

Κεφάλαιο 2

ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

- 2.1 Εισαγωγή
- 2.2 Μαγνητικές ταινίες
- 2.3 Μαγνητικοί δίσκοι
- 2.4 Οπτικοί δίσκοι
- 2.5 Άλλες συσκευές αποθήκευσης
- 2.6 Πίνακες δίσκων RAID
- 2.7 Ασκήσεις

Κεφάλαιο 2

ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Κάθε υπολογιστικό σύστημα και ιδιαίτερα ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων χαρακτηρίζεται από μία ιεραρχία μνήμης (storage hierarchy) κατά επίπεδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Τα επίπεδα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες: πρωτεύουσα (primary), δευτερεύουσα (secondary) και τριτεύουσα (tertiary) αποθήκευση (storage). Μία γενική παρατήρηση σχετικά με τις μνήμες της ιεραρχίας αυτής είναι ότι καθώς προχωρούμε από επάνω προς τα κάτω, τόσο οι μνήμες γίνονται αργότερες, μεγαλύτερες και φθηνότερες.



Σχήμα 2.1: Επίπεδα ιεραρχίας μνήμης.

Τα τρία ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας ανήκουν στην κατηγορία της πρωτεύουσας αποθήκευσης. Η **κρυφή μνήμη** (cache) είναι η πλέον γρήγορη και ακριβή μνήμη, αλλά είναι σχετικά μικρή. Το λειτουργικό σύστημα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της μνήμης αυτής.

Η **κύρια μνήμη** (main memory) χρησιμεύει για την αποθήκευση προγραμμάτων, δεδομένων και πληροφοριών ελέγχου. Την τελευταία δεκαετία τα μεγέθη των κύριων μνημών έχουν μεγαλώσει κατά μερικές εκατοντάδες φορές, ενώ το κόστος τους κινείται αντιστρόφως ανάλογα. Μάλιστα, πριν μερικά χρόνια εθεωρείτο ότι θα ήταν δυνατόν οι βάσεις δεδομένων να είναι αποκλειστικά αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη (main memory databases). Όμως αυτή η εικασία δεν επιβεβαιώθηκε γενικά, γιατί πάντοτε υπάρχουν εξαιρετικά μνημοβόρες εφαρμογές (για παράδειγμα, πολυμεσικές εφαρμογές), που δεν υλοποιούνται χρησιμοποιώντας μόνο τις έστω και υποθετικά πολύ μεγάλες κύριες μνήμες. Έτσι είναι απαραίτητο τα δεδομένα να αποθηκεύονται στη δευτερεύουσα ή τριτεύουσα αποθήκευση και να ανεβαίνουν στην κύρια μνήμη για επεξεργασία, όταν ζητηθούν. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά εργαστηριακά πρωτότυπα αλλά και βιομηχανικά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων κύριας μνήμης, που χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές (για παράδειγμα, σε εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας).

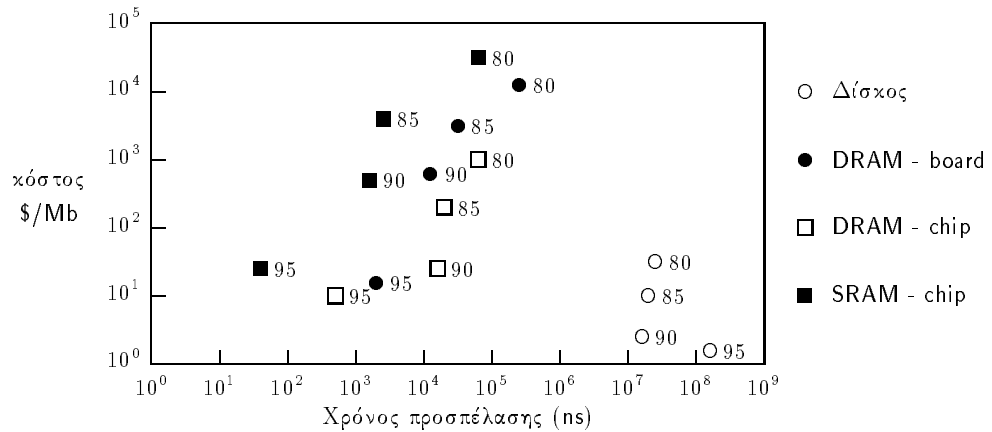
Ένα άλλο επίσης χαρακτηριστικό των κρυφών και των κύριων μνημών είναι η **μεταβλητότητα** (volatility), δηλαδή η ιδιότητά τους να χάνουν τα δεδομένα τους όταν διακοπεί η ηλεκτρική παροχή. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μην είναι δυσάρεστη για λίγα δεδομένα ενός προγράμματος, όμως σίγουρα είναι ανεπιθύμητη σε εφαρμογές όπου τα δεδομένα πρέπει να παραμείνουν μόνιμα αποθηκευμένα για μελλοντική χρήση και ενημέρωση. Σε αντίθεση, στις μνήμες που είναι γνωστές με το αγγλικό ακρωνύμιο EEPROM (από την έκφραση electrically erasable programmable read-only memory), τα δεδομένα δεν χάνονται αν διακοπεί η ηλεκτρική παροχή. Στις μνήμες αυτές η ανάγνωση είναι σχεδόν εξ ίσου γρήγορη όσο και η ανάγνωση από την κύρια μνήμη. Ωστόσο, η αποθήκευση γίνεται μόνο μία φορά ταχύτατα, ενώ στη συνέχεια για την αποθήκευση νέων δεδομένων απαιτείται η προηγούμενη διαγραφή των δεδομένων που ήδη είναι αποθηκευμένα. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι η διαδικασία διαγραφής/επανα-αποθήκευσης δεν μπορεί να επαναληφθεί πέρα από κάποιο όριο (για παράδειγμα, από 10.000 μέχρι 1.000.000 φορές). Συνήθως αυτή η μνήμη χρησιμοποιείται σε υπολογιστικά συστήματα που ενσωματώνονται σε άλλες συσκευές, και δεν θα μας αποσχολήσει στη συνέχεια.

