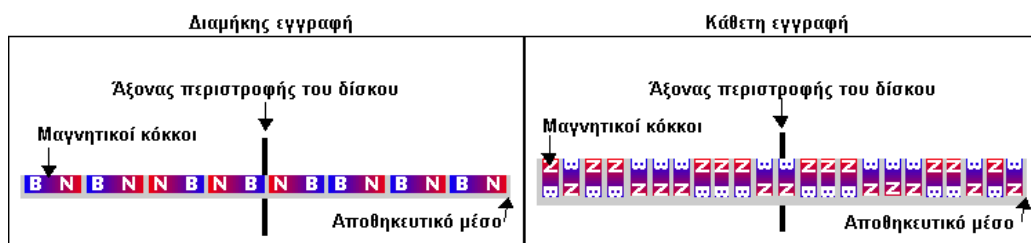
μέγεθός τους σταθερό. Εντούτοις, οι ερευνητές υποστηρίζουν πως το τέλος αυτού του φρενήρη ρυθμού εξέλιξης της μαγνητικής αποθήκευσης φτάνει στο τέλος του, το οποίο ακούει στο όνομα υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο.

Το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενα παρουσιάζεται λόγω της συρρίκνωσης των στοιχειωδών μαγνητικών περιοχών (κόκκων) αποθήκευσης δεδομένων του μέσου, η οποία πραγματοποιείται με σκοπό την αύξηση της χωρητικής του ικανότητας. Το φαινόμενο αυτό εκφράζει την αποσταθεροποίηση της πολικότητας του μαγνητικού πεδίου των μαγνητικών κόκκων του μέσου και έχει ως επακόλουθο την αλλοίωση των αποθηκευμένων δεδομένων. Η αποσταθεροποίηση αυτή συμβαίνει λόγω της μαγνητικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των κόκκων με διαφορετική πολικότητα, η οποία γίνεται όλο και πιο έντονη όσο μειώνεται το μέγεθός τους και συνεπώς η μαγνητική τους χωρητικότητα. Το μέγεθος των κόκκων αυτών καθορίζει την ειδική χωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου, δηλαδή τον αριθμό δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν σε μια τετραγωνική του ίντσα. Σήμερα, οι σύγχρονοι σκληροί δίσκοι έχουν ειδική χωρητική ικανότητα που κυμαίνεται λίγο πάνω από τα 100 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα, η εταιρία Seagate, ήδη από το τρίτο τρίμηνο του 2004, διαθέτει στην αγορά σκληρούς δίσκους με ειδική χωρητική ικανότητα 108 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα. Ωστόσο, εικάζετε από τους επιστήμονες πως με την παρούσα τεχνολογία των σκληρών δίσκων, η ειδική χωρητικότητά τους δε θα ξεπεράσει τα 150 με 200 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα. Από εκεί και πάνω το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο θα είναι τόσο έντονο, που θα επιβάλει στους κατασκευαστές να αλλάξουν τον τρόπο λειτουργίας και κατασκευής των μαγνητικών σκληρών δίσκων του κοντινού μέλλοντος.

Οι υποψήφιες τεχνολογίες που υπόσχονται να ξεπεράσουν το όριο της ειδικής χωρητικότητας των 200 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα και να διαδεχθούν την παρούσα τεχνολογία μαγνητικής αποθήκευσης των σκληρών δίσκων είναι πολλές.

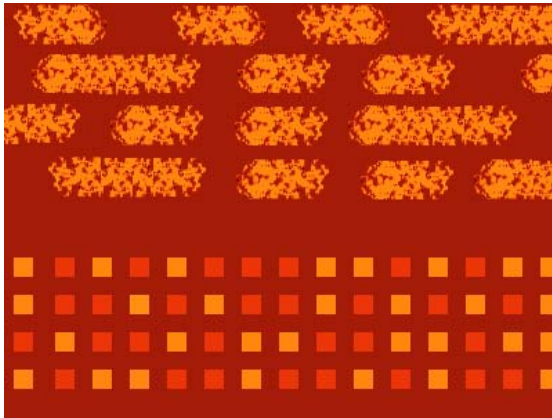
Μια από αυτές τις τεχνολογίες, είναι η χρήση κεφαλών κάθετης εγγραφής και ανάγνωσης των δεδομένων, η οποία υπόσχεται το διπλασιασμό με τετραπλασιασμό της ειδικής χωρητικότητας, που μπορεί να επιτευχθεί με τη

μέθοδο της διαμήκης εγγραφής που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Η πληροφορία στα σημερινά αποθηκευτικά μέσα εκφράζεται από μαγνητικά πεδία τα οποία έχουν προσανατολισμό παράλληλο με την επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου. Στην κάθετη εγγραφή της πληροφορίας, τα μαγνητικά πεδία των δεδομένων έχουν προσανατολισμό κάθετο στην επιφάνεια του μέσου, με αποτέλεσμα να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της επιφανειακής χωρητικότητας του. Ωστόσο, το αποθηκευτικό μέσο πρέπει να είναι ελαφρότερο παχύτερο από πριν, έτσι ώστε ο όγκος των κόκκων και συνεπώς η μαγνητική τους χωρητικότητα, να παραμείνουν τα ίδια [132].



Εικόνα 97. Σχηματική αναπαράσταση του προσανατολισμού των μαγνητικών πεδίων των κόκκων αποθήκευσης κατά τη διαμήκη και κάθετη εγγραφή

Μια άλλη μέθοδο, η οποία υπόσχεται δεκαπλάσια επέκταση των ορίων εμφάνισης του υπερ-παραμαγνητικού φαινομένου, είναι η μαγνητική αποθήκευση σε προ-σκαλισμένα αποθηκευτικά μέσα. Η τεχνική αυτή υπόσχεται την αποθήκευση ενός bit πληροφορίας σε ένα μαγνητικό κόκκο του αποθηκευτικού μέσου, με την προϋπόθεση βέβαια τον ανάγλυφο σχηματισμό του κόκκου στην επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με λιθογραφικές μεθόδους, οι οποίες είναι ακριβείς αλλά οικονομικά ασύμφωρες για τη μαζική παραγωγή μέσων, είτε με τη χρήση κάποιας μήτρας (καλουπιού), όπως ακριβώς γίνεται και στην παραγωγή οπτικών δίσκων, με τη διαφορά πως θα πρέπει αυτή να είναι πολύ πιο λεπτούφης από την αντίστοιχη των οπτικών μέσων, έτσι ώστε να προσφέρει την απαιτούμενη πυκνότητα χαρακτηριστικών [131].



Εγγραφή σε κοινό δίσκο. Τα ίχνη έχουν τυχαία εξάπλωση λόγω της τυχαίας διασποράς των μαγνητικών κόκκων.

Εγγραφή σε δίσκο με προ-σκαλισμένο μοτίβο. Τα ίχνη περιορίζονται στις υπερυψωμένες περιοχές των προ-σκαλισμένων ιχνών.

Εικόνα 98. Σχηματική αναπαράσταση της διασποράς των ιχνών

Άλλη μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, προτεινόμενη από την εταιρία Seagate, είναι αυτή της μαγνητικής εγγραφής υποβοηθούμενης από θερμότητα. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μέσα με πολύ πιο σταθερή μαγνητική σύσταση, όπου οι μαγνητικοί κόκκοι μπορούν να συρρικνωθούν ακόμα περισσότερο χωρίς να εμφανίσουν προβλήματα αποσταθεροποίησης. Ωστόσο, λόγω της σταθερότητας του μέσου, απαιτείται πολύ πιο ισχυρό μαγνητικό πεδίο για την εγγραφή και διαγραφή των δεδομένων από την επιφάνειά του, το οποίο είναι αδύνατο να παραχθεί από της μικροσκοπικές κεφαλές που χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στους μελλοντικούς σκληρούς δίσκους αυτής της τεχνολογίας. Για το λόγω αυτό, η εγγραφή των δεδομένων υποβοηθείται από ακτίνες λέιζερ, οι οποίες θερμαίνουν με ακρίβεια την περιοχή στην οποία θα αποθηκευτούν τα δεδομένα, ώστε να πραγματοποιηθεί η εγγραφή τους ακόμα και με ασθενές μαγνητικό πεδίο, όπως ακριβώς συμβαίνει και στη μαγνητο-οπτική αποθήκευση. Η μέθοδος αυτή υπόσχεται εκατοντάπλασια παράταση του ορίου εμφάνισης του υπερ-παραμαγνητικού φαινομένου, με ύστατο στόχο να επεκτείνει την ειδική χωρητικότητα των μαγνητικών σκληρών δίσκων στα 50 Terabit ανά τετραγωνική ίντσα. Η τεχνολογία αυτή θα κάνει την παρθενική της εμφάνιση κατά το 2010, χρονιά που η εταιρία στοχεύει να παρουσιάσει τον πρώτο της σκληρό δίσκο μαγνητικής αποθήκευσης με ειδική χωρητικότητα 1 Terabit ανά τετραγωνική ίντσα [132].

Στα ερευνητικά εργαστήρια πολλών εταιριών και πανεπιστημίων, εξετάζονται μέθοδοι αποθήκευσης δεδομένων με τη μετακίνηση ατόμων του



αποθηκευτικού μέσου, μια από αυτές είναι και η τεχνολογία MILLIPEDE (μυριόποδο) της εταιρίας IBM, η οποία με τη χρήση μιας ιδιικής κεφαλής με 1024 μικροσκοπικές ακίδες, είναι σε θέση να αποθηκεύσει μέχρι και 400 Gigabit πληροφορίας σε μια τετραγωνική ίντσα [137]. Ωστόσο, οι πιο πρόσφατες έρευνες της IBM στρέφονται προς την ανίχνευση της μαγνητικής πολικότητας μεμονωμένων μαγνητικών ατόμων, η οποία σύμφωνα με μια τελευταία δημοσίευση της εταιρίας έχει ήδη επιτευχθεί [139]. Αυτή η τεχνολογία υπόσχεται αποθηκευτικά μέσα με χωρητική ικανότητα στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας. Ας μη παραλείψουμε όμως πως πριν από 50 χρόνια θα μπορούσε να ειπωθεί το ίδιο και για τη σημερινή τεχνολογία που χρησιμοποιούμε οι περισσότεροι στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές του γραφείου μας.

Οι τεχνολογίες αυτές βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο και ο καιρός που θα καταστούν εμπορικά εκμεταλλεύσιμες και προσιτές σε όλους, είναι ακόμα πολλά χρόνια πιο μπροστά από την εποχή που το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο θα αρχίσει να προκαλεί προβλήματα στο ρυθμό εξέλιξη των σκληρών δίσκων. Παρομοίως, πριν από μια πενταετία εικαζόταν πως το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο θα σταματούσε την εξέλιξη της ειδικής χωρητικότητας των μαγνητικών σκληρών δίσκων στα 40 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα. Σήμερα ωστόσο, βλέπουμε πως η ειδική χωρητικότητα των σκληρών δίσκων οδεύει πέρα από τα 100 και προορίζεται να φτάσει τα 150 Gigabit ανά τετραγωνική ίντσα μέσα στα επόμενα 2 με 3 χρόνια. Το συμπέρασμα είναι πως όσο υπάρχει ζήτηση για όλο και πιο ευρύχωρους, ταχύτερους και συμπαγείς χώρους ψηφιακής αποθήκευσης δεδομένων και όσο η αγορά μπορεί να συντηρήσει την έρευνα ανάπτυξης και εξέλιξης νέων τεχνολογιών, το τέλος του ξέφρενου ρυθμού αύξησης της ειδικής χωρητικότητας των αποθηκευτικών μέσων, το πολύ, να παρουσιάσει μια ελαφριά κάμψη, ωστόσο δε πρόκειται να σταματήσει στα επόμενα 5 με 10 χρόνια, όσο εξωπραγματική και αν δείχνει η υπερπήδηση των εμποδίων που εμφανίζονται προς την πορεία αυτή.

1.2.2 Οπτικά μέσα αποθήκευσης

Σήμερα η έννοια της οπτικής αποθήκευσης παραπέμπει σε συστήματα αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιούν το φως για την αποθήκευση και ανάκτηση της πληροφορίας. Η φωτογραφία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η πρώτη μορφή οπτικής αποθήκευσης πληροφορίας, αφού οι πρώτες φωτογραφίες έκαναν την εμφάνισή τους πριν από 200 χρόνια περίπου. Ωστόσο, η αναλογική αποτύπωση της πληροφορίας που μας προσφέρει η κλασική φωτογραφία έχει περιορισμένες εφαρμογές αποθήκευσης δεδομένων. Από τότε που ανακαλύφθηκε το λέιζερ και εμφανίστηκαν οι πρώτοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, η αποτύπωση ψηφιακής πληροφορίας με τη βοήθεια του φωτός κατέστη πλέον εφικτή.

Η πρώτη οπτική συσκευή ψηφιακή αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων ήταν εφεύρεση της IBM και ονομάζονταν “IBM 1369 Photostore”. Η πληροφορία αποθηκεύονταν σε πλαστικές κάρτες φιλμ με τη βοήθεια μιας ακτίνας ηλεκτρονίων. Η κάθε κάρτα είχε την ικανότητα να αποθηκεύει 4,6 εκατομμύρια bits και η επανεγγραφή ή διαγραφή της ήταν ανέφικτη. Η πρώτη συσκευή κατασκευάστηκε το 1967 και ακολούθησαν άλλες έξι, όλες με προορισμό κυβερνητικές υπηρεσίες και ερευνητικά εργαστήρια πανεπιστημίων, όπου η τεράστια για την εποχή αποθηκευτική ικανότητα δεδομένων της συσκευής ήταν αναγκαία [113].

Πολύ εύλογα θα θεωρούσε κανείς πως αυτή η πρωτογενή συσκευή οπτικής αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων της IBM θα αποτελούσε το θεμέλιο λίθο, πάνω στον οποίο θα οικοδομούνταν η βιομηχανία της οπτικής αποθήκευσης δεδομένων. Ωστόσο ο ασύμφορος και πολύπλοκος τρόπος λειτουργίας της συσκευής και η ασυναγώνιστη για την εποχή αποθηκευτική της ικανότητα, είχαν ως αποτέλεσμα να μείνει η εξέλιξή της στάσιμη. Η μεταγενέστερες συσκευές οπτικής αποθήκευσης είχαν τελείως διαφορετική προσέγγιση στο μηχανισμό αποθήκευσης και ανάκτησης των δεδομένων, αφού η εξέλιξη τους επηρεάστηκε σχεδόν εξ'ολοκλήρου από την ήδη ωριμασμένη τεχνολογία των συσκευών μαγνητικής αποθήκευσης και κυρίως των μαγνητικών δίσκων.

Η πλειοψηφία των συσκευών οπτικής αποθήκευσης που έχουν παρουσιαστεί στην αγορά μέχρι και σήμερα, βασίζονται αποκλειστικά στη



φιλοσοφία της αποθήκευσης σε δίσκο. Επιπλέον, σε εργαστηριακό και ερευνητικό επίπεδο ακόμα, έχουν παρουσιαστή πρωτότυπα οπτικής αποθήκευσης σε οπτική ταινία, όπως επίσης και πειραματικές διατάξεις ολογραφικής και μοριακής οπτικής αποθήκευσης δεδομένων.

1.2.2.1 Οπτικοί δίσκοι

Η ηλεκτρονική οπτική αποθήκευση πληροφορίας έγινε γνωστή στο ευρύτερο κοινό μετά το 1973 με την εμφάνιση του οπτικού δίσκου VLP (Video Long Play - δίσκος αναπαραγωγής βίντεο μεγάλης χρονικής διάρκειας). Οι VLP δίσκοι συνήθως χρησιμοποιούνταν για την αναλογική αποθήκευση εικόνων και βίντεο. Η αποθήκευση της πληροφορίας ήταν εφικτή μέσω εξειδικευμένων και πανάκριβων συσκευών, οι οποίες δεν ήταν προσιτές στον κοινό χρήστη του δίσκου. Ο τελικός χρήστης του VLP δίσκου ήταν σε θέση να παρακολουθήσει τα δεδομένα του δίσκου μέσω της πολύ φτηνότερης συσκευής αναπαραγωγής. Η οπτική αποθήκευση ψηφιακής πληροφορίας βρήκε εμπορική εφαρμογή και κοινοποιήθηκε το 1982 με τη μορφή του οπτικού δίσκου μουσικής CD-DA (Compact Disk – Digital Audio, Συμπαγής Δίσκος – Ψηφιακού Ήχου) από δυο μεγάλες εταιρείες, τη Sony και τη Philips. Ο δίσκος CD-DA πρωτοχρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση ήχου σε ψηφιακή μορφή μέσω εξειδικευμένων και πανάκριβων συσκευών, τις οποίες για ακόμα μια φορά είχαν την ευχέρεια να χρησιμοποιούν οι εκδοτικές εταιρείες. Ο τελικός χρήστης είχε τη δυνατότητα μόνο να ακούσει την προ-αποθηκευμένη μουσική μέσω της κατάλληλης συσκευής, γνωστής σε όλους μας ως CD-Player, χωρίς να του παρέχεται η δυνατότητα να γράψει σε οπτικά δισκάκια τη μουσική της επιλογής του. Κατόπιν, γύρω στο 1985, η συνεργασία της Sony και της Philips οδήγησε στην επέκταση του οπτικού συμπαγή δίσκου για την αποθήκευση δεδομένων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ο οπτικός δίσκος δεδομένων ονομάστηκε CD-ROM (Compact Disk – Read Only Memory, Ψηφιακός Δίσκος – Μνήμης μόνο προς Ανάγνωση) και η αποθήκευση των δεδομένων για ακόμα μια φορά ήταν προνόμιο μόνο των εκδοτικών εταιριών, οι οποίες χρησιμοποιούσαν το μέσο για τη χαμηλού κόστους δημοσίευση λογισμικού για ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Παρόλα αυτά, η μεγάλη αποδοχή του συμπαγή οπτικού δίσκου από το κοινό και η τεράστια εμπορική επιτυχία που γνώρισε σαν μέσο ψηφιακής αποθήκευσης, οδήγησαν πολλές εταιρείες κατασκευής ηλεκτρονικών συσκευών και μέσων αποθήκευσης να συνεργαστούν κάτω από κοινά πλαίσια προτύπων και κανόνων, με αποτέλεσμα να οδηγούν την εξέλιξη της οπτικής αποθήκευσης δεδομένων με πολύ γοργούς ρυθμούς, χωρίς όμως να παρουσιάζονται προβλήματα εμπορικής εκμετάλλευσης και αποδοχής των εξελιγμένων συσκευών και μέσων οπτικής αποθήκευσης δεδομένων από την αγορά.

Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων συστημάτων οπτικής αποθήκευσης και ανάγνωσης ψηφιακών δεδομένων, βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο αντανακλάται μια τεχνητή ακτίνα φωτός από την επιφάνεια του μέσου αποθήκευσης. Ως πηγή φωτός χρησιμοποιούνται συσκευές εκπομπής ακτίνων λέιζερ που είναι γνωστές ως δίοδοι λέιζερ. Η ακτινοβολία λέιζερ είναι η πλέον κατάλληλη για την οπτική αναγνώριση και εγγραφή δεδομένων, για το λόγο ότι παρουσιάζει χαρακτηριστικά τα οποία ακτινοβολίες από φυσικές ή άλλου τύπου τεχνικές πηγές εκπομπής στερούνται. Η ακτινοβολία λέιζερ είναι μια δέσμη φωτός μονοχρωματική, δηλαδή εκπέμπεται σε σταθερό μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο μπορεί να ποικίλει, ανάλογα με την τεχνολογία της πηγής εκπομπής, από 300 μέχρι 2000 νανόμετρα και συντονισμένη, γεγονός που δικαιολογεί την υψηλή ενέργεια που φέρει η ακτίνα λέιζερ. Η δίοδος λέιζερ είναι η τεχνολογία που επέτρεψε την εμπορική εκμετάλλευση της τεχνολογίας οπτικής αποθήκευσης δεδομένων. Τα



πλεονεκτήματα των δίοδων εκπομπής ακτίνων λέιζερ είναι πολλά, τα σημαντικότερα από αυτά είναι το πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής τους, οι χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις τους, η ικανοποιητική ισχύ της παραγόμενης ακτινοβολίας για την εγγραφή και την ανάγνωση πληροφορίας από την επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου, η δυνατότητα εκπομπής ακτινοβολίας



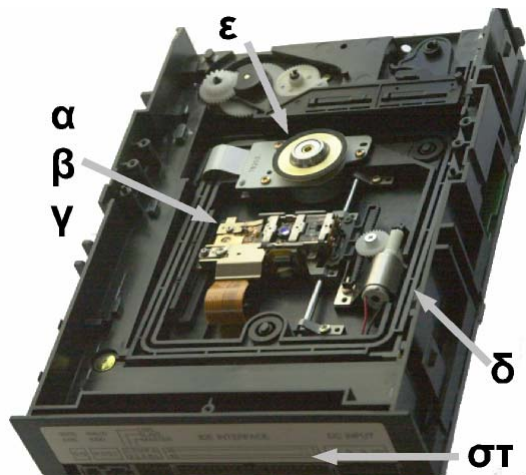
συνεχόμενης ή παλλόμενης ροής, αντίστοιχα για την ανάγνωση ή εγγραφή της πληροφορίας και το πολύ μικρό τους μέγεθος.

Η τυπική διάταξη οπτικής εγγραφής και ανάγνωσης ψηφιακών δεδομένων, που συναντάται στις σύγχρονες συσκευές οπτικής αποθήκευσης, δηλαδή στις συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων, αποτελείται από:

- Την πηγή ακτινοβολίας λέιζερ μεταβλητής ισχύος, η οποία είναι ικανή να επιφέρει, στη μέγιστη ισχύ λειτουργίας της, αλλαγές στη δομή του μέσου αποθήκευσης για την εγγραφή των δεδομένων, όπως επίσης την ικανότητα παροχής ακτινοβολίας συνεχόμενης ροής χαμηλής ισχύος, για την ανάγνωση των δεδομένων από το μέσο χωρίς όμως να προκαλεί τη μεταβολή του.
- Τα κατάλληλα οπτικά για την εστίαση της δέσμης σε όσο το δυνατό μικρότερη περιοχή της επιφάνειας του μέσου αποθήκευσης.
- Τον οπτικό αισθητήρα ανίχνευσης του ποσού της ακτινοβολίας που αντανακλάται από την επιφάνεια του μέσου, για την ανάγνωση των αποθηκευμένων δεδομένων.
- Τη κατάλληλη διάταξη μετακίνησης των παραπάνω (α , β και γ που σχηματίζουν την κεφαλή οπτικής εγγραφής και ανάγνωσης), ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της επιφάνειας του μέσου αποθήκευσης.
- Το μηχανισμό περιστροφής του μέσου, αφού όλες οι συσκευές οπτικής αποθήκευσης δεδομένων που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα βασίζονται στην αρχιτεκτονική του περιστρεφόμενου δίσκου.
- Το ηλεκτρονικό υποσύστημα διασύνδεσης της συσκευής με άλλες συσκευές (interface), όπως για παράδειγμα ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εγγραφείς βίντεο ή δεδομένων κ.α.

Επίσης, η συμβολή της τεχνολογίας των υλικών και μεθόδων κατασκευής των μέσων οπτικής αποθήκευσης είναι εξίσου σημαντική, αφού ήταν ο κύριος παράγοντας που επέτρεψε τη χρήση συσκευών οπτικής αποθήκευσης στο ευρύτερο κοινό. Διαφανή οργανικά υλικά όπως ο πολυανθρακίτης (polycarbonate) αποτελούν το κυριότερο δομικό στοιχείο των οπτικών αποθηκευτικών μέσων, ενώ ειδικές επιστρώσεις από φωτοευαίσθητες οργανικές ενώσεις, παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στα φωτογραφικά φιλμ, με οπτικές

ιδιότητες που καθορίζονται από την ενέργεια του λέιζερ κατά την εγγραφή των δεδομένων, αποτελούν το βασικό μέσο αποθήκευσης.



Εικόνα 99. Τυπική διάταξη συσκευής εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων

Η δομή του τυπικού μέσου οπτικής αποθήκευσης, που δεν είναι άλλο από τον οπτικό δίσκο, απαρτίζεται από τέσσερα βασικά στρώματα. Ξεκινώντας της περιγραφή από την κάτω επιφάνεια του δίσκου, αυτά είναι:

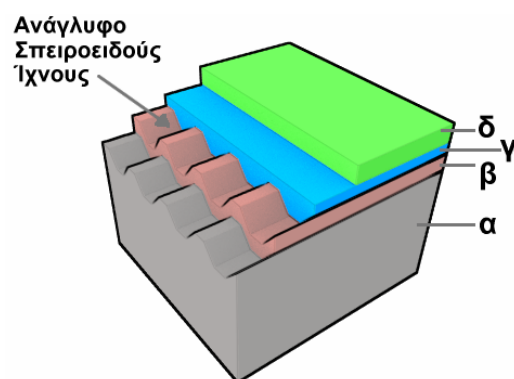
- Το κύριο δομικό στρώμα του δίσκου. Είναι το παχύτερο στρώμα και κατασκευάζεται από πολυανθρακίτη (polycarbonate), ένα στερεό, ανθεκτικό και διαφανές οργανικό υλικό, το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της δέσμης ακτίνων λέιζερ, ενώ ταυτόχρονα προσδίδει στο μέσο άριστη αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις.
- Το στρώμα αποθήκευσης δεδομένων. Είναι ένα λεπτό φωτοευαίσθητο στρώμα, του οποίου η διαύγεια στο φως μεταβάλετε ανάλογα με τη θερμότητα που λαμβάνει από την ακτίνα λέιζερ κατά την εγγραφή των δεδομένων. Αν η θερμοκρασία του υλικού περάσει κάποιο οριακό σημείο, τότε η περιοχή αυτή καθίσταται μόνιμα ημιδιαφανή μέσω μιας χημικής αντίδρασης που ενεργοποιείται με τη θερμοκρασία. Συνεπώς, από την περιοχή που «κάηκε» αντανακλάται λιγότερη ακτινοβολία λέιζερ και με τον τρόπο αυτό καθιστάτε εφικτή η εγγραφή δεδομένων.
- Το στρώμα αντανάκλασης της ακτίνας λέιζερ. Η στρώση αυτή είναι απαραίτητη για την ανάγνωση της γραμμένης πληροφορίας αφού πάνω

της αντανακλάτε σχεδόν ολόκληρη η ακτίνα λέιζερ και επιστρέφει μεταφέροντας την πληροφορία από το στρώμα αποθήκευσης πίσω στην οπτική κεφαλή. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το στρώμα αυτό είναι συνήθως ο αργύρου ή ο χρυσός και ανάλογα με το τι θα χρησιμοποιηθεί ο δίσκος αποκτά το αντίστοιχο χρώμα. Η χρήση ευγενών μετάλλων, όπως ο χρυσός και ο άργυρος, για την κατασκευή του φωτοανακλαστικού στρώματος, εγγυάται την αποφυγή οξείδωσης του αποθηκευτικού μέσου.

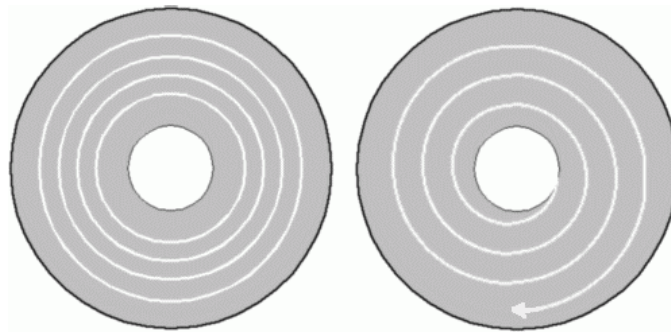
- Το προστατευτικό στρώμα, το οποίο προστατεύει τα δύο προηγούμενα στρώματα από τυχόν αποκόλληση ή εκδορές.

Οι κοινές επιφάνειες των στρωμάτων β , γ και δ δεν είναι λείες αλλά παρουσιάζουν ένα ανάγλυφο αποτελούμενο από διαδοχικές κοιλότητες. Αυτό το ανάγλυφο δημιουργία κατά την κατασκευή του δίσκου, όπου γίνεται η χάραξη του σπειροειδούς ίχνους πάνω στο οποίο θα γράφεται η πληροφορία. Το ίχνος αυτό δημιουργείται έτσι ώστε να μεταβάλλει τη σκέδαση της δέσμης των ακτίνων λέιζερ από την επιφάνεια του δίσκου και με αυτό τον τρόπο αυτό να μεταβάλλει αντίστοιχα την ποσότητα της ακτινοβολίας που επιστρέφει στον οπτικό αισθητήρα ανάγνωσης των δεδομένων.

Σε αντίθεση με τα πρότυπα οργάνωσης της πληροφορίας των μαγνητικών δίσκων σε ίχνη και τομείς, η πληροφορία στην επιφάνεια του οπτικού δίσκου διαμορφώνεται σε σπειροειδή διάταξη. Η εγγραφή των δεδομένων αρχίζει από το εσωτερικό του δίσκου και συνεχίζει τη σπειροειδή της πορεία πάνω στο ίδιο ίχνος μέχρι το εξωτερικό του, ακολουθώντας τη χάραξη του δίσκου.



Εικόνα 100. Τομή κοινού οπτικού δίσκου CD-ROM



Εικόνα 101. Ίχνη ομόκεντρων κύκλων και σπειροειδούς διαμόρφωσης (HD & CD αντίστοιχα)

Κατά τη διάρκεια της εγγραφής των δεδομένων, καθώς αυτά γράφονται στην επιφάνεια του δίσκου πλησιάζοντας στο εξωτερικό του, ο δίσκος επιβραδύνεται ώστε η σχετική ταχύτητα μεταξύ της κεφαλής και του αποθηκευτικού μέσου κάτω από αυτή να είναι πάντα σταθερή. Αυτό είναι αναγκαίο λόγω των περιορισμών που θέτει η κεφαλή εγγραφής αλλά και το μέσο αποθήκευσης. Ο περιορισμός αυτός είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για το κάψιμο του στρώματος αποθήκευσης δεδομένων και είναι αυτός που καθορίζει το μέγιστο ρυθμό εγγραφής των δεδομένων. Ο ίδιος περιορισμός ισχύει και κατά την ανάγνωση των δεδομένων, με τη διαφορά πως αυτή τη φορά ο ρυθμός ανάγνωσης δεν καθορίζεται από το λέιζερ και το μέσο αποθήκευσης αλλά από τον αισθητήρα ανίχνευσης της ανακλώμενης ακτινοβολίας [114].

Οι εμπορικά διαθέσιμες συσκευές οπτικής αποθήκευσης που είναι διαθέσιμες στην αγορά προς το παρόν, είναι όλες βασισμένες στην τεχνολογία της αποθήκευσης σε δίσκο.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές οπτικής αποθήκευσης σε δίσκο, οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς το μέγεθος και δομή του δίσκου, τον τύπο του λέιζερ που χρησιμοποιείται και τα ηλεκτρονικά της αναγνώρισης των δεδομένων και καθοδήγησης της κεφαλής. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε παραλλαγής, ξεκινώντας από την παλαιότερη και καταλήγοντας στην πιο πρόσφατη. Η βασική αρχή λειτουργίας τους παραμένει η ίδια, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω. Ωστόσο σε περίπτωση διαφοροποίησής της, θα δηλώνεται ξεχωριστά ποια είναι αυτή η αλλαγή και θα

διασαφηνίζεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά της συσκευής και των αντίστοιχων μέσων αποθήκευσης.

CD R (Compact Disk Recordable - Συμπαγής Δίσκος Εγγράψιμος):

Ο εγγράψιμος οπτικός δίσκος CD R έκανε την εμφάνισή του γύρω στο 1990 και είναι η τεχνολογία που επέτρεψε τους κοινούς χρήστες Η/Υ να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα της οπτικής αποθήκευσης δεδομένων. Ο χρήστης της τεχνολογίας αυτής έχει στη διάθεσή του μια συσκευή οπτικής αποθήκευσης και ανάγνωσης δεδομένων σε αφαιρούμενους οπτικούς δίσκους, οι οποίοι έχουν πάχους 1,2mm και διάμετρο 12 cm με χωρητική ικανότητα δεδομένων 650 με 700 Megabytes. Στο εμπόριο εκτός των δίσκων διαμέτρου 12 cm κυκλοφορούν δίσκοι διαμέτρου 8 cm με χωρητικότητα 185 Megabytes, όπως επίσης και δίσκοι σε σχήμα και μέγεθος πιστωτικής κάρτας με χωρητικότητα 50 Megabytes. Η πληροφορία γράφεται στο μέσο με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως με τη βοήθεια υπέρυθρης (μήκος κύματος 780 nanόμετρα nm) ακτινοβολίας λέιζερ. Η αποθηκευμένη πληροφορία δεν είναι δυνατό να διαγραφεί από την επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου, με την προϋπόθεση αυτό να επαναχρησιμοποιηθεί όπως ένας κοινός μαγνητικός δίσκος. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων κυμαίνεται από 0,15 και φτάνει μέχρι τα 7,8 Megabytes ανά δευτερόλεπτο, για τις συσκευές οδήγησης απλής και 52πλής ταχύτητας αντίστοιχα, ενώ ο μέσος χρόνος προσπέλασης των δεδομένων κυμαίνεται ανάλογα με τη συσκευή από 80 μέχρι 120 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα στρώμα μόνο στη μια πλευρά του δίσκου, αυτή της ετικέτας και ανάλογα με τις συνθήκες αποθήκευσης και τη μεταχείριση του μέσου, αυτά μπορούν να διατηρηθούν από 5 μέχρι και 100 χρόνια.

CD RW (Compact Disk ReWritable - Συμπαγής Δίσκος Επανεγγράψιμος):

Ο δίσκος CD RW είναι εξέλιξη του CD R με τη διαφορά πως προσφέρει τη δυνατότητα διαγραφής της αποθηκευμένης πληροφορίας και της επανεγγραφής του μέσου. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση ιδιικού μεταλλικού κράματος στο στρώμα αποθήκευσης δεδομένων, το οποίο όταν θερμανθεί από την ακτίνα

λείζερ αλλάζει την κατάστασή του (φάση), με αποτέλεσμα να αλλάζουν και οι οπτικές του ιδιότητες. Θερμαίνοντας το στρώμα αυτό πάνω από το σημείο τήξης του, αυτό χάνει την κρυσταλλική του δομή με αποτέλεσμα να γίνεται αδιαφανές στο σημείο εκείνο και έτσι η ακτίνα λέιζερ να το διαπερνά και να ανακλάται από το επόμενο στρώμα πίσω στον αισθητήρα ανάγνωσης των δεδομένων.

Κατά τη διαγραφή των δεδομένων, η ακτίνα λέιζερ λειτουργεί σε μικρότερο ενεργειακό επίπεδο από αυτό της εγγραφής, καταφέροντας έτσι να θερμάνει το στρώμα αποθήκευσης σε θερμοκρασία ελαφρώς μικρότερη από το σημείο τήξης του και να το υποβάλλει σε ανόπτηση ανακρυστάλλωσης, δηλαδή να επανασηματιστούν οι κρυσταλλικές δομές του υλικού αποθήκευσης. Με τον τρόπο αυτό η επιφάνεια του υλικού του στρώματος αποθήκευσης αποκτά την αρχική της μορφή, η οποία εμποδίζει την ακτίνα λέιζερ να ανακλαστεί από το στρώμα ανάκλασης, και έτσι το μέσο είναι ξανά έτοιμο για την εγγραφή δεδομένων.

DVD R (Digital Versatile Disc Recordable – Εγγράψιμος Ψηφιακός Δίσκος Πολλαπλών Εφαρμογών):

Ο δίσκος DVD είναι ο διάδοχος του CD, εμφανίστηκε στην αγορά το 1996 ως αντικαταστάτης της βιντεοκασέτας και από τότε μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται από τις εκδοτικές εταιρίες για τη φθηνή μαζική διάθεση έργων βίντεο. Ωστόσο η μεγάλη του χωρητική ικανότητα και η συμβατότητα των συσκευών εγγραφή και ανάγνωσης DVD με τους δίσκους CD, κατέστησε τα DVD ως την καλύτερη και οικονομικότερη λύση σποραδικής αποθήκευσης δεδομένων για ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η τεχνολογία των συσκευών ανάγνωσης και εγγραφής δίσκων DVD είναι παρόμοια με αυτή των συσκευών οδήγησης CD. Επίσης, το μέγεθος του δίσκου DVD είναι ίδιο με το μέγεθος του CD, κατά συνέπεια, μια συσκευή εγγραφής και ανάγνωσης DVD έχει την ικανότητα να διαβάσει και να γράψει δίσκους CD το ίδιο εύκολα με τους δίσκους DVD. Οι αλλαγές που ευθύνονται για τη διαφοροποίηση του DVD από το CD έγκεινται στα μικρότερα ίχνη δεδομένων, που αποτυπώνονται στην επιφάνεια του μέσου κατά την εγγραφή, λόγω της χρήσης ακτινοβολίας λέιζερ

με μικρότερο μήκος κύματος από αυτό των CD (630 με 650 nm – κόκκινο φως) και των καλύτερων οπτικών συστημάτων για την εστίασή της, τεχνική που συντέλεσε στην αύξηση της επιφανειακής πυκνότητας του δίσκου. Με τον τρόπο αυτό, στον δίσκο DVD είναι εφικτό να αποθηκευτούν 7 φορές περισσότερα δεδομένα απ' ό τι σε ένα δίσκο CD της ίδιας διαμέτρου. Έτσι η χωρητικότητα σε δεδομένα του κοινού δίσκου DVD πλησιάζει τα 4,7 Gigabytes.

Η χωρητικότητα αυτή αντιπροσωπεύει τους δίσκους DVD μονής όψης και μονής στρώσης δεδομένων, με δομή παρόμοια με αυτή που έχει ο δίσκος CD. Για την περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας σε δεδομένα των δίσκων DVD, η οποία δημιουργήθηκε από την ανάγκη να χωρέσουν περισσότερο των 133 λεπτών βίντεο σε ένα δίσκο DVD, οδήγησε στους δίσκους DVD με διπλό στρώμα δεδομένων. Στους δίσκους DVD διπλού στρώματος, το πρώτο στρώμα ανακλά μερικώς τη δέσμη των ακτίνων λέιζερ, ενώ το δεύτερο την ανακλά πλήρως. Η πρόσβαση στο δεύτερο στρώμα του δίσκου DVD διπλής στρώσης, είναι εφικτή εστιάζοντας τη δέσμη λέιζερ στο κάτω στρώμα, διαπερνώντας το πρώτο στρώμα δεδομένων μερικής ανάκλασης. Επομένως, ο αισθητήρας της ανακλώμενης ακτινοβολίας λέιζερ και συνεπώς των δεδομένων, αντιλαμβάνεται την ακτινοβολία που επιστρέφει από το καλύτερα εστιασμένο στρώμα δεδομένων, λόγω της ισχυρότερης ενέργειας που φέρει. Τα δεδομένα στο δεύτερο στρώμα αποθήκευσης γράφονται από το σημείο που σταμάτησαν τα δεδομένα του πρώτου στρώματος και επομένως η διεύθυνση τους ξεκινά από το εξωτερικό του δίσκου και εξελίσσονται προς το εσωτερικό του. Οι δίσκοι DVD μονής όψης και διπλής στρώσης προσφέρουν χωρητικότητα δεδομένων λίγο μικρότερη από το διπλάσιο του αντίστοιχου δίσκου μονής όψης και μονής στρώσης, περίπου ίση με 8,54 Gigabytes.

Ένα τέχνασμα για την περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας του δίσκου DVD είναι η χρήση και των δύο όψεων του δίσκου για την αποθήκευση δεδομένων. Σαν αποτέλεσμα η χρήση και των δύο όψεων μας δίνει διπλάσια χωρητικότητα δεδομένων, η οποία καθορίζεται από τη χρήση μονής ή διπλής στρώσης δεδομένων στα 9,4 και 17 Gigabytes αντίστοιχα. Ωστόσο η παραγωγή δίσκων διπλής όψης είναι δυσκολότερη και δεν υπάρχει χώρος στην επιφάνεια

τους για τη συμβατική ετικέτα, η οποία περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή στο κέντρο του δίσκου. Άλλη μια ιδιοτροπία των δίσκων διπλής όψης είναι πως η χρήση τους απαιτεί συσκευές ικανές να διαβάζουν και τις δύο πλευρές του δίσκου, ή την επέμβαση του χρήστη για τη χειροκίνητη αλλαγή της πλευράς του δίσκου.

DVD RW, RAM (*Digital Versatile Disc, ReWritable, Random Access Memory – Επανεγγράψιμος, Μνήμης Τυχαίας Προσπέλασης, Ψηφιακός Δίσκος Πολλαπλών Εφαρμογών*):

Ο επανεγγράψιμος δίσκος DVD βασίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας που βασίζεται και ο δίσκος CD RW, με τη μόνη διαφορά στην αύξηση της επιφανειακής χωρητικής ικανότητας του δίσκου, που επέφερε η τεχνολογική υπεροχή της οπτικής κεφαλής των DVD. Προς το παρόν δεν έχουν εμφανιστεί επανεγγράψιμοι δίσκοι διπλής όψης ή και διπλής στρώσης, ακόμα πιο απίθανο αν αναλογιστεί κανείς τον τρόπο που αποθηκεύονται και διαγράφονται τα δεδομένα στους επανεγγράψιμους δίσκους. Έτσι, ο κοινός επανεγγράψιμος δίσκος DVD είναι σε θέση να χωρέσει περίπου τον ίδιο όγκο δεδομένων με ένα κοινό δίσκο DVD μονής στρώσης και μονής όψης. Στην αγορά κυκλοφορούν πολλοί τύποι επανεγγράψιμων δίσκων DVD, αυτοί είναι οι δίσκοι +RW, -RW και -RAM έχοντας ο καθένας τους δικούς του υποστηρικτές, που αποτελούνται από συννομοσπονδίες μεγάλων εταιριών κατασκευής όπως η Hitachi, Sony, Yamaha, Pioneer κ.α. Τυπικά να αναφερθεί πως οι δίσκοι DVD RAM εμπεριέχονται σε προστατευτικό πλαστικό κέλυφος (δισκέτα) και για το λόγο αυτό η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε ειδικές συσκευές που δέχονται τέτοιου είδους δισκέτες. Οι διαφορές μεταξύ των υπόλοιπων επανεγγράψιμων δίσκων DVD είναι μηδαμινές και οι περισσότερες συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης DVD είναι συμβατές και με τους δύο τύπους.

Οπτικοί δίσκοι WORM (*Write Once Read Many - Μονής Εγγραφής Πολλαπλής Ανάγνωσης*) διαφορετικής φόρμας:

Πολλοί κατασκευαστές συσκευών οπτικής αποθήκευσης δεδομένων, με σκοπό να ικανοποιήσουν τις αποθηκευτικές ανάγκες απαιτητικών χρηστών,

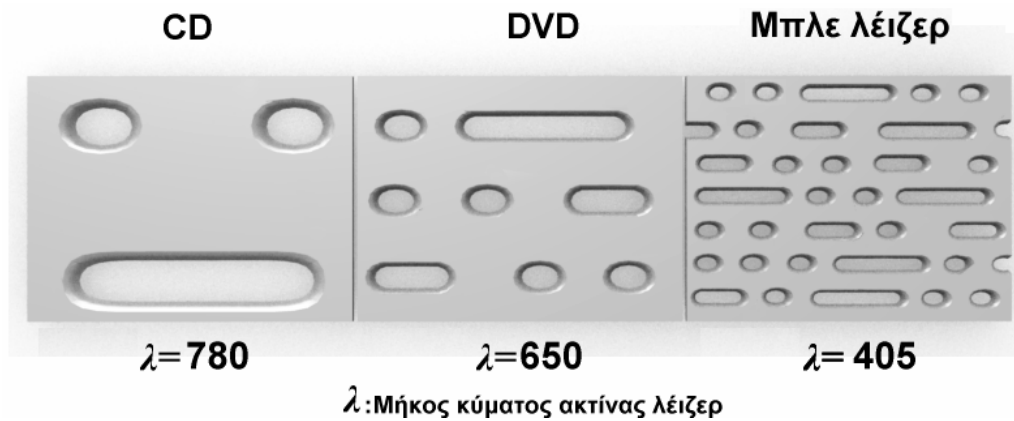
δημιούργησαν οπτικές συσκευές και μέσα πέρα από τους περιορισμούς που έθεταν τα πρότυπα του CD και του DVD.

Βασιζόμενοι στην ήδη υπάρχουσα τεχνολογία οπτικής αποθήκευσης, κατασκεύασαν συστήματα με χωρητική ικανότητα μεγαλύτερη από αυτή που μπορούσαν να προσφέρουν τα CD ή τα DVD. Έτσι, αυξάνοντας τη διάμετρο του μέσου ή και βελτιώνοντας την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης της συσκευής, προσφέρονται λύσεις οπτικής αποθήκευσης δεδομένων, των οποίων η χωρητική ικανότητα σε ψηφιακά δεδομένα ξεκινά από 1 με 2 Gigabytes, για δίσκους των 3,5 και 5,25 ιντσών και ξεπερνά τα 20 και 30 Gigabytes για δίσκους των 12 και 14 ιντσών. Ωστόσο το κόστος τέτοιων λύσεων, λόγω μικρής ζήτησης και περιορισμένης παραγωγής, είναι αρκετά μεγαλύτερο ανά μονάδα Megabyte σε σύγκριση με τους κοινά αποδεκτούς οπτικούς δίσκους.

Αποθήκευση σε οπτικούς δίσκους με μπλε λέιζερ:

Η νέα γενιά συσκευών και μέσων οπτικής αποθήκευσης σε δίσκο, η οποία θα αντικαταστήσει τους δίσκους DVD, είναι οι συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων με χρήση ακτίνας λέιζερ μπλε χρώματος, δηλαδή με μήκος κύματος από 370 έως 520 νανόμετρα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η τεχνολογία αυτή είναι η φυσική εξέλιξη του DVD, η οποία επηρεάστηκε ευεργετικά από την εξέλιξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών εκπομπής λέιζερ.

Η χρήση ακτίνας λέιζερ μικρότερου μήκους κύματος επιτρέπει τη συρρίκνωση του ίχνους που καταλαμβάνουν τα δεδομένα πάνω στην επιφάνεια του μέσου και συνεπώς συντελεί στην αύξηση της χωρητικής ικανότητας σε δεδομένα του μέσου. Μειώνοντας το μήκος κύματος της δέσμης λέιζερ από τα 650 στα 405 νανόμετρα είναι δυνατό να αυξηθεί η χωρητική ικανότητα του συμβατικού οπτικού δίσκου κατά 2,6 φορές. Σε συνδυασμό με ισχυρότερους φακούς για την εστίαση του λέιζερ πάνω στην επιφάνεια του μέσου, οι συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης σε οπτικούς δίσκους με διάμετρο 12 cm και χωρητική ικανότητα άνω των 20 Gigabytes είναι πλέον πραγματικότητα [220].



Εικόνα 102. Η εξέλιξη των οπτικών δίσκων και η αύξηση της χωρητικότητας τους (σηματική αναπαράσταση της επιφανειακής πυκνότητας σε ίχνη δεδομένων, που επιτυγχάνεται με τη χρήση ακτίνας λέιζερ μικρότερου μήκους κύματος και καλύτερων οπτικών για την εστίασή της) [220]

1.2.2.2 Οπτικές ταινίες

Η οπτική αποθήκευση δεδομένων σε ταινία είναι παραλλαγή της αποθήκευσης σε μαγνητικές ταινίες, η οποία ξεκίνησε ερευνητικά ως μια προσπάθεια κατασκευής αφαιρούμενων αποθηκευτικών μέσων με τεράστια χωρητικότητα δεδομένων, η οποία θα ξεκινά από μερικές εκατοντάδες Gigabytes στοχεύοντας να ξεπεράσει τα 1000. Η αρχή λειτουργίας των οπτικών ταινιών είναι παρόμοια με αυτή των μαγνητικών ταινιών. Η κύρια διαφορά τους έγκειται πως η εγγραφή και ανάγνωσή της οπτικής ταινίας πραγματοποιείται με τη βοήθεια ακτίνων λέιζερ από μια οπτική κεφαλή και όχι με μαγνητικά πεδία όπως συνηθίζεται στις μαγνητικές ταινίες.

Η οπτική ταινία δεν είναι καινούργια τεχνολογία. Έχει ιστορία εξέλιξης περίπου 40 χρόνων και στην αγορά κατά καιρούς είχαν κάνει την εμφάνισή τους συσκευές και μέσα οπτικής εγγραφής δεδομένων σε ταινίες, από λίγες εταιρίες που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα. Ωστόσο το υπερβολικά μεγάλο κόστος της συσκευής και του μέσου αποθήκευσης, όπως επίσης και η σχετικά ανώριμη τεχνολογία, η οποία στερείται σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, περιορίσαν τη χρήση τους σε πολύ λίγες εφαρμογές. Παρά την εμπορική αποτυχία των πρώτων συστημάτων οπτικής αποθήκευσης σε ταινία, η έρευνα για την εξέλιξή τους δε σταμάτησε. Οι οπτικές ταινίες προορίζονται να αντικαταστήσουν τις μαγνητικές ταινίες στα επόμενα 10 χρόνια, αφού ήδη η

μαγνητική αποθήκευση πλησιάζει στα όριά της λόγω του υπέρ-παραμαγνητικού φαινομένου [221].

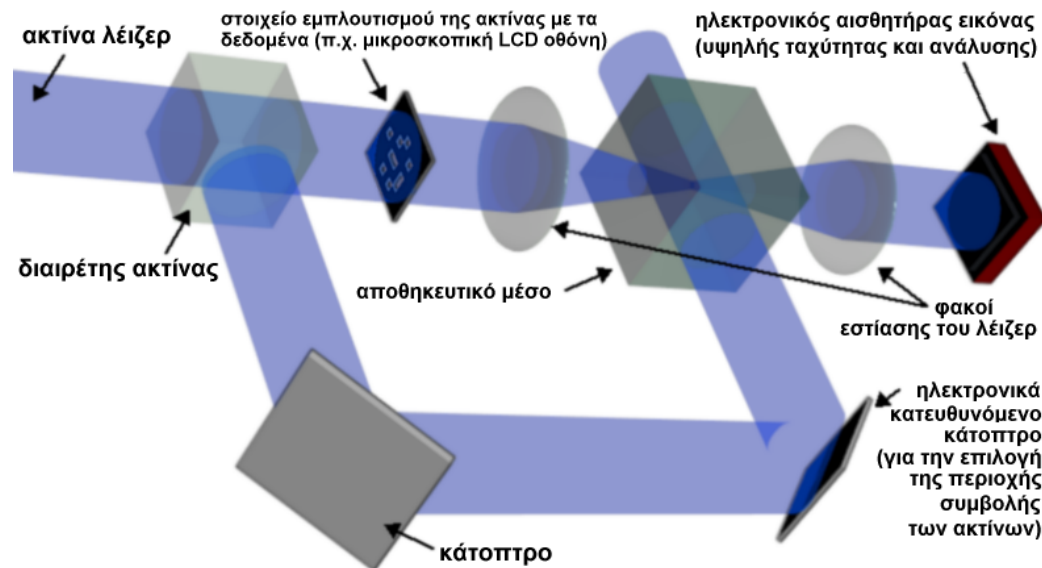
1.2.2.3 Το μέλλον της οπτικής αποθήκευσης

Στα ερευνητικά κέντρα μεγάλων εταιριών και πανεπιστημίων, το μέλλον της αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων διαγράφεται κυριολεκτικά λαμπρό. Καθώς η μαγνητική αποθήκευση απειλείται από το υπερ-παραμαγνητικό φαινόμενο, η οπτική αποθήκευση δεδομένων φαίνεται να αποτελεί τη λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης και διατήρησης του ολοένα αυξανόμενου όγκου πληροφορίας που παράγεται ανά την υφήλιο. Τεχνολογίες οπτικής αποθήκευσης όπως η ολογραφική, η ογκομετρική με φθορισμό, η κοντινού πεδίου, η σιδηρο-ηλεκτρική μοριακή, είναι μερικές από τις τεχνολογίες που θα παραλάβουν τη σκυτάλη της οπτικής αποθήκευσης από τη σημερινή συμβατική τεχνολογία της επιφανειακής αποθήκευσης σε προ-χαραγμένους οπτικούς δίσκους.

Στόχος των νέων τεχνολογιών οπτικής αποθήκευσης είναι η όσο το δυνατό μεγαλύτερη συρρίκνωση των bits, αλλά και η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του φυσικού όγκου του αποθηκευτικού μέσου.

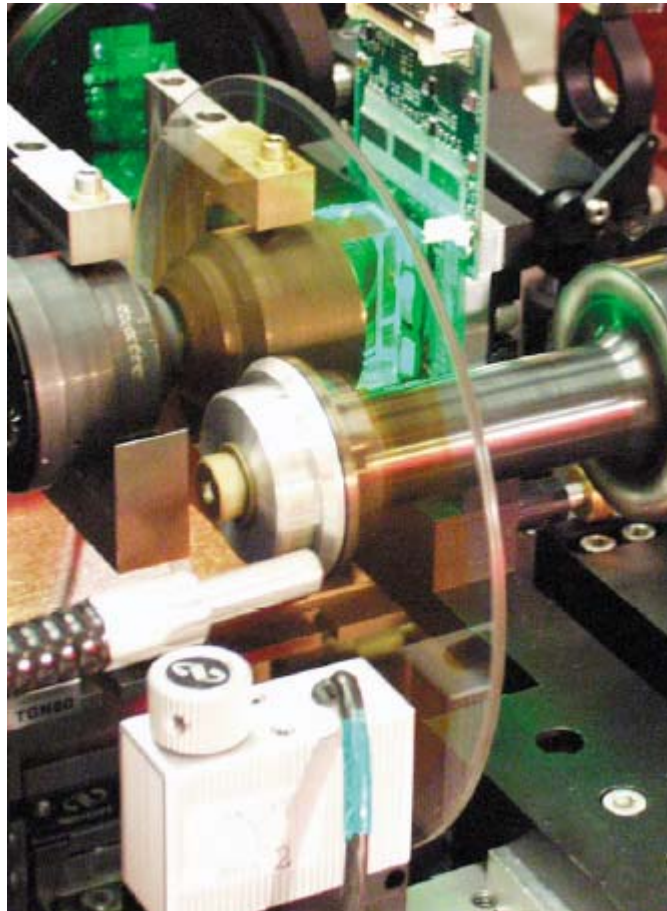
Η ολογραφική αποθήκευση δεδομένων έχει τις βάσεις της στην οπτική θεωρία της συμβολής των ακτίνων λέιζερ. Τα δεδομένα αποθηκεύονται μέσω της ακτινοβολίας λέιζερ στο εσωτερικό του μέσου αποθήκευσης, το οποίο είναι κατασκευασμένο από οργανικό φωτο-πολυμερές υλικό ή ανόργανο κρύσταλλο. Κατά την ολογραφική αποθήκευση δεδομένων, μια δέσμη λέιζερ διαιρείται σε 2 ακτίνες, η μία εκ των οποίων φωτίζει την περιοχή του αποθηκευτικού μέσου, ενώ η δεύτερη, αφού πρώτα λάβει την πληροφορία προς αποθήκευση περνώντας μέσα από μια οθόνη υγρών κρυστάλλων, ή κάποια άλλη συσκευή μορφοποίησης της ακτίνας λέιζερ, κατευθύνεται στην περιοχή του μέσου που φωτίζει η πρώτη δέσμη. Στο σημείο συνάντησης των δύο ακτίνων, το φωτοευαίσθητο υλικό του μέσου αποθήκευσης μεταβάλλεται αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο, ανάλογα με τους κροσσούς συμβολής που δημιουργούνται από τη συμβολή των δύο ακτίνων. Για την ανάγνωση των

αποθηκευμένων δεδομένων, μια δέσμη ακτίνων λέιζερ εστιάζεται στην περιοχή του μέσου όπου έχουν αποθηκευτεί τα δεδομένα και κατόπιν, έχοντας την πληροφορία από τα δεδομένα, προβάλλεται πάνω σε έναν αισθητήρα εικόνας (κάμερα) [127].



Εικόνα 103. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της ολογραφικής αποθηκευτικής συσκευής [127]

Η ολογραφική αποθήκευση είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία η οποία θα προσφέρει ευμεγέθεις αποθηκευτικούς χώρους, σε συνδυασμό με πολύ υψηλές ταχύτητες πρόσβασης και μεταφοράς δεδομένων. Ωστόσο, η τεχνικομηχανική (hardware) σύνθεση των συσκευών ολογραφικής αποθήκευσης είναι πολύ προηγμένη και ακριβή, με αποτέλεσμα η μαζική τους παραγωγή να καθυστερήσει αρκετά. Οι ερευνητές υποθέτουν πως οι πρώτες συσκευές ολογραφικής αποθήκευσης θα κάνουν την εμφάνισή τους μετά από 10 χρόνια, εποχή που η συμβατική οπτική αποθήκευση με χρήση μπλε ακτίνων λέιζερ θα φτάνει στα όριά της [128].



Εικόνα 104. Πειραματική διάταξη ολογραφικής αποθήκευσης σχεδιασμένη και κατασκευασμένη από ερευνητές του πανεπιστημίου Stanford των Η.Π.Α. [127]

Η ογκομετρική αποθήκευση με φθορισμό είναι μια παραλλαγή της συμβατικής τεχνολογίας οπτικής αποθήκευσης, που χρησιμοποιείται σήμερα στις συσκευές εγγραφής και ανάγνωσης οπτικών δίσκων τύπου CD/DVD, και πιθανότατα η τεχνολογία που θα παραλάβει τη σκυτάλη μετά τους δίσκους μπλε ακτίνων λέιζερ. Η διαφοροποίησή της σε σχέση με τη συμβατική οπτική τεχνολογία απαντάται κυρίως στον τρόπο αντίχτυσης της αποθηκευμένης πληροφορίας, ο οποίος δεν βασίζεται στην αντανάκλαση της ακτίνας λέιζερ από κάποιο ανακλαστικό στρώμα κάτω από τα δεδομένα, αλλά στο φως που παράγεται από τον φθορισμό των δεδομένων, λόγω χρήση ιδικών φθορίζων υλικών κατασκευής του μέσου αποθήκευσης. Η τεχνολογία αυτή, λόγω της έλλειψης των ανακλαστικών επιφανειών και της διαφανούς φύσης των υλικών κατασκευής του μέσου, επιτρέπει τη δημιουργία δίσκων με περισσότερα των 2 στρωμάτων αποθήκευσης δεδομένων, χαρακτηριστικό που πρωτοεμφανίστηκε

στους δίσκους DVD. Τα πρώτα δισκάκια που θα πρωτοεμφανιστούν στην αγορά θα έχουν 10 στρώματα αποθήκευσης και διάμετρο 12 εκατοστά και θα είναι ικανά να αποθηκεύουν 140 Gigabytes δεδομένων, χωρίς να απαιτούν την αλλαγή της πλευράς του δίσκου όπως συμβαίνει με τους δίσκους DVD των 4 στρωμάτων (διπλής στρώσης, διπλής πλευράς) [128].

Άλλη μια υποψήφια τεχνολογία οπτικής αποθήκευσης του κοντινού μέλλοντος είναι η οπτική αποθήκευση κοντινού πεδίου. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο φαινόμενο κοντινού πεδίου, που δημιουργείται όταν η ακτίνα λέιζερ, που χρησιμοποιείται για την εγγραφή της πληροφορίας, περάσει μέσα από μια οπή με μέγεθος μικρότερο από το μήκος κύματος της. Έτσι είναι εφικτό να σμικρυνθεί ακόμα περισσότερο το ίχνος που καταλαμβάνει στην επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου ένα Bit δεδομένων, φτάνοντας σε επίπεδο που το μέγεθος του να είναι υποπολλαπλάσιο του μήκους κύματος της ακτίνας λέιζερ εγγραφής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη χρήση της συμβατικής τεχνολογίας οπτικής αποθήκευσης, το ελάχιστο μέγεθος του ίχνους που καταλαμβάνει ένα Bit αποθηκευμένης ψηφιακής πληροφορίας στην επιφάνεια του μέσου αποθήκευσης, καθορίζεται από το μήκος κύματος της ακτίνας λέιζερ της αποθηκευτικής συσκευής [129].

Η σιδηροηλεκτρική μοριακή οπτική αποθήκευση είναι μια τεχνολογία αποθήκευσης δεδομένων σε μοριακό επίπεδο, η οποία αν και σε θεωρητικό στάδιο ακόμα, υπόσχεται οπτικούς δίσκους των 3,5 ιντσών με χωρητική ικανότητα 10 Terabytes, διάρκεια ζωής 100 χρόνια και 400.000 φορές ταχύτερη πρόσβαση στα δεδομένα σε σχέση με τη σημερινή τεχνολογία οπτικής αποθήκευσης. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται πάνω σε θεωρίες κβαντομηχανικής που διατυπώθηκαν από τον Αϊνστάιν και τον Πλανκ και αφορούν τη αλληλεπίδραση μεταξύ φωτονίων ηλεκτρονίων και άλλων στοιχειώδεις σωματιδίων της ύλης. Με αυτή τη μέθοδο ψηφιακής αποθήκευσης, τα δεδομένα θα αποθηκεύονται στη λεπτή επιφάνεια του μέσου, η οποία θα απαρτίζεται από σιδηρομαγνητικούς νανοκρυστάλλους περοβσκίτη, με τη βοήθεια υπερύδους ακτινοβολίας λέιζερ και την εφαρμογή κατάλληλων ηλεκτρικών πεδίων. Η ανάγνωση των δεδομένων θα πραγματοποιείται και πάλι με τη χρήση υπερύδους ακτινοβολίας λέιζερ, αυτή τη φορά όμως χαμηλότερης



ισχύος, η οποία ανακλώμενη από την επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου, θα ανιχνεύεται από ένα νανοοπτικό ημιαγωγό (τρανζίστορ) [132].

1.2.3 Αποθηκευτικά μέσα στερεάς κατάστασης

Τα αποθηκευτικά μέσα στερεής κατάστασης είναι συσκευές αποθήκευσης δεδομένων κλειστού τύπου, χωρίς κινούμενα μέρη, στις οποίες τα δεδομένα αποθηκεύονται ηλεκτρονικά σε κυκλώματα μνήμης, παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων πριν και μετά την επεξεργασία τους από τον κεντρικό επεξεργαστή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, κοινός γνωστός και ως RAM (Random Access Memory – Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης) [140].

Η κύρια διαφοροποίησή της μνήμης που χρησιμοποιείται στα αποθηκευτικά μέσα στερεής κατάστασης, σε σχέση με τη μνήμη RAM που χρησιμοποιείται σήμερα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, έγκειται στο χαρακτηριστικό της να διατηρεί τα αποθηκευμένα σε αυτή δεδομένα και μετά την παύση τροφοδοσίας της με ηλεκτρική ενέργεια. Αντιθέτως, η μνήμη RAM των ηλεκτρονικών υπολογιστών χάνει τελείως το περιεχόμενό της, όταν αυτή δε τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια. Η διαφοροποίηση αυτή ήταν η αιτία χαρακτηρισμού της κοινής μνήμης RAM σε ασταθή μνήμη και της μνήμης που διατηρεί τα δεδομένα της χωρίς τη σπατάλη επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, σε μη ασταθή μνήμη.

Τα πλεονεκτήματα των αποθηκευτικών μέσων στερεής κατάστασης έναντι των συμβατικών αποθηκευτικών μέσων όπως οι σκληροί και οι οπτικοί δίσκοι είναι πολλά. Μερικά από αυτά είναι η μεγάλη τους αντοχή σε ισχυρά χτυπήματα, δονήσεις και πτώσεις, οι χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία τους, το μικρό τους μέγεθος και βάρος σαν αποθηκευτική συσκευή και μέσο αποθήκευσης ταυτόχρονα, η υψηλή ταχύτητα πρόσβασης στα δεδομένα τους και η αθόρυβη λειτουργία τους. Ωστόσο η μικρή τους χωρητική ικανότητα και το υψηλό τους κόστος σε σχέση με αυτή, καθιστά τα αποθηκευτικά μέσα στερεής κατάστασης μια αρκετά ακριβή λύση και

περιορίζει τη χρήση τους μόνο σε ιδικές εφαρμογές, κυρίως όπου απαιτείται μια φορητή, ελαφριά και ενεργειακά οικονομική αποθηκευτική συσκευή.

Η πρώτη μορφή μη ασταθούς μνήμης εμφανίστηκε το 1967 στη μορφή της μνήμης μόνο για ανάγνωση (ROM - Read Only Memory). Το μειονέκτημα της μνήμης ROM είναι πως για την αποθήκευση των δεδομένων απαιτείται ιδικός εξοπλισμός, ενώ η διαγραφή της ήταν αδύνατη. Το 1971 ένας νέος τύπος μνήμης ROM έκανε την εμφάνισή του, ο οποίος είχε την ιδιότητα να χάνει τα δεδομένα του μετά την έκθεσή του σε υπεριώδη ακτινοβολία. Συνεπώς, η χρήση ιδικού εξοπλισμού για την εγγραφή και διαγραφή της μνήμης αυτού του τύπου ήταν για ακόμα μια φορά αναγκαία. Ωστόσο, το 1983 πρωτοπαρουσιάστηκε ένας νέος τύπος μη ασταθούς μνήμης ROM, ο οποίος είχε την ιδιότητα να χάνει τα δεδομένα του ηλεκτρονικά. Έτσι η εγγραφή και διαγραφή των δεδομένων μπορούσε πια να γίνει, μέσω ιδικού λογισμικού, από την ίδια τη συσκευή που κάνει χρήση της μνήμης αυτής, χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Η μνήμη αυτού του τύπου ονομάστηκε EEPROM (Electronic Erasable Programmable ROM – ηλεκτρονικά ικανή να σβηστεί προγραμματιζόμενη ROM) και η διαγραφή της επιτυγχάνονταν με την εφαρμογή του κατάλληλου ηλεκτρικού πεδίου σε κάθε ένα από τα κελιά δεδομένων, γεγονός που την καθιστούσε πολύ αργή για πολλές εφαρμογές. Οι κατασκευαστές γρήγορα αντιλήφθηκαν τα πολλά πλεονεκτήματα της επανεγγράψιμης μη ασταθούς μνήμης και έτσι ανταποκρίθηκαν στο πρόβλημα της μικρής ταχύτητας διαγραφής των μνημών EEPROM, παρουσιάζοντας μια παραλλαγή τους, η οποία έχει το χαρακτηριστικό να σβήνονται τα δεδομένα της αστραπιαία. Προς χάριν της ιδιότητας αυτής, ο συγκεκριμένος τύπος μη ασταθούς μνήμης ονομάστηκε «μνήμη αστραπή» (Flash Memory) [113],[114].

1.2.3.1 Flash Memory (“Μνήμη Αστραπή”)

Η μνήμη φλας αποτελεί σήμερα το πιο διαδεδομένο αποθηκευτικό μέσο στερεής κατάστασης και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές. Από κοινές ηλεκτρονικές συσκευές όπως οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, τα PDA (Personal Digital Assistant – Προσωπικός Ψηφιακός Βοηθός), οι

προσωπική ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι παιχνιδομηχανές κλπ., μέχρι και σε ιδικό εξειδικευμένο εξοπλισμό για την καταγραφή δεδομένων για επιστημονικές και στρατιωτικές εφαρμογές.

Οι απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής υπαγορεύουν την επιλογή του κατάλληλου τύπου μνήμης φλας. Προς το παρόν υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμοι τέσσερις διαφορετικοί τύποι μνήμης φλας, ο καθένας εκ των οποίων παρουσιάζει τις ανάλογες ιδιότητες. Αυτοί οι τύποι είναι [157]:

- *NOR*. Η μνήμη φλας τύπου NOR είναι μια από τις προγενέστερες του είδους, η οποία, αν και ενεργειακά πιο απαιτητική σε σχέση με τις άλλες μορφές μνήμης φλας, παρουσιάζει γρήγορες επιδόσεις στην εγγραφή και ανάγνωση των δεδομένων. Ωστόσο το μεγάλο μέγεθος των αποθηκευτικών της στοιχείων και η δυσκολία που παρουσιάζεται στην αύξηση της χωρητικότητας τους, έχουν περιορίσει τη χωρητικότητα στο πλαίσιο μεταξύ 64 Kilobytes με 8 Megabytes.
- *NAND*. Είναι μνήμες ανθεκτικές και ενεργειακά οικονομικές, οι οποίες απαρτίζονται από αποθηκευτικά στοιχεία μικρού μεγέθους και απαντώνται σε πακέτα χωρητικότητας από 500 Kilobytes μέχρι 8 Megabytes. Ωστόσο υστερούν στις επιδόσεις τους, λόγω του σειριακού τρόπου πρόσβασης στα δεδομένα.
- *DINOR*. Πρωτοπαρουσιάστηκαν από την Mitsubishi, είναι αρκετά γρήγορες στην πρόσβαση και διαγραφή των αποθηκευμένων δεδομένων, έχουν μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η χωρητικότητά τους προς το παρόν κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 Megabytes.
- *AND*. – Είναι η μνήμη που συνδυάζει κάποια από τα καλά χαρακτηριστικά των μνημών τύπου NAND και NOR. Πρωτοπαρουσιάστηκε από τη Hitachi και χαρακτηρίζεται από την υψηλή ταχύτητα διαγραφής και τυχαίας προσπέλασης των δεδομένων, τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό της μέγεθος και τη μεγάλη χωρητικότητά της. Χρησιμοποιείται ευρέως σε συσκευές μεγάλης χωρητικότητας, η οποία ξεκινά από τα 32 Megabytes και να φτάνει μέχρι και μερικά Gigabytes.

Στο εμπόριο οι μνήμες φλας είναι διαθέσιμη σε διάφορα πακέτα, από διάφορες εταιρίες και το καθένα με τα ανάλογα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Παρά τις ομοιότητες στον τρόπο λειτουργίας τους και τα ίδια δομικά τους στοιχεία, οι διάφορες μορφές μνήμης φλας που κυκλοφορούν στο εμπόριο διαφέρουν στον τρόπο διασύνδεσης και επικοινωνίας με τη συσκευή που έχει ανάγκη τον αποθηκευτικό τους χώρο, όπως επίσης και στις επιδόσεις, το μέγεθος και τη χωρητικότητα τους. Τα πιο διαδεδομένα μέσα μη ασταθούς μνήμης είναι:

**Compact Flash**

Διαστάσεις: 36mm μήκος, 43mm πλάτος, πάχος 3,3mm (τύπος I) και 5,5mm (τύπος II).

Χωρητικότητα: 8 MB -8 GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 2 – 20 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 0,05 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

**DiskOnChip**

Διαστάσεις: 43mm μήκος, 18mm πλάτος, 6mm πάχος.

Χωρητικότητα: 16 MB -1 GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 0,6–1,1 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: <0,03 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

**Flash Disk**

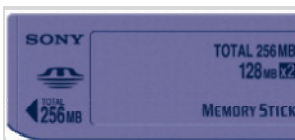
Διαστάσεις: 100mm μήκος, 70mm πλάτος, 10-40mm πάχος.

Χωρητικότητα: 128 MB -90 GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 40–100 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: <0,02 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

**Memory Stick**

Διαστάσεις: 21.5mm μήκος, 50mm πλάτος, 2,8mm πάχος.

Χωρητικότητα: 8 MB -4 GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 1 – 20 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 0,07

Τύπος μνήμης: NAND



Διαστάσεις: 32mm μήκος, 24mm πλάτος, πάχος 1,4mm.

Χωρητικότητα: 8 MB -512 MB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 2 – 3 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 0,08

Τύπος μνήμης: NAND

Multimedia Card (MMC)



Διαστάσεις: 85,6mm μήκος, 54mm πλάτος, πάχος 3,3mm (τύπος I) 5mm (τύπος II) 10,5mm (τύπος III).

Χωρητικότητα: 8 Megabytes -8 Gigabytes.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 16-20MB/sec

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 2-400 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

PCMCIA disk



Διαστάσεις: 32mm μήκος, 24mm πλάτος, πάχος 2,1mm.

Χωρητικότητα: 8 MB -2GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 2-10 MB/sec.

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων:

Τύπος μνήμης: NAND

Secure Digital



Διαστάσεις: 45mm μήκος, 37mm πλάτος, 0,76mm πάχος.

Χωρητικότητα: 2 MB -512 MB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων:

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 0,05 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

Smart Media



Διαστάσεις: 90mm μήκος, 30mm πλάτος, 12mm πάχος.

Χωρητικότητα: 2 MB -1 GB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 0,5-15MB/sec

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων:

Τύπος μνήμης: NAND

USB stick



Διαστάσεις: 20mm μήκος, 25mm πλάτος, 1,7mm πάχος.

Χωρητικότητα: 2 MB -512 MB.

Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων: 1-15MB/sec

Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων: 0,01 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Τύπος μνήμης: NAND

xD Memory

1.2.3.2 Σιδηροηλεκτρική μνήμη (FeRAM)

Η σιδηροηλεκτρική μνήμη FeRAM (Ferro-electric Random Access Memory – Σιδηροηλεκτρική μνήμη τυχαίας προσπέλασης) πιθανότατα να αποτελέσει τον αντικαταστάτη της μνήμης φλας στο πολύ κοντινό μέλλον. Είναι μη ασταθής μνήμη, η οποία σε σχέση με τη μνήμη τύπου φλας είναι πολύ πιο γρήγορη, η ταχύτητά της πλησιάζει αυτή της μνήμης DRAM, όπως επίσης και πολύ πιο ενεργειακά οικονομική. Οι ιδιότητές της αυτές την καθιστούν ιδανική λύση αποθήκευσης για φορητές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες.

Στη μνήμη αυτού του τύπου η πληροφορία αποθηκεύεται με τη χρήση σιδηροηλεκτρικών κρυστάλλων, στους οποίους όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο, τότε το κεντρικό άτομο τους μετακινείται προς αυτό, ανάλογα με την πολικότητα του. Με τη διακοπή του ηλεκτρικού πεδίου, το κεντρικό άτομο δεν αλλάζει θέση και με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η αποθήκευση της πληροφορίας [141].

1.2.3.3 Μαγνητική μνήμη (MRAM)

Η μαγνητική μνήμη MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory – Μαγνητοανθεκτική Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης) είναι μια νεοεμφανιζόμενη τεχνολογία πρωτογενούς αποθήκευσης δεδομένων, στην οποία η αποθηκευμένη πληροφορία έχει τη μορφή μαγνητικών πεδίων. Δεν είναι όμως η πρώτη φορά που χρησιμοποιούνται μαγνητικά πεδία για την πρωτογενή αποθήκευση δεδομένων. Οι μαγνητικοί κύλινδροι, που εμφανίστηκαν το 1950, ήταν οι πρώτες συσκευές πρωτογενούς αποθήκευσης δεδομένων που έκαναν χρήση μαγνητικών πεδίων για την έκφραση των αποθηκευμένων δεδομένων. Ωστόσο η αργή τους απόκριση στις κλήσεις του κεντρικού επεξεργαστή ήταν η κυριότερη αιτία εξαφάνισής τους. Οι συστοιχίες ζευγών ημιαγωγού ή τρανζίστορ και πυκνωτή είχαν τη δυνατότητα να τροφοδοτούν πολύ γρηγορότερα τον κεντρικό επεξεργαστή με δεδομένα και έτσι επικράτησαν έναντι των μαγνητικών κυλίνδρων, παρά το μεγάλο τους μειονέκτημα να χάνεται το περιεχόμενό τους όταν σταματήσει η τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια.



Οι ημιαγωγοί μνήμης που χρησιμοποιούνται σήμερα στους περισσότερους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι τύπου ασταθούς μνήμης και για τη διατήρηση των πληροφοριών τους απαιτούν τη συνεχή τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που τους καθιστά ενεργειακά απαιτητικούς. Σε συσκευές όπου είναι επιθυμητή η αποθήκευση πληροφορίας και η διατήρησή της χωρίς την περαιτέρω σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα σε φορητές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες, γίνεται χρήση μη ασταθούς μνήμης (flash memory) η οποία είναι πολύ πιο αργή από την ασταθή μνήμη (ram), αλλά μπορεί να διατηρεί για μερικά χρόνια τα δεδομένα που αποθηκεύονται σε αυτή, χωρίς την ανάγκη τροφοδοσίας της με ηλεκτρική ενέργεια.

Η μαγνητική μνήμη έρχεται να προσφέρει λύση στο πρόβλημα της ταχύτατης μόνιμης αποθήκευσης δεδομένων, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα της ασταθούς και της μη-ασταθούς μνήμης σε ένα νέο είδος μικροτσιπ αποθήκευσης. Τα μικροτσιπ μαγνητικής μνήμης έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των μικροτσιπ μνήμης ασταθούς και μη ασταθούς (φλας) τύπου. Το κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι η ικανότητα να διατηρούν τα αποθηκευμένα δεδομένα τους χωρίς να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια, με αποτέλεσμα να τις καθιστούν περισσότερο αξιόπιστες και λιγότερο απαιτητικές σε ηλεκτρική ενέργεια από τις μνήμες ασταθούς τύπου. Επίσης θα παρουσιάζουν παρόμοια πυκνότητα δεδομένων με τις ασταθείς μνήμες τύπου DRAM, όπως επίσης και την ιδιότητα να στοιβάζονται πολλαπλά στρώματα μαγνητικής μνήμης στο ίδιο πακέτο, με επακόλουθο την περαιτέρω συμπύκνωση του φυσικού όγκου που καταλαμβάνουν τα δεδομένα. Όσον αφορά την ταχύτητα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων που θα επιδεικνύει η μαγνητική μνήμη, εικάζεται από τις κατασκευάστριες εταιρίες πως αυτή θα ξεπερνά κατά πολύ αυτή της μνήμης DRAM.

Η μαγνητική μνήμη είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, αφού τα πολυαναμενόμενα χαρακτηριστικά της θα οδηγήσουν στην εμφάνιση νέου τύπου ηλεκτρονικών συσκευών, οι οποίες θα έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγάλο όγκο δεδομένων ταχύτατα και χωρίς την απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τη διατήρησή του. Στο πολύ κοντινό μέλλον, η χρήση της μαγνητικής μνήμης στους προσωπικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές θα έχει ως

αποτέλεσμα την αποφυγή της χρονοβόρου διαδικασίας που λαμβάνει μέρος κατά την εκκίνηση και τερματισμό της λειτουργίας του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Έτσι με το που θα τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα ο ηλεκτρονικός μας υπολογιστής θα έρχεται σε πλήρη λειτουργική κατάσταση μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου, όπως συμβαίνει και με το ραδιόφωνο ή την τηλεόραση. Συνάμα, θα μπορούμε να θέσουμε τον υπολογιστή εκτός λειτουργίας χωρίς να ανησυχούμε για την εγγραφή των αρχείων της εργασίας μας στον σκληρό δίσκο, αφού η κύρια μνήμη του υπολογιστή δε θα χάνει τα δεδομένα της και έτσι την επόμενη φορά που θα τον θέσουμε σε λειτουργία όλα θα είναι έτσι όπως τα αφήσαμε πριν διακόψουμε τη λειτουργία του. Η ιδιότητα αυτή της μαγνητικής μνήμης δεν έχει στόχο μόνο την άνεση του χρήστη, ταυτόχρονα αποσκοπεί και στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, από την απαλλαγή της χρονοβόρου διαδικασίας μεταφοράς δεδομένων, απαραίτητων για τη λειτουργία του ηλεκτρονικού υπολογιστή, από την αργή μόνιμη μνήμη (σκληρό δίσκο) στην ταχύτερη προσωρινή (ασταθή μνήμη τύπου DRAM), αλλά και από τη συνεχή τροφοδοσία της με ηλεκτρική ενέργεια, για τη διατήρησή τους [143].

1.2.3.4 *Ovonic Unified Memory (OUM)*

Η μνήμη OUM είναι μια διαφορετική προσέγγιση στη δημιουργία μη ασταθούς μνήμης υψηλής ταχύτητας, η οποία βασίζεται στην αρχή λειτουργίας των επανεγγράψιμων οπτικών δίσκων. Παρά το ότι ακόμα βρίσκεται σε θεωρητικό επίπεδο και δεν έχει κατασκευαστεί κάποιο πρωτότυπο, τα χαρακτηριστικά της αναμένονται αρκετά ελκυστικά. Τα βασικότερα από αυτά είναι: η μεγάλη ταχύτητα πρόσβασης και ανάκτησης των δεδομένων, η οποία αν και δε θα φτάνει την ταχύτητα της μνήμης MRAM ωστόσο θα είναι αρκετά γρήγορη και κατάλληλη για πολλές εφαρμογές, το μικρό κόστος κατασκευής, η μεγάλη αντοχή στη συνεχόμενη χρήση, το μικρό τους μέγεθος και πολλά άλλα που αναμένετε να δούμε στο κοντινό μέλλον [142].

1.2.4 Συγκρίσεις μεταξύ συσκευών και μέσων

Πίνακας XXIII. Συνοπτικός πίνακας των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διαθέσιμων μέσων ψηφιακής αποθήκευσης

Μέσο	Τρόπος Αποθήκευσης	Υπέρ	Κατά
Σκληρός Δίσκος	Μαγνητικός	<ul style="list-style-type: none"> Χωρητικότητα Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Σχετικά χαμηλό κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων (IDE) Επανεγγραφή για απεριόριστες φορές Αξιοπιστία 	<ul style="list-style-type: none"> Απώλεια των δεδομένων τόσο από εσφαλμένη χρήση όσο και από βλάβη στο λογισμικό ή τον τεχνικομηχανικό εξοπλισμό. Ευπάθεια στα μαγνητικά πεδία
Αφαιρούμενος Μαλακός Δίσκος	Μαγνητικός	<ul style="list-style-type: none"> Μέτρια ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Επανεγγραφή για απεριόριστες φορές Φορητό μέσο χαμηλού κόστους Κόστος συσκευών οδήγησης Επανεγγραφή για απεριόριστες φορές 	<ul style="list-style-type: none"> Χωρητικότητα Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Αξιοπιστία Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων Ευπάθεια στα μαγνητικά πεδία Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου
Αφαιρούμενος Σκληρός Δίσκος	Μαγνητικός	<ul style="list-style-type: none"> Χωρητικότητα Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Αξιοπιστία Φορητό μέσο σχετικά χαμηλού κόστους Μέτριο κόστος συσκευών οδήγησης Επανεγγραφή για απεριόριστες φορές 	<ul style="list-style-type: none"> Ευπάθεια στα μαγνητικά πεδία Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου
Μαγνητική Ταινία	Μαγνητικός	<ul style="list-style-type: none"> Χωρητικότητα Μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Αξιοπιστία Φορητό μέσο σχετικά χαμηλού κόστους Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων 	<ul style="list-style-type: none"> Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Κόστος συσκευών οδήγησης Ευπάθεια στα μαγνητικά πεδία Επανεγγραφή για απεριόριστες φορές (ωστόσο δε συνιστάτε λόγο της φθοράς του μέσου από την επαφή του με την κεφαλή εγγραφής και ανάγνωσης) Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου
Μαγνητο-οπτικός Δίσκος	Μαγνητικός (Οπτικά Υποβοηθούμενος) Οπτική ανάγνωση	<ul style="list-style-type: none"> Μέτρια Χωρητικότητα Μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Μέτρια Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Αξιοπιστία Φορητό μέσο σχετικά χαμηλού κόστους Απάθεια στα μαγνητικά πεδία 	<ul style="list-style-type: none"> Κόστος συσκευών οδήγησης Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου
Οπτικός Δίσκος CD R/RW	Οπτικός	<ul style="list-style-type: none"> Μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Μέτρια Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων Διάρκεια ζωής των δεδομένων Αξιοπιστία Φορητό μέσο χαμηλού κόστους Απάθεια στα μαγνητικά πεδία Κόστος συσκευών οδήγησης Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων 	<ul style="list-style-type: none"> Χωρητικότητα Επανεγγραφή (αδύνατη για του δίσκους τύπου R, μέχρι λίγες χιλιάδες φορές για τους δίσκους RW) Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου

Μέσο	Τρόπος Αποθήκευσης	Υπέρ	Κατά
Οπτικός Δίσκος DVD R/RW	Οπτικός	<ul style="list-style-type: none"> • Μέτρια Χωρητικότητα • Μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων • Μέτρια Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων • Διάρκεια ζωής των δεδομένων • Αξιοπιστία • Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων • Φορητό μέσο χαμηλού κόστους • Απάθεια στα μαγνητικά πεδία • Κόστος συσκευών οδήγησης 	<ul style="list-style-type: none"> • Επανεγγραφή (αδύνατη για του δίσκους τύπου R, μέχρι λίγες χιλιάδες φορές για τους δίσκους RW) • Ευπάθεια στην πολύωρη έκθεση στο ευθύ φως του ήλιου
Μνήμη Flash	Στερεής κατάστασης	<ul style="list-style-type: none"> • Μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων • Ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων • Μέτρια διάρκεια ζωής των δεδομένων • Φορητό μέσο • Απάθεια στα μαγνητικά πεδία • Αξιοπιστία 	<ul style="list-style-type: none"> • Χωρητικότητα • Κόστος ανά χωρητικότητα δεδομένων • Ευπάθεια στα πολύ ισχυρά ηλεκτροστατικά πεδία

1.2.5 Διασυνδετικές διατάξεις μεταξύ αποθηκευτικών συσκευών και υπολογιστικών συστημάτων (Διεπαφή – Interfacing)

Ο τρόπος με τον οποίο διασυνδέονται οι διάφορες αποθηκευτικές συσκευές με τα διάφορα υπολογιστικά συστήματα, είναι ουσιαστικής σημασίας για την απόδοσή τους. Η ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ τους καθίσταται εφικτή μέσω αυτής της διάταξης διασύνδεσης των δύο συσκευών, η οποία και καθορίζει την μέγιστη δυνατή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, που μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ της αποθηκευτικής συσκευής και του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Υπάρχουν πολλά ήδη διασυνδετικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του ηλεκτρονικού υπολογιστή και της συσκευής αποθήκευσης. Αυτά μπορεί να προορίζονται είτε για διασύνδεση γενικής χρήσης, όπως για παράδειγμα για τη διασύνδεση εκτυπωτών, ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών κλπ., είτε για διασύνδεση ιδικής χρήσεως, όπως για παράδειγμα για σύνδεση σκληρών δίσκων, οδηγών οπτικών δίσκων κ.α. Οι περισσότερες συσκευές αποθήκευσης συνδέονται με ένα υπολογιστικό σύστημα μέσω των διασυνδετικών διατάξεων ιδικής χρήσεως, ωστόσο υπάρχουν πολλές αποθηκευτικές συσκευές που έχουν τη δυνατότητα είτε να συνδεθούν απευθείας μέσω γενικής χρήσης διασυνδετικής διάταξης, είτε μέσω της χρήσης ιδικού μετατροπέα τύπου διασύνδεσης. Ο κάθε τρόπος διασύνδεσης παρουσιάζει τα



δικά του χαρακτηριστικά, που αφορούν την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, την ιδιότητα αλλαγής/ αφαίρεσης της αποθηκευτικής συσκευής ενώ λειτουργεί η συσκευή στην οποία είναι συνδεδεμένη, όπως επίσης και τον αριθμό των συσκευών που μπορούν να βρίσκονται συνδεδεμένα ταυτόχρονα μέσω του ίδιου διασυνδεδετικού συνδέσμου.

Στην κατηγορία των γενικής χρήσης διατάξεων διασύνδεσης, οι πιο διαδεδομένες είναι η θύρα USB και η Firewire (IEEE 1394), ενώ προγενέστερες θύρες όπως η παράλληλη, έχουν εγκαταλειφθεί εδώ και καιρό λόγω της πολύ αργής δια-μεταγωγής δεδομένων που παρουσιάζουν. Οι θύρες αυτές επιτρέπουν τη εύκολη και γρήγορη εξωτερική διασύνδεση περιφερειακών συσκευών, χωρίς την ανάγκη πρόσβασης στα ενδότερα του συστήματος που θα τις φιλοξενήσει [147].

USB (Universal Serial Bus): Η θύρα USB αποσκοπεί στη φτηνή και εύκολη διασύνδεση μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών, με ταχύτητες που κυμαίνονται από 0,2 με 1,5 Megabytes το δευτερόλεπτο και θεωρητικά φτάνουν, στην έκδοση 2, μέχρι τα 60 Megabytes το δευτερόλεπτο. Η επικοινωνία γίνεται σειριακά με δύο κανάλια και προς τις δύο κατευθύνσεις, ενώ τα δεδομένα μετακινούνται είτε συγχρονισμένα, με κάποια σταθερή αναλογία δεδομένων ανά μονάδα χρόνου, είτε ασυγχρόνιστα, όταν δηλαδή δεν υπάρχει κάποια σταθερή ροή δεδομένων. Ο μέγιστος αριθμός συσκευών που μπορούν να συνδεθούν σειριακά, η μια πίσω από την άλλη, στον ίδιο σύνδεσμο ανέρχεται στις 127, ενώ το μέγιστο μήκος καλωδίου μεταξύ των συσκευών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 μέτρα.

Firewire IEEE 1394: Η θύρα firewire είναι και αυτή σειριακή δίοδος επικοινωνίας υψηλών επιδόσεων, η οποία προσφέρει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 12,5 μέχρι 50 Megabytes το δευτερόλεπτο, ενώ στη δεύτερη έκδοση της, η ταχύτητα δια-μεταγωγής δεδομένων έχει διπλασιαστεί, με το μέγιστο ρυθμό να φτάνει τα 100 Megabytes το δευτερόλεπτο. Μεταγενέστερες εκδόσεις της τεχνολογίας αυτής υπόσχονται ταχύτητες που θα πλησιάζουν τα 400 MB το δευτερόλεπτο σε αποστάσεις μέχρι και 100 μέτρα, κάνοντας χρήση

πλαστικής οπτικής ίνας. Προς το παρόν, αυτός ο τρόπος επικοινωνίας επιτρέπει τη σύνδεση σε σειρά μέχρι και 7 συσκευών, ενώ με διακλαδώσεις μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 63 περιφερικές συσκευές, με 4,5 μέτρα μέγιστο μήκος καλωδίου ανάμεσά τους.

Όσον αφορά την κατηγορία των ιδιικής χρήσης διατάξεων διασύνδεσης, οι επιλογές με προσανατολισμό στην αποθήκευση δεδομένων είναι τέσσερις. Από την ταχύτερη στην γρηγορότερη και κατά συνέπεια από την φτηνότερη στην ακριβότερη οι διαθέσιμες λύσεις είναι:

IDE/ATA (Integrated Drive Electronics/Advanced Technology Attachment):

Χρησιμοποιείται ειδικά για τη σύνδεση οδηγών δίσκων και άλλων αποθηκευτικών συσκευών σε συμβατικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή συσκευές συμβατές με το πρότυπο IDE. Υποστηρίζει τη σύνδεση μόνο μέχρι 2 συσκευών σε σειρά, οι οποίες συνδέονται στο ίδιο καλώδιο, μέγιστου μήκους περίπου μισού μέτρου. Το καλώδιο αυτό απαρτίζεται από 40 αγωγούς, ή 80 στις τελευταίες εκδόσεις, από τους οποίους μεταφέρονται παράλληλα 16 bits πληροφορίας, χαρακτηριστικό στο οποίο οφείλεται και η εναλλακτική ονομασία της τεχνολογίας αυτής ως Παράλληλη - Parallel ATA. Η αρχική έκδοση της τεχνολογίας αυτής προσέφερε μέγιστη ταχύτητα δια-μεταγωγής δεδομένων της τάξεων των 4 Megabytes / δευτερόλεπτο, μεταγενέστερες εκδόσεις της έχουν την ικανότητα μεταφοράς από 16 μέχρι και 133 Megabytes σε ένα δευτερόλεπτο [133].

SATA (Serial Advanced Technology Attachment): Είναι η τεχνολογία η οποία θα αντικαταστήσει αυτή του παράλληλου ATA. Προσφέρει ταχύτερη μεταφορά δεδομένων, παρά τη σειριακή μεταφορά τους, η οποία ξεκινά από τα 150 Megabytes το δευτερόλεπτο και προορίζεται να φτάσει τα 300 την περίοδο 2005 – 2006. Η συνδεσμολογία επιτυγχάνεται μέσω ενός πολύ λεπτότερου και μακρύτερου καλωδίου, το οποίο αντί για 40 αγωγούς έχει 7 και το μέγιστο μήκος του μπορεί να φτάσει το 1 μέτρο. Παρά το μειονέκτημα πως η σύνδεση περισσότερων της μιας συσκευής σε ένα καλώδιο είναι αδύνατη, η ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων παρουσίασης προβλημάτων λόγω



λανθασμένης συνδεσμολογίας, το οποίο ήταν πολύ συχνό φαινόμενο στη διασύνδεση τύπου ATA, το αντισταθμίζει. Επίσης ένα μεγάλο πλεονέκτημα της διασύνδεσης SATA, είναι η ιδιότητα της ζεστής αλλαγής (hot-swap), δηλαδή την αλλαγή του σκληρού δίσκου χωρίς να απαιτείται η διακοπή λειτουργίας του υπολογιστή που τον χρησιμοποιεί. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική για εφαρμογές όπου η απρόσκοπτη λειτουργία του υπολογιστή είναι ζωτικής σημασίας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα σε εξυπηρετητές βάσεων δεδομένων, δικτύου κλπ. [134].

SCSI (Small Computer System Interface): Τεχνολογία διασύνδεσης «έξυπνων» συσκευών, όπως σκληροί δίσκοι, οδηγοί οπτικών δίσκων, εκτυπωτές κλπ., με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο διασύνδεσης μέσω παράλληλης διάδου επικοινωνίας, το οποίο δεν εξαρτάται από τον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος στο οποίο θα συνδεθούν οι περιφερικές συσκευές. Το βασικότερο χαρακτηριστικό της διασύνδεσης τύπου SCSI, είναι η ικανότητα επικοινωνίας των περιφερειακών συσκευών με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο είναι συνδεδεμένες, χωρίς την ανάγκη μεσολάβησης του κεντρικού επεξεργαστή, αφού η επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών διευθύνεται από τους ενσωματωμένους μικροεπεξεργαστές του τεχνικομηχανικού εξοπλισμού διασύνδεσης.

Πίνακας XXIV. Διάφορες εκδόσεις της τεχνολογίας SCSI

Έκδοση	Μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων Megabytes/δευτερόλεπτο	Εύρος διάδου παράλληλης μεταφοράς δεδομένων (Bits)	Μέγιστο μήκος καλωδίου (μέτρα)			Μέγιστος αριθμός συσκευών στην ίδια υποδοχή
			Μονής κατάληξης	Διαφορικού σήματος χαμηλής τάσης	Διαφορικού σήματος υψηλής τάσης	
SCSI-1	5	8	6	-	25	8
Fast SCSI	10	8	3	-	25	8
Fast Wide SCSI	20	16	3	-	25	16
Ultra SCSI	20	8	1,5 - 3	-	25	4-8
Wide Ultra SCSI	40	16	1,5 - 3	-	25	4-16
Ultra2 SCSI	40	8	-	12	25	8
Wide Ultra2 SCSI	80	16	-	12	25	16
Ultra3 SCSI ή Ultra160	160	16	-	12	-	16
Ultra320 SCSI	320	16	-	12	-	16

Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά τη διασύνδεση τύπου SCSI την καλύτερη λύση για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων, για το λόγο ότι δε δεσμεύεται η

επεξεργαστική ισχύς του κεντρικού επεξεργαστή, για την επικοινωνία του υπολογιστή με της περιφερικές συσκευές του. Η τεχνολογία διασύνδεσης SCSI πρωτοπαρουσιάστηκε το 1981 και η εξέλιξή της μέχρι σήμερα έχει να παρουσιάσει ποικίλες εκδόσεις του προτύπου αυτού, οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα XXIV [146].

SA-SCSI (Serial Attached Small Computer System Interface): Είναι η λογική εξέλιξη της τεχνολογίας διασύνδεσης SCSI, η οποία από την τελευταία της έκδοση Ultra320 δύσκολα μπορεί να εξελιχθεί περαιτέρω, έτσι ώστε να συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό η αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων που έχει επιδείξει μέχρι σήμερα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό βρίσκεται στη δυσκολία ταυτόχρονης λήψης και συγχρονισμού των ηλεκτρικών σημάτων που εκφράζουν τα δεδομένα, από τους 16 παράλληλους φέροντες αγωγούς που χρησιμοποιούνται από το πρότυπο Ultra320 SCSI, το οποίο, για να το επιτύχει στους ρυθμούς που λειτουργεί, ήδη κάνει χρήση ιδικών ηλεκτρονικών διατάξεων που ανεβάζουν το κόστος υπερβολικά. Έτσι, ακολουθώντας τα χνάρια της τεχνολογίας SATA, παρουσιάστηκε το 2003 η αντίστοιχη τεχνολογία για το πρότυπο SCSI με το όνομα SA-SCSI η οποία ωστόσο ακόμα δεν έχει κάνει την εμφάνισή της στην αγορά. Η ομοιότητές στον τρόπο λειτουργίας της με την τεχνολογία SATA είναι πολλές, η σημαντικότερη δε, είναι η χρήση των ίδιων υποδοχών και συνδέσμων για τη φυσική σύνδεση των συσκευών. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται, τουλάχιστον σε φυσικό επίπεδο, συμβατότητα μεταξύ των προτύπων SA-SCSI και SATA. Έτσι θα είναι δυνατή η χρήση και των δύο προτύπων διασύνδεσης στο ίδιο σύστημα, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης διαφορετικών υποδοχέων για την υποστήριξη και των δύο προτύπων. Ο τρόπος διασύνδεσης είναι σειριακός όπως στην περίπτωση SATA, ωστόσο η αποστολή και η λήψη των δεδομένων μπορεί να γίνεται παράλληλα και όχι μόνο προς τη μια κατεύθυνση τη φορά όπως συμβαίνει με το SATA (Full Duplex αντί για Half Duplex), με μέγιστη ταχύτητα διακίνησης δεδομένων που θα ξεκινά από τα 375 Megabytes το δευτερόλεπτο με στόχο τα 750 [148].



FC (Fibre Channel): Είναι η ακριβότερη και γρηγορότερη λύση διασύνδεσης μεταξύ υπολογιστών και περιφερειακών συσκευών. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται σειριακά, όμως και προς τις δυο κατευθύνσεις ταυτόχρονα (Duplex), με τη χρήση οπτικών ινών ή καλωδίων χαλκού. Σαν αποτέλεσμα επιτυγχάνεται μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, από 100 μέχρι 250 Megabytes το δευτερόλεπτο και αναμένετε να φτάσει τα 500 σύντομα. Εκτός από την υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα όπως: μήκος καλωδίου σύνδεσης περιφερικών από 15 μέτρα (χάλκινο καλώδιο) μέχρι 10 χιλιόμετρα (οπτική ίνα), δυνατότητα σύνδεση στην ίδια υποδοχή μέχρι και 127 συσκευές σε σειρά ή με διακλαδώσεις, η οπτική ίνα είναι αναισθητή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και συνεπώς παρουσιάζει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, συμβατότητα με το πρότυπο Parallel SCSI, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη διασύνδεση υπολογιστών (δίκτυο υπολογιστών), ικανότητα παράλληλου συνδυασμού περισσότερων του ενός διόδων για πολλαπλασιασμό των επιδόσεων κ.α. [144].

Πίνακας XXV. Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών διασυνδετικών διατάξεων

Τύπος	Μέγιστη ταχύτητα μεταφορά δεδομένων (MB/δευτ.)	Μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά κανάλι	Μέγιστο μήκος καλωδίου σύνδεσης (μέτρα)	Τοποθέτηση συσκευών ΕΣ: εσωτερική ΕΞ: εξωτερική	Δυνατότητα ανταλλαγής εν ώρα λειτουργίας (Hot-swappable)
USB	1,5 (έκδοση1) – 60(έκδοση2)	127	5	ΕΞ	NAI
FireWire	50(έκδοση 1)-100(έκδοση 2)	63	4,5	ΕΞ	NAI
IDE/ATA	100 – 133	2	0,5	ΕΣ	OXI
SATA	150(έκδοση 1) - 300(έκδοση2)	1	1(έκδοση1)-6(έκδοση2)	ΕΣ (έκδοση1) ΕΣ ΕΞ(έκδοση2)	NAI
SCSI	40-320	4-16	12	ΕΣ ΕΞ	NAI
SA-SCSI	375	1	10	ΕΣ ΕΞ	NAI
FC	250	127	10.000	ΕΞ	NAI

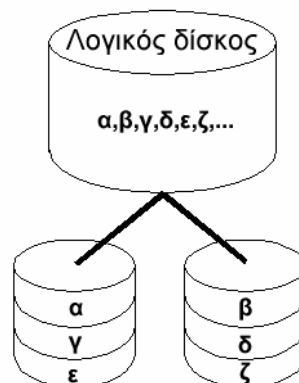
1.2.5.1 Συναρμογή ανεξάρτητων σκληρών δίσκων κατά τα πρότυπα RAID

Για λόγους αξιοπιστίας και ταχύτητας, κάποια από τα παραπάνω πρότυπα διασύνδεσης υποστηρίζουν την αδιαφανή διαχείριση συστοιχιών από ανεξάρτητους σκληρούς δίσκους, έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα ενιαίο λογικό σύνολο αποθήκευσης δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να δημιουργηθούν αποθηκευτικοί χώροι δεδομένων με χαρακτηριστικά, όπως ταχύτητα, χωρητικό-

τητα και αξιοπιστία, απaráμιλλα με αυτά που μπορούν να προσφερθούν από μεμονωμένους σκληρούς δίσκους. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται **RAID** (**R**edundant **A**rray of **I**ndependent **D**isks – Πλεονάζων Συστοιχίες Ανεξάρτητων Δίσκων) και είναι διαθέσιμη μέσω ιδικών ελεγκτών για τα πρότυπα διασύνδεσης ATA, SATA, SCSI, SA-SCSI και FC [161].

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, υπάρχουν διάφορα επίπεδα συναρμογής των ανεξάρτητων δίσκων, τα οποία και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του ενιαίου συνόλου. Έτσι είναι εφικτό μια συστοιχία ανεξάρτητων δίσκων να διαμορφωθεί ώστε να παρέχει τη μέγιστη δυνατή προστασία των αποθηκευμένων δεδομένων, ή τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα, ή το μέγιστο διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο ή ακόμα και διάφορους συνδυασμούς των παραπάνω. Οι βασικότερες μέθοδοι RAID για τη συσχέτιση ανεξάρτητων δίσκων είναι οι εξής [161]:

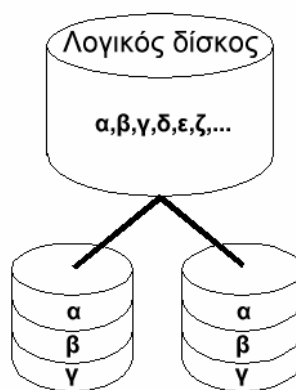
RAID-0: Είναι η μέθοδος που προσφέρει τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα και χωρητικότητα, μοιράζοντας τα δεδομένα μεταξύ των δίσκων της συστοιχίας σε ισόποσα μικρά τμήματα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ταυτόχρονη ΠΡΟΣΒΑΣΗ και μεταφορά των πακέτων στα οποία είναι χωρισμένα τα δεδομένα και συνεπώς υπάρχει σημαντική αύξηση στην ταχύτητα της διαδικασίας εγγραφή, πρόσβασης και φόρτωσης των δεδομένων σε σχέση με ένα μόνο δίσκο. Ωστόσο, λόγω του ότι κάθε αρχείο βρίσκεται σε πολλά μικρά τμήματα αποθηκευμένο σε όλους τους ανεξάρτητους σκληρούς δίσκους της συστοιχίας, εάν κάποιος από αυτούς παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα και αχρηστευθεί, τότε όλα τα αποθηκευμένα σε αυτούς δεδομένα αχρηστεύονται επίσης.



Εικόνα 105. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-0

Έτσι η μέθοδο RAID-0 χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων είναι ο υπέρτατος στόχος, ενώ η ασφάλειά τους σε περίπτωση βλάβης δεν αποτελεί μεγάλο ζήτημα. Για παράδειγμα τέτοιες εφαρμογές είναι η επεξεργασία μεγάλων συνόλων από δεδομένα όπως είναι βίντεο αρχεία, τρισδιάστατα μοντέλα εκατομμυρίων πολυγώνων, επιστημονικά δεδομένα κλπ.

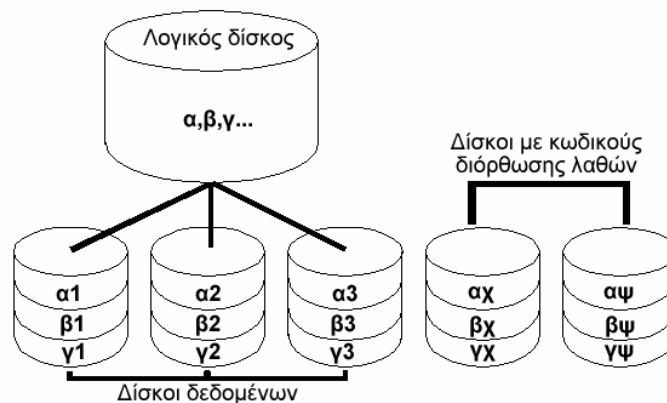
RAID-1: Είναι μια από τις ακριβότερες αλλά και ασφαλέστερες μεθόδους συναρμογής συστοιχιών σκληρών δίσκων. Κατά τη μέθοδο αυτή τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ζεύγη δίσκων, έτσι ώστε αν κάποιος από τους δύο παρουσιάσει πρόβλημα τα δεδομένα να μη χαθούν, αφού θα υπάρχει το ομοίωμα τους στον άλλο. Το μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ο υποδιπλασιασμός του φυσικού μεγέθους του συνόλου και η ελαφρός μικρότερη ταχύτητα εγγραφής των δεδομένων, ωστόσο η ανάγνωσή τους γίνεται ταχύτερα, αφού υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στα δεδομένα από δύο δίσκους ταυτόχρονα. Η χρήση του RAID-1 είναι ιδανική σε εφαρμογές όπου η διαθεσιμότητα, ασφάλεια και η γρήγορη πρόσβασης στα δεδομένα είναι σημαντικά χαρακτηριστικά, για παράδειγμα σε εταιρικές βάσεις δεδομένων, εξυπηρετητές σελίδων Internet κλπ.



Εικόνα 106. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-1

RAID-2: Είναι μια παραλλαγή του RAID-0, όπου και εδώ τα δεδομένα τμηματοποιούνται και αποθηκεύονται σε πολλούς δίσκους παράλληλα. Ωστόσο η κύρια διαφοροποίηση του RAID-2 εμφανίζεται στη δυνατότητα διόρθωσης

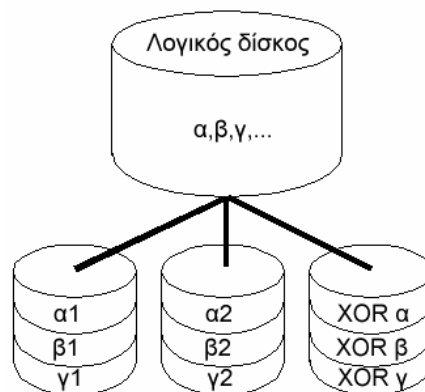
τυχών λαθών στα αποθηκευμένα δεδομένα, με τη χρήση της κωδικοποίησης διόρθωσης λαθών Hamming (Error Correction Codes-ECC), διαδικασία η οποία καταναλώνει μέρος της επεξεργαστικής ισχύς του κεντρικού επεξεργαστή και των συνεπεξεργαστών του ελεγκτή RAID. Η κωδικοποίηση αυτή ανακαλύφθηκε από τον Richard Hamming το 1950, με σκοπό την ανίχνευση και διόρθωση λαθών σε σειρές δυαδικών δεδομένων, σε επίπεδο ψηφίου (bit). Για το σκοπό αυτό, κατά το RAID-2 για κάθε δίσκο δεδομένων υπάρχει ένας δεύτερος δίσκος στον οποίο αποθηκεύονται οι κώδικες διόρθωσης λάθους των δεδομένων. Η ταχύτητα αποθήκευσης είναι αρκετά πιο αργή σε σχέση με το RAID-0, αφού πρέπει να γίνεται η κωδικοποίηση των κωδικών λάθους για τα δεδομένα που προορίζονται για αποθήκευση. Κατά την ανάγνωση των δεδομένων, σε περίπτωση που πρόκειται για μεγάλα αρχεία η ταχύτητα είναι στα επίπεδα του RAID-0, ωστόσο όταν πρόκειται για πολλά μικρά αρχεία η ταχύτητα ανάγνωσης μειώνεται δραματικά. Η χρήση του προτύπου RAID-2 έχει νόημα όταν γίνεται χρήση σκληρών δίσκων ξεπερασμένης τεχνολογίας και η αξιοπιστία των δεδομένων είναι κρίσιμη. Ωστόσο, τις μέρες μας είναι σχεδόν αχρησία, αφού όλοι οι σύγχρονοι σκληροί δίσκοι έχουν ενσωματωμένη τη λειτουργία διόρθωσης λαθών.