Έτσι είναι απαραίτητο τα σύγχρονα συστήματα υπολογιστών και βάσεων δεδομένων να έχουν και δευτερεύουσα μνήμη (secondary memory, backing storage), που σε σχέση με τις προηγούμενες μνήμες μειονεκτεί σε ταχύτητα, αλλά είναι φθηνότερη και μεγαλύτερη. Επίσης στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί η δευτερεύουσα μνήμη είναι αναγκαία επειδή κάθε λειτουργικό σύστημα μπορεί να διαχειρισθεί κύριες μνήμες μέχρι ενός ορισμένου μεγέθους. Για παράδειγμα, στις πρώτες του εκδόσεις το Ms-Dos μπορούσε να χειρισθεί διευθύνσεις για προσπέλαση μέχρι 640 Kb, ενώ μόνο 2^{32} bytes μπορούν να προσπελασθούν άμεσα με τις σύγχρονες αρχιτεκτονικές των 32 bits. Τέλος ένα άλλο πλεονέκτημα της δευτερεύουσας μνήμης είναι η δυνατότητά της να χρησιμοποιηθεί ως υπερβατική μνήμη, και πάλι ακριβώς εξ αιτίας της ανεπάρκειας της κύριας μνήμης.

Επί του παρόντος ο μαγνητικός δίσκος (magnetic disc) είναι η προφορότερη αποθηκευτική λύση και έτσι αποτελεί το κυρίαρχο μέσο αποθήκευσης. Στην πράξη χρησιμοποιείται και η μαγνητική ταινία (magnetic tape), που είναι σειριακό μέσο, καθώς μία εγγραφή προσπελάζεται μόνο αφού προσπελασθούν όλες οι προηγούμενες. Τέλος, στη σύγχρονη οπτική τεχνολογία στηρίζονται οι οπτικοί δίσκοι (optical disks), που διατίθενται εμπορικά σε πολλούς τύπους. Όλες οι προηγούμενες συσκευές/τεχνολογίες αποθήκευσης θα εξετασθούν στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

Για την ιστορία αναφέρεται ότι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για μόνιμη αποθήκευση ήταν η διάτρητη κάρτα (punched card) που διατηρεί μέχρι 80 bytes. Ένα αρχείο σε διάτρητες κάρτες μπορεί να αναγνωσθεί πολλές φορές (βέβαια μόνο σειριακά), αλλά κάθε ανανέωση γίνεται με το χέρι. Ένα άλλο μη μαγνητικό μέσο που χρησιμοποιούνταν στα πρώτα βήματα των υπολογιστικών συστημάτων ήταν η διάτρητη χαρτοταινία (paper tape). Τα δύο αυτά μέσα είναι πλέον απαρχαιωμένα και αποτελούν μουσειακά αντικείμενα. Από τα πρώτα επίσης υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για δευτερεύουσα μνήμη ήταν οι μαγνητικές ταινίες, που ίσως δεν χρησιμοποιούνται σήμερα στο βαθμό που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, αλλά θεωρείται ότι θα αποκτήσουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος στο μέλλον. Επίσης για ιστορικούς και μόνο λόγους πρέπει να αναφερθεί και το μαγνητικό τύμπανο (magnetic drum), που όμως εκτοπίστηκε πλήρως από το μαγνητικό δίσκο. Ο πρώτος μαγνητικός δίσκος που εμφανίστηκε εμπορικά ήταν το 1956 από την IBM με τη συσκευή Ramic (Random access method of accounting and control), που είχε χωρητικότητα 5 Mb και χρόνο προσπέλασης 1 δευτερόλεπτο.