Εικόνα 107. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-2

RAID-3: Άλλη μια παραλλαγή του RAID-0, η οποία επιδεικνύει σημαντική ανοχή σε σφάλματα, θυσιάζοντας μερικούς τη συνολική χωρητικότητα δεδομένων της συστοιχίας. Η λειτουργία του RAID-3 είναι σχεδόν παρόμοια με αυτή του RAID-0, με τη μόνη εξαίρεση πως χρησιμοποιεί έναν επιπλέον

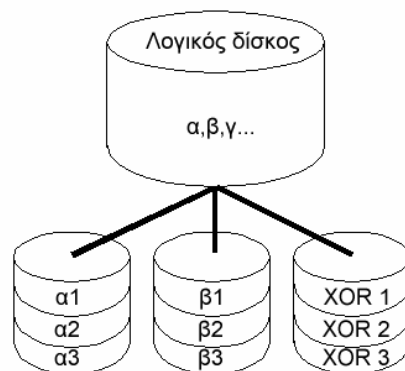
σκληρό δίσκο για την αποθήκευση πληροφορίας για την ανίχνευση λαθών, αλλά και για την ανακατασκευή των δεδομένων σε περίπτωση βλάβης κάποιου σκληρού δίσκου της συστοιχίας. Η πληροφορία αυτή προέρχεται από το λογικό συνδυασμό των bits από τους δίσκους δεδομένων με τη μέθοδο XOR (Exclusive OR – αποκλειστικό ή), διαδικασία τροχοπέδη της ταχύτατης παράλληλης εγγραφής των καθεαυτού δεδομένων. Δοκιμές μετρήσεων έχουν δείξει πως η ταχύτητα εγγραφής με τη χρήση RAID μεθόδων που υπολογίζουν και αποθηκεύουν, παράλληλα με τα δεδομένα προς αποθήκευση, δεδομένα αρτιότητας για αυτά, όπως είναι οι RAID-3,4,5 κλπ., είναι 30% - 60% πιο μικρή σε σχέση με αυτή της RAID-1. Επίσης η ταχύτητα εγγραφής εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της συστοιχίας και είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον αριθμό των δίσκων από τους οποίους απαρτίζεται η συστοιχία αυτή.



Εικόνα 108. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-3

Το κυριότερο μειονέκτημα του RAID-3 βρίσκεται στο ότι η βέλτιστη απόδοση της συστοιχίας εξαρτάται από τη συγχρονισμένη πρόσβαση σε όλο το πλήθος των δίσκων της. Αυτό επιτυγχάνεται με μια τεχνική γνωστή ως συγχρονισμός αξόνων, κατά την οποία όλοι οι δίσκοι συγχρονίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα αιτήματα για δεδομένα να ικανοποιούνται με μια πράξη ταυτόχρονα σε όλους τους δίσκους. Αυτό το ιδικό χαρακτηριστικό όμως δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο στους κοινούς σκληρούς δίσκους, με συνέπεια η χρήση του RAID-3 να περιορίζεται σε εφαρμογές όπου το κόστος εξειδικευμένων σκληρών δίσκων, ικανών να συγχρονίζονται, είναι δικαιολογημένο.

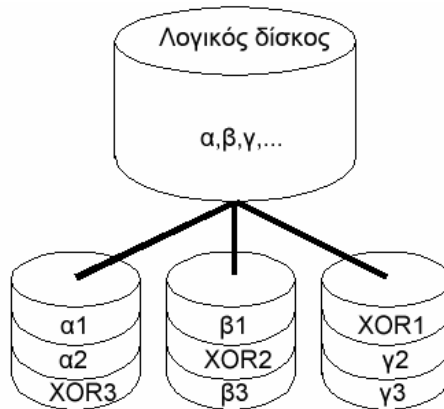
RAID-4: Είναι παραλλαγή του RAID-3, με τη διαφορά πως αντί τα δεδομένα να κερματίζονται σε επίπεδο byte, αυτά κερματίζονται σε επίπεδο τομέα και ακόμα, η βέλτιστη απόδοση της συστοιχίας είναι ανεξάρτητη από το συγχρονισμό των δίσκων της. Θεωρητικά, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ικανά να προσφέρουν ταχύτερες επιδόσεις σε σχέση με το πρότυπο RAID-3, κυρίως για εφαρμογές όπου εμπλέκονται πολλά μικρά αρχεία. Εντούτοις, στην πράξη δεν συμβαίνει αυτό, αφού και εδώ ο υπολογισμός των δεδομένων ασφαλείας, για την ανακατασκευή της πληροφορίας σε περίπτωση βλάβης κάποιου δίσκου, καθυστερούν σημαντικά τη διαδικασία εγγραφής. Σαν αποτέλεσμα, το RAID-4 περιορίζεται σε εφαρμογές στις οποίες κύριος στόχος είναι η ταχεία πρόσβασης και ανάκτηση της πληροφορίας, σε συνδυασμό με την αρτιότητα και τη διαθεσιμότητά της.



Εικόνα 109. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-4

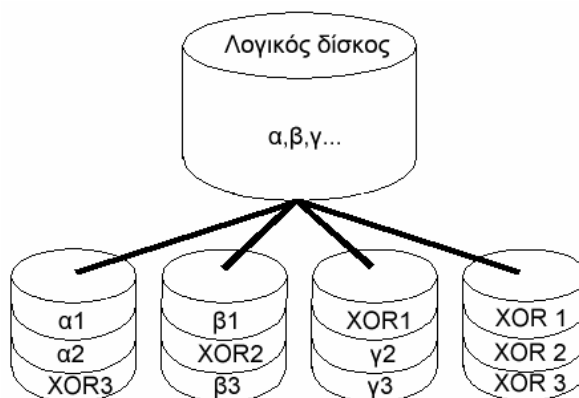
RAID-5: Είναι παρόμοια μέθοδο συναρμογής με αυτή που προσφέρεται από το πρότυπο RAID-4, κατά την οποία τα βοηθητικά δεδομένα για την ακεραιότητα της αποθηκευμένης πληροφορίας, αντί να βρίσκονται σε ένα ξεχωριστό δίσκο, είναι μοιρασμένα μαζί με τα υπόλοιπα σε όλους τους δίσκους της συστοιχίας. Η διαφοροποίηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα πως σε περιπτώσεις αποθήκευσης πολλών μικρών αρχείων, η συστοιχία RAID-5 να παρουσιάζει καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τη RAID-4. Τα χαρακτηριστικά αυτά, καθιστούν τη RAID-5 μια από τις πιο πολύ-χρησιμοποιημένες μεθόδους συναρμογής σκληρών δίσκων σε συστοιχίες. Ωστόσο, το μεγάλο της μειονέκτημα εμφανίζεται κατά την ανακατασκευή των δεδομένων, στην

περίπτωση που κάποιος δίσκος της συστοιχίας παρουσιάσει πρόβλημα, διαδικασία η οποία είναι ελαφρώς πιο αργή συγκρινόμενη με την αντίστοιχη της RAID-4.



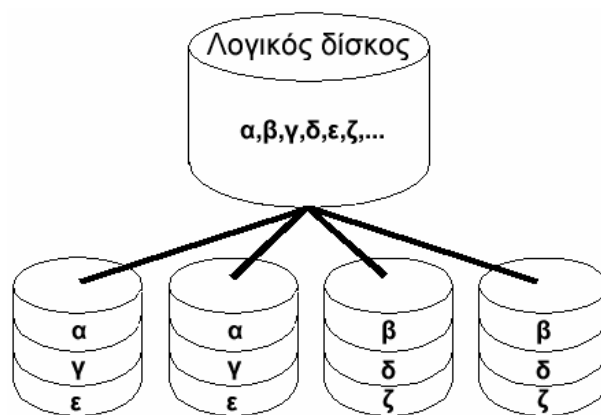
Εικόνα 110. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-5

RAID-6: Είναι σχεδόν το ίδιο με το RAID-5, με τη διαφορά πως αυτή τη φορά αποθηκεύεται 2 φορές περισσότερο πληροφορία για την αρτιότητα των δεδομένων, διαδικασία που προϋποθέτει 2 φορές περισσότερο αποθηκευτικό χώρο για τα δεδομένα αρτιότητας και 2 φορές περισσότερο χρόνο για τον υπολογισμό τους. Σαν αντάλλαγμα η πληροφορία μπορεί να ανακατασκευαστεί ακόμη και μετά από την ταυτόχρονη «κατάρρευση» δύο σκληρών δίσκων εκ του συνόλου της συστοιχίας, έναντι του ενός που μπορεί να αντιμετωπιστεί με τις προηγούμενες μεθόδους, θυσιάζοντας βέβαια τη χωρητική ικανότητα ενός σκληρού δίσκου επιπλέον.



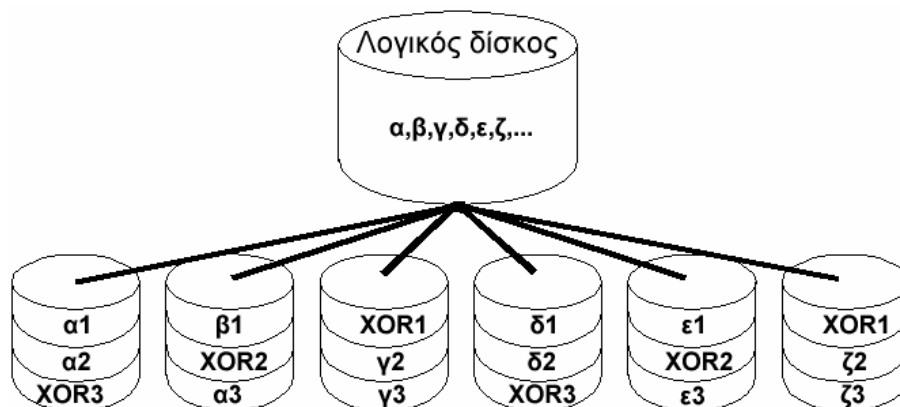
Εικόνα 111. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-6

RAID-10: Αλλιώς αποκαλείται και RAID-0/1, είναι συνδυασμός των επιπέδων RAID-0 και 1, κατά τον οποίο δύο δίσκοι συναρμολογημένοι με το πρότυπο RAID-0 αντιγράφονται σύμφωνα με το πρότυπο RAID-1 έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα ταχύτατο και ασφαλές σύνολο, το οποίο επιδεικνύει τις επιδόσεις του RAID-0 και την ασφάλεια του RAID-1. Η υλοποίηση μιας συστοιχίας κατά αυτό το πρότυπο είναι πολύ ακριβή, αφού αυτή πρέπει να απαρτίζεται τουλάχιστον από τέσσερις σκληρούς δίσκους, αριθμός διπλάσιος σε σχέση με τα RAID-0 ή RAID-1.



Εικόνα 112. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-10

RAID-50: Συνδυασμός μεταξύ των προτύπων RAID-0 και 5, κατά τον οποίο δύο συστοιχίες RAID-5 χρησιμοποιούνται παράλληλα για το μοίρασμα των δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο RAID-0.



Εικόνα 113. Σχηματική παράσταση κατανομής χώρου κατά RAID-50

Η διάταξη αυτή προσφέρει επιδόσεις σχεδόν το ίδιο υψηλές με τη μέθοδο RAID-0, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα που χαρακτηρίζει τη μέθοδο RAID-5, χωρίς ωστόσο να μπορεί να απαλλαχτεί τελείως από τα μειονεκτήματά της. Η υλοποίηση μιας τέτοιας συστοιχίας απαιτεί τουλάχιστον 6 σκληρούς δίσκους.

1.2.6 Ιεραρχία ψηφιακής αποθήκευσης, υποδείξεις για την επιλογή του αποθηκευτικού μέσου και οδηγίες χρήσης για την καλή λειτουργία

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι διάφορες τεχνολογίες ψηφιακής αποθήκευσης δεδομένων που είναι διαθέσιμα στην αγορά σήμερα, όπως επίσης και οι ποικίλες μεθοδολογίες διασύνδεσής των συσκευών αυτών με κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε από ποια στοιχεία τεχνικομηχανικού εξοπλισμού ψηφιακής αποθήκευσης πρέπει να αποτελείται ένα σύστημα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή και αρχειοθέτηση της πληροφορίας που παράγεται από τα συστήματα της ψηφιακής αποτύπωσης-ψηφιοποίησης.

1.2.6.1 Ιεραρχία Ψηφιακής Αποθήκευσης

Τα δεδομένα που διαχειρίζεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι αποθηκευμένα σε δύο επίπεδα. Την κύρια μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, η οποία αποκαλείται και ως πρωτεύων σύστημα αποθήκευσης, και την περιφερειακή μνήμη η οποία χωρίζεται σε άλλες δύο κατηγορίες, αυτές των συστημάτων δευτερεύουσας και τριτεύουσας αποθήκευσης.

Η κύρια μνήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτελείται από μικροτσιπ ημιαγωγών τύπου Dynamic RAM (δυναμικής μνήμης τυχαίας προσπέλασης), τα οποία προσφέρουν, με αρκετά υψηλό κόστος βέβαια, ταχύτατους χώρους αποθήκευσης δεδομένων, των οποίων η επικοινωνία με τον επεξεργαστή είναι σχεδόν ακαριαία. Λόγω της ταχύτητάς τους, οι χώροι αυτοί χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, κατά τη διάρκεια επεξεργασίας τους από τον κεντρικό επεξεργαστή. Ωστόσο, λόγω των περιορισμών που θέτει η σημερινά εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία γρήγορων ημιαγωγών μνήμης, τα

δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στην κύρια μνήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών χάνονται ακόμα και με τη στιγμιαία παύση τροφοδοσίας του συστήματος με ηλεκτρική ενέργεια. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, το πρόβλημα αυτό στο πολύ κοντινό μέλλον δε θα υφίσταται, αφού έχουν κατασκευαστεί ημιαγωγοί μνήμης οι οποίοι είναι το ίδιο ή και περισσότερο γρήγοροι από αυτούς που χρησιμοποιούμε σήμερα, και επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν τα δεδομένα τους και μετά την παύση τροφοδοσίας του συστήματος με ηλεκτρική ενέργεια. Παρ' όλα αυτά, οι απαιτήσεις μας σε χώρους ψηφιακής αποθήκευσης είναι αδύνατο να ικανοποιηθούν από την κύρια μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, για τον πολύ απλούστατο λόγο ότι είναι δαπανηρή, δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 4 GB σε ένα κοινό ηλεκτρονικό υπολογιστή, αλλά και την προσωρινή αδυναμία της να χάνει το περιεχόμενό της όταν σταματήσει να ρέει ηλεκτρική ενέργεια από μέσα της.

Για την ικανοποίηση των αναγκών μας σε όλο και μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους, αλλά και για τη διατήρηση των δεδομένων μας χωρίς τη σπατάλη περαιτέρω ηλεκτρικής ενέργειας, όπως επίσης και για τη μεταφορά τους εκτός του ηλεκτρονικού υπολογιστή, υπάρχει η περιφερειακή μνήμη. Αυτή μπορεί να αντιπροσωπεύεται από κάποια συσκευή εγγραφής και ανάγνωσης μαγνητικών, οπτικών, ή άλλων μέσων μόνιμης αποθήκευσης που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Πριν από δύο δεκαετίες για παράδειγμα, το ρόλο της περιφερειακής μνήμης τον έπαιζε ένας οδηγός μαγνητικής ταινίας ή ένας αντίστοιχος μαγνητικών δίσκων. Ωστόσο, η συνεχή αύξηση των αναγκών μας για ταχύτερους και ακόμα μεγαλύτερους χώρους αποθήκευσης, οδήγησε στο διαχωρισμό της περιφερειακής μνήμης σε άλλες δύο κατηγορίες. Αυτή της δευτερεύουσας αποθήκευσης, η οποία εκφράζει αποθηκευτικές συσκευές ενσωματωμένες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, με τεράστιους και γρήγορους αποθηκευτικούς χώρους, όπως είναι οι σκληροί δίσκοι, και αυτή της τριτεύουσας αποθήκευσης, η οποία παίζει το ρόλο της περιφερειακής μνήμης που έπαιζαν οι μαγνητικές ταινίες και οι μαλακοί σκληροί δίσκοι δύο δεκαετίες πριν, για τον πολύ απλό λόγο πως τα δεδομένα

μπορούν να μετακινηθούν εύκολα και με το κατάλληλο περιφερειακό να καθιστούν αναγνώσιμα από οποιοδήποτε άλλο ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 114. Ιεραρχία αποθήκευσης (η οριζόντια τομή του τραπεζίου δηλώνει χωρητικότητα)

1.2.6.2 Συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης

Σήμερα, με τον όρο συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης αναφερόμαστε αποκλειστικά στους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους που βρίσκονται εντός των περισσότερων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στο μέλλον υπάρχει η περίπτωση να μην ισχύει αυτός ο παραλληλισμός, ωστόσο οι ανάγκες του παρόντος καθιστούν το χαρακτηρισμό των μαγνητικών σκληρών δίσκων ως συσκευών δευτερεύουσας αποθήκευσης σχεδόν αναγκαστικό. Τα υπόλοιπα μέσα, που έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς των αποθηκευμένων δεδομένων εκτός του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ανήκουν στην κατηγορία της τριτεύουσας αποθήκευσης, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως η περιφερειακή μνήμη του παρόντος. Οι συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης, δηλαδή οι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι, παίζουν διασυνδεδετικό ρόλο μεταξύ της κεντρικής μνήμης του ηλεκτρονικού υπολογιστή και της περιφερειακής μνήμης, δηλαδή των συσκευών τριτεύουσας αποθήκευσης. Ο λόγος ύπαρξης αυτού του διασυνδεδετικού κρίκου μεταξύ της κύριας και της περιφερειακής μνήμης, προέρχεται από την ανάγκη μας για ταχύτερους και μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους σε σχέση με αυτούς που προσφέρονται από τη δεύτερη, αφενός για την αποθήκευση των δεδομένων που αφορούν την εργασία του χρήστη, όπως είναι το λογισμικό τα διάφορα δεδομένα κλπ., και αφετέρου για την αποθήκευση

των δεδομένων λειτουργίας του συστήματος, όπως είναι το λειτουργικό σύστημα και τα διάφορα εργαλεία διαχείρισής του.

Προς το παρόν, οι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι συγκεντρώνουν ιδιότητες ψηφιακής αποθηκευτικές δεδομένων τις οποίες δε πρόκειται να συναντήσουμε σε καμία άλλη συσκευή αποθήκευσης δεδομένων που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Η μεγάλη τους ειδική χωρητικότητα, η οποία οδηγεί σε ευμεγέθεις μα συμπαγείς αποθηκευτικούς χώρους, σε συνδυασμό με την αξιοπρεπή ταχύτητα τυχαίας προσπέλασης και μεταφοράς των δεδομένων, τη σχετικά καλή αξιοπιστία και διάρκεια ζωής τους και το σχετικά χαμηλό τους κόστος, σαν αποθηκευτική συσκευή και μέσο αποθήκευσης ταυτόχρονα, είναι οι κυριότεροι λόγοι για την επιλογή τους από την κοινότητα της πληροφορικής ως τη θεμέλια λύση δευτερεύουσας αποθήκευσης.

Η σωστή επιλογή του σκληρού δίσκου είναι ζωτικής σημασίας για οποιαδήποτε εφαρμογή, αφού παίζει σημαντικό ρόλο και στην ταχύτητα εργασίας αλλά και στη διασφάλιση της ορθής και αλάνθαστης διεκπεραίωσης της. Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την σωστή επιλογή του σκληρού ή των σκληρών δίσκων είναι:

α) Ο τύπος διεπαφής (διασυνδετικής διάταξης) μεταξύ του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του σκληρού δίσκου, ο οποίος πρέπει οπωσδήποτε να είναι κοινός μεταξύ τους. Ο τύπος διεπαφής παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιδόσεων του συστήματος όπως επίσης και του κόστους του ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά και της συσκευής δευτερεύουσας αποθήκευσης.

Οι σκληροί δίσκοι που βασίζονται στην τεχνολογία διεπαφής Fibre Channel (FC) είναι από τους ταχύτερους που κυκλοφορούν στο εμπόριο, ωστόσο η τιμή τους είναι η υψηλότερη, όπως επίσης και η τιμή του τεχνικομηχανικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη διασύνδεσή τους με έναν κοινό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι δίσκοι βασιζόμενοι στην τεχνολογία διεπαφής SCSI (στις τελευταίες της εκδόσεις, Ultra 160 & 320) παρουσιάζουν ελαφρός υποδεέστερες επιδόσεις σε σχέση με τους αντίστοιχους FC, με ελαφρός χαμηλότερο κόστος απόκτησης. Ωστόσο μεγάλη διαφορά παρατηρείται στο κόστος των ελεγκτών τους και ιδικά

αυτών που επιτρέπουν τη συναρμογή τους σε συστοιχίες, το οποίο πολλές φορές κυμαίνεται στο μισό της τιμής των αντίστοιχων ελεγκτών FC.

Οι σκληροί δίσκοι που βασίζονται στην τεχνολογία ATA αποτελούν την πιο οικονομική λύση δευτερεύουσας αποθήκευσης. Οι επιδόσεις τους είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τους αντίστοιχους FC και SCSI και για το λόγο αυτό η χρήση τους δεν συνιστάτε σε εφαρμογές όπου οι επιδόσεις παίζουν σημαντικό ρόλο. Τέτοιες εφαρμογές είναι για παράδειγμα οι εξυπηρετητές δικτύου ή βάσεων δεδομένων με μεγάλο φόρτο εργασίας, δηλαδή την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολυάριθμων πελατών/χρηστών με δεδομένα. Ωστόσο, σε εφαρμογές γραφείου και προσωπικών σταθμών εργασίας, που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία πολυμεσικών δεδομένων, όπως είναι οι εικόνες, το βίντεο και τα τρισδιάστατα μοντέλα, οι σκληροί δίσκοι με διεπαφή τύπου ATA είναι η πιο συμφέρουσα λύση. Οι επιδόσεις τους κυμαίνονται σε αρκετά αξιοπρεπή επίπεδα, πλησιάζοντας δε τις αντίστοιχες των κατώτερων της σειράς, αλλά πολύ ακριβότερων, μοντέλων με διεπαφή SCSI Ultra 160. Η κατωτερότητά τους είναι εμφανή μόνο στην περίπτωση ταυτόχρονης ζήτησης πολλών μικρών αρχείων και αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν αρμόζει η χρήση τους σε εφαρμογές εξυπηρετητών και σταθμών εργασίας υψηλών επιδόσεων. Ειδικότερα όμως, για εφαρμογές επεξεργασίας πολυμεσικών δεδομένων, οι σύγχρονοι σκληροί δίσκοι διεπαφής SATA συνδυαζόμενοι ανά δύο ή και περισσότεροι σε συστοιχίες συνδεδεμένες με το πρότυπο RAID-0, μέσω των εξίσου χαμηλού κόστους ελεγκτών SATA RAID, είναι μια πολύ οικονομική λύση υψηλών επιδόσεων, η οποία λόγω της μεγαλύτερης, σε σχέση με τις αντίστοιχες λύσεις διεπαφής SCSI και FC, αναλογίας επιδόσεων και χωρητικότητας ανά κόστος που παρουσιάζει, έχει αρχίσει να γίνεται αρκετά δημοφιλή λύση.

Οι περισσότεροι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές υποστηρίζουν εκ κατασκευής το πρότυπο διασύνδεσης ATA, είτε στην παλιότερη παράλληλη έκδοση του, είτε στη νεότερη σειριακή έκδοσή του, είτε ακόμα και σε συνδυασμό τους. Έτσι, ο μοναδικός παράγοντας που καθορίζει το τελικό κόστος μιας λύσης δευτερεύουσας αποθήκευσης, βασιζόμενης στο συγκεκριμένο τύπο διεπαφής, είναι μόνο το κόστος του σκληρού δίσκου, το οποίο είναι σχετικό με

τη χωρητική του ικανότητα αλλά αρκετά χαμηλότερο από αυτό των ισομεγέθη δίσκων τύπου SCSI ή FC.

β) Ο δεύτερος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ όψιν κατά την επιλογή του σκληρού δίσκου και ο οποίος είναι εξίσου καθοριστικός για την ταχύτητα εξυπηρέτησης του χρήστη, είναι ο ρυθμός περιστροφής του εσωτερικού μαγνητικού δίσκου ή δίσκων της συσκευής. Όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο δίσκος στο εσωτερικό της συσκευής, τόσο περισσότερο αυξάνεται η ταχύτητα απόκρισης της αποθηκευτικής συσκευής στα αιτήματα του χρήστη, δηλαδή, ο χρόνος προσπέλασης των δεδομένων μειώνεται, ενώ αντιστρόφως ανάλογα, ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων αυξάνεται.

Ο ρυθμός περιστροφής των περισσότερων σκληρών δίσκων του εμπορίου που προορίζονται για επιτραπέζιους και άλλου είδους μη φορητούς και ογκώδη ηλεκτρονικούς υπολογιστές, έχει την κοινώς αποδεκτή τιμή των 7.200 στροφών το λεπτό. Ωστόσο σε σκληρούς δίσκους που προορίζονται για εφαρμογές υψηλών επιδόσεων, η ταχύτητα περιστροφής των δίσκων τους ξεκινά από τις 10.000 στροφές το λεπτό, στα κορυφαία μοντέλα SATA και τα περισσότερα SCSI και FC, και φτάνει και τις 15.000 στα κορυφαία μοντέλα SCSI και FC. Σε σκληρούς δίσκους φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπου η εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας της μπαταρίας είναι ένα βασικό πλεονέκτημα, ο ρυθμός περιστροφής των δίσκων ξεκινά από τις 4.200 στροφές το λεπτό και φτάνει τις 7.200, για τα μοντέλα υψηλών επιδόσεων. Ο ρυθμός περιστροφής των περισσότερων σκληρών δίσκων που προορίζονται για φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι 5.400 στροφές το λεπτό. Η τιμή αυτή συναντάται και σε μερικά σύγχρονα μοντέλα σκληρών δίσκων, τα οποία δεν προορίζονται για φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, αλλά θυσιάζουν λίγες επιδόσεις έναντι οικονομικότερης και πιο αθόρυβης λειτουργίας, αφού όσο πιο γρήγορα περιστρέφονται οι δίσκοι στο εσωτερικό του σκληρού δίσκου, τόσο πιο θορυβώδη και ενεργειακά απαιτητική είναι η λειτουργία του.

γ) Το μέγεθος της εσωτερικής αποθεματικής μνήμης (cache memory) του σκληρού δίσκου, συμβάλει και αυτό στον καθορισμό των τελικών επιδόσεων της συσκευής δευτερεύουσας αποθήκευσης. Συνήθως σκληροί δίσκοι με μεγάλη αποθεματική μνήμη παρουσιάζουν και ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις.



Το μέγεθος της μνήμης αυτής κυμαίνεται μεταξύ 512 kilobyte και μερικών Megabyte και χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, τα οποία προορίζονται είτε να εγγραφούν στο δίσκο, είτε να μεταφερθούν στην κεντρική μνήμη του υπολογιστή για επεξεργασία.

δ) Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζεται άμεσα από τα προηγούμενα χαρακτηριστικά και ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία εξυπηρετείται ο χρήστης του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μολονότι η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μεταξύ σκληρών δίσκων με τα ίδια χαρακτηριστικά διαφέρει, η διαφορά αυτή είναι ελάχιστη σε σχέση με τη διαφορά στην ταχύτητα που παρατηρείται μεταξύ δίσκων που λειτουργούν στις 5.400 και 7.200 στροφές το λεπτό ή δίσκων με τύπο διασύνδεσης παράλληλου ATA και παράλληλου SCSI ultra160. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων κάποιου σκληρού δίσκου είναι μια τιμή η οποία συνήθως δεν ανακοινώνεται από τον κατασκευαστή του δίσκου, ωστόσο είναι δυνατό να μαθευτεί από εξειδικευμένες μετρήσεις και δοκιμές που διεξάγονται από περιοδικά και σελίδες του Internet με αρθρογραφία σχετική με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

ε) Ο χρόνος προσπέλασης είναι άλλη μια τιμή εξαρτημένη και από την ταχύτητα περιστροφής του δίσκου, η οποία αφορά το χρόνο που απαιτείται ώστε να ανατρέξει η κεφαλή του σκληρού δίσκου στο σημείο όπου είναι γραμμένα ή πρόκειται να εγγραφούν τα δεδομένα που σχετίζονται με την αίτηση του χρήστη. Αυτός ο χρόνος μετράται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και όσο πιο μικρός είναι τόσο πιο γρήγορη είναι η απόκριση της αποθηκευτικής συσκευής. Η τιμή αυτή τις περισσότερες φορές ανακοινώνεται από τους κατασκευαστές της συσκευής, ωστόσο καλό είναι να συμβουλευτεί κάποιος και τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται από τα περιοδικά και τις ιστοσελίδες του χώρου.

στ) Οι διαστάσεις των σκληρών δίσκων, εκτός και αν πρόκειται για σκληρούς δίσκους φορητών ή σταθερών ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι περίπου οι ίδιες. Για τους δίσκους που προορίζονται για φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές το πλάτος τους είναι προκαθορισμένο στις 2,5 ίντσες, ενώ για αυτούς που προορίζονται για μη φορητούς στις 3,5. Το μήκος

και το ύψος διαφέρει ελάχιστα, ανάλογα με τον κατασκευαστή και τη χωρητικότητα του δίσκου και η μόνη εμφανή διαφορά εύλογα παρατηρείται μεταξύ των δίσκων 2,5 και 3,5 ιντσών, για φορητούς και σταθερούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές αντίστοιχα.

ζ) Η χωρητική ικανότητα του σκληρού δίσκου είναι ίσος το βασικότερο κριτήριο επιλογής του, αφού από αυτό εξαρτάται αν θα υπάρχει επαρκής αποθηκευτικός χώρος για την εφαρμογή που προορίζεται ο δίσκος. Η επιλογή της χωρητικότητας του δίσκου πρέπει να γίνεται βάση των αναγκών που υπολογίζουμε ότι θα έχουμε, όπως επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η αναλογία χρημάτων ανά Gigabyte αποθηκευτικού χώρου που παρουσιάζει η κάθε συσκευή. Κατά κανόνα όσο μεγαλύτερη είναι η αποθηκευτική ικανότητα του σκληρού δίσκου, τόσο πιο χαμηλή είναι και η αναλογία αυτή. Ωστόσο υπάρχει μια ανωμαλία στις τιμές των τελευταίων και πιο μεγάλων μοντέλων της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας, των οποίων το κόστος ανά Gigabyte προσφερόμενης χωρητικότητας είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα μοντέλα μικρότερης χωρητικότητας. Συνεπώς, εάν το ζητούμενο είναι η μέγιστη χωρητική ικανότητα με το ελάχιστο κόστος τότε η επιλογή πρέπει να γίνει από τα μοντέλα που παρουσιάζουν λίγο υποδεέστερη χωρητική ικανότητα από αυτή των κορυφαίων προτάσεων.

η) Ο μέσος χρόνος πριν από πιθανή βλάβη (MTBF mean time before failure) είναι η τιμή που δηλώνει την αξιοπιστία μιας συσκευής και χαρακτηρίζει το χρόνο που θα περάσει πριν εμφανιστεί βλάβη στο μισό πληθυσμό των δίσκων ίδιου τύπου, από τη στιγμή που αυτοί βγήκαν από τη γραμμή παραγωγής του εργοστασίου. Σήμερα οι περισσότεροι κατασκευαστές ορίζουν την τιμή αυτή κοντά στο 1.200.000 ώρες λειτουργίας, ενώ σε προγενέστερους δίσκους η τιμή αυτή κυμαίνονταν σε 2 με 4 εκατοντάδες χιλιάδες ώρες. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια για τη μακροζωία του σκληρού δίσκου είναι η αποφυγή υπερθέρμανσής του, είτε κάνοντας χρήση συστημάτων ενεργής απαγωγής της θερμότητας από την επιφάνειά του, όπως για παράδειγμα είναι οι ανεμιστήρες, είτε τοποθετώντας τον στο εσωτερικό του υπολογιστή σε θέση που επιτρέπει την παθητική επαγωγή της θερμότητας από την επιφάνειά του. Η τοποθέτηση του σκληρού δίσκου παρακείμενα σε άλλο σκληρό δίσκο ή

άλλη συσκευή, χωρίς κάποιο κενό μεταξύ τους, πρέπει να αποφεύγεται, αφού η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σκληρού μπορεί να προκαλέσει απώλεια δεδομένων, ή ακόμα και μόνιμες βλάβες στην επιφάνεια του αποθηκευτικού μέσου και να μειώσει δραματικά τη διάρκεια ζωής του αλλά και την αξιοπιστία του.

Πίνακας XXVI. Συγκριτικός πίνακας συσκευών δευτερεύουσας αποθήκευσης

Συσκευή δευτερεύουσας αποθήκευσης	Μαγνητικός σκληρός δίσκος		Δίσκος Φλας (στερεής κατάστασης)
	Μέτριων επιδόσεων (7200 στροφές το λεπτό)	Υψηλών επιδόσεων (15000 στροφές το λεπτό)	
Μέγιστη Χωρητική ικανότητα (GB)	400	73	128
Μέσος χρόνος προσπέλασης δεδομένων (σε χιλιοστά του δευτερολέπτου)	4 - 10	3 - 5	0,2 - 0,02
Μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων (MB/δευτερόλεπτο)	15 - 40	30 - 70	40 - 100
Μέσος χρόνος πριν την παρουσίαση λάθους (σε εκατομμύρια ωρών)	0,5 - 1,5	0,5 - 1,2	1,5
Πλήθος κύκλων εγγραφής / διαγραφής στο ίδιο σημείο του μέσου.	Θεωρητικά απεριόριστο	Θεωρητικά απεριόριστο	300.000 - 5.000.000
Μέγιστη επιτάχυνση χωρίς να διακοπεί η λειτουργία της συσκευής	35 - 65 G	10 - 25 G	250 - 1.500 G
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία	10 Watt	12 Watt	5 Watt
Παραγόμενος θόρυβος κατά τη λειτουργία (σε deciBel)	30 - 40	35 - 46	0

Μια δεύτερη λύση δευτερεύουσας αποθήκευσης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε εναλλακτικά, είτε συμπληρωματικά των μαγνητικών σκληρών δίσκων, είναι οι δίσκοι στερεής κατάστασης (Flash Disk). Τα πλεονεκτήματα χρήσης τέτοιων δίσκων έγκεινται στους πολύ μικρούς χρόνους προσπέλασης δεδομένων, γύρω στα 0,2 με 0,02 χιλιοστά του δευτερολέπτου, όπως και στους αρκετά μεγάλους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, οι οποίοι ξεκινούν από 40 και φτάνουν και τα 100 MB/δευτερόλεπτο. Αναφορικά, ο ελάχιστος χρόνος προσπέλασης δεδομένων που μπορούν να επιτύχουν οι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι υψηλών επιδόσεων, πιο συγκεκριμένα αυτοί με

ταχύτητα περιστροφής 15.000 στροφές το λεπτό, κυμαίνεται γύρω στα 3 με 4 χιλιοστά του δευτερολέπτου, ενώ ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων βρίσκεται μεταξύ των 30 και 70 MB/δευτερόλεπτο. Επίσης, άλλα μεγάλα πλεονεκτήματα των δίσκων στερεής κατάστασης είναι η αρκετά χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η αθόρυβη λειτουργία τους, η μεγάλη τους αντοχή στους κραδασμούς και στα χτυπήματα και το μικρότερό τους βάρος. Ωστόσο το μεγάλο τους κόστος, σε συνδυασμό με τη μικρή τους χωρητικότητα, καθιστά τους δίσκους φλας μια από τις ακριβότερες λύσης δευτερεύουσας αποθήκευσης και περιορίζει τη χρήση τους μόνο σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

1.2.6.3 Περιφερειακές συσκευές τριτεύουσας αποθήκευσης

Ο όρος συσκευές τριτεύουσας αποθήκευσης αφορά όλες εκείνες τις λύσεις αποθήκευσης που χρησιμοποιούμε ως περιφερειακή μνήμη, δηλαδή τις χρησιμοποιούμε είτε για την εφεδρική αποθήκευση των δεδομένων μας, είτε για την αποσυμφόρηση της δευτερεύουσας μνήμης από δεδομένα που δε χρησιμοποιούμε συχνά, ή είτε για τη μεταφορά των δεδομένων μας σε άλλα συστήματα. Τέτοιες λύσεις αποθήκευσης συνήθως βασίζονται σε συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να δέχονται αναλώσιμα αφαιρούμενα αποθηκευτικά μέσα, όπως είναι για παράδειγμα οι μαγνητικοί, οπτικοί και μαγνητο-οπτικοί δίσκοι ή οι μαγνητικές ταινίες. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, έχουν κάνει την εμφάνισή τους και άλλου είδους λύσεις περιφερειακής αποθήκευσης δεδομένων, οι οποίες δε βασίζονται σε αφαιρούμενα αποθηκευτικά μέσα αλλά είναι από μόνες τους αυτόνομες αφαιρούμενες αποθηκευτικές συσκευές και μέσο αποθήκευσης ταυτόχρονα. Άλλη μια λύση περιφερειακής αποθήκευσης η οποία έκανε την εμφάνισή της με την εξάπλωση του Internet, είναι η αποθήκευση σε απομακρυσμένους εξυπηρετητές αρχείων, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε στον κόσμο, και η μεταφορά των δεδομένων να πραγματοποιείται μέσω του διαδικτύου.

Η επιλογή της τριτεύουσας αποθηκευτικής λύσης που αρμόζει καλύτερα στην εκάστοτε εφαρμογή ψηφιοποίησης και αρχειοθέτησης, πρέπει να γίνει

βάση των αναγκών της εφαρμογής και πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής καθοριστικοί παράγοντες:

α) Ο όγκος των παραγόμενων δεδομένων και πιο συγκεκριμένα, το μέγιστο συνολικό μέγεθος των αρχείων που καταλαμβάνει ένα ψηφιοποιημένο θέμα, είναι αυτό που καθορίζει και την χωρητικότητα του μέσου αποθήκευσης. Για παράδειγμα εάν τα δεδομένα από την ψηφιοποίηση κάποιου αγάλματος απαιτούν 2 Gigabyte αποθηκευτικού χώρου, είναι προτιμότερο αυτά να αποθηκευτούν όλα μαζί σε ένα μέσο με χωρητική ικανότητα μεγαλύτερη των 2 Gigabyte, όπως είναι για παράδειγμα ένας δίσκος DVD, παρά να μοιραστούν σε περισσότερα του ενός αποθηκευτικά μέσα με ανεπαρκή χωρητική ικανότητα.

β) Επίσης η συχνότητα στην πρόσβαση των δεδομένων και η ανάγκη διάθεσής τους σε έναν ή περισσότερους χρήστες, είναι εξίσου καθοριστική για την επιλογή της τριτεύουσας αποθηκευτικής λύσης. Αν υποθέσουμε πως μια ψηφιοποιημένη συλλογή, μεγέθους αρκετών εκατοντάδων Megabyte, θα κρατηθεί στο αρχείο κάποιου μουσείου, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον, τότε είναι προτιμότερο να αποθηκευτεί σε κάποιο μέσο το οποίο θυσιάζει τις επιδόσεις υπέρ του κόστους, όπως είναι για παράδειγμα η μαγνητική ταινία. Αντιθέτως, όταν υπάρχει η ανάγκη τακτικής πρόσβασης στα δεδομένα με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία τους, τότε αυτά πρέπει να αποθηκεύονται σε πιο άμεσες αποθηκευτικές λύσεις, όπως είναι για παράδειγμα οι δίσκοι.

γ) Η αντοχή του μέσου στο πέρασμα του χρόνου ανάλογα με τη χρήση και η ικανότητα του να διατηρεί τα δεδομένα αναγνώσιμα ακόμα και μετά από μια δεκαετία τουλάχιστον. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως μετά από λίγα χρόνια το μέσο αυτό είτε δε θα είναι αναγνώσιμο από τις αποθηκευτικές συσκευές του κοντινού μέλλοντος, είτε η συσκευή που είναι ικανή να διαβάσει τα δεδομένα από αυτό, δε θα είναι συμβατή με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή ακόμα και τα λειτουργικά συστήματα που πιθανό να υπάρχουν τότε. Για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται τεχνολογίες που υποστηρίζονται από πολλές και μεγάλες εταιρίες, έτσι ώστε η μελλοντική υποστήριξη τους να είναι περισσότερο σίγουρη. Για παράδειγμα, οι οπτικοί δίσκοι τύπου CD, παρά την ηλικία τους, είναι εφικτό να διαβαστούν και

από τις πιο πρόσφατες συσκευές οπτικής αποθήκευσης όπως είναι οι οδηγοί δίσκων DVD.

Σήμερα είναι διαθέσιμες στην αγορά πάμπολλες λύσεις τριτεύουσας αποθήκευσης. Αυτές ποικίλουν και μπορεί να είναι από μια απλή περιφερική αποθηκευτική συσκευή, όπως είναι για παράδειγμα ένας οδηγός οπτικών δίσκων, μέχρι μια εξειδικευμένη συσκευή αποθήκευσης, όπως είναι για παράδειγμα μια αυτοματοποιημένη βιβλιοθήκη οπτικών δίσκων. Τα χαρακτηριστικά και οι αποθηκευτικές ιδιότητες της κάθε λύσης διαφέρουν, ακόμα και μεταξύ αυτών που βασίζονται στο ίδιο αποθηκευτικό μέσο. Παρόλα αυτά όμως, ο τελικός χαρακτήρας της κάθε λύσης τριτεύουσας αποθηκευτικής, καθορίζεται από τον τύπο του αποθηκευτικού μέσου που χρησιμοποιεί.

Παρακάτω ακολουθεί μια αναφορά στις περιφερειακές αποθηκευτικές συσκευές και μέσα που διατίθενται στην αγορά σήμερα, με κύρια έμφαση στα χαρακτηριστικά τους που έχουν σχέση με την τριτεύουσα αποθήκευση, δηλαδή την ταχύτητα, αξιοπιστία και βιωσιμότητα τους.

1.2.6.4 Μαγνητικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης

Τα μαγνητικά μέσα αποθήκευσης, όπως είδη αναφέραμε, είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιημένα μέσα αποθήκευσης ψηφιακής πληροφορίας. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο δημοφιλή, απαντάται στην ιδιότητά τους να γράφονται και να διαγράφονται θεωρητικά για απεριόριστες φορές, χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός για τις ενέργειες αυτές, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην περίπτωση των οπτικών δίσκων.

Πριν από μια δεκαετία περίπου, τα μαγνητικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης αντιπροσωπεύονταν σχεδόν αποκλειστικά από τους μαλακούς δίσκους 3,5 ιντσών και τις ταινίες. Σήμερα ωστόσο, οι μαλακοί μαγνητικοί δίσκοι τείνουν προς εξαφάνιση, αφού η μικρή τους αποθηκευτική ικανότητα σε συνδυασμό με τις μειωμένες επιδόσεις και την μεγάλη αναξιπιστία που τους χαρακτηρίζει, τους καθιστά ως ένα από τα λιγότερο χρήσιμα αποθηκευτικά μέσα. Για την ικανοποίηση των αυξημένων αναγκών της αγοράς, διάφορες εταιρίες κατά καιρούς παρουσίασαν μαλακούς μαγνητικού δίσκους με χωρητικότητα άνω των

100 MB. Σήμερα, υπάρχουν εμπορεύσιμες λύσεις περιφερειακής αποθήκευσης σε μαλακούς δίσκους με χωρητικότητα που ξεκινά από τα 100MB και φτάνει μέχρι και τα 750. Στην περίπτωση δε που τα 750 MB δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών κάποιας εφαρμογής, υπάρχουν οι δισκέτες αφαιρούμενων σκληρών μαγνητικών δίσκων με χωρητική ικανότητα που φτάνει και τα 35 GB. Στις δισκέτες αυτές, το αποθηκευτικό μέσο είναι ένας δίσκος από άκαμπτο υλικό, ο οποίος βρίσκεται μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα περιστροφής του σφραγισμένος στο πλαστικό πακέτο της δισκέτας. Οι δισκέτες σκληρών δίσκων σε καμία περίπτωση δε πρέπει να ταυτίζονται με τους καθατούς σκληρούς δίσκους, δηλαδή τις αυτόνομες αποθηκευτικές συσκευές που αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο για τη δευτερεύουσα αποθήκευση, αφού η ανάγνωση και εγγραφή τους απαιτεί τη χρήση ειδικής περιφερειακής συσκευής οδήγησης. Αντιθέτως, άλλη μια πρόταση τριτεύουσας αποθήκευσης σε σκληρούς μαγνητικούς δίσκους, είναι αυτή των αφαιρούμενων αυτόνομων σκληρών δίσκων. Οι αφαιρούμενοι σκληροί είναι οι ίδιοι σκληροί δίσκοι 3,5 ή 2,5 ιντσών που χρησιμοποιούνται για τη δευτερεύουσα αποθήκευση δεδομένων, με τη μόνη διαφορά πως αντί να βρίσκονται ενσωματωμένοι στο εσωτερικό του ηλεκτρονικού υπολογιστή, μέσω ειδικών εξαρτημάτων μπορούν να συνδεθούν εξωτερικά σε κάποια θύρα περιφερειακής επέκτασης, όπως είναι για παράδειγμα οι θύρες USB ή FireWire. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι πως επιτρέπει τη γρήγορη μεταφορά μεγάλων αρχείων από το ένα υπολογιστικό σύστημα στο άλλο, χωρίς να προϋποτίθεται η ύπαρξη κάποιας εξειδικευμένης συσκευής για την ανάγνωση του αποθηκευτικού μέσου. Ωστόσο το κόστος της λύσης αυτής είναι αρκετά υψηλό για να επιτρέψει τη χρήση της σαν αναλώσιμο μέσο περιφερειακής αποθήκευσης, όπως είναι για παράδειγμα ένας οπτικός δίσκος με κόστος που δε ξεπερνά το 1€, με επακόλουθο να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σαν συσκευές μεταφοράς δεδομένων.

Η πιο δημοφιλή λύση μαγνητικής αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων είναι οι μαγνητικές ταινίες, οι οποίες προσφέρουν με μικρό κόστος αποθηκευτικούς χώρους που ξεκινούν από μερικά Gigabyte και φτάνουν και τα 500, ενώ το 2007 αναμένονται μαγνητικές ταινίες με χωρητικότητα που θα φτάνει και θα ξεπερνά το 1 Terabyte ασυμπίεστου αποθηκευτικού χώρου. Το μεγάλο

πλεονέκτημα των μαγνητικών ταινιών είναι το πολύ μικρό κόστος του αποθηκευτικού μέσου ανά μονάδα αποθηκευτικής ικανότητας. Αν και οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των σκληρών δίσκων κατάφεραν να μειώσουν δραματικά το κόστος κατασκευής τους και να επιφέρουν την ανάλογη αύξηση των αποθηκευτικών τους ικανοτήτων, τα σκήπτρα της χαμηλότερης αναλογίας κόστους ανά Gigabyte μαγνητικής αποθήκευσης είναι ακόμα στην κατοχή των μαγνητικών ταινιών. Ωστόσο, η χρήση τους συμφέρει μόνο στην περίπτωση που απαιτείται η αποθήκευση πραγματικά τεράστιου όγκου δεδομένων, αφού το κόστος απόκτησης της συσκευής εγγραφής και ανάγνωσης των μαγνητικών ταινιών είναι πολλαπλάσιο του αντίστοιχου κόστους των σκληρών δίσκων. Επίσης η σειριακή πρόσβαση στα δεδομένα που χαρακτηρίζει τις μαγνητικές ταινίες, είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα το οποίο ευθύνεται για τον περιορισμό χρήσης τους αποκλειστικά στο πεδίο της εφεδρικής αποθήκευσης των δεδομένων.

1.2.6.5 Μαγνητο-οπτικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης

Τα μαγνητο-οπτικά μέσα αποτελούν μια, εναλλακτική των αφαιρούμενων μαγνητικών δίσκων, λύση περιφερειακής αποθήκευσης, η οποία ευδοκίμωσε την εποχή που η χωρητική ικανότητα των αφαιρούμενων μαλακών μαγνητικών δίσκων ήταν πάρα πολύ μικρή, ενώ τα επανεγγράψιμα οπτικά μέσα ήταν ακριβά, αργά και με μικρή χωρητικότητα. Σήμερα στο εμπόριο μπορεί κανείς να βρει λύσεις μαγνητο-οπτικής αποθήκευσης με χωρητική ικανότητα από 600 Megabyte μέχρι 9,1 Gigabyte. Τα πλεονεκτήματα των μαγνητο-οπτικών δίσκων είναι η μεγάλη τους αντοχή στο χρόνο και την κακή χρήση, αλλά και στην έκθεσή τους σε καθημερινά μαγνητικά πεδία, τα οποία είναι ικανά να επηρεάσουν τα δεδομένα ενός κοινού μαγνητικού δίσκου, όπως επίσης και η ικανότητά τους να γράφονται και να διαγράφονται για χιλιάδες φορές χωρίς πρόβλημα. Παρόλα αυτά, το υψηλό κόστος των μαγνητο-οπτικών μέσων, σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος των συσκευών οδήγησής τους, τα καθιστά ασύμφορα σε σχέση με άλλες λύσεις περιφερειακής αποθήκευσης.



1.2.6.6 Οπτικά μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης

Τα οπτικά αποθηκευτικά μέσα έγιναν ευρέως γνωστά εξαιτίας της εξάπλωσης των οπτικού δίσκων για οικιακή χρήση, δηλαδή των CD και των DVD για μουσική και βίντεο αντίστοιχα. Οι οπτική δίσκοι DVD σήμερα αποτελούν την πιο συμφέρουσα λύση περιφερειακής αποθήκευσης, αφού παρουσιάζουν το μικρότερο συντελεστή κόστους ανά Gigabyte χωρητικότητας. Η τελευταία μείωση στις τιμές των συσκευών εγγραφής και ανάγνωσης δίσκων DVD μονής πλευρά και στρώσης, όπως επίσης και αυτή των αντίστοιχων δίσκων, λόγω της προώθησης των ομόλογων δίσκων και συσκευών διπλής στρώσης, κατέστησε την αποθήκευση σε δίσκους DVD των 4,7 GB ως την οικονομικότερη λύση αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων. Ωστόσο είναι σχεδόν σίγουρο πως αυτή η κατάσταση μπορεί να αλλάξει πολύ σύντομα, αφού ο ανταγωνισμός είναι τεράστιος.

Οι οπτικοί δίσκοι CD αν και σαν αποθηκευτικές μονάδες είναι φθηνότερες από τους δίσκους DVD, η μικρή τους χωρητική ικανότητα 650-700 MB τους καθιστά λιγότερο ελκυστική λύση, αφού το κόστος ανά ποσότητα προσφερόμενου αποθηκευτικού χώρου είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των δίσκων DVD. Ωστόσο, όταν πρόκειται για τη διανομή σε πολλά αντίγραφα δεδομένων των οποίων το μέγεθος δε ξεπερνά τα 700MB, οι οπτικοί δίσκοι CD είναι η οικονομικότερη λύση.

Οι οπτικοί δίσκοι χαμηλού κόστους συνήθως είναι και μη επανεγγράψιμοι. Οι οπτικοί δίσκοι που έχουν την ικανότητα να γράφονται για πολλές φορές κοστίζουν αρκετά περισσότερο από αυτούς που γράφονται μόνο για μια φορά και έτσι η χρήση τους συνιστάται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων.

Εκτός από τους κοινούς οπτικούς δίσκους που γνωρίζουμε από το χώρο της οικιακής διασκέδασης, υπάρχουν και εξειδικευμένοι οπτικοί δίσκοι οι οποίοι προορίζονται κυρίως για την αποθήκευση δεδομένων με όγκο που φτάνει και τα 30 GB. Το μεγάλο τους κόστος όμως σε συνδυασμό και με το μεγάλο κόστος των οδηγών τους, τους καθιστά ασύμφορους την εποχή μας.

1.2.6.7 Μέσα τριτεύουσας αποθήκευσης στερεής κατάστασης

Τα μέσα στερεής κατάστασης, λόγω κόστους και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως η μικρή τους χωρητική ικανότητα, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται ως συσκευές μεταφοράς δεδομένων. Σε καμία περίπτωση η χρήση τους δε συνιστάται για την εφεδρική αποθήκευση πληροφορίας ή για την απελευθέρωση του αποθηκευτικού χώρου των συσκευών δευτερεύουσας αποθήκευσης, αφού το κόστος ανά μονάδα αποθηκευτικής ικανότητας που επιδεικνύουν είναι πολύ μεγάλο.

1.2.6.8 Διαδικτυακές υπηρεσίες τριτεύουσα αποθήκευση σε απομακρυσμένους εξυπηρετητές αρχείων

Καθώς η ταχύτητα πρόσβασης στο Internet αυξάνεται με πολύ γοργούς ρυθμούς ενώ ταυτόχρονα το κόστος απόκτησης και χρήσης γρήγορης πρόσβασης στο Internet μέσω συνδέσεων ευρείας ζώνης μειώνεται, πολλές εταιρίες προσφέρουν υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων σε απομακρυσμένους εξυπηρετητές αρχείων μέσω του διαδικτύου. Ο χρήστης πληρώνοντας κάποια μηνιαία ή ετήσια συνδρομή, ή ακόμα και δωρεάν μέσω καταιγισμού διαφημιστικών μηνυμάτων, έχει στη διάθεσή του έναν αποθηκευτικό χώρο ψηφιακών δεδομένων ο οποίος είναι προσπελάσιμος από οποιοδήποτε υπολογιστή συνδεδεμένο στο Internet και συνεπώς από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου. Παρά τη σχετικά αργή μεταφόρτωση των αρχείων, που ανάλογα με την ταχύτητα πρόσβασης στο διαδίκτυο μπορεί να κυμαίνεται από μερικά Kilobyte έως 1 Megabyte το δευτερόλεπτο, πολλοί είναι αυτοί που κάνουν χρήση τέτοιων υπηρεσιών κυρίως για την ευκολία που τους παρέχουν όσον αφορά τη μεταφορά δεδομένων χωρίς την άμεση ανάγκη χρήσης κάποιας αποθηκευτικής συσκευής. Η χρήση τέτοιων υπηρεσιών, λόγω της αμφιλεγόμενης εξασφάλισης του απόρρητου των δεδομένων και της μικρής ταχύτητας δια-μεταγωγής των δεδομένων μέσω του διαδικτύου, συνιστάται μόνο για τη διακίνηση μη σημαντικών δεδομένων μικρού μεγέθους, όπως είναι για παράδειγμα εικόνες, αρχεία κειμένου κλπ. Ωστόσο, υπάρχουν εταιρίες παροχής τέτοιου είδους υπηρεσιών, οι οποίες εγγυώνται τόσο το απόρρητο και την ασφάλεια των



δεδομένων, όσο και τη γρήγορη αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω ειδικού λογισμικού, το οποίο ανιχνεύει τις αλλαγές των δεδομένων και μεταφορτώνει μόνο αυτές.

1.2.7 Οδηγίες για την καλή λειτουργία των μέσων και των συσκευών οδήγησής τους

Οι κατασκευαστές των αποθηκευτικών μέσων, ανάλογα με την τεχνολογία αυτών, ορίζουν τις κατάλληλες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο περιβάλλον χρήσης ή αποθήκευσης του μέσου, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η καλή λειτουργία και η αξιοπιστία του για το χρονικό διάστημα που ορίζουν ως μέσο όρο ζωής του. Ως μέσος όρος ζωής κάποιου αποθηκευτικού μέσου ορίζεται η χρονική περίοδο από τη στιγμή που αυτό χρησιμοποιηθεί για την εγγραφή δεδομένων, αποθηκευτεί και κατόπιν διαβαστεί χωρίς πρόβλημα. Ο χρόνος αυτός δεν εξαρτάται μόνο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου αποθήκευσης, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως είναι η ποιότητα της βιομηχανικής κατασκευής του μέσου, ο τρόπος με τον οποίο μεταχειρίστηκε και η συχνότητα με την οποία χρησιμοποιήθηκε.

Όλα τα αποθηκευτικά μέσα, όπως επίσης και οι συσκευές οδήγησής τους, για να καταφέρουν να διατηρήσουν τα αποθηκευμένα δεδομένα για το χρονικό διάστημα που έχει ορίσει ο κατασκευαστής τους, πρέπει να βρίσκονται σε περιβάλλοντα χώρο ο οποίος καλύπτει κάποιες βασικές προϋποθέσεις θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι συνθήκες που πρέπει να επικρατούν είναι αυτές ενός κοινού γραφείου, με θερμοκρασία γύρω στους 20 βαθμούς Κελσίου και υγρασία όχι πάνω από 60% [150].

Η σκόνη και κάθε είδους αιωρούμενα σωματίδια είναι ακόμα ένας περιβαλλοντικός παράγοντας κατά της αξιοπιστίας των αποθηκευτικών μέσων και των συσκευών οδήγησής τους και έτσι πρέπει να περιορίζονται όσο το δυνατό στο ελάχιστο. Τα αιωρούμενα σωματίδια επικάθονται στα αποθηκευτικά μέσα και έτσι εισέρχονται στο εσωτερικό των συσκευών οδήγησης προκαλώντας τη δυσλειτουργία τους, ή ακόμα και ανεπανόρθωτες βλάβες, οι οποίες επηρεάζουν και τα ίδια τα δεδομένα. Για το λόγο αυτό, σε

χώρους όπου αποθηκεύονται ψηφιακά μέσα το κάπνισμα πρέπει να απαγορεύεται αυστηρός, όπως επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται και η τοποθέτηση συσκευών οι οποίες προκαλούν αιώρηση σωματιδίων (εκτυπωτές, ανεμιστήρες κλπ.). Επίσης οι συσκευές οδήγησης των μαγνητικών μέσων πρέπει και αυτές να βρίσκονται σε περιβάλλον με παρόμοιες συνθήκες, αφού η σκόνη σε συνδυασμό με την υγρασία μπορεί να προκαλέσουν δυσλειτουργία αλλά και βλάβες στη συσκευή. Έτσι, για την αποφυγή προβλημάτων που σχετίζονται με τη συσσώρευση αιωρούμενων σωματιδίων στις ευαίσθητες επιφάνειες των μέσων και των συσκευών, συνιστάται η χρήση κυτίων αποθήκευσης των μέσων τα οποία κλείνουν αεροστεγώς, εμποδίζοντας τη σκόνη να έρθει σε επαφή με το αποθηκευτικό μέσο. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, υπάρχουν ιδικά καθαριστικά τόσο για τον καθαρισμό της αποθηκευτικής και προστατευτικής επιφάνειας των μέσων, όσο και για τον καθαρισμό των κεφαλών εγγραφής και ανάγνωσης των συσκευών οδήγησης τους.

Ακόμα ένας εχθρός των αποθηκευμένων δεδομένων, επίσης αόρατος και επικίνδυνος, είναι τα διάφορα μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που παράγονται από τις διάφορες συσκευές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο με τα αποθηκευτικά μέσα, όπως είναι οι οθόνες, τα ηχεία, ηλεκτροκινητήρες κλπ. Ο κίνδυνος αυτός αφορά περισσότερο τα μαγνητικά μέσα, τα οποία είναι και τα πιο ευπαθή σε εξωτερικά μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για το λόγο αυτό η αποθήκευσή τους, αλλά και η τυχαία τοποθέτησή τους σε κάποιο σημείο κατά την καθημερινή τους χρήση, πρέπει να γίνεται με προσοχή έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε επαφή τους με μαγνητικά πεδία που πιθανό να αλλοιώσουν την αποθηκευμένη σε αυτά πληροφορία. Τα μαγνητο-οπτικά μέσα είναι σχεδόν ανεπηρέαστα από τα μαγνητικά πεδία που πιθανό να υπάρχουν σε ένα κοινό εργασιακό χώρο, ενώ τα οπτικά μέσα δε διατρέχουν απολύτως κανένα κίνδυνο από αυτά. Βέβαια τα πολύ ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία (π.χ. μικροκύματα μεγάλης ισχύος) είναι ικανά να αλλοιώσουν οποιοδήποτε αποθηκευτικό μέσο. Όσον αφορά τα μέσα στερεής κατάστασης, αυτά επηρεάζονται περισσότερο από τα ισχυρά ηλεκτροστατικά πεδία παρά από τα μαγνητικά [150].



Η πολύωρη έκθεση οποιοδήποτε μέσου στο ευθύ φως του ήλιου είναι καταστροφική, αφού από τη θερμότητα μπορεί να παραμορφωθεί το εξωτερικό προστατευτικό κέλυφος, όταν πρόκειται για κάποια δισκέτα ή κασέτα, όπως επίσης και η αποθηκευτική του επιφάνεια και να αλλοιωθούν οι αποθηκευμένες πληροφορίες σε αυτή, καθιστώντας έτσι το μέσο, στη χειρότερη περίπτωση, μη αναγνώσιμο ακόμα μετά από εξειδικευμένα συνεργεία, τα οποία ασχολούνται με την αποκατάσταση δεδομένων από κατεστραμμένα αποθηκευτικά μέσα. Επίσης η φωτιά ή η θερμότητα που εκλύεται από αυτή, σε περίπτωση που βρίσκεται πολύ κοντά στα αποθηκευτικά μέσα, είναι ικανή να προκαλέσει τουλάχιστον παρόμοιες βλάβες με αυτές που προκαλούνται από την πολύωρη ηλιακή έκθεση του μέσου. Για το λόγω αυτό συνιστάται τα μέσα να αποθηκεύονται σε πυρίμαχα κιβώτια και αν είναι δυνατό σε χώρους με αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης. Στην περίπτωση που το μέσο βραχεί, είτε από πλημμύρα είτε από την πυρόσβεση φωτιάς στον εργασιακό χώρο και δεν υπάρχουν αντίγραφα, τότε τα δεδομένα είναι δυνατό να διασωθούν είτε με τη βοήθεια ειδικών συνεργείων, προτιμότερο για σημαντικά δεδομένα, είτε ακολουθώντας τις παρακάτω απλές οδηγίες [135]:

- **Δισκέτες (οπτικών, μαγνητικών και μαγνητο-οπτικών μέσων):**
Εξάγουμε το αποθηκευτικό μέσο από τη δισκέτα, χωρίς να αγγίζουμε καθόλου την αποθηκευτική επιφάνεια του δίσκου, το ξεπλένουμε με απεσταγμένο νερό έτσι ώστε να καθαριστεί από σωματίδια που κόλλησαν στην επιφάνειά του όταν ήταν ακόμα υγρή, και το αφήνουμε να στεγνώσει για 2 με 3 μέρες και το σκουπίζουμε με ένα πανί που δεν αφήνει ίνες. Κατόπιν, αποφεύγοντας πάντα οποιαδήποτε επαφή με την αποθηκευτική επιφάνεια του μέσου, εισάγουμε το δίσκο σε καινούργιο φάκελο (δισκέτα) και αν είναι αναγνώσιμος από τη συσκευή οδήγησης, δημιουργούμε ένα αντίγραφο του και κρατάμε μόνο αυτό.
- **Οπτικοί δίσκοι που δε περιλαμβάνονται σε δισκέτα (CD, DVD κ.α.):**
Ξεπλένουμε τις βρομιές με απεσταγμένο νερό και τοποθετούμε το δίσκο κάθετα για να στεγνώσει. Σκουπίζουμε το δίσκο με ένα πολύ μαλακό πανί το οποίο δεν αφήνει ίνες, με κάθετες κινήσεις από το κέντρο του δίσκου προς τα έξω.

- **Ταινίες:** Η μαγνητική ταινία πρέπει να αφαιρεθεί από την κασέτα, να ξεπλυθεί με απεσταγμένο νερό και να τοποθετηθεί κάθετα πάνω σε στυπόχαρτο για να στεγνώσει. Τα καρούλια τυλίγματος της κασέτας πρέπει επίσης να καθαριστούν με χλιαρό νερό. Αφού πλυθούν και στεγνώσουν όλα τα κομμάτια της κασέτας, τη επανα-συναρμολογούμε και αν είναι αναγνώσιμη δημιουργούμε ένα αντίγραφο της και κρατάμε μόνο αυτό.
- **Σκληροί δίσκοι και μέσα στερεής κατάστασης:** Οι σκληροί δίσκοι είναι αεροστεγώς κλεισμένοι και σε καμία περίπτωση δε πρέπει να ανοιχτούν, στην περίπτωση που έχουν βραχεί ξεπλένουμε λάσπες και βρομιές με αποσταγμένο νερό και τους αφήνουμε να στεγνώσουν για 2 με 3 μέρες για την αποφυγή βραχυκυκλώματος λόγω συγκέντρωσης νερού στα κυκλώματα της συσκευής. Για τα μέσα στερεής κατάστασης κάνουμε το ίδιο, στην περίπτωση όμως που η διασύνδεση πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού συνδέσμου θηλυκού τύπου και έχει εισχωρήσει λάσπη, θα πρέπει να γίνει χρήση διαλυτικών υγρών με ουδέτερη συμπεριφορά στα πλαστικά, όπως για παράδειγμα η αλκοόλη. Αν στεγνώσουν καλά αυτά τα μέσα και καθαριστούν από προσκολλημένα στα ηλεκτρονικά τους κυκλώματα αγωγή κατάλοιπα, ικανά να προξενήσουν κάποιο βραχυκύκλωμα, τότε αυτά δε διατρέχουν κανένα κίνδυνο.

1.3 Πρακτικές ψηφιακής αποθήκευσης δεδομένων και εξειδικευμένες συσκευές μαζικής αποθήκευσης

Η αποθήκευση ψηφιακών δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ο πιο κοινός από αυτούς είναι αυτός της αποθήκευσης στο σκληρό δίσκου του ηλεκτρονικού υπολογιστή και η πιθανή μετέπειτα εφεδρική αποθήκευση σε κάποιο αναλώσιμο αποθηκευτικό μέσο όπως ο οπτικός δίσκος. Η σύγχρονη αγορά πληροφορικής ωστόσο έχει να επιδείξει μεγάλη ποικιλία τεχνικομηχανικών λύσεων περιφερειακής αποθήκευσης δεδομένων, οι οποίες μπορεί να ποικίλουν από απλές περιφερειακές συσκευές οδήγησης αναλώσιμων

μέσων ψηφιακής αποθήκευσης, μέχρι και αυτόνομα εξειδικευμένα συστήματα ψηφιακής αποθήκευσης, τα οποία μπορεί να ενσωματώνουν και να συνδυάζουν πολλές και ποικίλες τεχνολογίες, όπως συστοιχίες σκληρών δίσκων, οδηγών οπτικών ή μαγνητο-οπτικών δίσκων, μαγνητικών ταινιών κλπ. Ο στόχος των συσκευών αυτών είναι η ικανοποίηση των αναγκών για αποθηκευτικούς χώρους και επιδόσεις που είναι αδύνατο να ικανοποιηθούν από μια κοινή περιφερειακή αποθηκευτική συσκευή.

Η κατάλληλη πρακτική ψηφιακής αποθήκευσης επιλέγεται αναλόγως των απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής και είναι αυτή η οποία καθορίζει ποια τεχνικομηχανική λύση αρμόζει καλύτερα στην εκάστοτε εφαρμογή. Ο βασικός διαχωρισμός των διαθέσιμων πρακτικών ψηφιακής αποθήκευσης προσεγγίζεται βάση τριών γενικών κατηγοριών, οι οποίες αποσκοπούν στην κατάταξη των διαθέσιμων αποθηκευτικών συσκευών σύμφωνα με την ταχύτητα διάθεσης των δεδομένων που αυτές επιδεικνύουν. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ταχύτητα διάθεσης των δεδομένων είναι συνάρτηση του όγκου δεδομένων που μπορεί να μεταφέρει, από και προς τη μνήμη, η αποθηκευτική συσκευή σε ένα δευτερόλεπτο και του χρόνου πρόσβασης στα αποθηκευμένα δεδομένα της, ή στην περιοχή όπου υπάρχει ελεύθερος χρόνος για την εγγραφή καινούργιων. Έτσι οι απαιτήσεις και οι ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής, υπαγορεύουν και τη χρήση κάποιας ή συνδυασμό κάποιων, από τις παρακάτω πρακτικές ψηφιακής αποθήκευσης.

1.3.1 Online storage (άμεση πρόσβαση δεδομένων)

Η πρακτική Online storage έχει σαν στόχο την άμεση διαθεσιμότητα των δεδομένων στο αίτημα του χρήστη. Η απόκριση της αποθηκευτικής συσκευής πρέπει να είναι ταχύτερη και να υπάρχει αποθηκευμένος σε αυτή όλος ο όγκος της πληροφορίας που επιθυμούμε να είναι άμεσα διαθέσιμος. Συνεπώς, οι πιο κατάλληλες αποθηκευτικές συσκευές για τη δουλειά αυτή είναι αυτές που έχουν να επιδείξουν πολύ μικρό χρόνο πρόσβασης στα δεδομένα και μεγάλο ρυθμό δια-μεταγωγής τους.

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται οι λύσεις τεχνικομηχανικού εξοπλισμού, των οποίων ο χρόνος πρόσβασης στην αποθηκευμένη πληροφορία δεν ξεπερνά το δευτερόλεπτο. Τέτοιες λύσεις ικανοποιούν εφαρμογές στις οποίες απαιτείται συνεχόμενη πρόσβαση σε δεδομένα ακόμα και από μεγάλο πλήθος χρηστών, όπως για παράδειγμα είναι η έντονη δραστηριότητα σε βάσεις δεδομένων και τα συχνά προσπελάσιμα αρχεία σε δίκτυα πολυάριθμων χρηστών.

Οι πιο διαδεδομένες συσκευές της κατηγορίας αυτής είναι οι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι, οι οποίοι οργανωμένοι σε συστοιχίες παρέχουν ευμεγέθεις και άμεσα προσβάσιμους αποθηκευτικούς χώρους. Τέτοιες συστοιχίες μαγνητικών σκληρών δίσκων, οι αποκαλούμενες RAID (**R**edundant **A**rray of **I**ndependent **D**isks), προσφέρουν αποθηκευτικό χώρο της τάξεως των εκατοντάδων Gigabytes (1 Gigabyte = περίπου 1000 Megabyte) με τις κορυφαίες προτάσεις να ξεπερνούν τα 100 Terabytes (1 Terabyte = περίπου 1000 Gigabyte) χωρητικότητας. Επιτρέπουν την ταχύτατη πρόσβαση των δεδομένων για ανάγνωση και εγγραφή, που μετράται σε λίγες δεκάδες χιλιοστών του δευτερολέπτου και αναλόγως των αναγκών μπορούν να προσφέρουν μέγιστη δια-μεταγωγή ή μέγιστη ασφάλεια δεδομένων, επιλέγοντας την ανάλογη μέθοδο συναρμογής των δίσκων τους.



Εικόνα 115. Συστοιχίες μαγνητικών σκληρών δίσκων των 2 και 32 terabytes

Αυτή η λύση αποθήκευσης συγκαταλέγεται σε μια από τις πιο ακριβές της αγοράς και συνάμα σε μια από τις γρηγορότερες. Συνιστάται σε περιπτώσεις

όπου η ταχύτητα πρόσβασης, εγγραφής και ανάγνωσης των δεδομένων είναι «ζωτικής» σημασίας και απαιτείται από περισσότερους του ενός χρήστες ταυτόχρονα (π.χ. εξυπηρετητές εταιρικών βάσεων δεδομένων, Internet κλπ.).

Μια δεύτερη λύση γρήγορης πρόσβασης σε αποθηκευμένες πληροφορίες, είναι οι συστοιχίες συσκευών ανάγνωσης οπτικών δίσκων (CD / DVD towers). Με χρόνο πρόσβασης αρκετά μεγαλύτερο από τον αντίστοιχο των συστοιχιών σκληρών δίσκων, οι συστοιχίες οπτικών δίσκων ήταν κάποτε από τις πιο συμφέρουσες λύσεις για τη γρήγορη διάθεση μεγάλου όγκου αποθηκευμένων πληροφοριών. Ωστόσο, η ανοδική πορεία της χωρητικότητας των μαγνητικών σκληρών δίσκων, συνοδευόμενη από τη δραματική μείωση των τιμών τους, γεγονότα που οφείλονται στον καλύτερο λόγο χωρητικότητας δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό (Gigabytes/cm^2) των μαγνητικών σκληρών δίσκων, κατέστησαν τις συστοιχίες συσκευών ανάγνωσης οπτικών δίσκων (CD / DVD towers) ασύμφορες και τις περιόρισαν στο φάσμα των ιδικών εφαρμογών, όπου η χρήση τους είναι λύση αναγκαστική και όχι ανταγωνιστική. Εντούτοις, το μέλλον των συστοιχιών συσκευών ανάγνωσης οπτικών δίσκων διαγράφεται λιγότερο παρασηκιακό. Σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των οπτικών δίσκων, αλλά και των φυσικών εμποδίων που εμφανίζονται με την παρούσα τεχνολογία των μαγνητικών σκληρών δίσκων, η διαφορά στη χωρητικότητα δεδομένων ανά τετραγωνικό εκατοστό μεταξύ οπτικών και μαγνητικών δίσκων θα αρχίσει να συγκλίνει και πάλι.

Ιδιαίτερτητα των συστοιχιών συσκευών ανάγνωσης οπτικών δίσκων (CD / DVD towers) είναι πως χρησιμοποιούνται μόνο για την ανάγνωση προ-αποθηκευμένων πληροφοριών και όχι για τη συνεχή εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων, αφού οι οπτική οδηγία δίσκων (CD – ROM / DVD – ROM) δεν προσφέρουν τη δυνατότητα εγγραφής. Σε αυτή την περίπτωση η ασφάλεια των δεδομένων από διαγραφή, είτε λόγω λανθασμένου χειρισμού ή είτε λόγω εσφαλμένης λειτουργίας του συστήματος, είναι εγγυημένη. Υπάρχουν αντίστοιχες συσκευές που επιτρέπουν την εγγραφή σε οπτικούς ή μαγνητο-οπτικούς δίσκους όπως επίσης και την επανεγγραφή τους. Ωστόσο, λόγω της αργής αλλά και ιδιότροπης διαδικασίας εγγραφής και διαγραφής των επανεγγράψιμων δίσκων, οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις

μαζικής παραγωγής αντιγράφων, ή για την τακτική εφεδρική αποθήκευση πληροφορίας, παρά για συχνή και γρήγορη εγγραφή και διαγραφή δεδομένων.



Εικόνα 116. DVD Tower

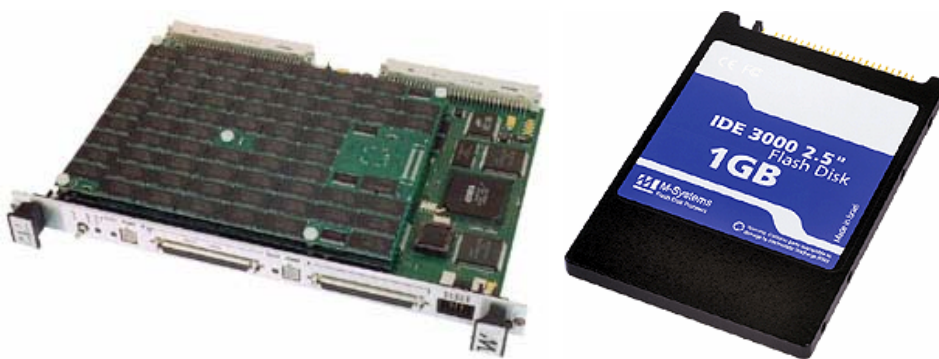
Η ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων των συσκευών ανάγνωσης και εγγραφής οπτικών δίσκων, είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή των σκληρών δίσκων και εκτιμάται σε πολλές δεκάδες χιλιοστών του δευτερολέπτου. Τέτοιες συσκευές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ανάγκη πρόσβασης σε αρχειακό υλικό το οποίο παραμένει αμετάλλακτο (π.χ. αρχεία ιατρικών εικόνων, εγγράφων, βιβλιοθήκες κλπ.) ή απαιτείτε πρόσβαση, από μεγάλο αριθμό χρηστών, σε πληροφορία που είναι ήδη αποθηκευμένη σε οπτικούς δίσκους (CD/DVD) και απαγορεύεται η αντιγραφή της λόγω δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας.

Για εφαρμογές όπου η αξιοπιστία και η ταχύτητα στην προσπέλαση και μεταφορά των δεδομένων επιβάλλονται από πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών, υπάρχει η λύση των στερεής κατάστασης αποθηκευτικών συσκευών (Solid State Devices). Αυτές οι συσκευές βασίζονται στην τεχνολογία ημιαγωγών και αποθηκεύουν την πληροφορία εξ'ολοκλήρου ηλεκτρονικά σε μικροτσίπ μνήμης, χωρίς να παρεμβάλλονται αργά και αναξιόπιστα μηχανικά υποσυστήματα, όπως γίνετε στην περίπτωση των μαγνητικών ή οπτικών δίσκων

και μαγνητικών ταινιών. Έτσι επιτυγχάνετε ταχύτατη μεταφορά δεδομένων, που σε μερικές περιπτώσεις φτάνει τις χιλιάδες των Megabytes ανά δευτερόλεπτο, αλλά και ταχύτατη πρόσβαση στα δεδομένα, εκτιμώμενη σε μερικές δεκάδες νανοδευτερόλεπτα.

Οι συσκευές αυτές βασίζονται σε δύο διαφορετικές τεχνολογίες μνήμης, τις ασταθείς μνήμες και τις μη ασταθείς. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η πρώτη κατηγορία μνήμης απαιτεί συνεχόμενη τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας για τη διατήρηση των δεδομένων της, ενώ η δεύτερη απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια μόνο κατά την εγγραφή, διαγραφή και ανάγνωση των δεδομένων. Συνεπώς, για την εφεδρική αποθήκευση των δεδομένων οι συσκευές που χρησιμοποιούν ασταθή μνήμη συνοδεύονται από υποσυστήματα ασφαλείας, όπως μπαταρίες και σκληρούς δίσκους. Χάρης των υποσυστημάτων αυτών, σε ενδεχόμενη διακοπή στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ο κίνδυνος να χαθούν πολύτιμα δεδομένα εξαφανίζεται. Ωστόσο το κόστος τους συμβάλει στην αύξηση του ήδη μεγάλου κόστους της κύριας αποθηκευτικής συσκευής. Αντιθέτως, η συσκευές που κάνουν χρήση μη ασταθούς μνήμης, σε περίπτωση διακοπής της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να διατηρήσουν τις αποθηκευμένες πληροφορίες για μερικά χρόνια, χωρίς να απαιτούνται ειδικά υποσυστήματα εφεδρείας. Ωστόσο η κύρια διαφορά που καθορίζει την επιλογή μεταξύ των δύο τύπων, είναι η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων, η οποία για την πρώτη κατηγορία κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέχρι και δύο με τρεις χιλιάδες Megabytes ανά δευτερόλεπτο, ενώ για τη δεύτερη, στις περισσότερες περιπτώσεις με τα βίαια ξεπερνά τα 40 με 70 Megabytes ανά δευτερόλεπτο, όπως επίσης και ο περιορισμός της παρούσας τεχνολογίας μη ασταθούς μνήμης να γράφεται και να σβήνεται για πεπερασμένο αριθμό φορών, ο οποίος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ μερικών εκατοντάδων χιλιάδων και μερικών εκατομμυρίων κύκλων εγγραφής ή διαγραφής. Οι υπερβολικές επιδόσεις των συσκευών που βασίζονται σε ολοκληρωμένα (μικροτσιπ) ασταθούς μνήμης, τις καθιστούν ιδανικές για εφαρμογές υψηλών επιδόσεων, όπως για παράδειγμα σε κέντρα υπερυπολογιστών, όπου χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση τεράστιων συνόλων δεδομένων, τα οποία επεξεργάζονται ταυτόχρονα από πολλούς ανεξάρτητους ηλεκτρονικού υπολογιστές -

επεξεργαστές. Η λύση της αποθήκευσης σε μη ασταθή μνήμη, λόγω των χαμηλών αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά και της ανθεκτικότητάς της στις βίαιες επιταχύνσεις (π.χ. χτυπήματα και κραδασμοί), χρησιμοποιείται κατά κόρων σε εφαρμογές αποθήκευσης δεδομένων σε φορητές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες. Τέτοιες εφαρμογές είναι από την αποθήκευση φωτογραφιών σε ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές μέχρι και την αποθήκευση δεδομένων σε μαύρα κουτιά αεροσκαφών.



Εικόνα 117. Αποθηκευτικές συσκευές στερεής κατάστασης ασταθής και μη ασταθής μνήμης.

Στο άμεσο μέλλον η τεχνολογία μας επιφυλάσσει εκπληκτικές εξελίξεις όσον αφορά το θέμα της γρήγορης αποθήκευσης και ανάκτησης ψηφιακής πληροφορίας. Μέσω της ολογραφικής αποθήκευσης, καθώς και άλλων καινοτόμων τεχνολογιών, η αύξηση στη χωρητικότητα και στην ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων θα είναι δραματική. Βάση ερευνών, εικάζεται πως συσκευές που θα γράφουν και θα διαβάζουν οπτικά δισκάκια των 100 Gigabyte με ταχύτητα πολύ μεγαλύτερη των 100 Megabyte ανά δευτερόλεπτο δεν θα αργήσουν να κάνουν την εμφάνισή τους.

1.3.2 Near line storage

Ο όρος Near line storage (NLS) αναφέρεται σε μια πρακτική αποθήκευσης τεράστιου όγκου πληροφορίας οικονομικότερης αυτής της άμεσης πρόσβασης, με τη μόνη διαφορά πως τα δεδομένα δεν είναι άμεσα προσβάσιμα από το χρήστη, αλλά απαιτείται για τη διάθεσή τους να μεσολαβήσει ένα σχετικά

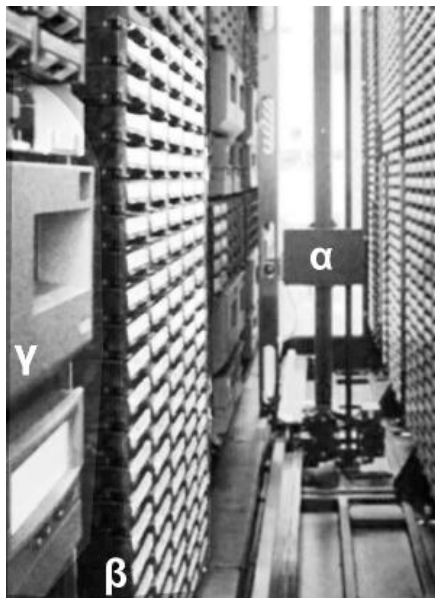
μικρό χρονικό διάστημα της τάξεων των μερικών δευτερολέπτων με λίγων λεπτών της ώρας.

Η πρακτική αποθήκευσης NLS βασίζεται σε αποθηκευτικές συσκευές των οποίων ο λόγος κόστους ανά χωρητικής ικανότητας είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο των συσκευών άμεσου χρόνου πρόσβασης των δεδομένων (Online storage devices – **OSD**), με βασικό αντίκτυπο στη χρονική καθυστέρηση που απαιτείται για την ανάκτηση των δεδομένων. Με χρόνο πρόσβασης στα δεδομένα πολύ μεγαλύτερο του δευτερολέπτου, οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των OSD για λόγους εφεδρικής αποθήκευσης σε τακτικά χρονικά διαστήματα (π.χ. στο τέλος της ημέρας) και για λόγους απελευθέρωσης του πολύτιμου αποθηκευτικού χώρου των OSD από δεδομένα που χρησιμοποιούνται σπάνια. Λόγω του πολύ μεγάλου χρόνου πρόσβασης στα δεδομένα, είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθούν NLS συσκευές για την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με διαφορετικές εκκλήσεις ο καθένας. Συνεπώς η χρήση τους σαν κύρια βάση δεδομένων είναι απαγορευτική.

Η αρχιτεκτονική των περισσότερων NLS συσκευών βασίζεται στην αρχή λειτουργίας των τζουκμπόξ. Πιο αναλυτικά, οι συσκευές αυτές αποτελούνται συνήθως από μια βιβλιοθήκη με ταξινομημένα αποθηκευτικά μέσα, όπως μαγνητικές κασέτες, οπτικούς δίσκους κ.α. Μια ή περισσότερες συσκευές ανάγνωσης των αποθηκευτικών μέσων και μια ρομποτική συσκευή, για τη μεταφορά των αποθηκευτικών μέσων από τη βιβλιοθήκη στη συσκευή ανάγνωσης και αντίστροφα.

Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα με κόστος αρκετά μικρότερο από αυτό που μπορεί να επιτευχθεί από της συσκευές OSD. Ωστόσο η ταχύτητα προσπέλασης στα δεδομένα ελαττώνεται με την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας της βιβλιοθήκης, λόγω της αύξησης του χρόνου που απαιτείται από το ρομποτικό υποσύστημα για τη μεταφορά των αποθηκευτικών μέσων από και προς τις συσκευές ανάγνωσης. Σε περιπτώσεις πολύ μεγάλων διατάξεων, γίνεται χρήση περισσότερων του ενός ρομποτικού συστήματος και περισσότερων της μιας συσκευής ανάγνωσης και εγγραφής, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος πρόσβασης στην πληροφορία αλλά και για να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα περισσότεροι χρήστες. Ανάλογα με το πεδίο

εφαρμογής υπάρχουν και οι ανάλογες προτάσεις, των οποίων η ταχύτητα και η χωρητικότητα ποικίλει και είναι πάντα συσχετισμένη με την αρχιτεκτονική και τα αποθηκευτικά μέσα που χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 118. Τυπική NLS συσκευή τύπου βιβλιοθήκης μαγνητικών ταινιών. α) Ρομποτική διάταξη που μεταφέρει τις μαγνητικές ταινίες από τα ράφια της βιβλιοθήκης (β) στις συσκευές εγγραφής / ανάγνωσης (γ) και αντίστροφα. β) Ράφια της βιβλιοθήκης με ταξινομημένα τα αποθηκευτικά μέσα. γ) Συσκευές ανάγνωσης και εγγραφής των αποθηκευτικών μέσων.

Οι πιο κοινές NLS συσκευές χρησιμοποιούν ως αποθηκευτικό μέσο μαγνητικές ταινίες σε μορφή κασέτας. Η μαγνητική ταινία έκανε την εμφάνισή της, μετά τις τρυπητές χαρτοταινίες, ως το πρώτο αξιόπιστο αποθηκευτικό μέσο. Η χρήση της έχει παραμείνει αμείωτη μέχρι και σήμερα, ωστόσο ο ρόλος της είναι τελείως διαφορετικό απ' ότι ήταν λίγες δεκαετίες πριν. Οι NLS συσκευές μαγνητικών ταινιών είναι εξέλιξη των κλασικών βιβλιοθηκών, όπου παλιότερα στοιβάζονταν στα ράφια τους οι μαγνητικές ταινίες από το προσωπικό και οι οποίες αυτοματοποιήθηκαν με τη βοήθεια της ρομποτικής τεχνολογίας. Με τη χρήση ειδικών ρομποτικών μηχανισμών ελεγχόμενοι από ειδικό λογισμικό, η διαδικασία της μεταφοράς και ταξινόμηση των αποθηκευτικών μέσων, που παλιότερα ήταν ανθρώπινη εργασία, αυτοματοποιήθηκε πλήρως. Με αυτόν τον τρόπο, η όλη διαδικασία επιταχύνθηκε δραματικά και πολλά ανθρώπινα λάθη κατά την ταξινόμηση και μεταφορά εξαλείφθηκαν.

Ήταν οι πρώτες συσκευές που εμφανίστηκαν, με δυνατότητα παροχής αποθηκευτικών χώρων πέρα από τους προσφερόμενους από τα ξεχωριστά διαθέσιμα αποθηκευτικά μέσα της αγοράς. Πρωτοεμφανίστηκαν από εξειδικευμένες εταιρείες, οι οποίες αναλάμβαναν την κατασκευή της αυτοματοποιημένης βιβλιοθήκης σύμφωνα με της ανάγκες του κάθε πελάτη. Ωστόσο, η μεγάλη ζήτηση οδήγησε στην εμφάνιση έτοιμων λύσεων, με χωρητικότητα από μερικές δεκάδες μέχρι και πολλές χιλιάδες κασέτες. Οι σύγχρονες λύσεις αποτελούνται από μια συμπαγή κατασκευή, μέσα στην οποία βρίσκονται μία ή περισσότερες συσκευές ανάγνωσης μαγνητικών ταινιών, θήκες αποθήκευσης των ταινιών σε όσο το δυνατό πυκνότερη διάταξη και ένας ρομποτικός μηχανισμός, ειδικά σχεδιασμένο ώστε να μην απαιτεί συχνή συντήρηση. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων των NLS συσκευών μαγνητικής ταινίας, κυμαίνεται από 1 μέχρι και μερικές δεκάδες Megabytes ανά δευτερόλεπτο ανάλογα με το είδος της ταινίας που χρησιμοποιούν, τιμές που πλησιάζουν αυτές κοινών σκληρών δίσκων. Ωστόσο, ο χρόνος προσπέλασης στα δεδομένα είναι υπερβολικά μεγαλύτερος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο των δίσκων και κυμαίνεται από 5 μέχρι και μερικές δεκάδες δευτερόλεπτα. Αυτό οφείλεται στον σειριακό τρόπο με τον οποίο είναι αποθηκευμένη η πληροφορία στις μαγνητικές ταινίες, όπως επίσης και στο χρόνο που απαιτείται από τα ηλεκτρομηχανικά υποσυστήματα αυτοματισμού της βιβλιοθήκης, για την αλλαγή του αποθηκευτικού μέσου σε περίπτωση που τα ζητούμενα δεδομένα υπάρχουν σε κάποιο μέσο στα ράφια της βιβλιοθήκης και όχι σε αυτό μέσα στη συσκευή ανάγνωσης. Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση στην ταχύτητα προσπέλασης δεδομένων, που χαρακτηρίζει τις NLS συσκευές μαγνητικής ταινίας, είναι ένας μεγάλος περιοριστικός παράγοντας απόκτησής τους. Ωστόσο, η μεγάλη και φτηνά προσφερόμενη χωρητική ικανότητά τους σε δεδομένα, σε συνδυασμό με την ικανοποιητική ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων, κατέστησε τις NLS συσκευές μαγνητικής ταινίας ως την κύρια λύση εφεδρικής αποθήκευσης τεράστιου όγκου δεδομένων.

Ταυτόχρονα με την εμφάνιση νέων αποθηκευτικών μέσων, όπως οι οπτικοί και μαγνητο-οπτικοί δίσκοι, εμφανίστηκαν NLS συσκευές που εκμεταλλεύονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των νέων μέσων. Βασίζονται στην ίδια διάταξη

τύπου τζουκμπόξ, που περιγράψαμε παραπάνω για τις NLS συσκευές μαγνητικής ταινίας, με μόνη διαφορά στο αποθηκευτικό μέσο και στη συσκευή ανάγνωσης του. Έτσι, παραλλαγές των κλασικών NLS συσκευών μαγνητικής ταινίας, οδήγησαν στην κατασκευή NLS συσκευών οπτικών δίσκων (CD/DVD) για την πρόσβαση σε προ-αποθηκευμένη πληροφορία, μαγνητο-οπτικών δίσκων για εφαρμογές όπου η ασφάλεια και η ανθεκτικότητα του αποθηκευτικού μέσου στη φθορά είναι ζωτικής σημασίας, όπως επίσης και στην κατασκευή συσκευών για διάφορους τύπους αφαιρούμενων αναλώσιμων αποθηκευτικών μέσων χαμηλού κόστους και μεγάλης χωρητικότητας. Οι NLS συσκευές που βασίζονται στους αφαιρούμενους οπτικούς και μαγνητο-οπτικούς δίσκους, παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις κατά την πρόσβαση στην απαιτούμενη πληροφορία σε σχέση με τις αντίστοιχες συσκευές μαγνητικών ταινιών. Αυτό οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αναζήτηση της πληροφορίας στους δίσκους, όπου είναι δυνατή η τυχαία προσπέλαση σε όλη την ωφέλιμη αποθηκευτική επιφάνεια του δίσκου μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου, σε διαφορά με τις μαγνητικές ταινίες, όπου η αναζήτηση για δεδομένα στη λεπτή και πολύ μακριά αποθηκευτική επιφάνεια τους, γίνεται σειριακά και μπορεί να διαρκέσει αρκετά δευτερόλεπτα. Με χρόνο πρόσβασης από μερικές δεκάδες μέχρι λίγες εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου και ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 3 μέχρι 10 MB/sec, οι οπτικοί και μαγνητο-οπτικοί δίσκοι είναι αρκετά γρήγορη λύση αποθηκευτικού μέσου. Ωστόσο ο συνδυασμός τους με τα αργά μηχανικά υποσυστήματα της αυτοματοποιημένης βιβλιοθήκης, έχει ως αποτέλεσμα την αρκετών δευτερόλεπτων διεύρυνση του χρονικού φάσματος πρόσβασης στα δεδομένα.

Καθώς όμως η τεχνολογία των σκληρών δίσκων εξελίσσεται, στην αγορά εμφανίζονται ολοένα και μεγαλύτερης χωρητικότητας και ταχύτητας σκληροί δίσκοι σε ολοένα και χαμηλότερες τιμές, αυτό οδηγεί στην εμφάνιση NLS συσκευών που χρησιμοποιούν κοινούς σκληρούς δίσκους ως κύριο αποθηκευτικό μέσο. Η λειτουργία τους διαφέρει κατά πολύ από τη λειτουργία των κλασικών NLS συσκευών που βασίζονται στην τεχνολογία των τζουκμπόξ, αφού εκμεταλλεύονται την τεχνολογία των συσκευών άμεσης πρόσβασης των δεδομένων (OSD), με ορισμένες διαφοροποιήσεις έτσι ώστε το κόστος

απόκτησής αλλά και λειτουργίας τους, να μην ξεπερνά αυτό αντίστοιχης χωρητικότητας OSD. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση ιδικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, τα οποία δρομολογούν τον έλεγχο των αποθηκευτικών μέσων (σκληρών δίσκων) ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε συναλλαγής δεδομένων. Το αποτέλεσμα είναι πολύ μικρός χρόνος πρόσβασης στα δεδομένα, που κυμαίνεται από 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου και φτάνει μέχρι τα 10 δευτερόλεπτα. Η ταχύτητα απόκρισης των συσκευών αυτών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή κοινών NLS συσκευών και υπό ορισμένες συνθήκες είναι ισάξια με αυτή των OSD. Ωστόσο, λόγω του ευρύ χρονικού φάσματος απόκρισης της συσκευής, το οποίο επιβάλετε από την τεχνολογική προσέγγιση στο πρόβλημα ελέγχου μεγάλου αριθμού σκληρών δίσκων, οδήγησε την κατάταξη τους στην κατηγορία των NLS συσκευών.

Η χρήση των συσκευών αυτών συναντάται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ανάγκη σποραδικής πρόσβασης σε σημαντικά δεδομένα μεγάλου όγκου, όπως για παράδειγμα βίντεο, ήχος, κείμενα, εικόνες κ.α.. Ωστόσο, η σταδιακή μείωση των τιμών και η ταυτόχρονη αύξηση του αποθηκευτικού χώρου των σκληρών δίσκων, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις NLS συσκευές που τους χρησιμοποιούν ως αποθηκευτικό μέσο: όπως η ευκολία χρήσης και προσαρμογής στην υπάρχουσα υποδομή, η υψηλή ταχύτητα, η διαθεσιμότητα, η αξιοπιστία και η σχεδόν ανύπαρκτη ανάγκη συντήρησης των μηχανικών μερών της συσκευής, τις καθιστούν ολοένα και πιο ελκυστικές λύσεις έναντι των κλασικών NLS συσκευών.

1.3.3 Offline storage

Ο όρος Offline storage (**OLS**) αναφέρεται στην εξωτερική αποθήκευση δεδομένων σε μεμονωμένα αποθηκευτικά μέσα, όπως για παράδειγμα οι οπτικοί και μαγνητοοπτικοί δίσκοι και οι μαγνητοταινίες, για λόγους μακροχρόνιας εφεδρικής (backup) αποθήκευσης. Είναι χειροκίνητη διαδικασία κατά την οποία ο χρήστης αποθηκεύει τα δεδομένα του σε αναλώσιμα αποθηκευτικά μέσα, τα οποία χαρακτηρίζει με ετικέτες σύμφωνα με τα δεδομένα που περιέχουν και στη συνέχεια τα αποθηκεύει ταξινομημένα σε ειδικά μελετημένους χώρους. Η

ποικιλία των διαθέσιμων αποθηκευτικών μέσων είναι πολύ μεγάλη και η επιλογή του κατάλληλου αποθηκευτικού μέσου απαιτεί προσεκτική εξέταση, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Στην περίπτωση της ψηφιακής διατήρησης και αρχειοθέτησης, προτιμούνται τα αποθηκευτικά μέσα με τη μεγαλύτερη αντίσταση στη φθορά του χρόνου. Ο χρόνος ζωής των σύγχρονων αποθηκευτικών μέσων υπολογίζεται σε πολύ ανώτερες τιμές από τη μέχρι τώρα ύπαρξή τους. Μέχρι και σήμερα, κανένα από τα σύγχρονα αποθηκευτικά μέσα δεν έχει αποδείξει πρακτικά τη μακροζωία του, παρά μόνο την κατά προσέγγιση εκτίμησή της βάση εργαστηριακών μελετών. Μια καλή μέθοδος για την εξασφάλιση των δεδομένων από τυχόν λανθασμένη εκτίμηση της ζωής του αποθηκευτικού μέσου, είναι να αποθηκεύονται τα ίδια δεδομένα σε περισσότερα του ενός τύπου αποθηκευτικά μέσα, ως δεδομένα μόνο για ανάγνωση και στη συνέχεια να παράγονται πολλαπλά αντίτυπα αυτών των μέσων. Επίσης, ανεξάρτητα από ποια μέσα θα χρησιμοποιηθούν για την OLS αποθήκευση δεδομένων, θα πρέπει αυτά να αποθηκευτούν σε χώρο που θα τηρεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες που ορίζει ο κατασκευαστής τους. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του μέσου, αλλά και η αναλλοίωτη διατήρηση των αποθηκευμένων δεδομένων, για όση διάρκεια ορίζει ο κατασκευαστής του μέσου ως χρόνο ζωής του.

Επιπλέον, θα πρέπει να οριστεί και να τηρηθεί πιστά κάποιο χρονοδιάγραμμα για τον ποιοτικό έλεγχο της φυσικής κατάστασης των αποθηκευτικών μέσων και των αποθηκευμένων δεδομένων, με την πρόθεση της αποφυγής απώλειας δεδομένων λόγω φυσικής φθοράς του μέσου. Αυτή η πρακτική εφαρμόζεται εδώ και πάρα πολλά χρόνια σε χώρους όπου διαχειρίζονται έγγραφα, όπως για παράδειγμα σε βιβλιοθήκες του μεσαίωνα όπου παλιοί πάπυροι αντιγράφονταν σε νέους για τη διατήρηση των πληροφοριών που περιείχαν. Έτσι και σήμερα, τα αποθηκευμένα ψηφιακά δεδομένα αντιγράφονται σε καινούργια αποθηκευτικά μέσα του ίδιου τύπου, ανά περιοδικά διαστήματα ανάλογα του χρόνου ζωής και της παρατηρούμενης φθοράς του μέσου.

Καθώς όμως η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών αλλά και των αποθηκευτικών συσκευών και μέσων εξελίσσεται ραγδαία, πολύ γρήγορα τα

μέσα στα οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα μας, πριν ακόμα φτάσουν το μισό της ζωής τους, γίνονται απαρχαιωμένα και άχρηστα. Η κύρια αιτία της ανικανότητας χρήσης των τωρινών αποθηκευτικών μέσων και συσκευών σε συστήματα του πολύ κοντινού μέλλοντος, είναι η μεταξύ τους ασυμβατότητα σε επίπεδο λογισμικού και μηχανισμού, όπως για παράδειγμα αλλαγές στο λειτουργικό σύστημα και τυχόν διαφορές στον τρόπο διασύνδεσης με την τεχνικομηχανική (hardware) υποδομή που θα υπάρχει στο άμεσο μέλλον. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, τα δεδομένα θα πρέπει να μεταναστεύουν σε πιο σύγχρονα αποθηκευτικά μέσα παρά σε μέσα του ίδιου τύπου τα οποία έχουν ξεπεραστεί. Η επιλογή του μεταγενέστερου αποθηκευτικού μέσου, θα πρέπει να γίνεται προσεκτικά έτσι ώστε η αξιοπιστία, μακροβιότητα και μελλοντική υποστήριξή του να είναι αποδεδειγμένη.



Εικόνα 119. Ιεραρχία συστημάτων αποθήκευσης.

Η OLS θεωρείται μια από της πιο αργές πρακτικές αποθήκευσης. Η αιτία βρίσκεται στην κύρια συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των αποθηκευτικών μέσων πέρα από την αποθηκευτική συσκευή. Η τήρηση συγκεκριμένων κανόνων και υποδείξεων, που υπαγορεύονται από την κάθε περίπτωση, για το πως και που θα αποθηκεύονται τα γραμμένα αποθηκευτικά μέσα, είναι βασική για την επιτυχή OLS αποθήκευση. Ο χρόνος προσπέλασης σε δεδομένα που δεν βρίσκονται εκείνη τη στιγμή μέσα στη συσκευή αποθήκευσης και είναι αποθηκευμένα σε κάποιο ράφι μιας βιβλιοθήκης, είναι άμεσα εξαρτημένος από την τήρηση των κανόνων αποθήκευσης αλλά και τη διαθεσιμότητα του υπαλλήλου που πιθανότατα να

είναι υπεύθυνος για την προσκόμισή τους από τον χώρο αποθήκευσης. Επομένως, ο χρόνος πρόσβασης σε δεδομένα που τυγχάνει να βρίσκονται αποθηκευμένα σε κάποιο μέσο εκτός της συσκευής ανάγνωσης, κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα της ώρας μέχρι και το άπειρο, στην περίπτωση που χαθεί το αποθηκευτικό μέσο λόγω κακής διαχείρισης.

1.3.4 Υποδείξεις επιλογής πρακτικής και τεχνικομηχανικού εξοπλισμού ψηφιακής αποθήκευσης

Οι αποθηκευτικές απαιτήσεις που προκύπτουν από τη διαδικασία της τρισδιάστατης αποτύπωσης, εκτείνονται σε ένα ευρύτερο φάσμα αποθηκευτικών αναγκών, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τη διαχείριση των δεδομένων καθ' όλη την πορεία της ψηφιοποίησης, δηλαδή από τη συλλογή του ακατέργαστου ψηφιακού υλικού μέσω του ιδικού εξοπλισμού ψηφιοποίησης, μέχρι την επεξεργασία του, την παραγωγή του τελικού προϊόντος και τη διάθεσή του στον τελικό αποδέκτη. Στο καθ' ένα από αυτά τα στάδια υπάρχουν δυο πολύ σημαντικοί παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπ όψιν για την επιτυχή επιλογή της πιο αρμόζουσας τεχνικομηχανικής λύσης ψηφιακής αποθήκευσης.

Ο πρώτος είναι ο όγκος των δεδομένων του θέματος που ψηφιοποιείται, ο οποίος είναι άμεσα συνυφασμένος με τη δειγματοληψία της αποτύπωσης, σε συνδυασμό με το μέγεθος του ίδιου του θέματος, όπως επίσης και με τον αριθμό των χαρακτηριστικών (διαστάσεων) που θα ψηφιοποιηθούν: για παράδειγμα το κύριο χαρακτηριστικό που αποτυπώνεται κατά την τρισδιάστατη σάρωση κάποιου αντικειμένου είναι η γεωμετρία του, ένα δεύτερο χαρακτηριστικό που μπορεί να συνοδεύει τη γεωμετρία είναι το φυσικό χρώμα του θέματος, όπως επίσης είναι δυνατό, εκτός από το φυσικό χρώμα και σχήμα το θέμα να συνοδεύεται και από άλλα δεδομένα, όπως για παράδειγμα η υφή του πέρα από το οπτικό φάσμα που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος (στο υπέρυθρο ή στο υπεριώδες). Όσον αφορά τη δειγματοληψία, αυτή καθορίζει τη λεπτομέρεια με την οποία θα αποτυπωθεί κάποιο θέμα. Όταν για παράδειγμα θέλουμε να αποτυπώσουμε λεπτομέρεια της τάξεως του 1 χιλιοστού του

μέτρου, τότε η δειγματοληψία της ψηφιοποίησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη από τη λεπτομέρεια που στοχεύουμε να καταγράψουμε, δηλαδή θα έχουμε ένα δείγμα πληροφορίας κάθε μισό χιλιοστό του μέτρου. Συνεπώς, όταν σαρώνουμε με δειγματοληψία μισού χιλιοστού, με σκοπό την αποτύπωση της γεωμετρίας μιας επιφάνεια ενός 1 τετραγωνικού μέτρου, τότε το πλήθος των δειγμάτων που θα παραχθούν από τη διαδικασία αυτή, κάτω από ιδανικές συνθήκες, θα είναι ίσο με 2.000.000. Ο αριθμός αυτός δηλώνει το πλήθος του νέφους σημείων που περιγράφουν την ψηφιοποιημένη επιφάνεια, δηλαδή το πλήθος των τρισδιάστατων συντεταγμένων που περιγράφουν μαθηματικά τη σαρωμένη επιφάνεια. Οι συντεταγμένες ενός σημείου στο χώρο εκφράζονται με τρεις αριθμούς, ένα για κάθε άξονα του τρισδιάστατου χώρου X, Y και Z, οι οποίοι στις περισσότερες περιπτώσεις τρισδιάστατης ψηφιοποίησης είναι αριθμοί κινητής υποδιαστολής (π.χ. -0,2313023440...) που εκφράζονται στη γλώσσα των υπολογιστών με 64 ψηφία 0 και 1 (8 byte). Έτσι καθίσταται προφανές πως η ψηφιακή περιγραφή της γεωμετρίας μιας επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου, η οποία αποτυπώθηκε με δειγματοληψία μισού χιλιοστού απαιτεί $8 \times 3 \times 2.000.000$ (byte X διαστάσεις X δείγματα) = 48.000.000 byte ή 48 Megabyte αποθηκευτικού χώρου. Κατά συνέπεια, η πλήρη αποθήκευση των δεδομένων αυτών σε κάποιο αποθηκευτικό μέσο με μικρότερη χωρητική ικανότητα είναι αδύνατη.

Ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας για την επιλογή τεχνικομηχανικής λύσης αποθήκευσης, είναι το πλήθος του κοινού το οποίο θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα και ο τρόπος με τον οποίο θα γίνονται διαθέσιμα τα δεδομένα σε αυτό. Όσο πιο μεγάλο είναι το κοινό τόσο πιο ευέλικτο θα πρέπει να είναι το κύριο αποθηκευτικό μέσο και όσο πιο επιτακτική είναι η ανάγκη πρόσβασης στα δεδομένα, τόσο πιο γρήγορη θα πρέπει να είναι η απόκριση της αποθηκευτικής συσκευής. Για παράδειγμα κάποιο αφαιρούμενο αποθηκευτικό μέσο θα ήταν μια καλή αποθηκευτική λύση εάν πρόκειται για τη σποραδική πρόσβαση των δεδομένων από 1 με 5 άτομα που βρίσκονται στον ίδιο εργασιακό χώρο. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν απαιτείται πρόσβαση στα δεδομένα από μια ευρύτερη ομάδα, μια αποθηκευτική συσκευή On Line ή Near Line αποθήκευσης προσβάσιμη μέσω δικτύου θα ήταν ίσως η καλύτερη λύση.

Στην περίπτωση που η πληροφορία είναι αποθηκευμένη σε συσκευές οι οποίες δε εγγυώνται την κατά λάθος διαγραφή της, όπως για παράδειγμα είναι οι μαγνητικοί σκληροί δίσκοι κλπ., θα πρέπει να δημιουργούνται εφεδρικά αντίγραφα της κατά τακτά χρονικά διαστήματα, είτε σε μέσα άλλου τύπου τα οποία παρέχουν καλύτερη προστασία από διαγραφή ή μεταβολή της πληροφορίας, είτε σε μέσα του ίδιου τύπου, στα οποία όμως η πρόσβαση θα περιορίζεται μόνο για λόγους αντιγραφής της πληροφορίας και όχι μετατροπής της. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να εξασφαλιστούν τα δεδομένα από τυχαία διαγραφή ή ανεπιθύμητη μετατροπή, είτε από κακή χρήση τους, είτε από κακή λειτουργία του λογισμικού που τα διαχειρίζεται, ή είτε από κακή λειτουργία της κύριας συσκευής αποθήκευσης.

Εν τέλη όμως θα πρέπει σε κάθε ένα από τα στάδια της ψηφιοποίησης να λαμβάνονται υπ' όψη οι παραπάνω παράγοντες και η επιλογή της αποθηκευτικής λύσης να προσαρμόζεται σύμφωνα με αυτούς. Μια τυπική υπόδειξη για το ποιες μπορεί να είναι οι αποθηκευτικές λύσεις σε κάθε ένα από τα επιμέρους στάδια της ψηφιοποίησης μπορεί να γίνει σε αυτό το σημείο, ωστόσο οι αποθηκευτικές ανάγκες κάποιων διαφορετικών περιπτώσεων υπάρχει περίπτωση να μην ικανοποιούνται από αυτές που υποδεικνύονται παρακάτω.

1^ο στάδιο – συλλογή και αποθήκευση ακατέργαστου ψηφιακού προϊόντος.

Κατά το στάδιο αυτό υπάρχει μια συνεχόμενη ροή δεδομένων από τη συσκευή ψηφιοποίησης / σάρωσης προς το σταθμό εργασίας ο οποίος χρησιμοποιείται για την εργασία αυτή. Ο όγκος των δεδομένων αυτών, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, είναι ανάλογος με το μέγεθος του θέματος, τον αριθμό των χαρακτηριστικών που θα ψηφιοποιηθούν και τη δειγματοληψία της ψηφιοποίησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αποθηκευτικές απαιτήσεις των δεδομένων αυτών μπορούν να ικανοποιηθούν άνετα από έναν ευμεγέθη σκληρό δίσκο χωρητικής ικανότητας 100 με 200 Gigabyte. Η χρήση δεύτερου δίσκου για την εφεδρική αποθήκευση των δεδομένων είναι προτεινόμενη είτε μέσω της RAID συναρμογής κατά το πρότυπο RAID 1, είτε μέσω της «χειροκίνητης» αντιγραφής από τον ένα δίσκο στον άλλο. Ωστόσο η κύρια εφεδρική προστασία των δεδομένων θα πρέπει να παρέχεται από κάποιο

αφαιρούμενο αποθηκευτικό μέσο, στο οποίο τα δεδομένα δεν απειλούνται άμεσα από τυχόν βλάβες του τεχνικομηχανικού εξοπλισμού. Η πιο συμφέρουσα λύση προς το παρόν είναι οι οπτικοί δίσκοι τύπου DVD. Στην περίπτωση όμως που το μέγεθος αρχείου που προέρχεται από την ψηφιοποίηση κάποιου θέματος, ξεπερνά αυτό του αποθηκευτικού χώρου που προσφέρει ένας οπτικό δίσκος τύπου DVD, τότε θα πρέπει να στραφούμε σε κάποια άλλη αποθηκευτική λύση μεγαλύτερης χωρητικότητας, όπως για παράδειγμα είναι οι οπτικοί δίσκοι μπλε ακτίνας λέιζερ, οι μαγνητο-οπτικοί δίσκοι, οι μαγνητικοί σκληροί αφαιρούμενοι δίσκοι, ή ακόμα και οι μαγνητικές ταινίες. Προς το παρόν κάτι τέτοιο είναι απίθανο να συμβεί, αφού ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι περισσότεροι τρισδιάστατοι σαρωτές είναι πολύ δύσκολο να οδηγήσει στη δημιουργία αρχείων τα οποία θα ξεπερνούν τη χωρητική ικανότητα του δίσκου DVD.

2^ο στάδιο – επεξεργασία του ακατέργαστου ψηφιακού προϊόντος.

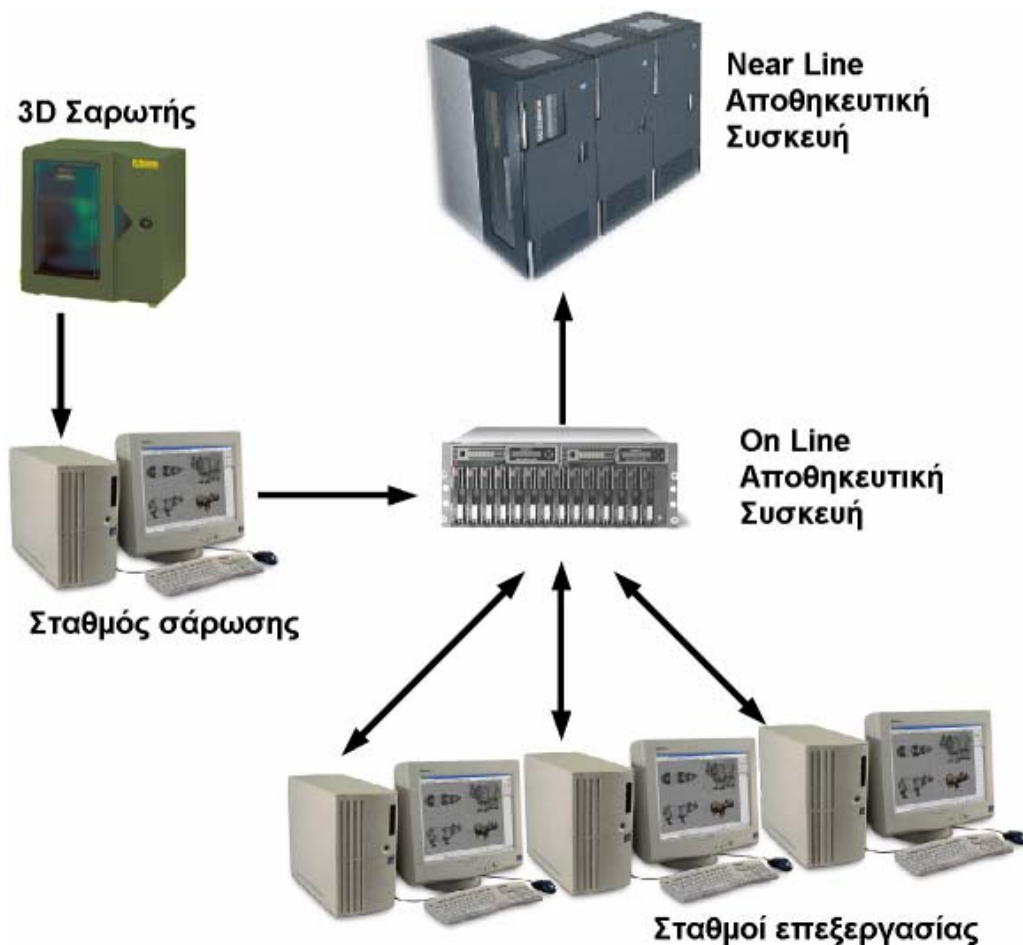
Στο στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα η επεξεργασία του ακατέργαστου ψηφιακού υλικού που έχει παραχθεί κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης, με σκοπό τη δημιουργία μιας ενιαίας τρισδιάστατης αναπαράστασης του ψηφιοποιημένου θέματος. Η εργασία αυτή υλοποιείται μέσω πολύπλοκων διαδικασιών επεξεργασίας των κομματιών της τρισδιάστατης σάρωσης, οι οποίες συνδυάζοντας αρθρικά τα επιμέρους κομμάτια του πρωτογενούς υλικού, οδηγούν στη δημιουργία πολύ μεγάλων συνόλων δεδομένων τα οποία υπάρχει περίπτωση να έχουν μέγεθος αρκετές δεκάδες Gigabyte. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ψηφιοποίηση του Δαβίδ του Μιχαήλ Αγγέλου, από μια ομάδα του πανεπιστημίου Stanford της Αμερικής [136], η οποία ως τελικό προϊόν είχε ένα τρισδιάστατο μοντέλο 2 δισεκατομμυρίων πολυγώνων, το οποίο ασυμπίεστο απαιτεί 48 Gigabyte αποθηκευτικού χώρου. Το παραπάνω ποσό δεν είναι απαγορευτικό για τα μεγέθη των μοντέρνων σκληρών δίσκων, ωστόσο οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που μπορούν να διαχειριστούν στη μνήμη τους τέτοια μεγέθη αρχείων είναι ελάχιστοι. Επειδή η καθολική επεξεργασία αρχείων τέτοιου μεγέθους προς το παρόν είναι προνόμιο μόνο όσων κατέχουν πρόσβαση σε υπερ-υπολογιστικά συστήματα, τα οποία είναι εφοδιασμένα με μνήμη αρκετών δεκάδων Gigabyte, έχουν επινοηθεί

διάφορες τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν το χειρισμό πολύ λεπτομερών μοντέλων ακόμα και από κοινούς σύγχρονους υπολογιστές γραφείου.

Παρόλα αυτά, κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των ακατέργαστων προϊόντων της σάρωσης θα πρέπει να ληφθεί υπ όψιν τόσο ο όγκος των δεδομένων που πρόκειται να επεξεργαστεί, όσο και το πλήθος των ατόμων που θα εργάζονται ταυτόχρονα για την εργασία αυτή. Για την ομαλή και απροβλημάτιστη διεκπεραίωση της διαδικασίας αυτής, ο ή οι σταθμοί εργασίας που θα επιλεγθούν για την εργασία αυτή θα πρέπει να χαρακτηρίζονται τόσο από μεγάλη επεξεργαστική ισχύ, όσο και από ευμεγέθη αποθηκευτικούς χώρους κύριας και δευτερεύουσας μνήμης, δηλαδή μνήμης RAM και σκληρού δίσκου. Στην περίπτωση που εργάζεται ένα άτομο, χρησιμοποιώντας ένα σταθμό εργασίας για τη διεκπεραίωση της εργασίας δημιουργίας της ολικής τρισδιάστατης αναπαράστασης του ψηφιοποιημένου θέματος, προτείνεται η χρήση δύο σκληρών δίσκων σε συναρμογή κατά το πρότυπο RAID-0, για τη γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα κατά την επεξεργασία τους, έναν ανεξάρτητο ευμεγέθη εσωτερικό σκληρό δίσκο για τη συχνή εφεδρική αποθήκευση των δεδομένων, για την αποφυγή απώλειας των επεξεργασμένων δεδομένων στην περίπτωση που ένας από τους δύο RAID δίσκους παρουσιάσει βλάβη. Για την περαιτέρω προστασία των δεδομένων, από ολική καταστροφή του σταθμού εργασίας λόγω κεραυνού, φωτιάς ή ακόμα και κλοπής, συνιστάται η επιπλέον περιοδική ή και συχνή εφεδρική αποθήκευση σε κάποιο εξωτερικό αποθηκευτικό μέσο ικανό να αντεπεξέλθει στις αποθηκευτικές απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Μια καλή λύση για παράδειγμα είναι η χρήση εξωτερικών σκληρών δίσκων που συνδέονται στη θήρα USB ή Firewire του σταθμού εργασίας, ή κοινοί οπτικοί δίσκοι τύπου DVD, στην περίπτωση που ο όγκος των δεδομένων το επιτρέπει.

Στην περίπτωση όπου στην επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων εμπλέκονται περισσότεροι του ενός σταθμοί εργασίας, με ισάριθμα άτομα που εργάζονται στο ίδιο σύνολο δεδομένων, προτείνεται η χρήση ενός κεντρικού εξυπηρετητή αρχείων, από τον οποίο οι χρήστες θα προμηθεύονται το πρωτογενές υλικό και θα αποθηκεύουν το επεξεργασμένο αποτέλεσμα για την εφεδρική του προστασία. Η συσκευή αυτή, ανάλογα με τον αριθμό των

χρηστών και τον όγκο των δεδομένων, θα πρέπει να είναι μια συσκευή On Line αποθήκευσης, απαρτιζόμενη από συστοιχίες σκληρών δίσκων σε πρότυπο συναρμογής το οποίο θα εξασφαλίζει τη μέγιστη ασφάλεια σε συνδυασμό με τη γρήγορη δια-μεταγωγή των δεδομένων. Οι σταθμοί εργασίας των χρηστών θα πρέπει να ακολουθούν το πρότυπο που περιγράψαμε παραπάνω, με τη μόνη διαφορά πως ο ανεξάρτητος σκληρός δίσκος και οι εξωτερικές αποθηκευτικές συσκευές για την εφεδρική αποθήκευση των δεδομένων είναι προαιρετικός εξοπλισμός, αφού τα δεδομένα θα αποθηκεύονται για λόγους εφεδρείας στη συσκευή On Line αποθήκευσης. Εντούτοις, απαραίτητο συστατικό των σταθμών εργασίας είναι ο τεχνικομηχανικός εξοπλισμός δικτύωσης υψηλής ταχύτητας, τουλάχιστον στο 1Gigabit το δευτερόλεπτο, μέσω του οποίου θα επικοινωνούν με τον εξυπηρετητή αρχείων.



Εικόνα 120. Τυπική ροή δεδομένων σε εργαστήριο ψηφιοποίησης

Η περαιτέρω εφεδρική προστασία των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στον κεντρικό εξυπηρετητή αρχείων μπορεί να γίνει, ανάλογα με τον όγκο τους, μέσω κάποιας περιφερειακή μονάδας εφεδρικής αποθήκευσης, η οποία μπορεί να είναι από μια απλή συσκευή εγγραφής οπτικών δίσκων τύπου DVD ή μια συσκευή εγγραφής μαγνητικών ταινιών, μέχρι και μια αυτοματοποιημένη λύση Near Line αποθήκευσης. Στην έσχατη περίπτωση εντατικής ψηφιοποίησης ενός ολόκληρου μουσείου, με ημερήσια παραγωγή πολλών εκατοντάδων Gigabyte πληροφορίας, το οποίο προς το παρόν είναι λίγο απίθανο να συμβεί, συνιστάται η τακτική εφεδρικής αποθήκευσης που χρησιμοποιούν μεγάλοι οργανισμοί για την αποθήκευση των δεδομένων τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, για κάθε συσκευή On Line αποθήκευσης υπάρχει άλλη μια παρόμοια, η οποία τροφοδοτείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα με τα δεδομένα της πρώτης και κατόπιν τροφοδοτεί μια Near Line συσκευή αποθήκευσης σε μαγνητικές ταινίες, ή άλλου τύπου αναλώσιμου μέσου μεγάλης χωρητικότητας.

3^ο στάδιο – διάθεση ψηφιακού προϊόντος.

Το στάδιο αυτό σχετίζεται με τον τρόπο που θα γίνεται διαθέσιμο το τελικό προϊόν της ψηφιοποίησης. Εάν για παράδειγμα το ψηφιακό υλικό πρόκειται να διατεθεί σε μεγάλο κοινό, το οποίο έχει πρόσβαση στο Internet μέσω δικτύων ευρείας ζώνης (π.χ. DSL), τότε συνιστάται η διάθεση των δεδομένων μέσω κάποιου εξυπηρετητή ιστοσελίδων ή ftp (file transfer protocol - πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων), είτε εναλλακτικά μέσω κάποιας υπηρεσίας αποθήκευσης μέσω διαδικτύου.

Εάν πάλι δεν είναι δυνατή η γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο, η διάθεση του ψηφιακού προϊόντος σε ένα ευρύ κοινό μπορεί να γίνει με τη χρήση κοινότυπων αναλώσιμων αποθηκευτικών μέσων, όπως για παράδειγμα οι οπτικοί δίσκοι τύπου CD / DVD. Στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι δυνατό να χωρέσουν ολόκληρα σε ένα μόνο δίσκο, συνιστάται η τμηματοποίησή τους σε πολλούς τόμους μέσω ιδικού λογισμικού και η αποστολή τους με τη συνοδεία των κατάλληλων οδηγιών, ή ακόμα και του κατάλληλου λογισμικού, για την επανασύνδεσή τους.

Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, εάν είναι εφικτό, συνιστάται η χρήση λογισμικού για τη συμπίεση των δεδομένων έτσι ώστε να μειωθεί το μέγεθός τους, χωρίς να χαθεί η πληροφορία που φέρουν. Η συμπίεση των δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί είτε κάνοντας χρήση ευρέως διαδεδομένων προγραμμάτων συμπίεσης αρχείων μέσω κωδικοποίησης λεξικού της πληροφορίας, είτε κάνοντας χρήση εξειδικευμένου λογισμικού συμπίεσης τρισδιάστατης γεωμετρίας, πρακτικές οι οποίες προϋποθέτουν από τον παραλήπτη να έχει στην κατοχή του το αντίστοιχο λογισμικό. Αναλόγως της χρήσης για την οποία προορίζεται το τελικό ψηφιακό προϊόν, υπάρχει η δυνατότητα μέσω ιδικού λογισμικού για επιπλέον μείωση του όγκου της πληροφορίας, κάνοντας χρήση διάφορων τεχνικών απλοποίησης της γεωμετρίας. Η απλοποίηση της γεωμετρίας συνεπάγεται σε μείωση του αριθμού των πολυγώνων που περιγράφουν το ψηφιοποιημένο θέμα και υλοποιείται μέσω ιδικών αλγόριθμων, οι οποίοι έχουν σα κύριο στόχο να απαλλάξουν την γεωμετρική περιγραφή του θέματος από περιττή πληροφορία. Επίσης, με τη χρήση τεχνικών απλοποίησης είναι δυνατό να περιοριστεί η περιγραφεί του θέματος σε κάποιο επίπεδο επιθυμητό από το χρήστη, δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα ορισμού του αριθμού των πολυγώνων που περιγράφουν στις τρεις διαστάσεις κάποιο ψηφιοποιημένο θέμα, έτσι ώστε να συμφωνεί με τις απαιτήσεις κάποιας αλληλεπιδραστικής εφαρμογής πραγματικού χρόνου.

Έκτος όμως από την ψηφιακή διάθεση των δεδομένων, υπάρχει η δυνατότητα της φυσικής διάθεσης, ως φυσικό από αντίγραφο του ψηφιοποιημένου θέματος. Την δυνατότητα αυτή μας προσφέρουν ιδικές συσκευές εκτύπωσης σε τρεις διαστάσεις. Πριν όμως αναφερθούμε στις συσκευές αυτές και στους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει διαθέσιμο το προϊόν της τρισδιάστατης σάρωσης, θα πρέπει να κάνουμε μια αναφορά στο ποια είναι η φύση του προϊόντος που παράγεται κατά την τρισδιάστατη σάρωση κάποιου θέματος και με ποιους τρόπους μπορεί να περιγραφτεί ψηφιακά και να αποθηκευτεί.



2

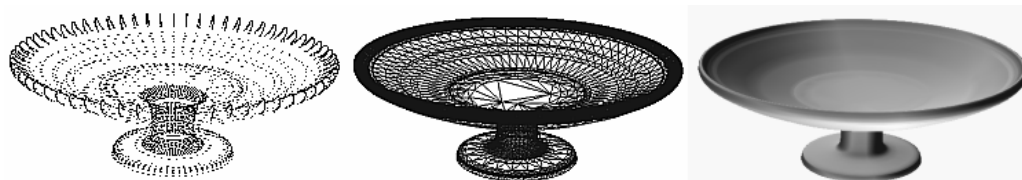
Τύποι αρχείων τρισδιάστατων δεδομένων – Προβολή και αντιγραφή τους

2.1 Εισαγωγή

Η βασικότερη λειτουργία των συσκευών τρισδιάστατης σάρωσης είναι η ψηφιακή καταγραφή της γεωμετρίας κάποιου αντικειμένου. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με πάρα πολλούς τρόπους, οι περισσότεροι από τους οποίους όμως έχουν σαν αποτέλεσμα την καταγραφή των τρισδιάστατων συντεταγμένων πολλών μεμονωμένων σημείων που ανήκουν στην επιφάνεια του αντικειμένου της ψηφιοποίησης. Αυτά τα μεμονωμένα τρισδιάστατα σημεία αποτελούν το πρωτογενές προϊόν της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης και είναι γνωστά ως νέφος σημείων (point cloud). Αναλόγως των απαιτήσεων της εκάστοτε εφαρμογής, τα σημεία αυτά είτε χρησιμοποιούνται ως έχουν, είτε γίνονται η πρώτη ύλη για την παραγωγή μιας μεγάλης σειράς δευτερογενή προϊόντων.

Για τις περισσότερες εφαρμογές τρισδιάστατης απεικόνισης, η οπτική πληροφορία που προσφέρει το νέφος σημείων από μόνο του συνήθως δεν επαρκεί, όσο πυκνό και αν είναι, αφού αυτό που απεικονίζεται στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι ένα πλήθος κουκκίδων. Η οπτική απόδοση του νέφους σημείων εφαρμόζονταν ευρέως στην απαρχή των τρισδιάστατων γραφι-

κών μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, όπου οι επιδόσεις των ηλεκτρονικών υπολογιστών ήταν ακόμα πολύ χαμηλές για να απεικονίσουν κάτι περισσότερο. Την εποχή εκείνη είχαν εφευρεθεί διάφορα τεχνάσματα που στόχο είχαν να διευκολύνουν το χρήστη στην κατανόηση της οπτική πληροφορία του νέφους σημείων. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά ήταν η κλιμάκωση της φωτεινότητας ή του μεγέθους των σημείων, ανάλογα με την απόστασή τους από το επίπεδο προβολής τους (οθόνη). Στην εποχή μας όμως, η ισχύς των σύγχρονων ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι σε θέση να διαχειριστεί πολύ πιο πολύπλοκες γραφικές αναπαραστάσεις και έτσι η τρισδιάστατη απεικόνιση του νέφους σημείων αυτού καθ'εαυτού δεν έχει νόημα παρά μόνο σε περιορισμένες περιπτώσεις, όπως είναι για παράδειγμα αυτή της πραγματικού χρόνου απεικόνισης πολύπλοκων και λεπτομερή θεμάτων. Σήμερα, στις περισσότερες εφαρμογές τρισδιάστατης απεικόνισης, γίνεται χρήση του τριγωνικού πλέγματος (triangular mesh) το οποίο είναι σε θέση να παρέχει στο χρήστη πολύ περισσότερη οπτική πληροφόρηση απ' ό,τι το νέφος σημείων, ακόμα και στην πιο απλή του μορφή της «συρμάτινης κατασκευής» (wire frame).



Εικόνα 121.: Εικονική αναπαράσταση αντικειμένου ως νέφος σημείων, συρμάτινη κατασκευή και φωτοσκιασμένο στερεό (περιγραφή από αριστερά προς τα δεξιά)

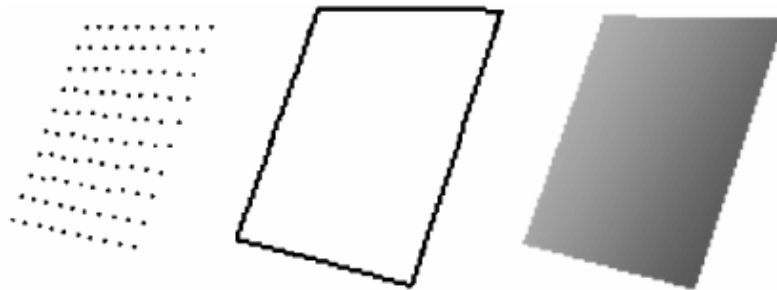
Το τριγωνικό πλέγμα είναι το κυριότερο παράγωγο του πρωτογενούς υλικού της τρισδιάστατης σάρωσης, δηλαδή του νέφους σημείων, και προκύπτει από τη διαδικασία της τριγωνοποίησης. Κατά τη διαδικασία αυτή, όλα τα τρισδιάστατα σημεία, που συλλέχθηκαν από την τρισδιάστατη σάρωση, ενώνονται με όλους τους γείτονές τους σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα τριγώνων, το οποίο περιγράφει τις επιφάνειες του ψηφιοποιημένου αντικειμένου. Η επιπρόσθετη πληροφορία της τριγωνοποίησης, δηλαδή ποια σημεία ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας τρίγωνα, μπορεί να αποθηκευτεί είτε ως συμπληρωματική της πληροφορίας των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων, ορίζοντας ποια

τρία σημεία απαρτίζουν κάθε τρίγωνο του πλέγματος, είτε ανεξάρτητα από αυτή, εκφράζοντας τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των τριγώνων του πλέγματος. Η περιγραφή του τριγωνικού πλέγματος με άμεσο ορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των τριγώνων, η οποία είναι γνωστή και ως «ωμή - ακατέργαστη» (RAW), είναι η πιο ακατέργαστη και ασύμφορη μορφή περιγραφής του πλέγματος και έχει σταματήσει να χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια.

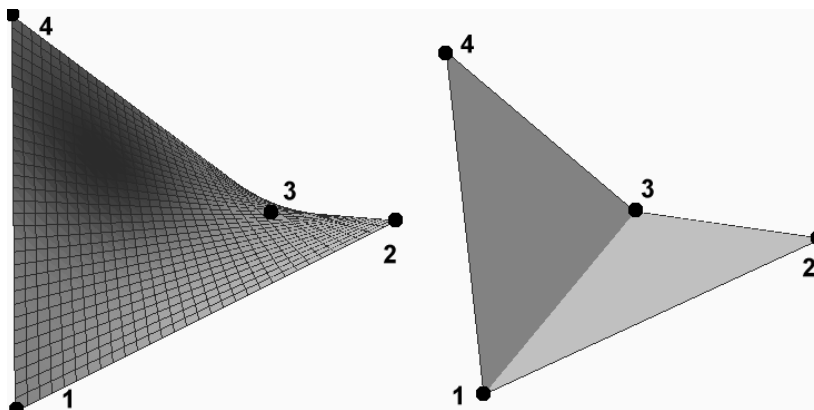
Οι ανάγκη του τριγωνοποιημένου νέφους σημείων σε χώρους ψηφιακής αποθήκευσης σαφώς είναι πολύ πιο μεγαλύτερη από αυτή του μη τριγωνοποιημένου, αφού εκτός από τις συντεταγμένες των σημείων αποθηκεύεται και η μεταξύ τους διασύνδεση. Ωστόσο, οι αυξημένες απαιτήσεις σε αποθηκευτικούς χώρους του τριγωνοποιημένου νέφους σημείων, μπορούν κάλλιστα να αντισταθμιστούν από την πληρότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης του θέματος, όπως επίσης και από τη δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας των δεδομένων για μείωση του όγκου τους, μέσω τεχνικών απλοποίησης της γεωμετρίας. Η περιγραφή και απεικόνιση της τρισδιάστατης μορφής κάποιου θέματος, κάνοντας χρήση τριγωνικού πλέγματος, είναι πολύ πιο αποδοτική σε σχέση με την αντίστοιχη του νέφους σημείων, αφού η περιγραφή εκτεταμένων επίπεδων επιφανειών μπορεί να επιτευχθεί με πολύ λιγότερη πληροφορία απ' ό,τι περιγράφοντάς τη με νέφος σημείων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση χρήσης τριγωνικού πλέγματος, η επιφάνεια μιας πλευρά ενός κύβου μπορεί να περιγραφεί και να απεικονιστεί στο χώρο μόνο με τέσσερα σημεία που σχηματίζουν δύο τρισδιάστατα τρίγωνα. Στην περίπτωση περιγραφής της με νέφος σημείων, ακόμα και τα 100 σημεία θα ήταν λίγα ώστε να αποδώσουν σωστά, δηλαδή με την ίδια οπτική πυκνότητα, την επιφάνεια της πλευράς του κύβου, απαιτώντας από το χρήστη να σχηματίσει την εικόνα της εγκεφαλικά.

Εκτός από το τριγωνικό πλέγμα, έχουν κάνει την εμφάνισή τους και άλλες μορφές περιγραφής τρισδιάστατης γεωμετρίας, που στόχο έχουν την όσο το δυνατό πιο αποδοτική περιγραφή της γεωμετρίας κάποιου θέματος. Η πιο διαδεδομένη από αυτές είναι η περιγραφή της γεωμετρίας κάνοντας χρήση παραμετρικών επιφανειών που περιγράφονται από καμπύλες γραμμές τύπου

Basic-Spline. Οι παραμετρικές επιφάνειες παρέχουν τη δυνατότητα περιγραφής ομαλών καμπύλων επιφανειών μέσω πολύ λίγων σημείων ελέγχου. Αντιθέτως, η ρητή περιγραφή μιας καμπύλης επιφάνειας, κάνοντας χρήση κοινού τριγωνικού πλέγματος, θα απαιτούσε πολύ περισσότερα σημεία για την περιγραφή της, χωρίς εν τέλη να είναι αυτά αρκετά για την ομαλή απεικόνισή της καμπύλης. Μέσω ειδικού λογισμικού είναι δυνατή η κωδικοποίηση κάποιου τριγωνικού πλέγματος ή και του ίδιου του νέφους σημείων σε παραμετρικές καμπύλες, επιφέροντας έτσι σε μεγάλο πλήθος περιπτώσεων αξιόλογη μείωση των δεδομένων περιγραφής της τρισδιάστατης γεωμετρίας [190]-[194].



Εικόνα 122 Αναπαράσταση επίπεδης επιφάνειας με σημεία και με τρίγωνα. Αριστερά απεικονίζεται μια επίπεδη επιφάνεια με νέφος 100 σημείων, ενώ στο κέντρο και δεξιά απεικονίζεται η ίδια επιφάνεια μόνο με 4 τριγωνοποιημένα σημεία (συρμάτινη κατασκευή και φωτοσκιασμένο στερεό αντίστοιχα)



Εικόνα 123: Περιγραφή μιας επιφάνειας με 4 σημεία. Η οπτική απόδοση της παραμετρικής επιφάνειας (αριστερά) είναι περισσότερο ομαλή από αυτή της μη παραμετρική (δεξιά)



2.2 Αρχεία αποθήκευσης τρισδιάστατων μοντέλων

Ο τρόπος με τον οποίο περιγράφεται η γεωμετρία κάποιου αντικειμένου και οι επιπλέον πληροφορίες σχετικά με αυτή, όπως για παράδειγμα οι συντεταγμένες που ορίζουν τη θέση της υφής σε σχέση με τη γεωμετρία, καθορίζονται από τη φόρμα του αρχείου αποθήκευσης της πληροφορίας αυτής.

Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τύποι αρχείων για την αποθήκευση τρισδιάστατων θεμάτων αριθμούν περί τους 40, ενώ ο αριθμός τους συνεχώς αυξάνεται. Ένας γενικός διαχωρισμός που μπορεί να γίνει έτσι ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία επιλογής της πιο κατάλληλης λύσης, είναι αυτός μεταξύ των αρχείων όπου η πληροφορία αποθηκεύεται στη μορφή κειμένου και των αρχείων όπου η πληροφορία αποθηκεύεται σε δυαδική μορφή. Η αποθήκευση της πληροφορίας που αφορά την περιγραφή ενός θέματος σε τρεις διαστάσεις, όταν υλοποιείται σε μορφή κειμένου καταλαμβάνει πολύ περισσότερο αποθηκευτικό χώρο απ' ό,τι θα καταλάμβανε σε δυαδική μορφή, για το λόγο ότι οι αριθμοί που δηλώνουν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες της πληροφορίας εκφράζονται με χαρακτήρες, δηλαδή κείμενο αναγνώσιμο από τον άνθρωπο, με συνέπεια ένας αριθμός να καταλαμβάνει τόσα byte αποθηκευτικού χώρου όσα είναι τα ψηφία του. Για παράδειγμα ο αριθμός 255 δυαδικά εκφράζεται με 1 Byte (8 bit – 1111111), ενώ όταν εκφράζεται σε μορφή κείμενο απαιτεί 3 byte (3 χαρακτήρες), καταλαμβάνοντας έτσι 3 φορές περισσότερο αποθηκευτικό χώρο.

Πέρα από τον παραπάνω βασικό διαχωρισμό, από τον οποίο εξαρτάται το μέγεθος του απαιτούμενου αποθηκευτικού χώρου, η επιλογή της φόρμας με την οποία θα υλοποιηθεί η αποθήκευση της ψηφιοποιημένης πληροφορίας είναι καθοριστική τόσο για τη βιωσιμότητα της πληροφορίας αυτής, όσο και για τη συμβατότητά της με τα διάφορα πακέτα λογισμικού. Επίσης, εξίσου καθοριστικός για την επιλογή του τύπου αρχείου αποθήκευσης, είναι και ο τρόπος με τον οποίο περιγράφεται η τρισδιάστατη γεωμετρία κάποιου θέματος, διότι η υποστήριξη κάποιων εξελιγμένων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα οι παραμετρικές επιφάνειες, μπορεί να μην απαντάται σε κάποιους τύπους αρχείων. Για τους παραπάνω λόγους, η αποκλειστική χρήση κάποιου μη διαδεδομένου τύπου αρχείου πρέπει να αποφεύγεται, αφού είναι πιθανό στο

μέλλον να σταματήσει η υποστήριξή του και να εξαφανιστεί. Αντιθέτως, η μετατροπή και αποθήκευση της πληροφορίας σε περισσότερους του ενός κοινά αποδεκτούς τύπους αρχείων και η περιοδική μετανάστευσή της σε πιο σύγχρονους, αποτελεί μια εγγυημένη λύση διατήρησής της.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του αρχείου αποθήκευσης του τελικού προϊόντος της τρισδιάστατης σάρωσης, για λόγους αρχειακής αποθήκευσης, είναι τα εξής:

- Δυναμική αποθήκευση της πληροφορίας για μείωση του όγκου των δεδομένων.
- Περιγραφή των τρισδιάστατων επιφανειών τουλάχιστον με πολύγωνα. Επιθυμητή είναι η υποστήριξη παραμετρικών επιφανειών, έτσι ώστε μέσω του κατάλληλου λογισμικού να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση των δεδομένων.
- Τουλάχιστον από ένα ζεύγος συντεταγμένων για κάθε τρισδιάστατο σημείο της γεωμετρίας, για την εφαρμογή μιας η περισσότερων εικόνων υφής.
- Δυνατότητα αναγνώρισης από δημοφιλή εφαρμογές του είδους, όπως για παράδειγμα λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης και κίνησης, φωτορεαλιστικής απόδοσης, μετατροπής σε άλλους τύπους αρχείων (format) και λοιπά.

Όσον αφορά τη χρήση των δεδομένων αυτών σε εφαρμογές ειδικού τύπου, όπως είναι για παράδειγμα η προβολή μέσω του διαδικτύου και η πραγματικού χρόνου, δια-δραστική παρουσίασή της, συνιστάται η επιπλέον μετατροπή της σε μορφές αρχείων περισσότερο κατάλληλες για τις εφαρμογές αυτές. Τα βασικά κριτήρια επιλογής αρχείου αποθήκευσης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για εφαρμογές τέτοιου είδους, εν μέρη περιγράφηκαν παραπάνω. Παρόλα αυτά, οι ιδιαίτερες απαιτήσεις της τρισδιάστατης απεικόνισης πραγματικού χρόνου και η πιθανή μεταφορά της πληροφορία μέσω του διαδικτύου, ή κάποιου άλλου αργού δίαυλου επικοινωνίας, προτρέπουν στη χρήση ειδικών τύπων αρχείων με τα εξής ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:



- Επίπεδο λεπτομέρειας (**LOD**-Level of Detail) συνεχόμενο ή προκαθορισμένο. Το χαρακτηριστικό αυτό αφορά την τρισδιάστατη απεικόνιση του θέματος σε πραγματικό χρόνο και σχετίζεται με την ποσότητα των πολύγωνων που περιγράφουν το θέμα (λεπτομέρεια), κάθε φορά που αυτό αποδίδεται γραφικά στην οθόνη του Η/Υ, ανάλογα με την απόσταση του αντικειμένου από τη θέση της ιδεατής κάμερας και κατά συνέπεια της επιφάνειας που αυτό καταλαμβάνει στην οθόνη του Η/Υ. Έτσι, όσο πιο μικρή είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνει το θέμα στην οθόνη του υπολογιστή, τόσο λιγότερη είναι η οπτική πληροφορία που μπορεί να αποδοθεί σε αυτή και συνεπώς τόσο πιο απαρατήρητη είναι η χρήση λιγότερων πολύγωνων για την οπτική απόδοσή του θέματος. Η τεχνική αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την ταχύτερη οπτική απόδοση της τρισδιάστατης σκηνής και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις ιδεατών περιπάτων.
- Βαθμιαίο φόρτωμα και απεικόνιση της πληροφορίας. Αφορά την έκφραση της πληροφορίας με τέτοιο τρόπο ώστε κατά τη μεταφόρτωσή της, όσο χρονοβόρα και αν είναι αυτή, να καθιστάτε εφικτή η απεικόνιση ολόκληρου του θέματος ακόμα και από τα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Με την τεχνική αυτή, η απόδοση του θέματος στην αρχή είναι χονδρική και με το χρόνο, καθώς γίνονται διαθέσιμα περισσότερα δεδομένα, αποκτά σταδιακά όλο και περισσότερη λεπτομέρεια.
- Συμπίεση και κωδικοποίηση της πληροφορίας για περαιτέρω μείωση του όγκου που καταλαμβάνει και συνεπώς του όγκου που πρέπει να μεταφερθεί μέσω του διαδικτύου.
- Μηχανισμούς διασφάλισης της πνευματικής ιδιοκτησίας των δεδομένων, μέσω υδατογραφίας ή άλλων τεχνικών, και περιορισμού της χρήσης τους μόνο για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό (π.χ. μόνο για τη θέαση μέσω κάποιου συγκεκριμένου λογισμικού).

Πίνακας XXVII. Χαρακτηριστικά κοινά διαδεδομένων αρχείων αποθήκευσης 3D θεμάτων

Όνομα αρχείου (κατά-ληξη)	Τρόπος αποθήκευσης	Τρόπος έκφρασης 3Διαστ. Πληροφορίας	Επιπλέον συντεταγμένες υφής κλπ.	Διάδοση	Επίπεδο λεπτομέρειας	Βαθμιαίο φόρτωμα	Συμπίεση	Ασφάλεια
3D Studio (3DS)	Δυναμικός	Τρίγωνα	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Μέτρια
3D Studio ASCII (ASC)	Κείμενο	Τρίγωνα	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
3D Studio Max ASCII (ASE)	Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
3D Studio Max (MAX)	Δυναμικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	?
Alias FBX (FBX)	Δυναμικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια-Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Μέτρια
AOFF (GEO)	Κείμενο	Τρίγωνα	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
AutoCAD (DXF,DXB)	Δυναμικός (DXB) Κείμενο (DXF)	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Όχι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Caligari true space (COB)	Δυναμικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
CINEMA 4D (C4D)	Δυναμικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
DirectX (X)	Δυναμικός/ Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Electric Image (FACT)	Δυναμικός/ Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Imagine (IOB)	Δυναμικός	Τρίγωνα	Ναι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Initial Graphics Exchange Specific format G-code (IGES,IGS)	Δυναμικός Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
International Organisation for standardization G Code (ISO, NC)	Δυναμικός Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
LightWave3D (LWO,LW)	Δυναμικός	Τρίγωνα	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Maya ASCII	Κείμενο	Τρίγωνα &	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύ-



Όνομα αρχείου (κατά-ληξη)	Τρόπος αποθήκευσης	Τρόπος έκφρασης 3Διαστ. Πληροφορίας	Επιπλέον συντεταγμένες υψής κλπ.	Διάδοση	Επίπεδο λεπτομέρειας	Βαθμιαίο φόρτωμα	Συμπύεση	Ασφάλεια
(MA)		Παραμετρικές Επιφάνειες						παρκτη
Maya ASCII (MB)	Διαδικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Metacreations Metastream (MTS)	Διαδικός	Τρίγωνα	Ναι	Μικρή	Ναι	Ναι	Ναι	Μέτρια
Nendo (NDO)	Διαδικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
NGRAIN (NGN,NGW)	Διαδικός	Voxels (σημεία στο χώρο)	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Ναι	Καλή
Object File Format (OFF)	Κείμενο	Τρίγωνα	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
OpenFlight (FLT)	Διαδικός	Τρίγωνα	Ναι	Μέτρια	Ναι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Open Inventor (IV)	Διαδικός/ Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη Μέτρια Μικρή	Ναι Όχι	Ναι Όχι	Ναι Όχι	Ανύπαρκτη Μέτρια
Polygon Model (PLY)	Διαδικός/ Κείμενο	Τρίγωνα	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
POV-Ray RAW Triangle Format (RAW)	Κείμενο	Τρίγωνα	Όχι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Power Render Object (PRO)	Διαδικός	Τρίγωνα	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Points File (PTS)	Κείμενο	Σημεία στο χώρο	Όχι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Extended raw triangles (RAX)	Κείμενο	Τρίγωνα	Ναι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Rhinoceros (3DM)	Διαδικός	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	
Shockwave 3D (W3D)	Διαδικός	Τρίγωνα Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια	Ναι (υποτυπώδη)	Ναι (υποτυπώδη)	Όχι	
Softimage (XSI)	Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Stereo Lithography (STL)	Διαδικός/ Κείμενο	Τρίγωνα	Όχι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
Stripe (OBJF)	Κείμενο	Τρίγωνα	Ναι	Μέτρια	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη

Όνομα αρχείου (κατά-ληξη)	Τρόπος αποθήκευσης	Τρόπος έκφρασης 3Διαστ. Πληροφορίας	Επιπλέον συντεταγμένες υφής κλπ.	Διάδοση	Επίπεδο λεπτομέρειας	Βαθμιαίο φόρτωμα	Συμπίεση	Ασφάλεια
Universal 3D (U3D)	Δυναμικός	Τρίγωνα	Ναι	αναμένεται μεγάλη	Ναι	Ναι	Ναι	?
Viewpoint (VPP)	Δυναμικός	Τρίγωνα	Ναι	Μικρή	Ναι	Ναι	Όχι	Μέτρια
Virtual Reality Modelling Language (VRML, WRL)	Κείμενο	Τρίγωνα Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Ναι (υποτυπώδη)	Ναι (υποτυπώδη)	Ναι (μέσω λογισμικού συμπίεσης σε gzip)	Ανύπαρκτη
Wavefront (OBJ)	Κείμενο	Τρίγωνα Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μεγάλη	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη
X3D (X3D)	Δυναμικός / Κείμενο	Τρίγωνα & Παραμετρικές Επιφάνειες	Ναι	Μέτρια αναμένεται μεγάλη	Ναι (υποτυπώδη)	Ναι (mpeg4)	Ναι	Μέτρια
XGL (XGL)	Κείμενο	Τρίγωνα	Ναι	Μικρή	Όχι	Όχι	Όχι	Ανύπαρκτη

2.3 Προβολή τρισδιάστατων δεδομένων σε εικονικό περιβάλλον με χρήση H/Y

Η υπόσταση της ψηφιακής καταγραφής απαντάται στις αναρίθμητες ευκολίες και ικανότητες που μας παρέχει η ψηφιακή τεχνολογία. Οι απεριόριστες δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης της ψηφιοποιημένης πληροφορίας, αλλά και η χαμηλού κόστους μαζική διάθεση και αναπαραγωγή της, αποτελούν ίσως τα πιο τρανταχτά επιχειρήματα για την υπεροχή της ψηφιακής καταγραφής έναντι κάθε μορφής αναλογικής καταγραφής. Σήμερα, η κυριαρχία της ψηφιακής καταγραφής είναι προφανής σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών, με την πιο πρόσφατη αυτή της ψηφιακής καταγραφής εικόνας, κινούμενης και μη, μέσω των ψηφιακών φωτογραφικών και κινηματογραφικών μηχανών. Στο μέλλον, η κυριαρχία της ψηφιακής καταγραφής αναμένετε να εξαπλωθεί κατά μια διάσταση επιπλέον, δηλαδή στον τομέα της τρίτης διάστασης, προσφέροντας έτσι στον τελικό αποδέκτη μια πληρέστερη περιγραφή της καταγεγραμμένης πληροφορίας. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια είναι η χρήση των κατάλληλων εργαλείων τόσο για την καταγραφή όσο και για την προβολή της πληροφορίας αυτής.



Ήδη στα προηγούμενα κεφάλαια αναφερθήκαμε τόσο στον τρόπο καταγραφής της πληροφορίας αυτής, όσο και στον τρόπο ψηφιακής έκφρασης της. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τους τρόπους προβολής της πληροφορίας που έχει παραχθεί από την τρισδιάστατη καταγραφή κάποιου θέματος, όπως επίσης και με τις μορφές και τους τρόπους ανάπλασης και αναπαραγωγής της.

2.3.1 Πρακτικές και τεχνικομηχανικές λύσεις προβολής τρισδιάστατων θεμάτων

Το τελικό προϊόν που παράγεται από την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση κάποιου θέματος είναι η μαθηματική περιγραφή της γεωμετρίας του, η οποία μπορεί να συνοδεύεται από επιπλέον πληροφορία, όπως είναι για παράδειγμα το χρώμα και η υφή του αντικειμένου. Ο τεράστιος όγκος των δεδομένων της ψηφιακή τρισδιάστατης περιγραφή κάποιου θέματος, για να καταστεί κατανοητή από τους περισσότερους, θα πρέπει να παρουσιαστεί με κάποιο τρόπο, ο οποίος θα είναι ικανός να αποδώσει την πληροφορία έτσι όπως την αντιλαμβάνεται καλύτερα ο άνθρωπος. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος παρουσίασης της πληροφορίας αυτής, είναι αυτός της οπτικοποίησής της μέσω των διάφορων τεχνικομηχανικών λύσεων απεικόνισης ψηφιακής πληροφορίας. Η συσκευή απεικόνισης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην οπτική απόδοση της πληροφορίας, αφού από αυτή θα εξαρτηθεί πως θα παρουσιαστούν τα δεδομένα της ψηφιακής καταγραφής στο χρήστη. Όσο πιο οπτικά ρεαλιστική είναι η παρουσίαση των δεδομένων της τρισδιάστατης περιγραφής κάποιου θέματος, τόσο πιο εύκολα ο χρήστης θα αντιληφθεί την πληροφορία που εκφράζουν τα δεδομένα αυτά. Ωστόσο, εκτός από τον τεχνικομηχανικό εξοπλισμό απεικόνισης, η ρεαλιστική οπτική απόδοση κάποιου ψηφιοποιημένου θέματος εξαρτάται και από το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση των δεδομένων που περιγράφουν το θέμα αυτό.

2.3.2 Τεχνικομηχανικός εξοπλισμός προβολής συνθετικών εικόνων από ηλεκτρονικό υπολογιστή για εφαρμογές πολιτισμικού ενδιαφέροντος

Για να καταστεί αντιληπτή η ψηφιακά αποθηκευμένη πληροφορία από τον άνθρωπο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μετατροπή της σε μια μορφή αναγνωρίσιμη από αυτόν. Αυτό επιτυγχάνετε μέσω των συσκευών εξόδου του ηλεκτρονικού υπολογιστή που είναι προσανατολισμένες στην επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μια από αυτές είναι και η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, στην οποία μπορεί να γίνει προσωρινά η οπτική παρουσίαση της ψηφιακής πληροφορίας.

Η οπτική παρουσίαση της πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη σε κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης μέχρι να καταλήξει στη έγχρωμη οθόνη που όλοι μας γνωρίζουμε σήμερα. Η οπτικοποίηση της ψηφιακής πληροφορίας στη δεκαετία του 1950 ήταν εφικτή μόνο μέσω πάμπολλων ενδεικτικών λυχνιών και εκτυπώσεων, ενώ η οπτικοποίηση ψηφιακής πληροφορίας σε οθόνη διαδόθηκε κατά τη δεκαετία του 1970. Ωστόσο, το μόνο που ήταν σε θέση να απεικονίσουν οι οθόνες αλλά και οι υπολογιστές της δεκαετίας του 70 ήταν μονόχρωμο κείμενο και γραφικά χαμηλής ανάλυσης. Σήμερα βέβαια, τόσο οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές όσο και οι οθόνες τους, είναι σε θέση να απεικονίσουν από απλό μονόχρωμο κείμενο μέχρι και έγχρωμα γραφικά πολύ υψηλής ευκρίνειας και για το λόγο αυτό η χρήση τους έχει επεκταθεί σε εφαρμογές πολύ πιο πέρα από τη συγγραφή κειμένων και τη διαχείριση εταιρικών βάσεων δεδομένων.

Η πιο κοινότυπη συσκευή απεικόνισης ψηφιακών δεδομένων από κάποιο Η/Υ ανέκαθεν ήταν η κοινή οθόνη καθοδικού σωλήνα, ωστόσο η σύγχρονη τεχνολογία έχει να επιδείξει μια ευρεία γκάμα προϊόντων ηλεκτρονικής παρουσίασης ψηφιακής πληροφορίας, η οποία έχει ως στόχο την κάλυψη των ιδιαίτερων απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής. Τεχνολογίες όπως αυτή των υγρών κρυστάλλων αλλά και της DLP ήδη παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στις σύγχρονες συσκευές απεικόνισης, ενώ στο πολύ κοντινό μέλλον η τεχνολογία του καθοδικού σωλήνα, που μας εξυπηρετούσε τα τελευταία 70 χρόνια, μάλλον θα αποσυρθεί οριστικά. Ποιες, όμως, είναι οι διαθέσιμες τεχνολογίες



απεικόνιση και ποια είναι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της καθεμίας; Πριν εξετάσουμε την κάθε τεχνολογία απεικόνισης ξεχωριστά, θα ήταν σκόπιμο να παρουσιάσουμε κάποια γενικά στοιχεία που είναι κοινά σε όλες της συσκευές απεικόνισης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία είναι:

1. Το **μέγεθος** της οθόνης, το οποίο μετριέται σε ίντσες και εκφράζει την απόσταση μεταξύ της κάτω και της απέναντι επάνω γωνίας του πλαισίου απεικόνισης. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο μεγαλύτερη είναι και η εικόνα που παρουσιάζεται στην οθόνη. Συνεπώς, όσο αυξάνεται το μέγεθος της απεικόνισης τόσο αυξάνεται και η απόσταση από την οποία μπορεί αυτή να καταστεί αντιληπτή και έτσι η πληροφορία είναι εφικτό να παρουσιαστεί σε μεγαλύτερο κοινό από την ίδια συσκευή απεικόνισης. Επίσης, ανάλογα με την τεχνολογία απεικόνισης, όπως επίσης και τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, η αύξηση στο μέγεθος της οθόνης μπορεί να συνοδεύεται και από αντίστοιχη αύξηση στην ανάλυσή της και κατά συνέπεια στο ποσό της πληροφορίας που μπορεί να απεικονιστεί σε αυτή.
2. Η **ανάλυση** της οθόνης, εκφράζεται από το γινόμενο δύο αριθμών X, Y και αφορά την ευκρίνεια της απεικόνισης. Οι αριθμοί αυτοί είναι ο μέγιστος αριθμός διακριτών εικονοστοιχείων (pixel) που μπορούν να απεικονιστούν στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα της οθόνης αντίστοιχα. Το εικονοστοιχείο είναι το στοιχειώδες δομικό συστατικό μιας ψηφιακής εικόνας, το οποίο στην περίπτωση των έγχρωμων οθονών εκφράζεται από τρεις αριθμούς, έναν για κάθε βασικό χρώμα, κόκκινο, πράσινο και μπλε.
3. **Βάθος χρώματος**, εκφράζεται σε Bit με ένα διψήφιο αριθμό και αφορά το μέγιστο αριθμό χρωμάτων που μπορεί να απεικονίσει η συσκευή. Τα χρώματα που είναι εφικτό να αποδοθούν από μια συσκευή απεικόνισης, είναι ο αριθμός δύο υψωμένος στη δύναμη των bit χρώματος που χαρακτηρίζουν τη συσκευή αυτή. Έτσι όταν στα τεχνικά χαρακτηριστικά μιας συσκευής απεικόνισης αναφέρεται πως αυτή είναι ικανή να αποδώσει 24 bit βάθος χρώματος, εννοείτε πως είναι εφικτό να αποδοθούν $2^{24}=16.777.216$ διαφορετικά χρώματα. Παρόλο που ο

άνθρωπος δεν είναι σε θέση να ξεχωρίσει ούτε καν το ένα δέκατο από αυτά, τα 24 bit βάθος χρώματος αποτελούν τη βάση στις σύγχρονες έγχρωμες συσκευές απεικόνισης.

4. Η **φωτεινότητα** μιας οθόνης μετριέται σε κεριά και εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα φωτός που εκλύεται από τη συσκευή απεικόνισης.
5. Η **αντίθεση** της οθόνης, εκφράζεται από το λόγο X προς 1 και αφορά τη διαφορά στη φωτεινότητα μεταξύ του άσπορου και του μαύρου. Όσο πιο μεγάλο είναι το X τόσο πιο μεγάλη είναι η αντίθεση της οθόνης και κατά συνέπεια τόσο πιο «ζωηρά» εμφανίζονται τα χρώματα.
6. Η **συχνότητα ανανέωσης** της οθόνης, εκφράζεται σε Hz (Χερτς) και αφορά πόσες φορές το δευτερόλεπτο ζωγραφίζεται η εικόνα στην οθόνη. Τιμές από 75 και πάνω είναι οι πλέον αποδεκτές, κυρίως για λόγους εργονομίας, αφού από εκεί και κάτω είναι πιθανό μερικοί άνθρωποι να παρατηρήσουν τρεμούλιασμα στην εικόνα (αλλιώς γνωστό και ως flickering).
7. Ο **λόγος των πλευρών** μιας οθόνης, εκφράζεται με το λόγο δύο αριθμών $X:Y$ και αφορά την αναλογία μεγέθους μεταξύ της οριζόντιας και κατακόρυφης πλευράς της οθόνης. Οι πιο κοινές αναλογίες είναι αυτές των 4:3, 5:4 και 16:9. Όσο μεγαλύτερο είναι το X τόσο πιο παραλληλόγραμμο είναι το σχήμα της οθόνης. Σύμφωνα με έρευνες, το οπτικό πεδίο του ανθρώπου προσεγγίζεται καλύτερα από την αναλογία 16:9.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι κοινά για όλες τις συσκευές απεικόνισης και για το λόγο αυτό θα γίνεται αναφορά σε αυτά ονομαστικά. Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι διάφορες τεχνολογίες απεικόνισης που είναι εμπορικά διαθέσιμες σήμερα και θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην παρουσίαση τρισδιάστατων θεμάτων μέσω αυτών.

2.3.2.1 Οθόνες σωλήνα καθοδικών ακτίνων (CRT- Cathode Ray Tube)

Η τεχνολογία οθονών CRT ανακαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1920 από τον Karl Ferdinand Braun και ήταν μια παραλλαγή του σωλήνα



ακτίνων X του Crooke [195]. Οι σημερινές οθόνες CRT βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με αυτές της δεκαετίας του 20, η πολύχρονη εξέλιξή τους τις έχει καταστήσει ως μια από τις πιο διαδεδομένες και συμφέρουσες λύσης ηλεκτρονικής απεικόνισης, ενώ το εύρος των εφαρμογών που κάνουν χρήση της τεχνολογίας αυτής είναι τεράστιο, καλύπτοντας τόσο τις οικιακές μας ανάγκες όσο και τις επαγγελματικές.

Αρχή λειτουργίας: Η εικόνα στις οθόνες CRT σχηματίζεται με τον εξής τρόπο: μια δέσμη ηλεκτρονίων, η λεγόμενη ακτίνα καθόδου, εστιάζεται και κατευθύνεται από ηλεκτρομαγνήτες σε μια μεγάλη γυάλινη επιφάνεια επιστρωμένη με φώσφορο, την οθόνη, όπου βρίσκεται η άνοδος. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται και πέφτουν πάνω στα μόρια του φωσφόρου με πολύ μεγάλη ταχύτητα, αναγκάζοντάς τα έτσι να εκπέμψουν φως. Αυτό συμβαίνει πάρα πολλές φορές το δευτερόλεπτο με την ακτίνα να σαρώνει όλη την επιφάνεια της οθόνης από δεξιά προς τα αριστερά και από πάνω προς τα κάτω. Αναλόγως με αυτό που πρέπει να απεικονιστεί, η δέσμη ηλεκτρονίων καθώς σαρώνει την επιφάνεια της οθόνης αλλάζει ένταση με αποτέλεσμα, κάπου να εκλύεται λιγότερο και κάπου αλλού περισσότερο φως, σχηματίζοντας έτσι την εικόνα που πρέπει να παρουσιαστεί.

Πλεονεκτήματα:

- Προς το παρόν αποτελούν τη φτηνότερη λύση ηλεκτρονικής απεικόνισης. Το κόστος απόκτησής τους είναι ανάλογο με το μέγεθος και την ανάλυσή τους, για παράδειγμα μια κοινή οθόνη H/Y των 17 ιντσών στοιχίζει γύρω στα 150 με 250 € ενώ το κόστος μιας των 21 ιντσών ξεπερνά κατά πολύ τα 250 €.
- Παρουσιάζουν πολύ καλή χρωματική απόδοση και για το λόγο αυτό αποτελούν απαραίτητο εργαλείο σε εφαρμογές γραφικών.
- Επιδεικνύουν πολύ γρήγορους ρυθμούς ανανέωσης της εικόνας, με αποτέλεσμα να αποτελούν μια άριστη λύση για εφαρμογές κινούμενης εικόνας, όπως για παράδειγμα τα παιχνίδια και η επεξεργασία βίντεο. Λόγω αυτής της ιδιότητάς, είναι εφικτή η έγχρωμη στερεοσκοπική, πραγματικά τρισδιάστατη, απεικόνιση με χρήση γυαλιών ηλεκτρονικού διαφράγματος (shutter glasses) στα οποία θα αναφερθούμε αργότερα.

- Μπορούμε να τις παρακολουθούμε ακόμα και από 89 μοίρες απόκλιση από την κατακόρυφο του επίπεδου της οθόνης, χωρίς να εμφανίζονται αλλοιώσεις στα χρώματα ή στη φωτεινότητα της απεικόνισης.

Μειονεκτήματα:

- Όσο αυξάνεται το μέγεθος της οθόνης τους τόσο αυξάνεται ο όγκος και το βάρος τους.
- Καταναλώνουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια κατά τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα μια οθόνη των 19 ιντσών καταναλώνει γύρω στα 160 Watt ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανάλωση είναι και αυτή ανάλογη με το μέγεθός τους. Η μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται και σε μεγαλύτερη έκκλιση θερμοκρασίας.
- Η κατασκευή αλλά και η απόσυρσή τους επιβαρύνουν το περιβάλλον πολύ περισσότερο από κάποιες άλλες τεχνολογίες απεικόνισης, λόγω της μεγάλης ποσότητας μόλυβδου που περιέχουν στο κρύσταλλο της οθόνης.
- Παρουσιάζουν αυξημένη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Παρουσιάζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις στην απεικόνιση, ιδιαίτερα στα άκρα της οθόνης, η διόρθωση των οποίων απαιτεί περαιτέρω ηλεκτρονικό εξοπλισμό που αυξάνει το κόστος.
- Χαμηλή ευκρίνεια απεικόνισης, κυρίως σε κακής ποιότητας οθόνες, λόγω της αδυναμίας σωστής εστίασης της ακτίνας ηλεκτρονίων.
- Το ωφέλιμο μέγεθος της απεικόνισης είναι αρκετά μικρότερο από το μέγεθος της οθόνης που ανακοινώνει ο κατασκευαστής. Για παράδειγμα μια οθόνη CRT των 17 ιντσών έχει ωφέλιμη περιοχή απεικόνισης λίγο μεγαλύτερη από 15 ίντσες.
- Είναι ευπαθείς και παρουσιάζουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής, συνήθως οι κατασκευαστές εγγυώνται περί τις 20.000 ώρες καλής λειτουργίας.



2.3.2.2 Οθόνες υγρών κρυστάλλων LCD, TFT

Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων βασίζονται στην ανακάλυψη του υγρού κρυστάλλου που έκανε το 1888 ο αυστριακός βοτανολόγος Friedrich Reinitzer. Ωστόσο η πρώτη πειραματική συσκευή ηλεκτρονικής απεικόνιση με τη βοήθεια υγρών κρυστάλλων έγινε από την εταιρία RCA το 1968 και από τότε μέχρι σήμερα η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη έχει καταστήσει τις οθόνες υγρών κρυστάλλων ως το μεγαλύτερο αντίπαλο των οθονών τεχνολογίας CRT [114].

Αρχή λειτουργίας: Το βασικό δομικό στοιχείο μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων είναι ο υγρός κρύσταλλος. Όσο και αν ακούγεται οξύμωρο, αφού ένας κρύσταλλος ποτέ δε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί υγρός, υπάρχουν κάποια υλικά στη φύση τα οποία βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση, δηλαδή δεν μπορούν να θεωρηθούν ούτε υγρά αλλά ούτε στερεά. Από τη μια τα μόριά τους μπορούν να κινηθούν ελεύθερα όπως τα υγρά, ενώ από την άλλη ο προσανατολισμός τους παραμένει ο ίδιος, όπως τα στερεά. Λόγω της μοριακής τους δομής, οι υγροί κρύσταλλοι έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν την πολικότητα του φωτός που περνά από μέσα τους, ανάλογα με την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που εφαρμόζεται σε αυτούς. Συνεπώς, εσωκλείοντας ένα στρώμα υγρών κρυστάλλων μεταξύ δύο φίλτρων οριζόντιας πόλωσης του φωτός, τα οποία είναι προσανατολισμένα ώστε να μην αφήνουν τη διέλευση του, είναι εφικτό να ελεγχθεί η ποσότητα του φωτός που θα περάσει τη διάταξη αυτή, ανάλογα με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στο στρώμα των υγρών κρυστάλλων. Έτσι μια οθόνη υγρών κρυστάλλων δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα τέτοιο «σάντουιτς» πολωτικών φίλτρων και υγρών κρυστάλλων. Επειδή όμως οι υγροί κρύσταλλοι δεν εκπέμπουν φως, οι οθόνες υγρών κρυστάλλων φωτίζονται από κάποια εξωτερική πηγή φωτός, η οποία στην περίπτωση των οθονών υγρών κρυστάλλων που χρησιμοποιούνται στους Η/Υ, είναι μια μικρή λάμπα φθορίου πίσω από το «σάντουιτς», η οποία συνοδεύεται από μια επιφάνεια διάχυσης του φωτός για την ισόποση κατανομή της φωτεινότητας σε όλη την επιφάνεια της οθόνης. Η εικόνα σχηματίζεται ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που ασκείται στους υγρούς κρυστάλλους, είτε από ένα πλέγμα μικροσκοπικών ηλεκτροδίων στις οθόνες τύπου LCD, οι οποίες

έχουν είδη ξεπεραστεί και η παραγωγή τους έχει περιοριστεί στο ελάχιστο, είτε από μια συστοιχία ημιαγωγών (τρανζίστορ) στις οθόνες τύπου TFT, οι οποίες αποτελούν την πλέον αποδεκτή πρόταση απεικόνισης με τη βοήθεια υγρών κρυστάλλων.

Πλεονεκτήματα:

- Μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια λιγότερη έκλυση θερμότητας από τη συσκευή στον περιβάλλον χώρο. Μια οθόνη TFT των 15 ιντσών καταναλώνει γύρω στα 35 watt ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η κατανάλωση μιας αντίστοιχης CRT κυμαίνεται γύρω στα 90.
- Εκπέμπουν πολύ λίγη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Μικρό βάρος και πολύ μικρός όγκος. Χαρακτηρίζονται κυρίως από το πολύ μικρό τους πάχος, που σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συγκριθεί με αυτό ενός κάδρου.
- Δεν παρατηρείται τρέμουλο στην εικόνα τους, αφού αυτή δεν σχηματίζεται από μια ακτίνα που σαρώνει την επιφάνεια της οθόνης πολλές φορές το δευτερόλεπτο. Αντιθέτως η εικόνα που σχηματίζεται παραμένει ως έχει μέχρι αυτή να ανανεωθεί με κάποια καινούργια.
- Δεν παρουσιάζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις στην εικόνα. Η ευθεία γραμμή απεικονίζεται ως ευθεία γραμμή. Η ιδιότητα αυτή, όπως θα δούμε παρακάτω, επέτρεψε την κατασκευή οθονών τρισδιάστατης στερεοσκοπικής απεικόνισης, οι οποίες επιτρέπουν σε έναν ή και περισσότερους χρήστες να αντιληφθούν πραγματικό βάθος, χωρίς τη χρήση ιδικών γυαλιών ή άλλων συσκευών.
- Η ωφέλιμη περιοχή απεικόνισης είναι ίση με το μέγεθος της οθόνης. Για παράδειγμα, μια οθόνη CRT 17 ιντσών το μέγιστο μέγεθος απεικόνισης που μπορεί να επιτύχει είναι μεταξύ 15 και 16 ίντσες, ενώ σε μια αντίστοιχη TFT αυτό είναι ίσο με 17 ίντσες.
- Κατασκευάζονται από οργανικά υλικά περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον.

- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι κατασκευαστές εγγυώνται περί τις 50.000 ώρες καλής λειτουργίας. Η διάρκεια ζωής των οθονών υγρών κρυστάλλων καθορίζεται από τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα φθορισμού που παρέχει το απαιτούμενο φως για την ανάγνωση τους. Αν μετά από 50.000 ώρες ο λαμπτήρας αυτός πάψει να λειτουργεί και αντικατασταθεί με καινούργιο, τότε η διάρκεια ζωής της οθόνης παρατείνεται για άλλες 50.000 ώρες καλής λειτουργίας.

Μειονεκτήματα:

- Εύθραυστες και ευαίσθητες σε κοινά καθαριστικά γυάλινων επιφανειών, με τα οποία πολλοί συνήθιζαν να καθαρίζουν τις οθόνες τύπου CRT.
- Υποστηρίζουν μόνο μια ανάλυση απεικόνισης. Για να αποδοθεί σωστά η απεικόνιση μεγαλύτερης ή μικρότερης ανάλυσης, εφαρμόζεται ανάλογα μεγέθυνση ή σμίκρυνση από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα της οθόνης, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η καθαρότητα και η ευκρίνεια της απεικόνισης.
- Περιορισμένο εύρος θέασης τους. Αν και οι περισσότερες σύγχρονες οθόνες τύπου TFT έχουν βελτιωθεί αρκετά σε αυτό τον τομέα, παρόλα αυτά, δεν είναι λίγες αυτές που η παρακολούθησή τους από μεγάλη γωνία παρουσιάζει προβλήματα, όπως αλλοιώσεις τόσο στα χρώματα, όσο και στην φωτεινότητα της απεικόνισης.
- Κακή χρωματική απόδοση και μικρή αντίθεση. Ειδικά στα μοντέλα χαμηλού κόστους.
- Μεγάλος χρόνος απόκρισης / μικρός ρυθμός ανανέωσης της εικόνας. Δηλαδή, ο χρόνος που απαιτείται μέχρι να αλλάξει χρώμα ή φωτεινότητα ένα εικονο-στοιχείο της οθόνης, με αποτέλεσμα σε εφαρμογές όπου υπάρχει έντονη κίνηση να παρουσιάζονται είδωλα και άλλες παρενέργειες. Στις σύγχρονες οθόνες υγρών κρυστάλλων ωστόσο τέτοια φαινόμενα δεν είναι και τόσο συχνά, αφού είναι αρκετά γρήγορες στην απόκρισή τους (κοντά στα 12 χιλιοστά του δευτερολέπτου) και έτσι η χρήση τους για εφαρμογές με έντονη κίνηση δε παρουσιάζει κανένα πρόβλημα. Παρόλα αυτά όμως, η στερεοσκοπική έγχρωμη

απεικόνιση σε μια απλή (2D) οθόνη υγρών κρυστάλλων, χρησιμοποιώντας ειδικά γυαλιά ηλεκτρονικού διαφράγματος, είναι ακόμα αδύνατη.

- Ακριβές, σε σύγκριση με τις οθόνες τύπου CRT.

2.3.2.3 Οθόνες PLASMA

Η ηλεκτρονική απεικόνιση τεχνολογίας πλάσματος ήταν μια εφεύρεση του πανεπιστημίου του Ιλλινόις της Αμερικής είδη από το 1964. Η βασική ιδέα ήταν η κατασκευή μιας συσκευής απεικόνισης η οποία θα αποτελούνταν από ένα πίνακα πολύ μικρών λαμπτήρων νέου, έναν για κάθε εικονοστοιχείο. Έτσι το 1967 κατασκευάστηκε στο εργαστήριο η πρώτη χρηστική συσκευές απεικόνισης με ανάλυση 16 X 16 εικονοστοιχεία και χρώματος πορτοκαλί [196]. Από τότε μέχρι σήμερα, η εξέλιξη έχει καταστήσει την τεχνολογία πλάσματος ικανή τόσο για την απεικόνιση εικόνων υψηλής ευκρίνειας, όσο και για την ρεαλιστική απόδοση των χρωμάτων, ενώ την ίδια στιγμή θεωρείται μια από τις καλύτερες λύσεις για την κατασκευή επίπεδων και λεπτών οθονών μεγάλου μεγέθους.

Αρχή λειτουργίας: Η εικόνα στις οθόνες πλάσματος σχηματίζεται από χιλιάδες μικροσκοπικούς λαμπτήρες φθορισμού, οι οποίοι ανά τρεις διαφορετικού χρώματος ορίζουν ένα εικονοστοιχείο. Κάθε ένας από τους λαμπτήρες αυτούς είναι ένας γυάλινος θάλαμος, του οποίου οι πέντε από τις έξι πλευρές είναι επιστρωμένες με φώσφορο χρώματος κόκκινου, πράσινου ή μπλε, ενώ η έκτη πλευρά είναι διάφανη με προσανατολισμό την ορατή επιφάνεια της οθόνης. Οι θάλαμοι αυτοί περιέχουν μία μίξη ευγενών αερίων (νέο και ξένο) υπό χαμηλή πίεση. Όταν διοχετευτεί σε αυτούς τους θαλάμους ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης, τότε τα ευγενή αέρια διεγείρονται και εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία. Η εκλυόμενη υπεριώδη ακτινοβολία με τη σειρά της διεγείρει τα μόρια του φωσφόρου που βρίσκεται στα τοιχώματα των θαλάμων, προκαλώντας έτσι την εκπομπή φωτός του αντίστοιχου χρώματος με αυτό του φωσφόρου.



Πλεονεκτήματα:

- Μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια λιγότερη έκλυση θερμότητας από τη συσκευή στον περιβάλλον χώρο.
- Μικρός όγκος και σχετικά μικρό βάρος. Χαρακτηρίζονται κυρίως από το πολύ μικρό τους πάχος, αντίστοιχο με αυτό των οθονών TFT.
- Άριστη αντίθεση, η οποία σε μερικές σύγχρονες οθόνες φτάνει και το 3000:1.
- Πολύ καλή απόδοση των χρωμάτων.
- Δεν παρουσιάζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις στην εικόνα. Η ιδιότητα αυτή, όπως θα δούμε παρακάτω, επέτρεψε την κατασκευή οθονών τρισδιάστατης στερεοσκοπικής απεικόνισης, οι οποίες επιτρέπουν σε έναν ή και περισσότερους χρήστες να αντιληφθούν πραγματικό βάθος, χωρίς τη χρήση ιδικών γυαλιών ή άλλων συσκευών.
- Η ωφέλιμη περιοχή απεικόνισης είναι ίση με το μέγεθος της οθόνης.
- Σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής. Σε ορισμένα μοντέλα είναι αντίστοιχη με αυτή των οθονών TFT, δηλαδή γύρω στις 50.000 ώρες λειτουργίας.
- Μεγάλο μέγεθος. Στην αγορά κυκλοφορούν οθόνες πλάσματος με μέγεθος 65 ιντσών.
- Προσφέρουν πεδίο θέαση 170 μοιρών και δεν παρουσιάζουν αλλοιώσεις στην εικόνα όταν αυτή παρακολουθείται από μεγάλη γωνία σε σχέση με την κατακόρυφο στο επίπεδο της οθόνης.
- Γρήγορη απόκριση σε κινούμενη εικόνα.

Μειονεκτήματα:

- Υποστηρίζουν μόνο μια ανάλυση απεικόνισης. Για να αποδοθεί σωστά η απεικόνιση μεγαλύτερης ή μικρότερης ανάλυσης, εφαρμόζεται ανάλογα μεγέθυνση ή σμίκρυνση από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα της οθόνης, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η καθαρότητα και η ευκρίνεια της απεικόνισης.
- Η ανάλυση τους σε σχέση με το μέγεθός τους είναι μικρή.
- Σε στατικές εικόνες, όπου ένα εικονοστοιχείο διατηρεί το ίδιο χρώμα για μεγάλο χρονικό διάστημα, παρουσιάζεται το φαινόμενο του καψίματος.

Έτσι όταν απεικονίζεται στην ίδια θέση της οθόνης το ίδιο πράμα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να παρουσιαστεί μόνιμη βλάβη σε εκείνη την περιοχή. Για το λόγο αυτό η χρήση των οθονών πλάσματος με H/Y δε συνιστάτε, αφού υπάρχουν πολλές περιοχές όπου απεικονίζεται το ίδιο πράμα για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

- Η διάρκεια ζωής τους μειώνετε δραστικά όταν λειτουργούν στο μέγιστο της φωτεινότητάς τους. Μετά το πέρας αυτής η οθόνη είναι μη επισκευάσιμη και συνεπώς άχρηστη.
- Ακριβότερες ακόμα και από τις αντίστοιχες οθόνες υγρών κρυστάλλων. Οστόσο σε μεγέθη μεγαλύτερα των 32 ιντσών οι διαφορά στην τιμή εξισορροπείται, αφού οι παραγωγή μεγάλου μεγέθους οθονών υγρών κρυστάλλων είναι ακόμα πολύ ακριβή.

2.3.2.4 Προβολικά συστήματα (Projectors)

Η ιστορία των προβολικών συστημάτων ξεκινά σχεδόν ταυτόχρονα με αυτή του σινεμά. Το 1896 η κατασκευαστική εταιρία του Έντισον ξεκίνησε την παραγωγή και εμπορική εκμετάλλευση της πρώτης συσκευής προβολής εικόνας σε μεγάλη οθόνη, το Vitascope, η οποία ήταν αυτή που άνοιξε την αυλαία για το σινεμά με τη μορφή που τον γνωρίζουμε σήμερα [197].

Παρά την πολύχρονη παρουσία των προβολικών συσκευών στο σινεμά, η προβολή ηλεκτρονικά παραγόμενης εικόνας άργησε πάρα πολύ να εμφανιστεί. Η κυριότερη αιτία της καθυστέρησης αυτής, ήταν η έλλειψη της τεχνολογίας σχηματισμού της εικόνας. Οι πρώτες προσπάθειες προβολής ηλεκτρονικά παραγόμενης εικόνας έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1940, με την τοποθέτηση ενός φακού τύπου Φρέσνελ μπροστά από μια κοινή οθόνη τηλεόρασης. Με τη βοήθεια του φακού αυτού, επιτεύχθηκε η μεγεθυμένη προβολή της εικόνας σε μια επίπεδη λευκή επιφάνεια με αρκετά ικανοποιητική ποιότητα. Η διάταξη αυτή αποτέλεσε τον προπάτορα της ηλεκτρονικής προβολής και έδειξε το δρόμο στο πως είναι εφικτό να προβληθεί μια ηλεκτρονικά παραγόμενη εικόνα. Έτσι, τη δεκαετία του 1980 έκαναν την



εμφάνισή τους στην αγορά τα πρώτα αμιγή προβολικά συστήματα, τα οποία δεν ήταν τίποτα περισσότερο από ένα κλειστό κουτί με μια οθόνη CRT πολύ υψηλής φωτεινότητας, της οποίας η εικόνα προβάλλονταν εκτός της συσκευής μέσω ενός παραθύρου με τους απαραίτητους φακούς. Ακολουθώντας τις εξελίξεις της τεχνολογίας, η εφαρμογή νέων τεχνολογιών απεικόνισης, όπως αυτή των οθονών υγρών κρυστάλλων, κατέστησε την ηλεκτρονική προβολή αρκετά οικονομική ώστε να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για οικιακή χρήση.

Αρχή λειτουργίας: Η βασική αρχή λειτουργίας των προβολικών συστημάτων είναι πολύ απλή, αφού ο βασικός τους σκοπός έγκειται στο να μεγεθύνουν και να εστιάσουν την παραγόμενη εικόνα σε μια επίπεδη λευκή επιφάνεια λίγα μέτρα μακριά από τη συσκευή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των κατάλληλων φακών για τη μεγέθυνση και την εστίαση μιας πολύ φωτεινής εικόνας, η οποία σχηματίζεται εντός της προβολικής συσκευής.

Μέχρι πρότιτος, η εικόνα σχηματιζόταν από τρεις πολύ φωτεινές οθόνες καθοδικού σωλήνα των 9 ιντσών, μια για κάθε ένα βασικό χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε), ωστόσο η κάθε οθόνη απαιτούσε τα δικά της οπτικά προβολής. Λόγο της ιδιαιτερότητας αυτής, το κόστος κατασκευής και απόκτησης αυτών των συσκευών ήταν αρκετά υψηλό, ενώ ταυτόχρονα η τοποθέτηση και ρύθμισή τους αποτελεί μια δύσκολη και χρονοβόρο διαδικασία.

Η πιο εκτενώς διαδεδομένη τεχνολογία απεικόνισης που χρησιμοποιείται σήμερα στις συσκευές προβολής χαμηλού κόστους, είναι αυτή της μικροσκοπικής διαφανούς οθόνης υγρών κρυστάλλων, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ μιας πολύ ισχυρής πηγής φωτός (προβολέα ξένου) και των οπτικών προβολής της εικόνας. Το χαμηλό κόστος των οθονών υγρών κρυστάλλων, σε συνδυασμό με το μικρό τους μέγεθος και βάρος, επέτρεψε τη δημιουργία φορητών προβολικών συστημάτων χαμηλού κόστους, ικανά να αντεπεξέλθουν τόσο στην προβολή δεδομένων από ηλεκτρονικό υπολογιστή, όσο και σε εφαρμογές οικιακής διασκέδασης.

Το 1987 η εταιρία Texas Instruments, μετά από δεκάχρονη σχετική έρευνα, παρουσίασε την τεχνολογία DMD (Digital Micromirror Device – Συσκευή Ψηφιακών Μικροκαθρεφτών) η οποία αποτελεί σήμερα την πιο εμπορικά

επιτυχημένη λύση ηλεκτρονικής προβολής. Η τεχνολογία DMD πείρε το όνομά της από τον τρόπο που λειτουργεί, κατά τον οποίο η τετράγωνη επιφάνεια ενός μικροεπεξεργαστή (DLP Digital Light Processor – Ψηφιακός Επεξεργαστής Φωτός) είναι καλυμμένη με χιλιάδες ελεγχόμενους μικροσκοπικούς καθρέφτες. Οι καθρέφτες αυτοί είναι έτσι κατασκευασμένοι ώστε όταν δε περνά ηλεκτρικό ρεύμα από τους αγωγούς ελέγχου τους, αυτοί να είναι προσανατολισμένοι προς μια κατεύθυνση, ενώ όταν διέρχεται ρεύμα από τους αγωγούς, οι καθρέφτες να προσανατολίζονται κατά 20 μοίρες προς την αντίθετη. Κατά τον τρόπο αυτό, σε ένα προβολικό σύστημα τεχνολογίας DLP, είναι εφικτή η δρομολόγηση του φωτός ενός προβολέα ξένου προς τους φακούς προβολής, για την απεικόνιση οποιουδήποτε σχήματος. Όταν ο προσανατολισμός αυτών των καθρεφτών εναλλάσσεται πολύ γρήγορα (μέχρι και 1024 φορές) στο χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου, είναι εφικτό να ελεγχθεί η ένταση/ ενέργεια του φωτός που θα προβληθεί και έτσι να αποδοθούν διάφορες αποχρώσεις. Φιλτράροντας το φως του προβολέα με τη βοήθεια πρισμάτων ή περιστρεφόμενων χρωματικών φίλτρων, η τεχνολογία DMD κατάφερε να αποδώσει πιστά εικόνες με εκατομμύρια χρώματα και να κερδίσει τον χαρακτηρισμό της πιο εμπορικά επιτυχημένης τεχνολογίας ηλεκτρονικής προβολής.

Πλεονεκτήματα:

- Μεταβλητό μέγεθος απεικόνισης, το οποίο ρυθμίζεται από την απόσταση προβολής και τους φακούς εστίασης.
- Ο οικονομικότερος τρόπος για ηλεκτρονική απεικόνιση με μέγεθος μεγαλύτερο των 40 ιντσών. Οι τιμές τους ξεκινούν από τα 1000 €.
- Η οθόνη μπορεί να πάρει οποιοδήποτε γεωμετρικό σχήμα, ανάλογα με την επιφάνεια προβολής. Δυνατότητα που επιτρέπει την κατασκευή ημισφαιρικών οθονών πανοραμικής απεικόνισης.
- Ικανοποιητική απόδοση χρωμάτων και κινούμενων εικόνων.
- Οι περισσότερες συσκευές ηλεκτρονικής προβολής, κυρίως αυτές που προσανατολίζονται για εφαρμογές γραφείου και οικιακής διασκέδασης, είναι ελαφριές και συμπαγείς και μπορούν να καταφερθούν πολύ εύκολα. Καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο ακόμα και από οθόνες



CRT των 14 ιντσών, ωστόσο το πεδίο προβολής τους πρέπει να είναι ελεύθερο εν ώρα χρήσης.

Μειονεκτήματα:

- Καταναλώνουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια, η ελάχιστη τιμή κατανάλωσης κυμαίνεται κοντά στα 200 watt. Λόγω της κατανάλωσης παράγουν μεγάλα ποσά θερμότητας, για την απαγωγή της οποίας χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες οι οποίοι με τη σειρά τους παράγουν θόρυβο.
- Η φωτεινότητα της απεικόνισης είναι μικρή και συνήθως για να επιτευχθεί μια οπτικά ικανοποιητική απόδοση απαιτούνται ιδιές συνθήκες χαμηλού φωτισμού.
- Τόσο η γεωμετρία, όσο και η φωτεινότητα και χρωματική απόδοση της απεικόνισης, εξαρτώνται από την επιφάνεια προβολής. Για το λόγο αυτό, η χρήση ειδικών οθονών προβολής είναι σε ορισμένες περιπτώσεις απαραίτητη.
- Κατά τη λειτουργία τους ο κώνος προβολής πρέπει να είναι ελεύθερος από οτιδήποτε που μπορεί να εμποδίζει την απεικόνιση. Κατά συνέπεια απαιτούν αρκετά μεγάλο χώρο κατά τη χρήση τους.
- Δύστροπη εγκατάσταση. Ειδικά συσκευών οι οποίες δε προσφέρουν ρυθμίσεις για τη διόρθωση της προοπτικής παραμόρφωσης και απαιτείται η προβολή από γωνία με μεγάλη απόκλιση από την κατακόρυφο στο επίπεδο προβολής.
- Μεγάλο κόστος λειτουργίας, όχι τόσο λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, όσο για τη μικρή διάρκεια ζωής του προβολέα ξένου που χρησιμοποιούν οι συσκευές τύπου LCD και DMD. Το μέσω χρονικό διάστημα στο οποίο ο λαμπτήρας αυτός θα φτάσει στο μισό της απόδοσής του, κυμαίνεται γύρω στις 2500 ώρες λειτουργίας, ενώ το κόστος αντικατάστασής του ξεκινά από τα 300€ περίπου και αναλόγως της φωτεινότητάς του μπορεί ξεπερνά κατά πολύ τα 1000€.

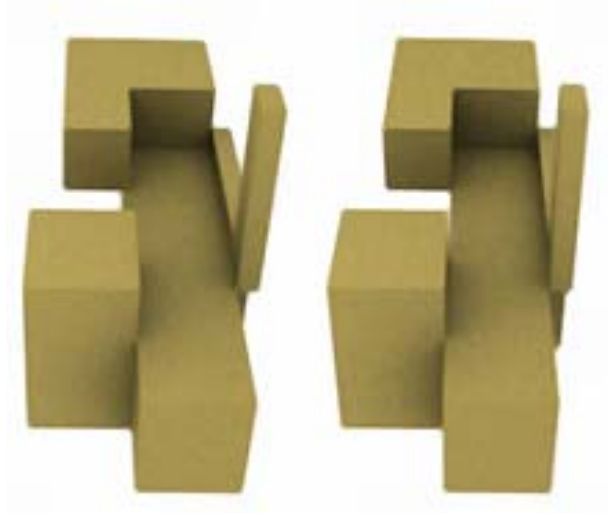
Πίνακας XXVIII. Σύγκριση μεταξύ των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών προβολής

	CRT	LCD	DMD (DLP)
Κόστος απόκτησης	Μεγάλο	Μέτριο	Μέτριο - μεγάλο
Φωτεινότητα απεικόνισης (ANSI)	100 - 1500	800 - 4000	1000 - 6000
Αντίθεση X:1	100 – 30.000	250 - 2000	700 – 2000
Απόδοση χρωμάτων	Πολύ καλή	Μέτρια	καλή
Ανάλυση εικόνας	Έως πολύ μεγάλη (3200x2560)	Μέτρια (1024x768)	Μέτρια έως πολύ μεγάλη (1024x768 – 1920x1080)
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	Πολύ μεγάλη (από 600 watt τυπική ελάχιστη τιμή)	Μεγάλη (200 watt τυπική ελάχιστη τιμή)	Μεγάλη (από 200 watt τυπική ελάχιστη τιμή)
Χρόνος καλής λειτουργίας της πηγής φωτός	Πολύ μεγάλος (8000 -10000 ώρες)	Μέτριος (1500 -3000 ώρες)	Μέτριος (1500 -3000 ώρες)
Κόστος αντικατάστασης φωτεινής πηγής	Μεγάλο (700 – 3500 €)	Μέτριο (300 – 1500 €)	Μέτριο (300 – 1500 €)
Δυσκολία εγκατάστασης	Μεγάλη	Μικρή	Μικρή
Ευκολία μεταφοράς	Πολύ μικρή (μεγάλο μέγεθος και βάρος)	Μεγάλη	Μεγάλη
Ρυθμός ανανέωσης της εικόνας	Πολύ μεγάλος (ιδανικός για στερεοσκοπική απεικόνιση με χρήση γυαλιών ηλεκτρονικού διαφράγματος)	Μέτριος (Δεν ικανοποιεί για στερεοσκοπική απεικόνιση με χρήση γυαλιών ηλεκτρονικού διαφράγματος)	Μέτριος -Μεγάλος (ικανοποιεί για στερεοσκοπική απεικόνιση με χρήση γυαλιών ηλεκτρονικού διαφράγματος μόνο σε εξειδικευμένα μοντέλα)

2.3.3 Στερεοσκοπική ηλεκτρονική απεικόνιση

Ο άνθρωπος, για την οπτική αντίληψη του βάθους και της απόστασης, είναι προικισμένος με την ικανότητα της στερεοσκοπικής όρασης. Όταν παρατηρούμε κάτι και με τα δυο μας μάτια και αυτό βρίσκεται σε σχετικά κοντινή απόσταση, τότε είμαστε σε θέση να αντιληφθούμε τόσο την απόστασή του από εμάς, όσο και τη θέση και μορφή του στο χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται από μια απλή για τον εγκέφαλό μας διαδικασία, κατά την οποία οι δύο σχετικά διαφορετικές δισδιάστατες εικόνες από το κάθε μας μάτι, συνδυάζονται σε μια πλήρη τρισδιάστατη εικόνα του περιβάλλον χώρου. Όσο πιο κοντά μας βρίσκεται ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο μεγαλώνει η διαφορά στην οπτική γωνία παρατήρησης του από το κάθε μάτι και συνεπώς, τόσο πιο μεγάλες είναι οι διαφορές μεταξύ της εικόνας του αντικειμένου όπως αυτή

σχηματίζεται στο δεξί και αριστερό οφθαλμό αντίστοιχα. Αντιθέτως, όταν το αντικείμενο απομακρύνεται από εμάς, οι διαφορές αυτές γίνονται ολοένα και πιο μικρές.

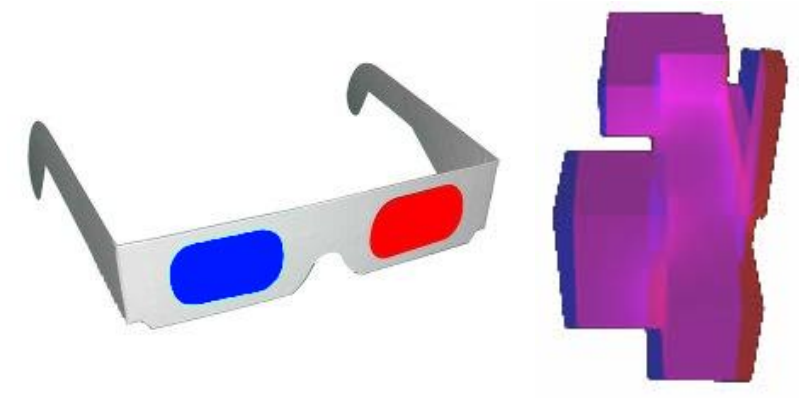


Εικόνα 124. Στέραιο ζεύγος εικόνων

Για παράδειγμα στην Εικόνα 124 φαίνεται πως γίνεται αντιληπτό ένα αντικείμενο από το δεξί και το αριστερό μας μάτι αντίστοιχα (δεξί και αριστερό τμήμα της εικόνας). Αν μπορέσετε να εστιάσετε με το αντίστοιχο μάτι στο αντίστοιχο τμήμα της εικόνα (κοιτάζοντας στο άπειρο μέσα από το χαρτί- όπως όταν συλλογίζομαστε κάτι χωρίς να κοιτάμε πουθενά), τότε θα εμφανιστεί το απεικονιζόμενο σχήμα σε τρεις διαστάσεις στο κέντρο αυτής. Εκμεταλλευόμενοι την ιδιότητα αυτή, είναι εφικτό να αντιληφθούμε τον χώρο τόσο στον υπαρκτό όσο και στον ιδεατό κόσμο των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η αντίληψη του χώρου στον ιδεατό - ψηφιακό κόσμο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης ιδικών συσκευών απεικόνισης, οι οποίες είτε έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν στο κάθε μας μάτι μια ανεξάρτητη εικόνα, είτε έχουν τη δυνατότητα να «ζωγραφίσουν» στον πραγματικό χώρο μορφές τριών διαστάσεων.

Η πιο διαδεδομένη και οικονομική λύση τρισδιάστατης απεικόνισης είναι προς το παρόν αυτή της παροχής μιας ανεξάρτητης δισδιάστατης εικόνας για κάθε μάτι. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλούς τρόπους και διάφορες τεχνολογίες όπως:

Γυαλιά μπλε-κόκκινων φακών: Φορώντας ένα ζευγάρι γυαλιών με ένα μπλε και ένα κόκκινο φακό (για το δεξί και αριστερό μάτι αντίστοιχα) και παρουσιάζοντας ταυτόχρονα (με μια οποιαδήποτε συσκευή δισδιάστατης έγχρωμης απεικόνισης) την εικόνα που προορίζεται για το δεξί μάτι χρωματισμένη μπλε, ενώ αυτή για το αριστερό κόκκινη, είναι εφικτό να καταστεί η μια από τις δύο εικόνες αόρατη για το άλλο μάτι και έτσι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα της στερεοσκοπικής απεικόνισης. Ωστόσο τα χρώματα της απεικόνισης θα είναι πολύ αλλοιωμένα, ενώ όταν ο χρήστης βγάλει τα γυαλιά από τα μάτια του θα χρειαστεί μερικά δευτερόλεπτα μέχρι να αποκατασταθεί πλήρως το χρώμα στην όρασή του.



Εικόνα 125. Γυαλιά μπλε-κόκκινων φακών και αντίστοιχη ειδική εικόνα

Γυαλιά με αντίθετα πολωμένους φακούς: Το φως που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός, όπως τον ήλιο ή ένα λαμπτήρα, ταλαντεύεται προς όλες τις κάθετες προς τη διάδοσή του διευθύνσεις. Όταν το φως περάσει από ένα πολωμένο φακό, η ταλάντωσή του αποκτά διεύθυνση παράλληλη προς τον προσανατολισμό της πόλωσης του φακού και έτσι λέμε το φως αυτό πολωμένο. Όταν το πολωμένο φως συναντήσει ένα πολωμένο φακό, του οποίου η πόλωση είναι κάθετα προσανατολισμένη σε σχέση με αυτή του πολωμένου φωτός, τότε το φως δε μπορεί να διέλθει μέσα από τον φακό αυτό. Βάση αυτής της ιδιότητας του φωτός, όταν πολωθεί το φως που εκπέμπεται από δυο συσκευές προβολής, οριζόντια και κάθετα αντίστοιχα και στη συνέχεια προβληθεί στο ίδιο σημείο, τότε φορώντας ένα ζευγάρι γυαλιών με φακούς οριζόντιας και κάθετης πόλωσης, θα είμαστε σε θέση να αντιληφθούμε από το κάθε μάτι την

εικόνα με την αντίστοιχη πόλωση. Συνεπώς, προβάλλοντας τις κατάλληλες εικόνες, είναι εφικτό να αποδοθεί η επιθυμητή τρίτη διάσταση σε μια δισδιάστατη προβολή. Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτής της πρακτικής είναι πως προϋποθέτει από τον θεατή να μη γέρνει το κεφάλι του δεξιά ή αριστερά, αφού η ευθυγράμμιση των πολωτικών φίλτρων είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη του διαχωρισμού των εικόνων.



Εικόνα 126. Γυαλιά με αντίθετα πολωμένους φακούς και αντίστοιχη εικόνα

Γυαλιά ηλεκτρονικού διαφράγματος υγρών κρυστάλλων (LCD shutter glasses): Είναι ειδικά γυαλιά τα οποία χρησιμοποιούν για φακούς ένα ζεύγος ηλεκτρονικά ελεγχόμενων διαφραγμάτων φωτός τύπου LCD. Τα διαφράγματα αυτά είναι μεταξύ τους συγχρονισμένα ώστε όταν το ένα είναι ανοιχτό και επιτρέπει τη διέλευση του φωτός, το άλλο να είναι κλειστό και να την εμποδίζει. Όταν αυτά τα γυαλιά λειτουργούν σε συγχρονισμό με μια οθόνη, στην οποία απεικονίζονται εναλλάξ και με ρυθμό τουλάχιστον 50 φορές το δευτερόλεπτο οι εικόνες που αναλογούν στο δεξί και αριστερό μάτι αντίστοιχα, τότε είναι εφικτό να επιτευχθεί έγχρωμη στερεοσκοπική απεικόνιση. Όταν η εναλλαγή των εικόνων γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς, τότε παρατηρείται έντονο «τρεμόπαιγμα» της εικόνας, το οποίο καθιστά τη θέαση μαρτυρική έως αδύνατη. Για το λόγο αυτό, συσκευές ικανές να ανανεώνουν αυτό που απεικονίζουν με ρυθμούς ίσους ή και μεγαλύτερους των 100 Hz είναι η πιο κατάλληλη επιλογή. Τέτοιους μεγάλους ρυθμούς ανανέωσης προς το παρόν είναι ικανή να προσφέρει μόνο η τεχνολογία CRT, μέσω των οθονών καθοδικού σωλήνα και των αντίστοιχων προβολικών συστημάτων.



Εικόνα 127. Γυαλιά διαφράγματος υγρών κρυστάλλων και αντίστοιχη εικόνα

Προσαρτημένες επί της κεφαλής οθόνες (HMD – Head Mounted Display):
Είναι συσκευές που φοριούνται στο κεφάλι, όπως δίοπτρες και κράνη, οι οποίες φέρουν μια μικρή οθόνη για κάθε μάτι. Η κάθε μια από τις οθόνες αυτές είναι εφικτό να τροφοδοτηθεί με ανεξάρτητη εικόνα και έτσι να επέλθει το απαιτούμενο αίσθημα του βάθους.



Εικόνα 128. Οθόνη προσαρμοζόμενη επί της κεφαλής

Επίπεδες οθόνες πλάσματος ή TFT με ειδικές μεμβράνες: Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επίπεδων οθονών υγρών κρυστάλλων και πλάσματος, όπως αυτά της αμετάβλητης και εργοστασιακά προκαθορισμένης θέσης των εικονοστοιχείων, σε συνάρτηση με την άριστη γεωμετρία απεικόνισης που επιδεικνύουν, κατέστησαν εφικτό να συνδυαστούν οι οθόνες αυτές με μια τεχνολογική λύση τρισδιάστατης απεικόνισης που μέχρι πρότιτος ήταν εφαρμόσιμη μόνο σε έντυπες απεικονίσεις. Η τεχνική αυτή επέτρεψε την κατασκευή οθονών τρισδιάστατης απεικόνισης, στις οποίες ο χρήστης είναι σε θέση να αντιληφθεί το βάθος χωρίς τη χρήση συμπληρωματικών εξαρτημάτων

όπως τα γυαλιά ηλεκτρονικού διαφράγματος ή μπλε και κόκκινων φακών, δίνοντάς του την αίσθηση πως κοιτά το απεικονιζόμενο θέμα μέσα από ένα παράθυρο. Η τεχνολογία αυτή είναι παρόμοια με αυτή που συναντάμε σε διάφορα σχολικά προϊόντα όπως χάρακες κλπ., στην επίπεδη επιφάνεια των οποίων υπάρχει τυπωμένη μια εικόνα που μεταβάλλονταν ανάλογα με τη γωνία θέασης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διάφανων ραβδωτών πλαστικών φίλτρων, τα οποία διαθλούν κατάλληλα την τυπωμένη εικόνα από κάτω τους.



Εικόνα 129. Οθόνες TFT και Plasma με ειδικές μεμβράνες

Η εικόνα αυτή σχηματίζεται από δύο ή περισσότερες εικόνες, ανάλογα με τις διάφορες φάσεις της κίνησης, οι οποίες είναι συμπλεγμένες μεταξύ τους, η μία μετά την άλλη, σε πολύ λεπτές λωρίδες με μέγεθος ίσο με αυτό των φακοειδών ραβδώσεων του διάφανου πλαστικού φίλτρου. Έτσι ανάλογα με τη γωνία θέασης καθίσταται ορατή μόνο η μια από τις δύο περιπλεγμένες εικόνες. Παρατηρώντας μια τέτοια περιπλεγμένη εικόνα και με τα δυο μας μάτια από κάποια απόσταση, είναι πολύ πιθανό το κάθε μάτι να βλέπει και διαφορετική φάση της εικόνας αυτής. Περιπλέκοντας κατά τον τρόπο αυτό ένα στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων, είναι εφικτό να κατασκευαστούν έντυπες τρισδιάστατες απεικονίσεις. Η εφαρμογή παρόμοιας τεχνικής σε οθόνες με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά, δηλαδή αυτά που επιδεικνύουν οι οθόνες υγρών κρυστάλλων και πλάσματος, απέδωσε την αίσθηση του βάθους αρκετά ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα να αποτελεί σήμερα μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης [203],[204].

Οθόνες ογκομετρικής απεικόνισης: Οι τεχνικές τρισδιάστατης απεικόνισης που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα, βασίζονται όλες στην εξαπάτηση του εγκεφάλου παρουσιάζοντας στο κάθε μάτι μια ανεξάρτητη δισδιάστατη εικόνα. Ωστόσο υπάρχουν τεχνικές απεικόνισης οι οποίες είναι σε θέση να αποδώσουν πραγματικά τρισδιάστατες εικόνες. Μια από αυτές είναι και η ολογραφία η οποία, αν και η παλαιότερη (σε αναλογική μορφή), θεωρείτε το μέλλον της τρισδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης. Διάφορα ερευνητικά εργαστήρια ανά τον κόσμο έχουν ήδη κατασκευάσει πρωτότυπα ψηφιακών συσκευών τρισδιάστατης ολογραφικής απεικόνισης, ωστόσο η εποχή που αυτά θα είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις της αγοράς είναι ακόμα πολύ μακριά.

Προς το παρόν, οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες λύσεις τρισδιάστατης απεικόνισης βασίζονται σε τεχνικές πολλαπλής και ταχύτατης προβολής δισδιάστατων εικόνων, πάνω σε ημιδιαφανείς ταχύτατα περιστρεφόμενες επιφάνειες. Η τεχνική αυτή δημιουργεί την ψευδαίσθηση μιας ημιδιαφανή, ωστόσο σταθερής, τρισδιάστατης εικόνας την οποία ο χρήστης μπορεί να την περιεργαστεί από διάφορες θέσης, όπως ακριβώς θα έκανε και με ένα πραγματικό τρισδιάστατο αντικείμενο [202].



Εικόνα 130. Οθόνες ογκομετρικής απεικόνισης

Άλλη μια λύση είναι αυτή της ταχύτατης εναλλασσόμενης προβολής δισδιάστατων εικόνων πάνω σε μια στοίβα από παραλληλόγραμμα ηλεκτρονικά διαφράγματα φωτός υγρών κρυστάλλων στο μέγεθος οθόνης. Ένας βίντεο προβολέας, ο οποίος βρίσκεται σε συγχρονισμό με τα ηλεκτρονικά διαφράγματα, προβάλλει με μεγάλη ταχύτητα πάνω στο καθένα από αυτά μια αλληλουχία εικόνων, η κάθε μια εκ των οποίων αντιστοιχεί και σε μια φέτα του



τρισδιάστατου θέματος. Με την τεχνική αυτή είναι εφικτό να αποδοθεί αρκετά ικανοποιητικά η τρίτη διάσταση, παρά τον περιορισμένο αριθμό επιπέδων βάθους που καθορίζουν τα ηλεκτρονικά διαφράγματα φωτός [201], [202].

2.3.4 Οδηγίες για την επιλογή συσκευής ηλεκτρονικής απεικόνισης

Οι παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή της πιο κατάλληλης συσκευής απεικόνισης ψηφιακών δεδομένων, που αφορούν την τρισδιάστατη περιγραφή διαφόρων θεμάτων υπαρκτών και μη, είναι:

1. Ο αριθμός των ανθρώπων που θα παρακολουθούν ταυτόχρονα την παρουσίαση, ο οποίος παίζει καθοριστικό ρόλο στο μέγεθος της οθόνης.
2. Η στερεοσκοπική παρουσίαση του θέματος. Έτσι ώστε ο θεατής να έχει πραγματική αντίληψη του βάθους.
3. Ο βαθμός αλληλεπίδρασης με το χρήστη, για παράδειγμα αν θα του επιτρέπεται να μετακινείται όπου θέλει μέσα στο χώρο ή θα του επιβάλετε να παρακολουθήσει μια συγκεκριμένη διαδρομή της ιδεατής κάμερας. Η παράμετρος αυτή καθορίζει τη συσκευή την οποία θα παρέχει τις εικόνες στη μονάδα προβολής, η οποία στην περίπτωση της προκαθορισμένης πορείας μπορεί να ένα απλό βίντεο ή DVD player αξίας μερικών δεκάδων €, ενώ στην περίπτωση της ελεύθερης μετακίνησης στον τρισδιάστατο χώρο να είναι ένα πανάκριβος υπερυπολογιστής, αξίας μερικών δεκάδων χιλιάδων €.

Παρακάτω παρατίθενται τα συστήματα προβολής που είναι διαθέσιμα στην αγορά, ανάλογα με το μέγεθος της εικόνας που μπορούν να αποδώσουν και κατά συνέπεια το μέγεθος του κοινού στο οποίο αποσκοπούν.

Πίνακας XXIX. Συσκευές ηλεκτρονικής απεικόνισης

Τύπος	Μέγιστο Μέγεθος Οθόνης (ίντσες)	Μέγιστη Ανάλυση Εικόνας	Απόδοση Βάθους	Απαιτήσεις φωτισμού	Πηγή εικόνας	Φορητότητα	Κόστος
Digital cinema projector	Κινηματογράφου	2048 X 1080	Με δύο πολωμένους προβολείς. Με LCD γυαλιά. Με μπλε και κόκκινα γυαλιά.	Μέτριες	DVI. VGA. SVideo. Composite. RGB-BNC	Μέτρια	>50.000€
Data/ Home cinema projector	30 - 220	1280 X 1024	Με δύο πολωμένους προβολείς. Με LCD γυαλιά. Με μπλε και κόκκινα γυαλιά.	Χαμηλός φωτισμός	DVI. VGA. SVideo. Composite.	Καλή	1000 – 30.000 €
TFT	15 - 57	1920 X 1080	Με μπλε και κόκκινα γυαλιά.	Μέτριες	DVI. VGA. SVideo. Composite.	Καλή	250 – 30.000 €
Plasma	17 – 65	1365 X 768			DVI. VGA. SVideo. Composite. RGB-BNC		2.000 – 30.000 €
CRT	15 - 34	2048 X 1536	Με LCD γυαλιά. Με μπλε και κόκκινα γυαλιά.	Πολύ χαμηλές	VGA. SVideo. Composite. RGB-BNC	Μέτρια	100 – 3000 €

Πολλές εταιρίες κάνοντας χρήση προβολικών συστημάτων, κατασκευάζουν εξειδικευμένες διατάξεις απεικόνισης όπως: «τοιίχους», «γραφεία», «δωμάτια» ή «σπηλιές» (caves), θόλους κλπ. Τέτοιες συσκευές απεικόνισης ονομάζονται οθόνες καταβύθισης, επειδή περικλείουν έναν ή περισσότερους θεατές σε ένα εικονικό περιβάλλον. Το κόστος αυτού του είδους οθονών ωστόσο είναι αρκετά μεγάλο και ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ξεκινά από μερικές χιλιάδες € και μπορεί να ξεπεράσει τα 100.000 €.

Στην περίπτωση εφαρμογών όπου είναι επιθυμητή η πραγματικά τρισδιάστατη απεικόνιση του θέματος, χωρίς όμως να απαιτείται ο θεατής να χρησιμοποιεί πρόσθετα βοηθήματα για την αντίληψη του βάθους, συνιστάται η χρήση των ενεργά τρισδιάστατων οθονών. Οι συσκευές που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι οι επίπεδες οθόνες τύπου TFT ή πλάσματος, οι οθόνες απεικόνισης όγκου (3D Volume Displays) και οι οθόνες κεφαλής (Head



Mountain Displays – HMD). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου συσκευών παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας XXX. Οθόνες ενεργής τρισδιάστατης απεικόνισης

Τύπος	Μέγιστο Μέγεθος Οθόνης (ίντσες)	Μέγιστη Ανάλυση Εικόνας	Απαιτήσεις φωτισμού	Πηγή εικόνας	Φορητότητα	Κόστος (€)
Επίπεδες TFT ή Plasma	50	3840 X 2400	Μέτριες	DVI. VGA.	Καλή	2.000 -30.000
3D Volume Display	20	768 X 768 X 198	Χαμηλός φωτισμός	Μέσω ειδικού περιφερειακού	Μέτρια	>40.000
HMD	Κράνος ή γυαλιά με μια μικρή οθόνη για το κάθε μάτι	1600 X 1200	Καμία	DVI. VGA. ή Μέσω ειδικού περιφερειακού	Πολύ καλή	1500 – 90.000

2.4 Δημιουργία Αντιγράφων

Η δυνατότητα παραγωγής άπειρων ψηφιακών αντιγράφων από το ίδιο πρωτότυπο, τα οποία δε διαφέρουν ούτε μεταξύ τους αλλά ούτε και με το ίδιο το πρωτότυπο από το οποίο προέρχονται, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα πλεονέκτημα της ψηφιοποίησης. Επίσης, με τη χρήση της κατάλληλης συσκευής, είναι εφικτό να αναπαραχθούν απτά φυσικά αντίγραφα του πρωτότυπου θέματος, απευθείας από τα δεδομένα που ανακτήθηκαν από τη διαδικασία ψηφιοποίησής του.

2.4.1 Δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων

Για την ψηφιακή αντιγραφή των δεδομένων σε πολλά αντίτυπα, για λόγους μαζικής διάθεσης του ψηφιακού υλικού, οι περισσότερες λύσεις που είναι διαθέσιμες στην αγορά είναι βασισμένες στους οπτικούς δίσκους τύπου CD/R και DVD/R. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται τα μέσα αυτά έγκειται τόσο στην ευρύτατη αποδοχή τους, όσο και στο πολύ χαμηλό τους κόστος (το χαμηλότερο της αγοράς) και την άριστη (ειδικά αυτή των δίσκων DVD) αναλογία αποθηκευτικού χώρου δεδομένων ανά μονάδα κόστους.

Η αντιγραφή δεδομένων σε δίσκους τύπου CD / DVD επιτυγχάνεται μέσω των συσκευών οδήγησης (εγγραφής & ανάγνωσης) οπτικών δίσκων. Μια τέτοια συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε συνδεδεμένη ως περιφερειακή αποθηκευτική συσκευή σε έναν κοινό ηλεκτρονικό υπολογιστή, είτε συνδεδεμένη σε μια εξειδικευμένη αυτόνομη μονάδα παραγωγής αντιγράφων. Η πρώτη περίπτωση προϋποθέτει μεγάλη συμμετοχή από το χρήστη, όπως επίσης και την ύπαρξη Η/Υ με το κατάλληλο λογισμικό και για το λόγο αυτό συνιστάτε μόνο για την παραγωγή μικρού αριθμού αντιγράφων. Όταν απαιτείται η παραγωγή μεγάλου αριθμού αντιγράφων σε μικρό χρονικό διάστημα, συνιστάτε η δεύτερη περίπτωση, αυτή της αυτόνομης αντιγραφικής συσκευής, η οποία είναι σε θέση να παράγει στο ίδιο χρονικό διάστημα με την πρώτη, πολλαπλά αντίγραφα, ανάλογα με τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών οδήγησης οπτικών δίσκων. Επίσης οι αυτόνομες αντιγραφικές συσκευές δεν απαιτούν για τον έλεγχό τους τη χρήση Η/Υ και ειδικού

λογισμικού, αφού είναι ικανές να παράγουν πολλαπλά αντίγραφα σχεδόν με το πάτημα ενός πλήκτρου.

Στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμα δύο είδη αυτόνομων αντιγραφικών συσκευών. Στο φτηνότερο από αυτά, όταν τελειώσει η αντιγραφή μιας παρτίδας δίσκων (ανάλογη με τον αριθμό των ενσωματωμένων συσκευών οδήγησης), το μόνο που μπορεί να κάνει η συσκευή είναι να περιμένει από το χρήστη να τοποθετήσει άγραφους δίσκους στη θέση των γραμμένων και να επιλέξει να συνεχιστεί η διαδικασία. Στο δεύτερο είδος αυτόνομων αντιγραφικών, η συμμετοχή του χρήστη στη διαδικασία της αντιγραφής είναι η ελάχιστη, αφού ακόμα και η εναλλαγή μεταξύ των άγραφων και γραμμένων δίσκων πραγματοποιείται από την ίδια τη συσκευή, μέσω ενός ενσωματωμένου ρομποτικού συστήματος. Επίσης μερικές από τις συσκευές αυτές ενσωματώνουν έναν ειδικό εκτυπωτή δίσκων, ο οποίος χρησιμεύει για την εκτύπωση πληροφοριών, ή οτιδήποτε άλλο, στην άνω επιφάνεια του δίσκου.



Εικόνα 131. Συσκευές μαζική αντιγραφής οπτικών δίσκων (CD/DVD) χειροκίνητης και αυτόματης (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) εναλλαγής των δίσκων

Σε περιπτώσεις που απαιτείται η παραγωγή αρκετών χιλιάδων αντιγράφων, η οικονομικότερη και γρηγορότερη λύση είναι αυτή της μαζικής παραγωγής του με ειδική γυάλινη πρέσα, όπως συνηθίζεται για τους εμπορικούς δίσκους μουσικής, βίντεο και δεδομένων. Αυτού του είδους η παραγωγή απαιτεί πανάκριβο εξοπλισμό και για το λόγο αυτό είναι διαθέσιμη σαν υπηρεσία από πολλές εταιρίες του χώρου.

Πίνακας XXXI. Συσκευές μαζικής αντιγραφής μέσω ψηφιακής αποθήκευσης

Τύπος	Τύπος Μέσου	Μέγιστη Ταχύτητα Εγγραφής	Κόστος	Λειτουργία
DVD Copy Tower	CD / DVD	8 X DVD 52 X CD	4 DVD 1.200 – 1.600 €. 8 DVD 1.700 – 2.100 €. 21 DVD 10.500 – 13.000 €	Χειροκίνητη αλλαγή των δίσκων
CD Copy Tower	CD	52 X CD	4 CD 700 – 800 €. 8 CD 900 – 1.200 €. 21 CD 7.500 – 9.000 €	Χειροκίνητη αλλαγή των δίσκων
Robotic CD / DVD Copier	CD / DVD	8 X DVD 52 X CD	5.000 – 7.000 € χωρίς εκτυπωτή δίσκων. 8.000 – 12.000 € με εκτυπωτή δίσκων.	Αυτόματη αλλαγή των δίσκων για 150 με 500 δίσκους.

Πέραν της αντιγραφής των δεδομένων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης σε διάφορα αποθηκευτικά μέσα, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργήσουμε με αυτά φυσικά αντίγραφα του ψηφιοποιημένου θέματος. Αυτό είναι εφικτό κάνοντας χρήση συσκευών τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι οποίες είναι ικανές να μετατρέψουν ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο σε ένα πραγματικό /από αντικείμενο.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια εφαρμογή η οποία πηγάζει από τη βιομηχανική κατασκευή πρωτότυπων μηχανολογικών προϊόντων, σχεδιασμένα εξ'ολοκλήρου σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Μέσω των συσκευών τρισδιάστατης εκτύπωσης, κατέστη εφικτή η κατασκευή λειτουργικών πρωτοτύπων, των οποίων η μορφή διαφέρει ελάχιστα από αυτή των σχεδίων.

Όσον αφορά τις πολιτιστικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής, η πιο κοινότυπη από όλες είναι αυτή της δημιουργίας πιστών αντιγράφων κάποιου θέματος υπό οποιαδήποτε κλίμακα. Επίσης άλλη μια εφαρμογή της είναι η κατασκευή προστατευτικών θηκών για μοναδικά εύθραυστα αντικείμενα, όπως αρχαία χειροτεχνήματα ανεκτίμητης αξίας, τα οποία πρέπει να μεταφερθούν συσκευασμένα.

Η υλοποίηση των άυλων δεδομένων είναι εφικτή με δύο τελείως διαφορετικές μεθόδους, την τρισδιάστατη εκτύπωση και την τρισδιάστατη λάξευση. Η διαφοροποίηση μεταξύ αυτών των δύο μεθόδων υλοποίησης έγκειται στον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται το υλικό αντίγραφο των τρισδιάστατων δεδομένων, αφού κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση το μοντέλο



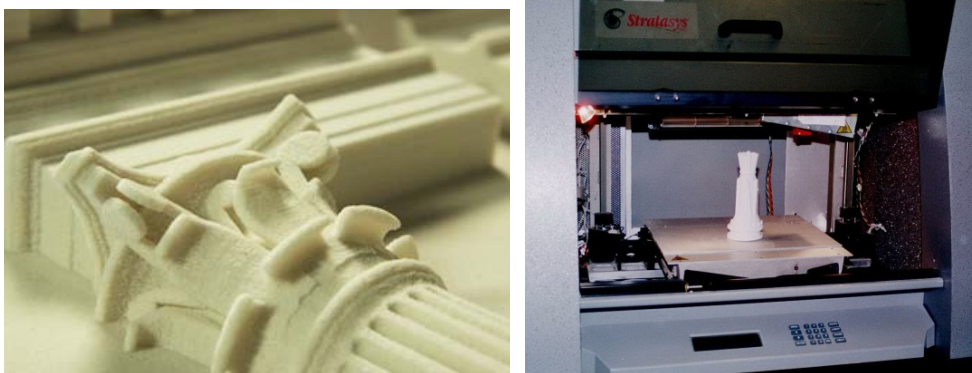
χτίζεται από το μηδέν σε πολλά στρώματα το ένα πάνω από το άλλο, ενώ κατά την τρισδιάστατη λάξευση το μοντέλο λαξεύεται κυριολεκτικά στο πρωτογενές υλικό.

2.4.2 Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Τα διαθέσιμα είδη τρισδιάστατων εκτυπωτών χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες [205],[206]: τους εκτυπωτές εναπόθεσης ύλης και τους εκτυπωτές λιθογραφίας.

2.4.2.1 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές εναπόθεσης ύλης

Η λειτουργία των εκτυπωτών αυτού του είδους μπορεί να χαρακτηριστεί παρόμοια με αυτή των εκτυπωτών χάρτου εκτόξευσης μελάνης. Μια ειδική κεφαλή, η οποία μετακινείται ελεύθερα στο επίπεδο εκτύπωσης, αποθέτει τόσο το ειδικό υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το μοντέλο, όσο και το υλικό υποστήριξης, πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί η επόμενη στρώση. Όταν η διαδικασία εναπόθεσης ενός στρώματος τελειώσει, το δάπεδο της εκτύπωσης βυθίζεται ελάχιστα και ξεκινά η εναπόθεση νέου. Αυτή η διαδικασία εναπόθεσης στρωμάτων συνεχίζεται μέχρι να σχηματιστεί το επιθυμητό τρισδιάστατο μοντέλο. Αφού τελειώσει η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, το αντικείμενο καθαρίζεται από το υλικό υποστήριξης και είναι έτοιμο για χρήση.



Εικόνα 132. Συσκευή εκτύπωσης με εναπόθεση υλικού (δεξιά) και δείγμα εκτύπωσης (αριστερά)

2.4.2.2 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές λιθογραφίας

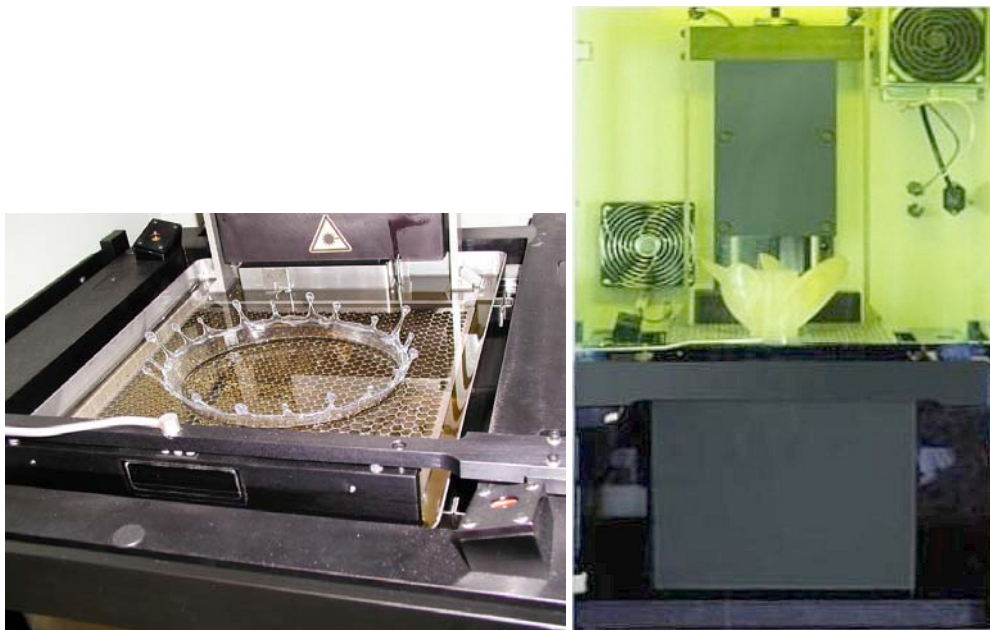
Η αρχή λειτουργία των συσκευών στέρεο-λιθογραφίας βασίζεται στο φαινόμενο του φωτοπολυμερισμού, κατά το οποίο, όταν ένα φωτοπολυμερές υγρό εκτεθεί σε υπεριώδες φως τότε αυτό στερεοποιείται.

Η λιθογραφική συσκευή τρισδιάστατης εκτύπωσης λειτουργεί ως εξής: Μια δεξαμενή γεμάτη με διάφανο φωτοπολυμερές υγρό περιέχει βυθισμένη, ελάχιστα πιο κάτω από την επιφάνεια του υγρού, μια πλατφόρμα ελεγχόμενη από τον Η/Υ, η οποία μπορεί να μετακινείται πάνω και κάτω με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Επίσης ο Η/Υ κατευθύνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια μια ισχυρή υπεριώδη ακτίνα λέιζερ, η οποία στερεοποιεί την επιφάνεια του φωτοπολυμερές υγρού σύμφωνα με μια τομή του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου. Όταν το λέιζερ τελειώσει με τη στερεοποίηση μιας οριζόντιας τομής του τρισδιάστατου μοντέλου, τότε η πλατφόρμα κατεβαίνει για δέκατα του χιλιοστού, έτσι ώστε η στερεοποιημένη επιφάνεια να βρεθεί ελάχιστα πιο κάτω από την επιφάνεια του υγρού, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη συσκευή να προβεί στη στερεοποίηση της υπερκείμενης τομής. Για κάθε χιλιοστό του παραγόμενου αντικειμένου, αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 με 10 φορές, καθιστώντας έτσι το τελικό αποτέλεσμα ιδιαίτερα λεπτομερές και την όλη διαδικασία αρκετά χρονοβόρα. Αφού η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης τελειώσει, το υλοποιημένο τρισδιάστατο μοντέλο αναδύεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και ξεπλένεται με ένα διαλυτικό από το πολυμερές υγρό. Στη συνέχεια, αφού το αντικείμενο στραγγίσει, τοποθετείται σε ένα φούρνο υπεριώδους ακτινοβολίας για την περαιτέρω σκλήρυνσή του.

Το τελικό προϊόν της στερεολιθογραφίας είναι ένα στερεό και ανθεκτικό ημιδιαφανές πλαστικό αντικείμενο, το οποίο δε διαφέρει σχεδόν καθόλου από το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο. Η στερεολιθογραφία θεωρείται η ακριβέστερη μέθοδος υλοποίησης τρισδιάστατων αντικειμένων, ωστόσο αποτελεί και την ακριβότερη, αφού το κόστος μιας τέτοιας μηχανής ξεπερνά κατά πολύ τα 200.000€, ενώ αντίστοιχα ακριβή είναι και η πρώτη ύλη κατασκευής των μοντέλων, με τιμή γύρω στα 200€ για κάθε λίτρο φωτοπολυμερούς. Λόγω του υψηλού τους κόστους, οι συσκευές αυτού του τύπου απευθύνονται σε μεγάλες εταιρίες, οι οποίες τις χρησιμοποιούν για εφαρμογές έρευνας και ανάπτυξης



πρωτότυπων προϊόντων. Η πιο οικονομική λύση σποραδικής εκμετάλλευσης της τεχνολογίας αυτής είναι μέσω εταιριών παροχής τέτοιου είδους υπηρεσιών. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως το κοστολόγιο τέτοιων υπηρεσιών κυμαίνεται γύρω στα 50€ ανά ώρα εκτύπωσης, το οποίο μεταφράζεται σε 30 με 60 στρώματα στερεοποιημένου πολυμερούς.



Εικόνα 133. Συσκευές στερεολιθογραφίας με δείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης

2.4.3 Τρισδιάστατη Σμίλευση

Ένας δεύτερος χαρακτηρισμός της τρισδιάστατη σμίλευση είναι αυτός της ρομποτικής γλυπτικής. Ο χαρακτηρισμός αυτός οφείλεται στον τρόπο υλοποίησης του τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο δημιουργείται από έναν ενιαίο όγκο ακατέργαστης πρώτης ύλης που μορφοποιείται από μηχανές ελεγχόμενες από Η/Υ. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια στην βαριά βιομηχανία ως CNC (Computer Numerical Control – Αριθμητικός Έλεγχος με Η/Υ) και αποτελεί την αυτοματοποίηση των παραδοσιακών τόνων.

Οι συσκευές τρισδιάστατης σμίλευσης αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό τρυπάνι/τόρνο, το οποίο έχει προσαρμοστεί πάνω σε ένα ειδικό ηλεκτρομηχανικό σύστημα μετακίνησης ελεγχόμενο από Η/Υ. Ανάλογα με τον αριθμό

των αξόνων μετακίνησης (βαθμοί ελευθερίας) του τρυπανιού, είναι εφικτό να σμιλευτούν από απλά σχέδια δύο διαστάσεων μέχρι και πολύπλοκα τρισδιάστατα γλυπτά. Επίσης το μέγεθος του παραγόμενου αντικειμένου καθορίζεται από το μήκος των αξόνων μετακίνησης της κεφαλής, το οποίο ανάλογα με τη συσκευή μπορεί να κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι και 4 με 5 μέτρα. Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας της κεφαλής σμίλευσης όπως και το εύρος μετακίνησής της, παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στις δυνατότητες σμίλευσης μιας τέτοιας μηχανής, όσο και στο κόστος απόκτησης της, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από λίγες χιλιάδες μέχρι και μερικές εκατοντάδες χιλιάδες €.

Οι πιο οικονομικές μηχανές τρισδιάστατης σμίλευσης είναι αυτές που συνδυάζονται με μηχανισμούς μετακίνησης της κεφαλής σε τρεις άξονες ελευθερίας. Το εργαλείο σμίλευσης στις μηχανές αυτές, είναι σε θέση να μετακινηθεί και στους τρεις άξονες του χώρου (X,Y,Z) χωρίς όμως να μπορεί να αλλάξει προσανατολισμό, καθιστώντας έτσι την απόδοση ανάγλυφου εφικτή μόνο σε μια πλευρά του αντικειμένου. Για την πολύπλευρη απόδοση ανάγλυφου και κατασκευή πιο πολύπλοκων αντικειμένων, υπάρχουν οι πολύ ακριβότερες μηχανές σμίλευσης 5 βαθμών ελευθερίας. Η κεφαλή σμίλευσης των συσκευών αυτών, εκτός της ελεύθερης μετακίνησής της στους τρεις άξονες του χώρου, μπορεί να περιστρέφεται σε άλλους 2 άξονες (πάνω κάτω και δεξιά αριστερά). Η ελευθερία κινήσεων που προσφέρουν στο εργαλείο σμίλευσης οι συσκευές μετακίνησης πέντε βαθμών ελευθερίας, καθιστά εφικτή την πρόσβαση σε περιοχές που οι αντίστοιχες μηχανές τριών βαθμών ήταν αδύνατο να φτάσουν, επιτρέποντας έτσι την σμίλευση αρκετά πιο πολύπλοκων γεωμετρικών σχημάτων.

Με την τρισδιάστατη σμίλευση είναι εφικτή η κατασκευή αντικειμένων από υλικά ποικίλης σκληρότητας και χαρακτηριστικών. Τα πιο κοινά από αυτά είναι η πολυουρεθάνη, η πολυστερίνη (φελιζόλ), το πλαστικό, το ξύλο, το αλουμίνιο, το μάρμαρο και άλλα. Ωστόσο όσο αυξάνεται η σκληρότητα του υλικού τόσο αυξάνεται και ο χρόνος διεκπεραίωσης της διαδικασίας σμίλευσης, όπως επίσης και η φθορά του εργαλείου σμίλευσης (τρυπανιού). Στην περίπτωση μαζικής παραγωγής με τη μέθοδο αυτή, η φθορά του εργαλείου σμίλευσης έχει ως

επακόλουθο τη μικροσκοπική διαφοροποίηση μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου προϊόντος και στις περιπτώσεις αυτές η αλλαγή του συνιστάται σε τακτά χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 134. Μηχανές τρισδιάστατης σμίλευσης ελεγχόμενες από Η/Υ

Πίνακας XXXII. Συσκευές υλοποίησης τρισδιάστατης ψηφιακής γεωμετρίας

Τύπος	Υλικό	Διαστάσεις εκτύπωσης (cm)	Κόστος	Χρήση
Εναπόθεσης υλικού	Γύψος Αμυλόκολλα Πλαστικό	20X20X25 - 50X60X40	26.000 € - 130.000 €	Για κατασκευή καλουπιών και πρωτότυπων.
Στερεο-λιθογραφίας	Φωτοπολυμερές πλαστικό	25X25X25 - 50X60X50	>200.000 €	Για κατασκευή καλουπιών και πρωτότυπων.
Τρισδιάστατης σμίλευσης	Αφρώδη υλικά, πλαστικά, ξύλο, μέταλλο, πέτρα	50X15X50 - 500X400X500	Από 6.000 – 15.000 για συσκευές σμίλευσης περιορισμένου βάθους και πολυπλοκότητας. >100.000 € για συσκευές πλήρη τρισδιάστατης σμίλευσης	Για κατασκευή καλουπιών και πρωτότυπων. Βιομηχανική παραγωγή τελικού προϊόντος



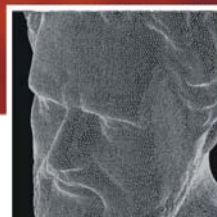
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

**Περιγραφή βέλτιστων πρακτικών
διαχείρισης, πρόσβασης
και ανάκτησης**







I

Σχεδίαση και υλοποίηση διαδικτυακών πολυμεσικών βάσεων δεδομένων

1.1 Εισαγωγή – Διαχείριση της πληροφορίας

Τα ακατέργαστα δεδομένα που παράγονται κατά την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση συνήθως είναι πολλά ανεξάρτητα αρχεία, τα οποία βρίσκονται στον τοπικό σκληρό δίσκο του υπολογιστικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση. Επιπλέον, τα δεδομένα αυτά τις περισσότερες φορές είναι αναγνώσιμα μόνο από το συγκεκριμένο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση, καθιστώντας τα έτσι σχεδόν άχρηστα για άλλες εφαρμογές. Αυτά τα ακατέργαστα δεδομένα αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή μιας μεγάλης σειράς καινούργιων δεδομένων, εξίσου ογκώδη και πολύπλοκα, τα οποία με τη σειρά τους δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο τη σωστή διαχείριση της παραγόμενης από τη σάρωση πληροφορίας. Αν δε δοθεί η πρόεπουσα προσοχή στη διαχείριση του τεράστιου όγκου πληροφορίας που παράγεται κατά την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση κάποιου θέματος ή κάποιας συλλογής θεμάτων, είναι πιθανό να προκληθεί μεγάλη σύγχυση τόσο στην πρόσβαση της πληροφορίας αυτής, όσο και στην ανάκτησή της, καθιστώντας τη ουσιαστικά άχρηστη.

Για την εξασφάλιση της εύχρηστης αρχειοθέτησης της πληροφορίας, πρέπει να καταστρωθεί η κατάλληλη στρατηγική διαχείρισής της. Συνήθως, μετά την ψηφιοποίηση τα πρωτογενή δεδομένα πρέπει να συγκεντρωθούν και να τροποποιηθούν, ώστε να δώσουν το αποτέλεσμα που απαιτείται από την κάθε εφαρμογή. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ενέργειες που απαιτούνται μετά το πέρας της διαδικασίας της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης κάποιου θέματος είναι:

- 1) Η αποθήκευση του πρωτογενούς υλικού για αρχειακούς λόγους, το οποίο υποχρεωτικά πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα μετα-δεδομένα.
- 2) Η επεξεργασία του πρωτογενούς υλικού για την παραγωγή μίας ενιαίας φόρμας, αντιπροσωπευτικής του ψηφιοποιημένου θέματος. Η αποθήκευσή της θα πρέπει υποχρεωτικά να συνοδεύεται από μεταδεδομένα επίσης.
- 3) Η μετατροπή του τελικού προϊόντος από το 2^ο στάδιο σε τύπους αρχείων που έχουν καθιερωθεί στην βιομηχανία των τρισδιάστατων γραφικών. Η αποθήκευση με μεταδεδομένα και εδώ δεν πρέπει να παραλείπεται.
- 4) Η περαιτέρω μετατροπή για τις ανάγκες της τελικής εφαρμογής (π.χ. μείωση της ανάλυσης και μετατροπή σε ιδικό τύπου αρχείου για προβολή μέσω του διαδικτύου).

Η διαχείριση των δεδομένων που παράγονται από την τρισδιάστατη καταγραφή κάποιου θέματος, προϋποθέτει την ακολουθία αποφάσεων που αφορούν τόσο τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η διαχείριση τους όσο και στον τρόπο με τον οποίο αυτά θα περιγραφούν. Η διαχείριση των δεδομένων εξαρτάτε από τον τρόπο που αυτά δημιουργούνται και τροφοδοτούνται στη συλλογή, όπως για παράδειγμα τον τύπο του αρχείου, τη συνοδευτική τεκμηρίωσή της πληροφορίας και τους όρους με τους οποίους θα γίνει διαθέσιμη (π.χ. δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας κλπ.)

Ο τρόπος με τον οποίο μορφοποιείται η πληροφορία, δηλαδή σε τι τύπο μέσου είναι αποθηκευμένη, με ποιο τύπο αρχείου, αν είναι συμπίεσμένη η κωδικοποιημένη και λοιπά, καθορίζει άμεσα τη φορητότητά της, τόσο σε επίπεδο τεχνικομηχανικού εξοπλισμού, όσο και σε επίπεδο λογισμικού.



Η περιγραφή/τεκμηρίωση που συνοδεύει τα δεδομένα της ψηφιακής συλλογής προσδιορίζεται με άλλες δυο κατηγορίες. Η πρώτη είναι αυτή που αφορά τον τρόπο με τον οποίο δημιουργήθηκαν τα δεδομένα και πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα εγχειρίδιο χρήσης, απαιτήσεις σε λογισμικό κλπ. Η δεύτερη κατηγορία αφορά την τεκμηρίωση των ίδιων των δεδομένων με πληροφορία σχετικά με το περιεχόμενό τους, όπως περιγραφή του αντικειμένου, προέλευση κλπ. η οποία χρησιμεύει στον διαχωρισμό του αντικειμένου από το πλήθος μιας συλλογής. Η πληροφορία τεκμηρίωσης της δεύτερης κατηγορίας είναι γνωστή με τον όρο μεταδεδομένα και θα γίνει εκτενέστερη αναφορά παρακάτω.

Οι όροι χρήσης της πληροφορίας σχετίζονται με τους περιορισμούς που τυχόν θέτει ο προμηθευτής του αρχειακού υλικού, λόγω πνευματικών δικαιωμάτων κλπ. Η διασφάλιση της ορθής χρήσης και η τήρηση των όρων που θέτει ο προμηθευτής της συλλογής είναι εφικτή μέσω μεθόδων «υδατοσήμανσης» (watermarking) αλλά και διαχείρισης των δικαιωμάτων πρόσβασης στα δεδομένα. Για παράδειγμα ένα τμήμα μιας συλλογής κάποιου μουσείου μπορεί να είναι ελεύθερα προσβάσιμο από όλους, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της να είναι προσβάσιμο μόνο μέσω συνδρομής.

Η φυσική αποθήκευση της πληροφορίας είναι επίσης ένα σημαντικό μέρος της διαχείρισής της, αφού από αυτή εξαρτώνται τόσο η καλή λειτουργικότητα του ψηφιακού αρχείου, όσο και η μακροζωία του. Η φυσική αποθήκευση της πληροφορίας περιλαμβάνει διαδικασίες όπως:

- Περιοδικούς ελέγχους πληρότητας, λειτουργικότητας και συνοχής των πόρων του ψηφιακού αρχείου.
- Ανανέωση των φυσικών μέσων στα οποία είναι αποθηκευμένο το αρχείο. Για την αποφυγή απώλειας δεδομένων λόγω ασταθούς συμπεριφοράς του μέσου ή υπέρβασης του χρόνου ζωής του.
- Μετανάστευση των δεδομένων σε πιο σύγχρονα αποθηκευτικά μέσα. Για την αποφυγή ασυμβατότητας μεταξύ παλιού και νέου τεχνικομηχανικού εξοπλισμού.
- Δημιουργία πολλαπλών αντιγράφων τα οποία θα αποθηκεύονται σε πολλαπλές τοποθεσίες. Για την αποφυγή ολικής ή μερικής απώλειας του

αρχείου σε περίπτωση μεγάλης καταστροφής (π.χ. από φωτιά, σεισμό κλπ.).

Εκτός από τα δεδομένα της ψηφιοποίησης, ανάλογης διαχείρισης χρήζει και το λογισμικό που χρησιμοποιείται τόσο για την παρουσίαση της πληροφορίας, όσο και για τη διαχείρισή της. Το ίδιο απαραίτητη με τη μετανάστευση των δεδομένων σε σύγχρονα αποθηκευτικά μέσα, είναι και η μετανάστευσή τους σε σύγχρονο λογισμικό, το οποίο μπορεί να σημαίνει από μια απλή μετατροπή τους σε αρχεία νέου τύπου, έως και την εκ νέου δημιουργία του λογισμικού που σχετίζεται με την προβολή και διαχείριση του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων. Μια δεύτερη λύση της μετανάστευσης σε πιο σύγχρονα περιβάλλοντα λογισμικού, είναι αυτή της εξομοίωσης του παλιού περιβάλλοντος λειτουργίας στο νέο.

Η διαίωνηση της πληροφορίας σίγουρα μπορεί να εξασφαλιστεί με τη χρήση μέσων αποθήκευσης με μεγάλη αντοχή στη φυσική φθορά του χρόνου. Ωστόσο, η χρησιμότητά της πληροφορίας αυτής είναι αδύνατο να εξασφαλιστεί με τον τρόπο αυτό, αφού η ραγδαία εξέλιξη της υλικοτεχνικής υποδομής και υποδομής λογισμικού μπορεί να καταστήσει κάποιο είδος αποθηκευτικού μέσου ή κάποια δομή δεδομένων μη συμβατή και απροσπέλαστη, σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα από το μέσο όρο ζωής του αποθηκευτικού μέσου. Στην πράξη, ένας πενταετής με εξαετής κύκλος αποτελεί το μέσο χρονικό περιθώριο πριν τη μετανάστευση των δεδομένων σε αποθηκευτικό μέσο νέας τεχνολογίας. Ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων, η μετανάστευση τους μπορεί να διαρκεί από λίγους μήνες μέχρι και όλη την περίοδο της παραμονής τους σε κάποιο αποθηκευτικό μέσο, αποτελώντας έτσι μια ακατάπαυστη διαδικασία ενταγμένη στις ενέργειες της καθημερινής διαχείρισής των δεδομένων [152],[153].

Εξίσου σημαντική είναι η τήρηση κάποιων προδιαγραφών για την ψηφιακή αποθήκευση των δεδομένων. Οι προδιαγραφές αυτές θα πρέπει τουλάχιστον να συμβαδίζουν με αντίστοιχες που έχουν θεσπιστεί από κοινοπραξίες που ασχολήθηκαν είτε με το ίδιο θέμα είτε με κάτι παραπλήσιο. Όσον αφορά τις μουσειακές εφαρμογές, αν και προς το παρόν δεν έχει παρουσιαστεί κάποιο κοινώς αποδεκτό πρότυπο για την ψηφιακή αποθήκευση των τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων, μπορεί να τηρηθεί μια παραλλαγή του προτύπου αποθή-

κευσης εικόνων που έχει θεσπιστεί από την κοινοπραξία εικόνων μουσείων τέχνης AMICO (Art Museum Image COnsortium) [208]. Για παράδειγμα, τα αρχεία πρέπει να αποθηκεύονται με όνομα αρκετά περιγραφικό για την ταυτότητά των δεδομένων που περιέχουν και επιπλέον, το όνομα αυτό να αποτελείται μόνο από λατινικούς χαρακτήρες, χωρίς τους (* ? / # < > : | \ “ κενό) για λόγους συμβατότητας μεταξύ των διάφορων λειτουργικών συστημάτων.

1.2 Μεταδεδομένα

Η μεγαλύτερη ίσως πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τη δημιουργία μιας ψηφιακής συλλογής είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου θα καταστούν τα δεδομένα της προσβάσιμα στον τελικό αποδέκτη. Ο μηχανισμός αυτός είναι ο χαρακτηρισμός της πληροφορίας για την οργανωμένη ένταξή της σε ευρετήρια και πίνακες περιεχομένων και υλοποιείται με τη χρήση των μεταδεδομένων.

Τα μεταδεδομένα μπορούν να χαρακτηριστούν ως δεδομένα για τα δεδομένα και αναλόγως της εφαρμογής χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη σχετίζεται με τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης και αφορούν πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο όπως τις αντιλαμβάνεται αυτός, για παράδειγμα μια περιγραφή για το τι περιέχουν τα δεδομένα. Η δεύτερη σχετίζεται με διαχειριστικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της έκδοσης των δεδομένων, τον τύπο τους κλπ. Πιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο και η οργάνωση των μεταδεδομένων που αφορούν τις δύο παραπάνω κατηγορίες, πρέπει να συμβαδίζει με τη βασική μορφή που καθορίζουν κάποια κοινά πρότυπα, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Στην περίπτωση των μουσείων, οι πληροφορίες που πρέπει να συνοδεύουν ένα έκθεμα καθορίζονται από το εννοιολογικό μοντέλο αναφοράς CIDOC [210]. Το μοντέλο αυτό είναι ικανό να περιγράψει πληροφορίες που αφορούν την ταυτότητα, κατοχή και τοποθέτηση κάποιου μουσειακού εκθέματος, όπως επίσης και πληροφορίες σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά, αλλά και ιστορικά γεγονότα που σχετίζονται με αυτό. Παρόλα αυτά όμως, το πρότυπο CIDOC είναι ανίκανο να εκφράσει από μόνο του πληροφορίες που σχετίζονται

με τα δεδομένα από την ψηφιοποίηση κάποιου θέματος. Εντούτοις, η ανοιχτή του αρχιτεκτονική επιτρέπει την ενσωμάτωση σχημάτων περιγραφής περισσότερο προσανατολισμένα στα ψηφιακά δεδομένα πολυμέσων, όπως αυτό του MPEG-7 [213].

Η τρίτη κατηγορία αφορά δεδομένα που σχετίζονται με την αυτόματη μαθηματική περιγραφή του αρχαιακού αντικειμένου. Τα μεταδεδομένα της κατηγορίας αυτής χρησιμεύουν στην αναζήτηση και ταξινόμηση βάση του ίδιου του περιεχομένου και όχι κάποιας περιγραφής στηριζόμενης στον ανθρώπινο παράγοντα. Στην περίπτωση των τρισδιάστατων αντικειμένων, η περιγραφή του ίδιου του περιεχομένου επιτυγχάνεται βάση ιδιικού λογισμικού, το οποίο αναλύοντας τη γεωμετρία του ψηφιοποιημένου θέματος εξάγει πληροφορίες σχετικά με αυτή. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν διάφορα τοπολογικά χαρακτηριστικά της τρισδιάστατης γεωμετρίας, όπως είναι για παράδειγμα αυτό της καμπυλότητάς της. Ο πιο διαδεδομένος και κοινά αποδεκτός τρόπος εξαγωγής και χρήσης αυτής της πληροφορίας είναι αυτός που ορίζει το πρότυπο MPEG – 7 στο οποίο γίνεται εκτενή αναφορά παρακάτω.

1.3 Πολυμεσικές βάσεις δεδομένων και διαδίκτυο

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση του τεράστιου όγκου πληροφορίας που παράγεται από τη διαδικασία της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης μιας συλλογής θεμάτων, ή κάποιου πολύπλοκου θέματος που απαιτεί πολλαπλές σαρώσεις και συλλογή δεδομένων από διάφορες συσκευές, είναι τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων ή οι κοινός γνωστές βάσεις δεδομένων. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης βάσεων δεδομένων για την οργάνωση της παραγόμενης πληροφορίας, έγκεινται τόσο στην εύκολη και αυτοματοποιημένη διαχείρισή της πληροφορίας αυτής, όσο και στην εύκολη και γρήγορη πρόσβαση και ανάκτησή της.

Το αρχείο που εξάγεται από τη διαδικασία της σάρωσης κάποιου θέματος θα μπορούσε ορθώς να θεωρηθεί ως μια βάση δεδομένων, στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η πληροφορία που περιγράφει στο χώρο τη μορφή του ίδιου του θέματος, η διαχείρισή της ωστόσο απαιτεί μια πιο γενική βάση δεδομένων, η

οποία θα περιέχει πληροφορίες που αφορούν τα δεδομένα της ψηφιοποίησης και όχι τα ίδια τα δεδομένα της ψηφιοποίησης. Σε μια βάση δεδομένων διαχείρισης της πληροφορίας που παράγεται από την τρισδιάστατη σάρωση, είναι εφικτό να βρίσκονται αποθηκευμένα τόσο τα ίδια τα δεδομένα της σάρωσης, όσο και η πληροφορία που αφορά αυτά. Αυτή η πρακτική ωστόσο αποφεύγεται, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις οι απαιτήσεις σε γρήγορους (On-Line) αποθηκευτικούς χώρους είναι αρκετά αυξημένες. Η πιο κοινή πρακτική είναι η χρήσης της βάσης δεδομένων να περιορίζεται στην αποθήκευση της πληροφορίας για τα δεδομένα της ψηφιοποίησης, ενώ τα ίδια δεδομένα της ψηφιοποίησης να αποθηκεύονται κάπου χωριστά και να συνδέονται μέσω κάποιου τρόπου συσχετισμού τους.

Τι είναι όμως μια βάση δεδομένων και με ποιο τρόπο επιτυγχάνεται αυτή η ευχρηστία στη διαχείριση, πρόσβαση και ανάκτηση της αποθηκευμένης πληροφορίας;

Μια βάση δεδομένων δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια ειδική δομή δεδομένων, η οποία σε συνδυασμό με το κατάλληλο λογισμικό, σύστημα διαχείρισης της δομής αυτής, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί για την αδιαφανή και ενιαία αποθήκευση, διαχείριση και επεξεργασία οποιουδήποτε είδους πληροφορίας. Τα διαθέσιμα είδη βάσεων δεδομένων που συναντάμε σήμερα παρουσιάζουν διαφορές τόσο στον τρόπο που διαχειρίζονται την πληροφορία, όσο και στις δυνατότητες αποθήκευσης-περιγραφής, πρόσβασης και ανάκτησής της.

Ο πιο διαδεδομένος και ευρέως χρησιμοποιημένος τύπος είναι αυτός των σχεσιακών βάσεων δεδομένων, όπου η πληροφορία οργανώνεται σε πίνακες λογικά κερματισμένους σε γραμμές και σε στήλες. Η κάθε γραμμή χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της πληροφορίας που αφορά μια εγγραφή, ενώ η κάθε στήλη ορίζει τη λογική θέση (κελί του πίνακα) στην οποία αποθηκευτούν τα ξεχωριστά τμήματα της πληροφορίας αυτής. Ο όρος «σχεσιακός» αφορά την ιδιότητα διασύνδεσης πολλών πινάκων μέσω σχέσεων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η περιγραφή πολύπλοκης πληροφορίας. Ωστόσο, παρά την αποδεδειγμένα αξιοπρεπή απόδοση των σχεσιακών βάσεων σε εφαρμογές γραφείου, η χρήση τους σε εφαρμογές πολυμέσων, όπου η πληροφορία είναι πιο ασαφής και πολύ

πιο ευμετάβλητη, παρουσιάζει αδυναμίες οι οποίες δύσκολα μπορούν να αντιμετωπιστούν. Για παράδειγμα η συνεχή μεταβολή της δομής δεδομένων, για την άμεση φιλοξενία επιπλέον πληροφορίας, που απαιτείται σε εφαρμογές περιγραφής τρισδιάστατων βάσεων δεδομένων (τρειςδιάστατης μοντελοποίησης), είναι σχεδόν ανέφικτη με τη χρήση σχεσιακών βάσεων δεδομένων.

Λύση στο πρόβλημα διαχείρισης δυναμικά μεταβαλλόμενης και πολύπλοκης πληροφορίας προσφέρουν οι αντικειμενοστραφείς βάσεις δεδομένων και κάποιες τεχνικές συνδυασμού σχεσιακών βάσεων δεδομένων με πιο ευέλικτες μορφές έκφρασης της πληροφορίας, όπως αυτή της γλώσσας περιγραφής XML (eXtensible Markup Language) η οποία αποτελεί την πιο δημοφιλή λύση.

Οι αντικειμενοστραφείς βάσεις δεδομένων είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διαχειρίζονται την πληροφορία ως ανεξάρτητα αντικείμενα, τα οποία μπορεί είτε να ανήκουν σε κάποια ομάδα με κοινές ιδιότητες και μεθόδους επεξεργασίας, είτε να αποτελούν εξαίρεση κληρονομώντας κάποιες ιδιότητες από συγγενείς ομάδες, ενώ ταυτόχρονα να παρουσιάζουν μοναδικές ιδιότητες που δεν εμφανίζονται σε άλλα αντικείμενα. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της αντικειμενοστραφούς έκφρασης της πληροφορίας και της χρήσης αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων είναι: η απροβλημάτιστη αποθήκευση και διαχείριση πολύπλοκων δομών δεδομένων, η εύκολη κατανομή σε πολλαπλά συστήματα τόσο της ίδιας της πληροφορίας, όσο και του έργου που σχετίζεται με αυτή, όπως επίσης και η άμεση ένταξή τους σε λογισμικό που έχει αναπτυχθεί με κάποια αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού (C++, Java και άλλες). Σε εφαρμογές που εμπλέκονται πολύπλοκες και δυναμικές δομές δεδομένων, οι αντικειμενοστραφείς βάσεις δεδομένων αποτελούν μια πολύ καλή λύση η οποία όμως προϋποθέτει την εξορισμού έκφραση της πληροφορίας σε αντικείμενα, αφού η μετατροπή μιας κοινής σχεσιακής βάσης δεδομένων σε αντικειμενοστραφή είναι ανούσια. Έτσι στην περίπτωση που είδη χρησιμοποιείται μια σχεσιακή βάση δεδομένων, η μετατροπή της σε αντικειμενοστραφή για τον περαιτέρω εμπλουτισμό της με πιο πολύπλοκα δεδομένα δε συνιστάτε. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει συσχετισμός των πεδίων της σχεσιακής βάσης με αρχεία XML, τα οποία προσφέρουν την επιπλέον απαιτούμενη δομή δεδομένων για την περιγραφή



πολύπλοκης πληροφορίας σε ιεραρχημένη δομή. Η πρακτική αυτή επιτρέπει την επέκταση μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων, χωρίς την ανάγκη επανασχεδιασμού ούτε του τρόπου με τον οποίο περιγράφεται η μέχρι τώρα διαθέσιμη πληροφορία, αλλά ούτε και του λογισμικού που διαχειρίζεται αυτή. Η επιπλέον πληροφορία που εισάγεται μέσω της XML αποτελεί προέκταση της σχεσιακής βάσης δεδομένων, ενώ το λογισμικό που τη διαχειρίζεται είναι ανεξάρτητο από αυτό που διαχειρίζεται την κύρια σχεσιακή βάση.

Εκτός από τις κλασικές σχεσιακές και αντικειμενοστραφή βάσεις δεδομένων υπάρχουν και οι αντικειμενοσχεσιακές. Μια αντικειμενοσχεσιακή βάση δεδομένων δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια κοινή σχεσιακή, η οποία όμως συνοδεύεται από κατάλληλο λογισμικό διαχείρισης το οποίο την κάνει να συμπεριφέρεται ως μια βάση δεδομένων μερικώς αντικειμενοστραφή. Το λογισμικό αυτό παρεμβάλλεται μεταξύ του χρήστη και της σχεσιακής βάσης δεδομένων και μεταφράζει τα αντικειμενοστραφή αιτήματα του χρήστη σε κοινά σχεσιακά αιτήματα, ικανά να τα διαχειριστεί η σχεσιακή βάση δεδομένων, ανταποδίδοντας του στη συνέχεια την αναμενόμενη αντικειμενοστραφή απάντηση. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των αντικειμενοσχεσιακών βάσεων δεδομένων βρίσκεται στην ταχύτητα απόκρισής τους, η οποία, ειδικά σε πολύπλοκες δομές δεδομένων, εμφανίζεται πολύ πιο μικρή από την αντίστοιχη μιας αμιγώς αντικειμενοστραφής βάσης δεδομένων. Ωστόσο πλεονεκτήματα όπως η ευκολία χρήσης τους και η υποστήριξή τους από μεγάλες εταιρίες κατασκευής σχεσιακών βάσεων δεδομένων, έχουν συμβάλει στη μεγάλη αποδοχή τους από το αγοραστικό κοινό. Παρόλα αυτά, όσο και να εξελιχθεί η τεχνολογία αυτή ποτέ δε θα καταφέρει να αποδώσει όπως μια καθαρά αντικειμενοστραφή λύση.

Πίνακας XXXIII. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων

Απαιτήσεις της Βάσης Δεδομένων	Αντικειμενοστραφείς Βάσεις Δεδομένων	Σχεσιακές Βάσεις Δεδομένων	Αντικειμενοσχεσιακές (Σχεσιακές με αντικειμενοστραφή διασύνδεση) Βάσεις Δεδομένων
Πολυπλοκότητα μοντέλου δεδομένων	Μεγάλη	Μικρή	Ανάλογα με τον κατασκευαστή
Τύποι δεδομένων καθορισμένοι από τον χρήστη	Ναι	Όχι	Ναι
Διαχείριση διαφορετικών εκδόσεων των ίδιων δεδομένων	Ναι	Όχι	Όχι
Εργαλεία για την ανάπτυξη της εφαρμογής	Αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού	Γλώσσες προγραμματισμού 4 ^{ης} γενιάς	Γλώσσες προγραμματισμού 3 ^{ης} και 4 ^{ης} γενιάς
Κληρονομικότητα	Ναι	Όχι	Ανάλογα με τον κατασκευαστή
Πολυμορφισμός	Ναι	Όχι	Ανάλογα με τον κατασκευαστή

1.3.1 Αυτόματη εξαγωγή μεταδεδομένων βάση του περιεχομένου

Ένας καλός τρόπος ανάδειξης των πλεονεκτημάτων της χρήσης αυτόματης περιγραφής της πληροφορίας, είναι αυτός της παρουσίασής της μέσω μιας εφαρμογής στην οποία όλοι έχουν κάποια εμπειρία. Η εφαρμογή αυτή είναι οι μηχανές αναζήτησης του Internet, οι οποίες είναι ένας μηχανισμός ανάκτησης ψηφιακής πληροφορίας από μια εκτενή βάση δεδομένων.

Σήμερα το Internet αναμφίβολα αποτελεί το καλύτερο μέσο για την εύρεση αλλά και τη διάδοση πληροφορίας. Μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αχανή βιβλιοθήκη όπου δεν υπάρχουν κανόνες για το τρόπο οργάνωσης του περιεχομένου της. Ο τεράστιος όγκος πληροφορίας που είναι διαθέσιμος στο Internet αποτελεί μια άριστη πηγή πληροφόρησης, η οποία όμως χωρίς τα κατάλληλα εργαλεία θα ήταν πολύ δύσκολο να αξιοποιηθεί. Τα εργαλεία αυτά είναι οι μηχανές αναζήτησης, οι οποίες δημιουργούν ευρετήρια μεγάλων τμημάτων του διαδικτύου, ενώ παράλληλα παρέχουν στους χρήστες τους τα κατάλληλα εφόδια για την αναζήτηση των ευρετηρίων αυτών.

Οι περισσότερες μηχανές αναζήτησης τυπικά παρέχουν τη δυνατότητα να ψάξουμε τα περιεχόμενά τους βάση λέξεων κλειδιών, που εισάγει ο χρήστης σε μια φόρμα αναζήτησης. Εισάγοντας μια λέξη ή μια φράση στη μηχανή αναζήτησης, αυτή ανευρίσκει σε ποιες σελίδες εμφανίζεται η συγκεκριμένη

λέξη ή φράση και τις παρουσιάζει. Ωστόσο οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο δεν περιορίζονται μόνο σε κείμενα αλλά περιέχονται και σε πολλά άλλα μέσα, (π.χ. μουσική & ήχοι, φωτογραφίες, βίντεο, τρισδιάστατα μοντέλα κλπ.) στα οποία η αναζήτηση βάση κάποιας λέξης κλειδί, δεν είναι εφαρμόσιμη εξ αρχής. Για τις περιπτώσεις αυτές υπάρχουν μηχανές αναζήτησης οι οποίες είναι προσανατολισμένες στην αναζήτηση ειδικών μορφών δεδομένων, όπως είναι οι εικόνες, η μουσική κλπ. Μέχρι και σήμερα, οι περισσότερες από αυτές τις ειδικές μηχανές αναζήτησης εκμεταλλεύονται το γεγονός πως τέτοιου είδους δεδομένα συνοδεύονται από έγγραφη περιγραφή, είτε ενσωματωμένη μέσα στο ίδιο το αρχείο, είτε προσαρμοσμένη στο όνομα του αρχείου, είτε προσαρμοσμένη στην ιστοσελίδα που φιλοξενεί τα δεδομένα αυτά. Αυτή η μέθοδο αναζήτησης όμως δεν είναι αρκετά αποτελεσματική, διότι το περιεχόμενο της έγγραφης λεκτικής περιγραφής που συνοδεύει μια μη λεκτική μορφή πληροφορίας βασίζεται στον ανθρώπινο παράγοντα. Αυτό συνεπάγεται πως εάν τα μη λεκτικά δεδομένα συνοδεύονται από μια λανθασμένη περιγραφή, τότε αυτά δε πρόκειται να εμφανιστούν ποτέ σε μια ενδεχόμενη αναζήτησή τους στο διαδίκτυο. Για να χαρακτηριστεί μια μηχανή αναζήτησης αποτελεσματική στην αναζήτηση μη λεκτικών μορφών δεδομένων, όπως εικόνες ή ήχους κλπ., θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με μηχανισμούς οι οποίοι θα την καθιστούν ικανή να ερευνά βασισμένη σε μη λεκτικά στοιχεία, από το περιεχόμενο της ίδιας της πληροφορίας και όχι κάποιας έγγραφης συνοδευτικής περιγραφής. Τέτοιες έξυπνες μηχανές αναζήτησης θα είναι δυνατόν να βρουν ένα μουσικό κομμάτι βάση κάποιου σκοπού που θα σφυριζούμε στο μικρόφωνο του Η/Υ μας.

Το πρόβλημα που εμφανίζεται στην υλοποίηση μιας τόσο έξυπνης μηχανής αναζήτησης, είναι η χρονοβόρα και απαιτητική, τόσο σε μνήμη και επεξεργαστική ισχύ, όσο και σε εύρος δικτύου, αποκωδικοποίηση και αναγνώριση της δυσνόητης ακολουθίας ψηφιακών στοιχείων (bits) από τα οποία αποτελείται η ψηφιακή πληροφορία. Ο μηχανισμός μέσω του οποίου θα γίνει εφικτή η αναζήτηση μη λεκτικών ψηφιακών δεδομένων βάση του περιεχομένου τους, είναι μέσω της ψηφιακής περιγραφής τους βάση κάποιων κανόνων θεσπιζόμενοι από κάποιο κοινό πρότυπο. Αυτό το πρότυπο έχει ήδη

δημιουργηθεί, είναι το MPEG-7 το οποίο υποδεικνύει τα εργαλεία περιγραφής των ψηφιακών δεδομένων, τους βασικούς ψηφιακούς περιγραφείς (Digital Descriptors) και τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύεται η παραγόμενη από τους ψηφιακούς περιγραφείς πληροφορία.

1.3.2 Εισαγωγή στο MPEG-7

Το πρότυπο του MPEG-7 πρωτοπαρουσιάστηκε από την ομάδα ιδικών κινούμενων εικόνων (Moving Pictures Expert Group) και έναντι των προηγούμενων MPEG προτύπων (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4) τα οποία απευθύνονται στην κωδικοποιημένη αναπαράσταση οπτικοακουστικού περιεχομένου, το MPEG-7 επικεντρώνεται στην αναπαράσταση πληροφορίας περί του περιεχομένου, παρά για το ίδιο το περιεχόμενο. Στόχος του MPEG-7 είναι να προσφέρει ένα πλούσιο σύνολο εργαλείων για την περιγραφή πολυμεσικού -μη λεκτικού- περιεχομένου, τα οποία θα βοηθήσουν στην κατηγοριοποίηση, αναζήτηση και ανάκτηση αντίστοιχης μορφής δεδομένων.

Το MPEG-7 καθορίζεται από ένα σύνολο από ψηφιακούς περιγραφείς (descriptors) και σχήματα περιγραφής (description schemes), μέσω των οποίων καθιστάτε εφικτή η περιγραφή του ψηφιακού περιεχομένου μη λεκτικής πληροφορίας όπως ήχοι, εικόνες, βίντεο τρισδιάστατα μοντέλα κλπ. Για κάθε τύπο πληροφορίας υπάρχουν και οι αντίστοιχοι βασικοί περιγραφείς οι οποίοι συνδυαζόμενοι μεταξύ τους παράγουν πιο σύνθετους περιγραφείς. Ωστόσο, σε περίπτωση που οι υπάρχον περιγραφείς και ο συνδυασμός τους (σχήματα περιγραφής) δεν ικανοποιούν τις ανάγκες χαρακτηρισμού του περιεχομένου μιας μη λεκτικής πληροφορίας, τότε υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστεί ένας νέος τύπος περιγραφής, μέσω της γλώσσας ορισμού περιγραφής (Description Definition Language – DDL) που προβλέπει πρότυπο του MPEG-7 και συντάσσεται κατά τα πρότυπα της γλώσσας XML.

Η παραγόμενη πληροφορία που προκύπτει από τους περιγραφείς συντάσσεται, σύμφωνα με πρότυπα που ορίζει το MPEG-7, ακολουθώντας τη δομή της DDL και είναι συνυφασμένη με τα δεδομένα τα οποία περιγράφει. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται γρήγορη και αποτελεσματική αναζήτηση



πολυμεσικών δεδομένων, σύμφωνα με τα κριτήρια που έχει θέσει ο χρήστης της μηχανής αναζήτησης και όχι αυτός που δημοσίευσε, με τυχόν λάθος λεκτική περιγραφή, την πληροφορία στο διαδίκτυο.

1.3.2.1 Ψηφιακοί περιγραφείς και η λειτουργία τους

Όπως προαναφέραμε, οι ψηφιακοί περιγραφείς είναι τα εργαλεία που παρέχει το MPEG-7 για την περιγραφή των περιεχομένων μιας μη λεκτικής μορφής δεδομένων. Είναι αλγόριθμοι που αναγνωρίζουν και κωδικοποιούν τις ιδιότητες των πληροφοριών που κρύβονται μέσα σε ένα πολυμεσικό αρχείο. Για κάθε τύπο αρχείου υπάρχουν και οι αντίστοιχοι περιγραφείς οι οποίοι ανιχνεύουν τα ειδικά χαρακτηριστικά της πληροφορίας. Κατά συνέπεια οι περιγραφείς χωρίζονται ανάλογα με τον τύπο της πληροφορίας που περιγράφουν, άλλοι είναι για τον ήχο, άλλοι για την εικόνα, άλλοι για το βίντεο και άλλοι για τα τρισδιάστατα μοντέλα.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εικόνας έχουμε περιγραφείς για τα χρώματα, για την υφή και για τα σχήματα που εμφανίζονται στην εικόνα, ενώ αν έχουμε να κάνουμε με κινούμενη εικόνα (βίντεο) τότε προστίθενται και οι περιγραφείς της κίνησης. Για τον ήχο αντίστοιχα υπάρχουν περιγραφείς για το φάσμα του ήχου, τις βασικές αρμονικές του, κλπ. Αντίστοιχα εργαλεία υπάρχουν και για την περιγραφή τρισδιάστατων αντικειμένων, κάποια από τα οποία έχουν τις ρίζες τους στους περιγραφείς σχημάτων για εικόνες και επεκτείνονται από τις δύο στις τρεις διαστάσεις. Με τους περιγραφείς τρισδιάστατων σχημάτων θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο όπου και παρουσιάζετε με ευκολονόητο τρόπο η αρχή λειτουργίας τους.

1.3.2.2 Περιγραφείς τρισδιάστατων μοντέλων

Είναι προφανές πως το σχήμα ενός τρισδιάστατου μοντέλου σαν έννοια είναι ουσιαστικά ανεξάρτητο από τη θέση του στον χώρο, τον προσανατολισμό του και την τριγωνοποιημένη αναπαράστασή του. Για παράδειγμα, το τρισδιάστατο μοντέλο ενός αυτοκινήτου δεν πάει να αναπαριστά ένα αυτοκίνητο, ανεξάρτητα αν αυτό σχηματίζεται από 100 ή 10.000 πολύγωνα, ή

αν η μεγαλύτερή του πλευρά έχει μέγεθος εκατό μονάδων και είναι παράλληλη με τον άξονα X. Ως εκ τούτου, ένα εργαλείο για την περιγραφή τρισδιάστατων μοντέλων θα πρέπει να είναι ανεπηρέαστο από τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς θέσης, μεγέθους και προσανατολισμού, όπως επίσης και από την οποιοδήποτε μορφή τριγωνοποιημένης αναπαράστασης του μοντέλου (π.χ. αριθμό πολυγώνων, ομαλότητα των άκρων κλπ.).

Τι γίνεται όμως στην περίπτωση αρθρωτών αντικειμένων, δηλαδή αντικειμένων που η μορφή τους σχηματίζεται από περισσότερα του ενός αντικειμένων με θέση πάντα σχετική αλλά ποτέ σταθερή με το κύριο σώμα τους; Για παράδειγμα ένα ανθρωπόμορφο τρισδιάστατο μοντέλο αποτελείται από διάφορα μέλη, τα οποία έχουν την ιδιότητα να περιστρέφονται ελεύθερα σε όλους τους άξονες. Λόγω της ιδιότητας του αυτής ωστόσο, αν το δίποδο ανθρωπόμορφο μοντέλο παριστά κάποιο τετράποδο η περιγραφή του σε καμιά περίπτωση δε θα πρέπει να ταυτιστεί με αυτή ενός τετράποδου. Η σημασιολογική έννοια είναι άμεσα συνδεδεμένη με την μορφή του σχήματος και στις περιπτώσεις αρθρωτών αντικειμένων η ασταθής μορφή τους μπορεί να οδηγήσει ευκολότερα μια «έξυπνη» μηχανή αναζήτησης σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Όσο και αν η αναγνώριση αντικειμένων δείχνει μια απλή διαδικασία για τον ανθρώπινο εγκέφαλο, για έναν Η/Υ είναι μια διαδικασία που απαιτεί διαφορετική προσέγγιση σε σχέση με αυτή για τα μη αρθρωτά και στερεά αντικείμενα. Στην περίπτωση των στερεών αντικειμένων ένας καθολικός περιγραφέας επαρκεί για την περιγραφή του σχήματος. Ωστόσο όταν πρόκειται για αρθρωτά αντικείμενα, συμπληρωματικά πρέπει να γίνεται χρήση και τοπικών περιγραφέων για την διάκριση τυχών στάσεων του αντικειμένου. Προηγούμενη έρευνα για την ανάκτηση δεδομένων βάση σχήματος, έδειξε πως οι καθολικοί περιγραφείς πληρούσαν τις κατάλληλες προϋποθέσεις. Είχαν λογικό μέγεθος, υποστήριζαν απλές στον υπολογισμό μετρήσεις ομοιότητας και έτσι επέτρεπαν αποτελεσματική έρευνα πολύ μεγάλων βάσεων δεδομένων.

Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στον καθορισμό των απαιτούμενων προσόντων που πρέπει να διαθέτει ένας περιγραφέας τρισδιάστατων μοντέλων

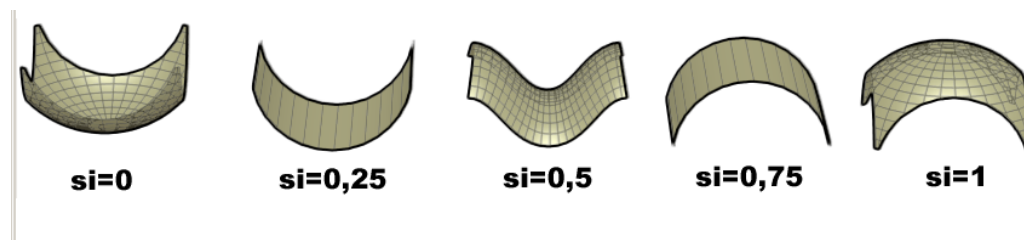
(3D Shape Descriptor – **3D SD**). Έτσι, τα κριτήρια για να θεωρηθεί επιτυχημένος ένας 3D SD έχουν ως εξής:

- Ο 3D SD πρέπει να περιγράφει ένα τρισδιάστατο μοντέλο βασισμένος στις επιφάνειές του και όχι στον όγκο του. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται περιπτώσεις αντικειμένων με ανοιχτές επιφάνειες, των οποίων ο όγκος είναι μηδενικός. Για παράδειγμα, ένα πανί το οποίο σχηματίζεται από ένα παραμορφωμένο δισδιάστατο πλέγμα πολυγώνων δεν έχει μετρήσιμο όγκο.
- Όταν μεγεθύνεται, περιστρέφεται ή μετακινείται ένα αντικείμενο, τότε η περιγραφή του, παρά τις διάφορες μεγεθύνσεις και Ευκλείδειους μετασχηματισμούς, θα πρέπει να παραμένει αμετάβλητη.
- Ένας 3D SD πρέπει να δίνει την ίδια περιγραφή για αρθρωτά αντικείμενα σε οποιαδήποτε στάση και να βρίσκονται.

Ο 3D SD που προτείνεται από την ομάδα ιδικών κινούμενων εικόνων (Moving Pictures Expert Group) εκπληρώνει όλα τα παραπάνω κριτήρια.

Ονομάζεται περιγραφέας φάσματος τρισδιάστατων σχημάτων (3D Shape Spectrum Descriptor - **3D SSD**) και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην έκφραση των τοπικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του τρισδιάστατου σχήματος. Πιο συγκεκριμένα, εκφράζει το ιστόγραμμα των τιμών των δεικτών σχήματος (shape index) του αντικειμένου.

Ο δείκτης σχήματος του αντικειμένου (shape index – **SI**), είναι μια έννοια που συστήθηκε από τον J. Koenderik (“Solid Shape”, The MIT Press, Cambridge, Mass., 1990) και καθορίζεται σαν συνάρτηση των δυο κύριων καμπυλοτήτων. Ο SI είναι ένα τοπικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό μιας τρισδιάστατης επιφάνειας, το οποίο εκφράζεται σαν τη γωνιακή συντεταγμένη της πολικής αναπαράστασης του διανύσματος της κύριας καμπυλότητας. Παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και δεν ορίζεται για επίπεδες επιφάνειες. Ο SI αποτελεί την κλίμακα μέτρησης μη επίπεδων στοιχειωδών σχημάτων όπως είναι τα κοιλώματα (SI = 0), οι αυλακώσεις (SI=0.25), τα σαμάρια (SI=0.5), οι ράχες (SI=0.75) και τα κυρτώματα (SI = 1) και είναι ανεπηρέαστος από διάφορους Ευκλείδειους μετασχηματισμούς και κλιμακώσεις.



Εικόνα 135 Άφορα σχήματα και ο αντίστοιχος δείκτης σχήματος

Κατά συνέπεια, ο 3D SSD καθορίζεται ως η κατανομή του SI πάνω σε ολόκληρο το αντικείμενο. Αυτό υλοποιείται διαβαθμίζοντας ομοιόμορφα το φάσμα των τιμών που παίρνει ένας SI (από 0 μέχρι 1) και προσθέτοντας σε κάθε βαθμίδα το σχετικό εμβαδόν του κάθε πολυγώνου του μοντέλου με παραπλήσια SI τιμή. Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα τρίγωνο του οποίου το εμβαδόν αντιστοιχεί στο 2% του συνολικού εμβαδού του μοντέλου και η SI τιμή του είναι ίση με 0.22, τότε στη βαθμίδα όπου ανήκει η τιμή 0.22 προσθέτουμε 2%. Σε περίπτωση που το τρίγωνο βρίσκεται σε επίπεδη περιοχή, όπου όπως προαναφέραμε το SI δεν ορίζεται, τότε το ποσοστό του εμβαδού του προστίθεται σε μια ειδική θέση μόνο για τις επίπεδες επιφάνειες. Παρομοίως, στην περίπτωση όπου το πολύγωνο βρίσκεται στα όρια του μοντέλου, δηλαδή έχει τουλάχιστον μια πλευρά την οποία δεν μοιράζεται με κανένα άλλο πολύγωνο του αντικειμένου, η εκτίμηση της κύριας καμπυλότητας για το πολύγωνο αυτό είναι ανακριβής και γι' αυτό το λόγω το εμβαδόν του προστίθεται σε μια θέση που είναι μόνο για τέτοιου είδους πολύγωνα. Αυτό γίνεται για όλα τα πολύγωνα του μοντέλου και συνεπώς έως ότου καλυφθεί το 100% του εμβαδού του.

Ωστόσο, πριν εφαρμοστούν τα παραπάνω απαιτείται ειδική προετοιμασία του μοντέλου. Καταρχήν, για να μην επηρεάζεται ο 3D SSD από τις διάφορες τοπολογικές αναπαραστάσεις του μοντέλου και τυχόν λάθη τοπολογίας, θα πρέπει να εφαρμοστεί στο αρχικό μοντέλο ένα φίλτρο κανονικοποίησης. Επίσης, ανωμαλίες στο SI φάσμα του αντικειμένου, προκαλούνται από πολύγωνα με δυσανάλογα μεγέθη, ή πολύγωνα τα οποία ανήκουν στην ίδια επιφάνεια αλλά κοιτούν στην αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με την πλειοψηφία, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σαν τρύπες. Έτσι, για την αποφυγή τυχόν ανωμαλιών στο φάσμα του αντικειμένου, θα πρέπει πριν την



εφαρμογή του 3D SSD, το μοντέλο να εξομαλύνεται με την τεχνική της εισαγωγής σημείου στο μέσο της κάθε πλευράς των πολυγώνων του και με την εφαρμογή ενός φίλτρου εξομάλυνσης (low-pass filter) στις συντεταγμένες του κάθε σημείου. Αυτό συντελεί στο να δημιουργηθούν ομαλές επιφάνειες με μεγάλο αριθμό μικρών τριγώνων όπου ο 3D SSD αποδίδει καλύτερα.

Όλα τα παραπάνω συντελούν στην υλοποίηση ενός «εύρωστου» περιγραφέα τρισδιάστατων μοντέλων, ο οποίος αντεπεξέρχεται με ευκολία στο δύσκολο έργο της αναζήτησης τρισδιάστατων μοντέλων.



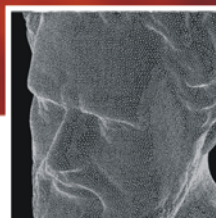
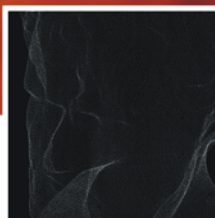
DIGITECH III

ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

Αναφορές





- [1] Curless, B.; Levoy, Better optical triangulation through spacetime analysis, M Computer Vision, 1995. Proceedings., Fifth International Conference on , 20-23 June 1995 Pages:987 – 994.
- [2] Rioux, M., 1994. Digital 3-D Imaging: Theory and Applications. SPIE Proceedings, Videometrics III,International Symposium on Photonic and Sensors and Controls for Commercial Applications, Boston, 2650, 2-15.
- [3] J-Angelo Beraldin, Francois Blais, Luc Cournoyer, Guy Godin and Marc Rioux, Active 3D sensing,2000, SCUOLA NORMALE SUPERIORE PISA, Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali
- [4] Tim Hawkins Jonathan Cohen Paul Debevec, A Photometric Approach to Digitizing Cultural Artifacts, University of Southern California Institute for Creative Technologies,2001
- [5] Wolfgang Boehler, Adreas Marbs, Scanning for Cultural Heritage Recording, September 1-2, 2002
- [6] Wolfgang Boehler, Guido Heinz, Andreas Marbs, Mirko Siebold, 3D Scanning software: An introduction, CIPA Heritage Documentation, Proceedings of the CIPE WG 6 international workshop on scanning for cultural heritage recording, September 2002
- [7] Cortelazzo, G.M.; Marton, F. About modeling cultural heritage objects with limited computers resources Image Analysis and Processing, 1999. Proceedings. International Conference on , 27-29 Sept. 1999 Pages:848 – 853
- [8] P. J. Besl and N. D. McKay, A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 12, February 1992
- [9] Malzbender T.,Gelb,D., and Wolters H. Polynomial texture maps, Proceeding of SIGGRAPH 2001,August 2001,519-528,ISBN 1-58113-292-1
- [10] Levoy M. Pulli, K, Curless B, Rusinkiewicz S, Koller D, Pereira L, Ginzton M, Anderson S, Davis J, Shade, J, Fulk D. The digital

- Michelangelo project: 3D scanning of large statues. Proceedings of SIGGRAPH 2000, July, 131-144, ISBN 1-58113-208-5
- [11] Dana, K.J.; Nayar, S.K., Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on , Volume: 2 , 20-27 Sept. 1999, Pages:1061 - 1066 vol.2
- [12] Z. Zhang, "Modeling Geometric Structure and Illumination Variation of a Scene from Real Images", In Proc. International Conference on Computer Vision (ICCV'98), Bombay, India, January 4-7, 1998.
- [13] Tosovic S., Sablatnig R., Kampel M., "On combining shape from silhouette and shape from structured light", in: H. Wildenauer and W. Kropatsch, (Eds.), "Proc. of 7th Computer Vision Winter Workshop", pp. 108-118, 2002.
- [14] A. Laurentini, The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.16 n.2, p.150-162, February 1994
- [15] Sablatnig R., Tosovic S., Kampel M., " Next View Planning for Shape from silhouette", in: Drbohlav O., (Ed.), "Proc. of 8th Computer Vision Winter Workshop 2003, Valtice, Czech Republic", pp.77-82, 2003.
- [16] Adam Baumberg, Alex Lyons, Richard Taylor, 3D S.O.M. – A commercial software solution to 3D scanning, Vision, Video, and Graphics (2003), The Eurographics Association 2003. Eurographics Partner Event Vision, Video, and Graphics 2003. Bath UK
- [17] Potmesil, M. "Generating Octree Models of 3D Objects from their Silhouettes in a Sequence of Images." CVGIP 40 (1987), 1-29.
- [18] Noborio et al.:Construction of the octree approximating three-dimensional objects by using multiple views, IEEE Trans. on PAMI, Vol.10, pp.769-782,1988
- [19] N. Ahuja and J. Veenstra, Generating Octrees from Object Silhouettes in Orthographic Views, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, February 1989, 137-149.

- [20] Y. Matsumoto, H. Terasaki, K.Sugimoto and T. Arakawa, A Portable Three-dimensional Digitizer, IEEE 1997, 3-D Digital Imaging and Modelling, 1997. Proceedings., International Conference
- [21] Carlos Hernandez Esteban, Frances Schmitt, ‘Multi-Stereo 3D Object Reconstruction’, Proceeding of 3D Data Processing , Visualization & Transmission Conference, June 2002, Padova, Italy
- [22] Hendrik P.A. Lensch, Wolfgang Heidrich, Hans-Peter Seidel, ‘A silhouette-Based algorithm for texture registration and stitching’, 2001, Elsevier Science (USA), 1524-0703/01
- [23] Salvi, J.[Joaquim], Pages, J.[Jordi], Batlle, J.[Joan], Pattern codification strategies in structured light systems, PR(37), No. 4, April 2004, pp. 827-849.
- [24] J. L. Posdamer, M. D. Altschuler, Surface measurement by space-encoded projected beam systems, Computer Graphics and Image Processing 18 (1) (1982) 1–17.
- [25] S. Inokuchi, K. Sato, F. Matsuda, Range imaging system for 3-D object recognition, in: Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, 1984, pp. 806–808.
- [26] M. Trobina, Error model of a coded-light range sensor, Technical report, Communication Technology Laboratory, ETH Zentrum, Zurich (1995).
- [27] C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno, A low cost 3D scanner based on structured light, in A. Chalmers, T.-M. Rhyne (Eds.), EG 2001 Proceedings, Vol. 20(3), Blackwell Publishing, 2001, pp. 299–308.
- [28] D. Caspi, N. Kiryati, J. Shamir, Range imaging with adaptive color structured light, Pattern analysis and machine intelligence 20 (5) (1998) 470–480.
- [29] J. Gühring, Dense 3-d surface acquisition by structured light using off-the-shelf components, Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement 4309 (2001) 220–231.

- [30] O. Hall-Holt, S. Rusinkiewicz, Stripe boundary codes for real-time structured-light range scanning of moving objects, in: The 8th IEEE International Conference on Computer Vision, 2001, pp. II: 359–366.
- [31] M. Maruyama, S. Abe, Range sensing by projecting multiple slits with random cuts, *Pattern Analysis and Machine Intelligence* 15 (6) (1993) 647–651.
- [32] N. G. Durdle, J. Thayyoor, V. J. Raso, An improved structured light technique for surface reconstruction of the human trunk, in: *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol. 2, 1998, pp. 874–877.
- [33] J. Salvi, J. Batlle, E. Mouaddib, A robust-coded pattern projection for dynamic 3d scene measurement, *International Journal of Pattern Recognition Letters* (19) (1998) 1055–1065.
- [34] E. M. Petriu, Z. Sakr, S. H. J. W., A. Moica, Object recognition using pseudo-random color encoded structured light, in: *Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement technology Conference*, Vol. 3, 2000, pp. 1237–1241.
- [35] P. Lavoie, D. Ionescu, E. Petriu, A high precision 3D object reconstruction method using a color coded grid and nurbs, in: *Proceedings of the International Conference on Image Analysis and Processing*, Venice, Italy, 1999, pp. 370–375.
- [36] L. Zhang, B. Curless, S. M. Seitz, Rapid shape acquisition using color structured light and multi-pass dynamic programming, in: *Int. Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, Padova, Italy, 2002.
- [37] C. Chen, Y. Hung, C. Chiang, J. Wu, Range data acquisition using color structured lighting and stereovision, *Image and Vision Computing* 15 (1997) 445–456.
- [38] E. M. Petriu, T. Bieseman, N. Trif, W. S. McMath, S. K. Yeung, Visual object recognition using pseudo-random grid encoding, in: *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1992, pp. 1617–1624.

- [39] H. J.W. Spoelder, F. M. Vos, E. M. Petriu, F. C. A. Groen, Some aspects of pseudo random binary array-based surface characterization, *IEEE Transactions on instrumentation and measurement* 49 (6) (2000) 1331–1336.
- [40] P. Griffin, L. Narasimhan, S. Yee, Generation of uniquely encoded light patterns for range data acquisition, *Pattern Recognition* 25 (6) (1992) 609–616.
- [41] R. A. Morano, C. Ozturk, R. Conn, S. Dubin, S. Zietz, J. Nissanov, Structured light using pseudorandom codes, *Pattern Analysis and Machine Intelligence* 20 (3) (1998) 322–327.
- [42] B. Carrhill, R. Hummel, Experiments with the intensity ratio depth sensor, in: *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 32*, Academic Press, 1985, pp. 337–358.
- [43] T. Miyasaka, K. Kuroda, M. Hirose, K. Araki, High speed 3-D measurement system using incoherent light source for human performance analysis, in: *Proceedings of the 19th Congress of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, The Netherlands, Amsterdam, 2000*, pp. 65–69.
- [44] G. Chazan, N. Kiryati, Pyramidal intensity-ratio depth sensor, Technical report 121, Center for Communication and Information Technologies, Department of Electrical Engineering, Technion, Haifa, Israel (October 1995).
- [45] J. Tajima, M. Iwakawa, 3-D data acquisition by rainbow range finder, in: *International Conference on Pattern Recognition, 1990*, pp. 309–313.
- [46] T. Sato, Multispectral pattern projection range finder, in: *Proceedings of the Conference on Three-Dimensional Image Capturer and Applications II, Vol. 3640, SPIE, San Jose, California, 1999*, pp. 28–37.
- [47] C. Wust, D.W. Capson, Surface profile measurement using color fringe projection, *Machine Vision and Applications* 4 (1991) 193–203.
- [48] E. Horn, N. Kiryati, Toward optimal structured light patterns, *Image and Vision Computing* 17 (2) (1999) 87-97.

- [49] J. Salvi, J. Pagès, J. Batlle, Pattern codification strategies in structured light systems, *Pattern Recognition*. Volume 37, Issue 4, April 2004, Pages 827-849.
- [50] C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno, A low cost 3D scanner based on structured light, in: A. Chalmers, T.-M. Rhyne (Eds.), *EG 2001 Proceedings*, Vol. 20(3), Blackwell Publishing, 2001, pp. 299–308.
- [51] A. Marbs, Experiences with Laser Scanning at i3mainz, CIPA, September 2002, Corfu, Greece, *Proceedings of 'Scanning for Cultural Heritage Recording'*, p.110 -114
- [52] D. Laboury, Y. Renotte, B. Tilkens, M. Dominique, R. Billen, B. Cornelis, Y. Cornet, "The OSIRIS Project (Optical Systems for Interferometric-Photogrammetric Relief Investigation and Scanning). Development of a device for 3D numerical recording of archaeological and epigraphic documents by optoelectronic processes", in W. Boehler (éd.), *Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry (September, 1-2, 2002, Corfu, Greece)*, Corfou, 2002, p. 139-142.
- [53] Traunecker C. 1987. *Les Techniques d'epigraphie de terrain. Principes et pratique*. In Assmann J., Burkard G, Davies V. 1987, pp. 261-298
- [54] Loeben C.E. 1996, *Anmerkungen zu jungsten Arbeiten agyptischer Epigraphik*. *ARCUS – Berichte aus Archaologie, Baugeschichte und Nachbargebieten*, 3, pp. 15-27.
- [55] Reyes Enciso, Zhengyou Zhang and Thierry Viéville, *Dense Reconstruction Using Fixation and Stereo Cues*, Project RobotVis, World Automation Congress 1996
- [56] D. Scharstein and R. Szeliski. *A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms*, *IJCV*, 2002.
- [57] A. Chiuso, H. Jin, P. Favaro and S. Soatto (2000). 'MFm' : 3-D Motion and Structure from 2-D Motion Causally Integrated Over Time: Implementation. In *Computer Vision - ECCV 2000*, D. Vernon ed., *Lect. Notes in Computer Science* 1843, pp. 734-750.

- [58] L. Van Gool, Filip Defoort, Marc Pollefeys, Reinhard Koch, Marc Proesmans, Maarten Vergauwen, Special Lecture: 3D Modeling for Communications, p. 482, Computer Graphics International 1998, June 22 - 26, 1998, Hannover, Germany
- [59] James E. Cutting and Peter M. Vishton, Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth, In W. Epstein & S. Rogers (eds.) Handbook of perception and cognition, Vol 5; Perception of space and motion. (pp. 69-117). San Diego, CA: Academic Press.
- [60] Ruo Zhang, Ping-Sing Tsai, James Edwin Cryer, Mubarak Shah, Shape from Shading: A Survey, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence August 1999 (Vol. 21, No. 8).
- [61] Chia-Yen Chen, Reinhard Klette, Chi-Fa Chen, 3D Reconstruction Using Shape from Photometric Stereo and Contours, November 2003, Image and Vision Computing.
- [62] R. Basri and D. Jacobs, "Photometric Stereo with General, Unknown Lighting," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2001.
- [63] Aaron Hertzmann, Steven M. Seitz, Shape and Materials by Example: A Photometric Stereo Approach, Proceedings of CVPR 2003. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
- [64] P.J. Besl. Active, optical range imaging sensors. Machine Vision and Applications, 1.127-152, 1988.
- [65] Yoav. Y. Schechner Depth from Defocus vs. Stereo: How different really are they? International Journal of Computer Vision 89 pp. 141-162 (2000).
- [66] Paolo Favaro, Shape from Focus/Defocus, Washington University Department of Electrical Engineering Electronic Signals and Systems Research Lab, June 25th, 2002,
http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/FAVARO1/dfdtutorial.html

- [67] D.A. Forsyth, Shape from texture without boundaries, Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision-Part III table of contents,p.225 - 239,2002,ISBN:3-540-43746-0
- [68] F.Berbardini και H. Rushmeier. The 3D Model acquisition pipeline. Computer Graphics Forum, 21(2):149-172,June 2002
- [69] M. Alexa, J Behr, D. Cohen-Or, S. Fleishman, D. Levin και C.T. Silva, Point set surfaces, IEEE Visualisation 2001, p. 21-28,Oct.2001
- [70] W.T. Correa, S. Fleishman and C.T. Silva, Towards point-based acquisition and rendering of large real-world environments. In Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 2002
- [71] D.K. McAllister,L. Nyland, V.Popescu,A. Lastra and C. McCue. Real-time rendering of real world environments. In Rendering Techniques 99, p. 145-160, 1999
- [72] J. Wang and M.M. Oliveira. A hole filling strategy for surface reconstruction form range images. Technical Report TR02.07.18, SUNY at Stony Brook, 2002
- [73] J. C. Carr, R. K. Beatson, J. Cherrie,T.J. Mitchell,W.R. Fright, B.C. McCallum, and T.R. Evans. Reconstruction and representation of 3D objects with radial basic functions. In Proceedings of SIGGRAPH 2001,p 67-76,2001
- [74] B. Garlick, D.R. Baum and J.M. Winget. Interactive viewing of large geometric databases using multiprocessor graphics workstations, SIGGRAPH 90 Course Notes (Parallel Algorithms and Architectures for 3D image Generation).ACM SIGGRAPH, 1990
- [75] J.M. Airey, J.H. Rohlf and F.P. Brooks, Jr. Towards image realism with interactive update rates in complex virtual building environments. 1990 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, 24(2):41-50, March, 1990.
- [76] T.A. Funkhouser, C.H. Sequin and S.J. Teller. Management of large amounts of data in interactive building walkthroughs. 1992 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, 25, p 11-20,March 1992

- [77] D. Aliaga, J. Cohen, A. Wilson, H. Zhang, C. Erikson, K. Hoff, T. Hudson, W. Sturzlinger, E. Baker, R. Bastos, M. Whitton, F. Brooks and D. Manocha. MMR: An interactive massive model rendering system using geometric and image-based acceleration. 1999 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, p 199-206, 1999
- [78] Wagner T. Correa, Manuel m. Oliveira, Claudio T. Silva, Jianning Wang, ‘Modeling and Rendering of Real Enviroments’, RITA, Volume IX, 1, August 2002
- [79] Stephen J. Marshall, John H. Gilby, ‘New Opportunities in Non-Contact 3D Measurement’, Proc. National Measurement Conf. 2001, Harrogate, UK, 2001.
- [80] J.A. Beraldin, C. Atzeni, G. Guidi, M. Pieraccini and S. Lazzari, ‘Establishing a Digital 3D Imaging Laboratory for Heritage Applications: First Trials’, Proceeding of the Italy-Canada 2001 Workshop of 3D Digital Imaging and Modelling Applications, Padova, Italy, April 3-4,2001
- [81] M. Nashman. , T. Hong. , W. Rippey. , M. Herman. , "An Integrated Vision Touch-Probe System for Dimensional Inspection Tasks", Proceedings of the SME Applied Machine Vision `96 Conference, Cincinnati, OH, June 3-6, 1996
- [82] M. Bertozzi, A. Broggi, G.Conte and A. Fascioli, ‘Stereo-Vision System performance analysis, Enabling Technologies for the PRASSI Autonomous Robot, pages 68-73. ENEA, Rome, Italy, January 2002, ISBN 8882860248
- [83] H. D. Park, G.H. Shin, Y.S. Chang, ‘Three dimensional modeling and visualization of weathered rock surface’, Proceedings of the International Workshop on Visualization and Animation Of Landscape Kunming, China 26 - 28 February 2002 ISSN: 1682-1777, Volume: XXX IV Part No.: 5/W3
- [84] W. Bohler, M. Bordas Vicent, G. Heinz, A. Marbs and H.Muller, ‘High quality Scanning and modeling of Monuments and Artifacts’, FIG,

Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004, Modeling and Visualization

- [85] Bitelli G., A. Carpa, A. Zanutta, 'Digital photogrammetry and laser scanning in surveying the Numphea in Pompei.' Proceedings of CIPA WG6 Int. Workshop, Sept 1-2, Corfu, Greece (CD-ROM)
- [86] Henz G., 'Pharaoh Pepi I: Documentation of the oldest known life-size metal sculpture using laser scanning in surveying and photogrammetry. In proceedings of CIPA WG6 International Workshop, September 1-2, Corfu, Greece
- [87] Ioannidis, C., M. Tsakiri 'Laser Scanning and Photogrammetry for the Documentation of a Large Statue, Experiences in the Combined Use', Proceedings of CIPA XIX International Symposium, Antalya, Turkey, 30 Sept.4 Oct., pp. 517-523, 2003
- [88] G. Vozikis, A. Haring, E. Vozikis and K. Kraus, 'Laser Scanning: A new method for recording and documentation in Archaeology', FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004 Archaeological Surveys
- [89] M. Petrov, A. Talapov, T. Robertson, A. Labedev, A. Zhilyaev and L. Polonskiy, 'Optical 3D Digitizers: Bringing life to the Virtual World', 1998, IEEE Computer Graphics I/O Devices, May-June 1998 (Vol. 18, No. 3)
- [90] A. Streilein, F. a. van den Heuvel, 'Potential and limitation for the 3D documentation of cultural heritage from a single image', CIPA International Symposium 1999, Οκτώβριος 3-6, 1999, Recife/Olinda - PE - Brazil
- [91] Josep Forest, Joaquim Salvi, 'A review of laser scanning three-dimensional digitisers', Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ conference on Intelligent robots and systems, October 2002, Switzerland
- [92] Josep Forest, Joaquim Salvi, Enric Cabruja and Carles Pous, 'Laser stripe peak detector for 3D Scanners. A FIR filter approach', 17th International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2004, Cambridge, UK, 23-26 August 2004.

- [93] B. Dierickx. ‘CMOS Image sensors: concepts and limits. A short course given at Photonics West 2000’, January 2000
- [94] Benjamin J. Britton, ‘The Boundaries of Scientific Culture in Virtual Heritage’, Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM’01)
- [95] Matteo Sgrenzaroli, Erik Wolfart, ‘Accurate texture-mapped 3D models for documentation, surveying and presentation purposes’, CIPA, September 2002, Corfu, Greece, Proceedings of ‘Scanning for Cultural Heritage Recording’, p.148 -155
- [96] Lorensen, W.E. and Cline H. (1987), Marching Cubes: A high resolution 3D surface reconstruction algorithm, ACM computer graphics (Proceedings of SIGGRAPH ’87), Vol. 21(4), p.163-170
- [97] F. Bernardini, J. Mittleman, H. Rushmeier, C. Silva and G. Taubin, The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 5(4):349-359, Oct.-Dec. 1999
- [98] M. Garland and P.S. Heckbert. Surface simplification using quadric error metrics. In SIGGRAPH ’97 Conference Proceedings, Annual Conference Series, p. 209-216, Addison Wesley, August 1997
- [99] Cingoni, P., Montani C. and Scopigno R., A comparison of mesh simplification algorithms, Computers & Graphics 22 (1), p.37-54
- [100] Michael Garland, Paul S. Heckbert, Surface Simplification Using Quadric Error Metrics, SIGGRAPH 1997
- [101] Stan Melax, A Simple, Fast, and Effective Polygon Reduction Algorithm, November 1998, Game Developer Magazine
- [102] Jeff Somers, A simplification algorithm based on shortest edge first. 2002, <http://users.rcn.com/liusomers>
- [103] Guy Godin, Marc Rioux, J. Angelo Beraldin, Marc Levoy, Luc Cournoyer, Francois Blais, ‘An assessment of laser range measurement on marble surfaces’, 5th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, October 1 -4, 2001, Vienna, Austria
- [104] Abhinav Dayal, ‘3D Scanning: From Physical Objects to Computer Models’, Advanced Computer Graphics (Winter 2002), CS495

- [105] Jeffrey Abouaf, Michael J. Potel, ‘The Florentine Pieta’: Can Visualisation Solve the 450-Year-old Mystery?’ IEEE Computer Graphics and Applications, January/February 1999, p.6-10
- [106] Gabriele Guidi, Senior Member, IEEE, J.-Angelo Beraldin and Carlo Atzeni, ‘High-Accuracy 3D modeling of Cultural Heritage: The Digitizing of Donatello’s ‘Maddalena’’, IEEE Transactions on Image processing, Vol.13, No.3 March 2004
- [107] C. Rocchini, P. Cignomi, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno, R. Fontana, M. Greco, E. Pampaloni, L. Pezzati, M. Cygielman, R. Giachetti, G. Gori, M. Miccio, R. Pecchioli, ‘3D Scanning the Minerva of Arezzo’, In ICHIM’2001 Conf. Proc., Vol.2, pages 265-272. Politecnico di Milano, 2001.
- [108] M.Ioannides, A.Wehr, ‘3D Reconstruction & Re-production in Archaeology’, 2002, Scanning for Cultural Heritage Recording, September 1-2, 2002
- [109] Jean-Yves Bouguet, Pietro Perona, ‘3D Photography on your desk’, in Proc. Of the Int. Conf. On Computer Vision, Bombay, India, January 1998
- [110] Luc Van Goo, Marc Pollefeys, Marc Proesmans, and Alexey Zalesny, ‘The MURALE project: Image-based 3D modeling for archaeology’, Proceedings of VAST 2001, Glyfada, Athens, Greece, 28-30 November 2001
- [111] M. Gaiani, ‘Translating the Architecture of the Real into the virtual: Seven Years of Experimentation with “Conservation and Representation”’, Milan 2000, Conference of Cataloguing to Planned Presentation.
- [112] Albert S. Hoagland, “Information Storage: Yesterday, Today and Tomorrow” Magnetic Disk Heritage Center (MDHC) 6/6/2002.
- [113] <http://www.computerhistory.org/>
- [114] <http://electronics.howstuffworks.com/>
- [115] An Exabyte White Paper, “A Brief History of Tape”, Exabyte Corporation 3/2000

- [116] <http://www2.toshiba.co.jp/kakan/en/history/1goki/1959vtr.html> (helical scan history)
- [117] A Comparative Analysis Of Tape Technologies For Mid-Range Systems And Server Applications, Emerging Markets - Characteristics and Requirments - SONY
- [118] Curt Mulder, Kelly Scharf “Helical Scan Technology: Advancement By Design” Exabyte Corporation
- [119] R. G. Biskeborn J. H. Eaton “Hard-disk-drive technology flat heads for linear tape recording”
- [120] Runar Angelsen “Benchmark test. Helical Scan vs. Linear Recording tape drives and their susceptibility to dusty environments” TANBERG DATA
- [121] E. R. Childers, W. Imaino, J. H. Eaton, G. A. Jaquette, P. V. Koeppe, D. J. Hellman, “Six orders of magnitude in linear tape technology: The one-terabyte project”
- [122] “MammothTape AME Media — The Tape Behind the Technology —“ Exabyte Corporation
- [123] “Tape Drives: Overview” Gartner Inc.
- [124] Lars Wirzenius, Joanna Oja, Stephen Stafford, “The Linux System Administrator's Guide: Version 0.7, Chapter 6. Using Disks and Other Storage Media”, (http://www.faqs.org/docs/linux_admin/x1001.html)
- [125] <http://www.mdhc.scu.edu/>
- [126] Seiya Ogawa, Keiji Shono, Fumio Tabata, Koichi Ogawa, “The future of magneto-optical recording” Fujitsu Labs. Ltd. and Fujitsu Ltd. (Japan) ©2003 COPYRIGHT SPIE--The International Society for Optical Engineering.
- [127] Sergei S. Orlov, "Storing data inside the VOLUME HOLOGRAPHIC DATA STORAGE", November 2000/Vol. 43, No. 11 Communications of the ACM.
- [128] INGOLF SANDER, White Paper-“Fluorescent Multilayer Optical Data Storage” Constellation 3D, New York, USA.
- [129] Jungsoo Cha, June-Hyoung Park, Myong R. Kim and Wonho Jhe, “Near-Field Optical Data Storage Using a Nanometric Aperture Array”, Journal

- of the Korean Physical Society, Vol. 37, No. 5, November 2000, pp. 735-738
- [130] Michael E. Thomas, "Ferroelectric Molecular Optical Storage Nanotechnology", Colossal Storage
- [131] D. A. Thompson, J. S. Best, "The future of magnetic data storage technology", IBM J. RES. DEVELOP. VOL. 44 NO. 3 MAY 2000
- [132] SEAGATE Technology LLC "Pushing The Boundaries of Data Storage in the Information Age"
(<http://www.seagate.com/newsinfo/newsroom/papers/D2c25.html>)
- [133] SEAGATE Technology LLC "Technology Paper on Ultra ATA"
(http://www.seagate.com/support/kb/disc/ata_to_ultraata66.html)
- [134] Maxtor Corporation "Serial ATA White Paper" November 7, 2000
(http://www.maxtor.com/_files/maxtor/en_us/documentation/white_papers/serial_ata_white_papers.pdf)
- [135] Government of New South Wales, "Guidelines on Counter Disaster Strategies for Records and Recordkeeping Systems" Government Recordkeeping Manual
(<http://www.records.nsw.gov.au/publicsector/rk/guidelines/counterdisaster/Singledownload.htm>)
- [136] Marc Levoy, Kari Pulli, Brian Curless, Szymon Rusinkiewicz, David Koller, Lucas Pereira, Matt Ginzton, Sean Anderson, James Davis, Jeremy Ginsberg, Jonathan Shade, and Duane Fulk, "The Digital Michelangelo Project: 3D scanning of large statues" Computer Graphics, SIGGRAPH 2000 Proceedings.
- [137] P.Vettiger Fellow, IEEE, G Cross, M. Despont, U. Drechsler, U. Durig, B. Gotsmann, W. Haberle,etal "The 'Millipede' Nanotechnology Entering Data Storage".
- [138] Hans Coufal "The Future of Data Storage Principles, Potential and Problems" IBM Almaden Research Center, <http://research.ibm.com> (single-atom magnetic measurements)

- [139] Peter Haugen,Ian Myers,Bret Sadler,John Whidden. "A Basic Overview of Commonly Encountered types of Random Access Memory (RAM)" ECE332
- [140] Ali Sheikholeslami,P. Glenn Gulak,"A Survey of Circuit Innovations in Ferroelectric Random-Access Memories" Proceedings Of The IEEE, VOL. 88, NO. 5, MAY 2000
- [141] Ovonyx "Ovonic Unified Memory"
http://www.ovonic.com/PDFs/Elec_Memory_Research_Report/OUM.pdf
- [142] James Daughton "Magnetoresistive Random Access Memory (MRAM)" Copyright © 2/4/00
- [143] Dave Anderson, Tyson Heyn, "Fibre Channel: The Preferred Performance Path" Copyright 1998 Seagate Technology Inc.
- [144] "Disk Interface Technology" Intel Corporation, 2002.
- [145] "SCSI STANDARDS", sascom, <http://www.sascom.com>
(http://www.cube-tec.com/SCSI_Technologies.pdf)
- [146] <http://www.usbyte.com/common/Interfaces1.htm>
- [147] <http://www.scsita.org>
- [148] Ann Marie Przybyla, Geof Huth, "Preparing for the Worst:Managing Records Disasters",2004 The University of the State of New York
- [149] Adrian Brown,"Care, Handling and Storage of Removable Media" THE NATIONAL ARCHIVES 2003
(www.nationalarchives.gov.uk/preservation/advice/pdf/media_care.pdf)
- [150] Helen Heslop, Simon Davis, Andrew Wilson, "An Approach to the Preservation of Digital Records" December 2002,National Archives of Australia
- [151] "Digital Recordkeeping" – Exposure Draft – May 2004. National Archives Of Australia, © Commonwealth of Australia 2004
- [152] Olav Sandstå, "Tertiary Storage in Digital Video Archives", PhD Thesis, NTNU 2004:112, ISBN 82-471-6445-0, ISSN 1503-8181, 365 p. Disputas planned: 29 Oct. 2004
- [153] Håvard Tveite, "Data Modelling and Database Requirements for Geographical Data", ISBN 82-471-0052-5, ISSN 0802-6394

- [154] Scott Robinson, "Storage Management: How to Simplify, Centralize and Optimize Your Environment", White Paper, Datalink Corporation, <http://www.datalink.com>
- [155] Robert Griswold, "Storage Topologies" December 2002 IEEE Computer Magazine, pages 56 - 63.
(<http://www.crossroads.com/Products/Resources/WhitePapers.asp>)
- [156] David Sowards, "Non-Volatile Memory White Paper" 1999 Emosyn and Silicon Storage Technology (<http://www.silcom.co.uk/files/NVWP.pdf>)
- [157] Jacob Nadal "Preservation of Digital Content" Indiana University Bloomington
(<http://www.dlib.indiana.edu/workshops/preservingbb/preservingbb.pdf>)
- [158] Garth A. Gibson, Jeffrey Scott Vitter, John Wilkes, "Strategic Directions in Storage I/O Issues in Large-Scale Computing" ACM Computing Surveys, Vol. 28, No. 4, December 1996
- [159] Jeffrey T. Clark, Brian M. Slator, Aaron Bergstrom, Francis Larson, Richard Frovarp, James E. Landrum III, William Perrizo, William Jockheck, "DANA (Digital Archive Network for Anthropology) A Model For Digital Archiving" © 2002 ACM 1-58113-445-2/02/03
- [160] PETER M. CHEN, EDWARD K. LEE, GARTH A. GIBSON, RANDY H. KATZ, DAVID A. PATTERSON, "RAID: High-Performance, Reliable Secondary Storage" ACM Computing Surveys, Vol 26, No. 2, June 1994
- [161] Garth A. Gibson, David F. Naglet, Khalil Amirit, Jeff Butler, Fay W. Chang, Howard Gobioff, Charles Hardint, Erik Riedelf, David Rochberg, Jim Zelenka, "A Cost-Effective, High-Bandwidth Storage Architecture" 1998 ACM 1-58113.107.0/98/0010
- [162] Garth A. Gibson, Rodney Van Meter "NETWORK ATTACHED STORAGE ARCHITECTURE" COMMUNICATIONS OF THE ACM November 2000/Vol. 43, No. 11
- [163] W.P. Murray, K. Maekawa "Reliability evaluation of 3M magneto-optical media" Proceedings of Magneto-Optical Recording International Symposium '96 J. Magn. Soc. Jpn. Vol. 20. Supplement No 81 (1996) pp. 309-314

- [164] P.G.Hulme, Xyratex UK, "Mass storage the options" International Broadcasting Convention, 12-16 September 1996, Conference publication No. 428, copyright IEE 1996
- [165] "Cedars Guide to Digital Collection Management" The Cedars Project, March 2002, <http://www.leeds.ac.uk/cedars/guideto/collmanagement/>
- [166] Arkival Technology Corporation "An Evaluation Of Life Expectancies, Media Stability And Performance Characteristics Of Denser Magnetic Media With Special Reference To IBM 3590 And Digital Linear Tape Systems" October 2001- June 2002, <http://www.ARKIVAL.com> (http://ssdoo.gsfc.nasa.gov/nost/isoas/media_reports/arkival.doc)
- [167] Dennis Colarelli, Dirk Grunwald, "Massive arrays of idle disks for storage archives" Conference on High Performance Networking and Computing, Proceedings of the 2002 ACM/IEEE conference on Supercomputing, Pages: 1 - 11
- [168] Paul Mayer "Data Recovery: Choosing the Right Technologies "Datalink Corporation October 2003, <http://www.datalink.com>
- [169] Dr Catherine Seville, Mr Ellis Weinberger, "Intellectual Property Rights lessons from the CEDARS project for Digital Preservation" June 2000, <http://www.leeds.ac.uk/cedars/pubconf/pubconf.html>
- [170] T. Schwarz, "Magnetic Tape as the Mass Storage Medium", IEEE-NASA MSS Conference 2000.
<http://romulus.gsfc.nasa.gov/msst/conf2000/VG/C04VG.PDF>
- [171] M. Leonhardt, "Future Directions for Recording Technologies", THIC Meeting at StorageTek, July 2003.
<http://www.thic.org/pdf/Jul03/stk.mleonhardt.030722.pdf>.
- [172] Gail Hodge, Bonnie C. Carroll "DIGITAL ELECTRONIC ARCHIVING: THE STATE OF THE ART AND THE STATE OF THE PRACTICE" CENDI Projects-www.cendi.gov (<http://cendi.dtic.mil>)
- [173] Subrahmanian, V.S., "Multimedia Database Systems" Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998.
- [174] Maria Grazia Di Bono, Gabriele Pieri, Ovidio Salvetti, "WP9: A Review of Data and Metadata2 Standards and Techniques for Representation of

- Multimedia Content" August 31st, 2004, MUSCLE (Multimedia Understanding through Semantics, Computation and Learning)
- [175] Vinay Bansal, Asna Alam "Study and Comparison of Techniques to Efficiently Store and Retrieve XML Data" Duke University (<http://www.cs.duke.edu/~vkb/advdb/xmldatabases.html>)
- [176] Gregory McFarland, Andres Rudmik, David Lange "Object-Oriented Database Management Systems Revisited" DoD Data & Analysis Center for Software (DACS) (<http://www.dacs.dtic.mil>)
- [177] UTZ WESTERMANN, WOLFGANG KLAS, "An Analysis of XML Database Solutions for the Management of MPEG-7 Media Descriptions", ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 4, December 2003.
- [178] Harald Kosch "Distributed Multimedia Database Technologies supported by MPEG-7 and MPEG-21" CRC Press (November 24, 2003) ISBN: 0849318548
- [179] Raguenaud & al. "Implementation of the Prometheus Taxonomic Model: a comparison of database models and query languages and an introduction to the Prometheus Object-Oriented Model" Prometheus Taxonomic Model-TAXON volume 51, February 2002: 131–142 (<http://www.prometheusdb.org>)
- [180] Dr. Andrew E. Wade, "Hitting The Relational Wall" White Paper, Objectivity Inc.
- [181] Kim H. Veltman, "Frontiers in Conceptual Navigation for Cultural Heritage" Toronto: Ontario Library Association, 2000 (www.mmi.unimaas.nl/people/Veltman/books/2000%20Frontiers%20book%20March%202004.pdf)
- [182] Karl-Magnus Drake, Borje Justrell, Anna Maria Tammaro, "Minerva Good Practice Handbook" Minerva – <http://www.minervaeurope.org> (http://www.minervaeurope.org/structure/workinggroups/goodpract/document/bestpracticehandbook1_2.pdf)
- [183] Tony Hendley, Technical Director, "Comparison of Methods & Costs of Digital Preservation" British Library Research and Innovation Report

- 106, British Library Research and Innovation Centre 1998
(www.ukoln.ac.uk/services/elib/papers/supporting/pdf/hendley-report.pdf)
- [184] Humanities Advanced Technology and Information Institute (HATII), University of Glasgow, National Initiative for a Networked Cultural Heritage (NINCH) "The NINCH Guide to Good Practice in the Digital Representation and Management of Cultural Heritage Materials"
(<http://www.nyu.edu/its/humanities/ninchguide/>)
- [185] Charles M. Dollar, "Electronic Archiving: Requirements, Principles, Strategy, And Best Practices" PDA/FDA Public Conference On Technical Implementation, Part 11, June 19 - 20, Philadelphia
- [186] AHDS Publications "A Strategic Policy Framework for Creating and Preserving Digital Collections" (<http://ahds.ac.uk/strategic.pdf>)
- [187] P.J. Costello, S.T. Bee, "3D Model Databases: The Availability of 3D Models on the World Wide Web." Advanced VR Research Centre Dept. of Human Sciences Loughborough University of Technology
- [188] Tulika Mitra, Tzi-cker Chiueh "Compression-Domain Editing of 3D Models" IEEE Data Compression Conference (DCC), March 2003
(<http://www.comp.nus.edu.sg/~tulika/dcc03.pdf>)
- [189] Diego Santa Cruz Ducci, "Compression Of 3d Models With NURBS" Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
- [190] Diego Santa-Cruz, Touradj Ebrahimi, "Compression of parametric surfaces for efficient 3D model coding" In Visual Communications and Image Processing (VCIP) 2002, Proc. of SPIE, vol. 4671, pages 280-291
(<http://ltswww.epfl.ch/~dsanta>)
- [191] Dinesh Shikhare, Sushil Bhakar, Sudhir P. Mudur, "Compression of Large 3D Engineering Models using Automatic Discovery of Repeating Geometric Features" Proceedings of the Vision Modeling and Visualization Conference 2001, Pages: 233 - 240, ISBN:3-89838-028-9
- [192] Brian Curless, Marc Levoy, "A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images" Stanford University, Proc. SIGGRAPH '96.
(<http://graphics.stanford.edu/papers/volrange/volrange.pdf>)

- [193] Greg Turk, Marc Levoy, "Zippered Polygon Meshes from Range Images" Proc. SIGGRAPH '94 (Orlando, Florida, July 24-29, 1994). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994, ACM SIGGRAPH, pp. 311-318.
(<http://graphics.stanford.edu/papers/zipper/zipper.pdf>)
- [194] Gizmohighway, "The Cathode Ray Tube"
(<http://www.gizmohighway.com/history/crt.htm>).
- [195] <http://www.plasmatvscience.org>
- [196] <http://inventors.about.com/library/inventors/bledisonvitascope.htm>
- [197] "Plasma Display Panel (PDP) vs. Liquid Crystal Display (LCD)" Fujitsu General America, Inc. September 2003
(<http://www.plasmavision.com/WhitePaperPlasmaVsLCD.pdf>)
- [198] Larry J. Hornbeck, "Digital Light Processing—Introduction From cathode rays to digital micromirrors: A history of electronic projection display technology" JULY–SEPTEMBER 1998, Texas Instruments TECHNICAL JOURNAL
- [199] Sang-Gook Kim, Kyu-Ho Hwang, Myung Kwon Koo, "Thin-Film Micromirror Array (TMA) for Cost-Competitive Information Display Systems" Proc. of SID Conference, San Jose, May 1999. (Invited Paper)
- [200] LightSpace Technologies, Inc. "DepthCube™ Technology White Paper" LightSpace Technologies, Inc. © 8/19/03.
(http://www.lightspacetech.com/DepthCube_whitepaper.pdf)
- [201] Gregg E. Favalora, Joshua Napoli, Deirdre M. Hall, Rick K. Dorval, Michael G. Giovinco, Michael J. Richmond, Won S. Chun, Actuality Systems, Inc. "100 Million-voxel volumetric display" 2002 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
- [202] C van Berkel et al, "Design & Apps of 3D-LCD", Proc SID Euro-Display96, pp109-112 (1996)
- [203] Cees van Berkel, David W Parker, Antony R Franklin, "Multiview 3D-LCD" SPIE proc 2653 pp32-39 (1996)
(<http://www.research.philips.com/technologies/display/3d/downloads/spie96-1463.pdf>)

- [204] Stephen J. Rock, Charles R. Gilman, Wojciech Z. Misiolek, Daniel F. Walczyk, "REEFORM POWDER MOLDING FOR RAPID TOOLING" 1996 Solid Freeform Fabrication Symposium, August 12-14, The University of Texas at Austin.
- [205] Lex Lennings, "Selecting Either Layered Manufacturing or CNC Machining to Build Your Prototype.", Delft Spline Systems (<http://www.spline.nl>)
- [206] Commission on Preservation and Access, Research Libraries Group "Preserving Digital Information" Report of the Task Force on Archiving of Digital Information (<http://www.rlg.org/legacy/ftpd/pub/archtf/final-report.pdf>)
- [207] "Art Museum Image Consortium Data Specification" Art Museum Image Consortium, February 1999, www.amico.org
- [208] Consultative Committee for Space Data Systems "Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS)" CCSDS 650.0-B-1, BLUE BOOK, January 2002. (<http://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/standards/ccsds/pdf/CCSDS-650.0-B-1.pdf>)
- [209] Nick Crofts, Martin Doerr, Tony Gill, Stephen Stead, Matthew Stiff. "Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model" Copyright © 2003 ICOM/CIDOC CRM Special Interest Group (<http://cidoc.ics.forth.gr>)
- [210] Margaret Hedstrom, Seamus Ross, Kevin Ashley, Birte Christensen-Dalsgaard, Wendy Duff, Henry Gladney, Claude Huc, Anne R. Kenney, Reagan Moore, Erich Neuhold, "Invest to Save" Report and Recommendations of the NSF-DELOS Working Group on Digital Archiving and Preservation (2003)
- [211] Cristina Ribeiro, Gabriel David, "A Metadata Model for Multimedia Databases" (<http://www.phil.uni-sb.de/~werner/ichim.pdf>)
- [212] J. Hunter, "Combining the CIDOC CRM and MPEG-7 to Describe Multimedia in Museums", Museums on the Web 2002, Boston, April 2002 (http://metadata.net/harmony/MW2002_paper.pdf)

- [213] Jyi-shane Liu, Mu-Hsi Tseng, "Mediating team work for digital heritage archiving" Proceedings of the 4th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries table of contents, Pages: 259 - 268, 2004
- [214] Patrick Min, " A 3D Model Search Engine" Ph.D. Thesis, January 2004 (<http://www.cs.princeton.edu/~min/publications/min04.pdf>)
- [215] THOMAS FUNKHOUSER, PATRICK MIN, MICHAEL KAZHDAN, JOYCE CHEN, ALEX HALDERMAN, DAVID DOBKIN, DAVID JACOBS "A Search Engine for 3D Models" ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 1, January 2003, Pages 83–105.
- [216] Jeremy Rowe, Anshuman Razdan, Arleyn Simon "Acquisition, representation, query and analysis of spatial data: a demonstration 3D digital library" May 2003, Proceedings of the 3rd ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries, Pages: 147 - 158, ISBN:0-7695-1939-3
- [217] UTZ WESTERMANN, WOLFGANG KLAS, "An Analysis of XML Database Solutions for the Management of MPEG-7 Media Descriptions", ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 4, December 2003, pp. 331–373.
- [218] B.S. Manjunath, Philippe Salembier, Tomas Sikora, "Introduction to MPEG – 7", by the "JOHN WILEY & SONS, LTD" press.
- [219] R J Longman, "UDO Ultra Density Optical" October 2002, Computer Upgrade Corporation (http://www.optical.com/download/pdf/udo_whitepaper.pdf)
- [220] Andrew J Ruddick, "ICI Optical Data Storage Tape - An Archival Mass Storage Media." In Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies. NASA/Goddard Space Flight Center, September 1992