Στο Σχήμα 2.2 (δες βιβλίο των Hennessy-Patterson) παρουσιάζεται η



Σχήμα 2.2: Κόστος αποθήκευσης σε σχέση με το χρόνο προσπέλασης.

σχέση μεταξύ χρόνου και κόστους προσπέλασης για μαγνητικούς δίσκους και κύριες μνήμες. Παρατηρείται ότι με την εξέλιξη της τεχνολογίας όλα τα σύμβολα μετακινούνται προς την αρχή των αξόνων. Ωστόσο, πιο ενδιαφέροντα είναι η παρατήρηση αν και πάντοτε ο μαγνητικός δίσκος ήταν φθηνότερο μέσο αποθήκευσης από τις μνήμες (μέχρι και 100 φορές με στοιχεία 1995), εντούτοις η διαφορά στους χρόνους προσπέλασης πάντοτε ήταν συντριπτική υπέρ των μνημών (μέχρι και 10⁷ φορές με στοιχεία 1995). Αν και έχει προταθεί η χρήση διαφόρων συσκευών (που στηρίζονται σε διάφορες τεχνολογίες) για να καλύψουν αυτό το κενό, το κόστος τους ήταν σχετικά ασύμφορο και γι' αυτό δεν γνώρισαν ευρεία εφαρμογή.

Συμπερασματικά, εξ αιτίας της υστέρησης της δευτερεύουσας μνήμης σε χρόνο προσπέλασης, επιβάλλεται η μελέτη των αρχείων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του μειονεκτήματός αυτού.

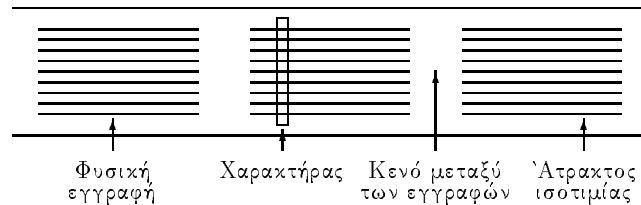
2.2 Μαγνητικές ταινίες

Αν και η τεχνολογία των μαγνητικών ταινιών έχει ήδη μία μακρόχρονη ιστορία, εντούτοις οι ταινίες χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα στην πράξη, κυρίως για αποθήκευση ιστορικών και εφεδρικών αρχείων. Η ταινία έχει πλάτος 0,5 ίντσες, πάχος 1,5 χιλιοστά της ίντσας και μήκος από 300 μέχρι 3600 πόδια. Στην αρχή και στο τέλος της ταινίας υπάρχουν δύο μεταλλικές λωρίδες που ονομάζονται **σημάδι σημείου φόρτωσης** (load point mark) και **σημάδι τέλους ταινίας** (end of reel mark), αντίστοιχα. Τα καρούλια όπου

οι ταινίες τυλίγονται έχουν διάμετρο από 6,25 μέχρι 10,5 ίντσες. Συνήθως στα μεγάλα συστήματα υπολογιστών χρησιμοποιούνται ταινίες μήκους 3600 ποδών που είναι τυλιγμένες σε καρούλια διαμέτρου 10,5 ιντσών. Το υπόστρωμα της ταινίας είναι μία πλαστική βάση από Mylar, ενώ η επίστρωση είναι οξειδίο του σιδήρου ή οξειδίο του χρωμίου ή μείγμα των δύο οξειδίων.

Οι οδηγοί ταινιών για μεγάλα υπολογιστικά συστήματα έχουν τρεις κεφαλές (heads), δηλαδή μία κεφαλή διαγραφής, μία κεφαλή αποθήκευσης και μία κεφαλή ανάγνωσης. Τα σημάδια στην αρχή και το τέλος της ταινίας εντοπίζονται από φωτοκύτταρα, και έτσι οι κεφαλές ενεργοποιούνται μόνο στο ενδιαμέσο τμήμα της ταινίας. Με τη βοήθεια της κεφαλής αποθήκευσης και υπό την επίδραση ισχυρού εξωτερικού μαγνητικού πεδίου το υλικό της ταινίας μαγνητίζεται και διατηρεί την ιδιότητα αυτή μέχρις ότου ένα άλλο ισχυρό πεδίο να επιδράσει επάνω του. Η κεφαλή διαγραφής χρησιμεύει για να σβύνει κάθε αποθηκευμένη πληροφορία από την ταινία. Η κεφαλή ανάγνωσης αναγνωρίζει το μαγνητισμό της ταινίας σε επόμενα περάσματα και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό παλμό. Στο παρελθόν, οι λεγόμενοι οικιακοί υπολογιστές ήταν συνδεδεμένοι με κοινά κασετόφωνα με μία κεφαλή και χρησιμοποιούσαν μία απλή κασέτα ως μέσο μόνιμης αποθήκευσης.

Τα δεδομένα συνήθως αποθηκεύονται σε εννέα παράλληλες ατράκτους (tracks), ενώ σπανιότερα συναντώνται ταινίες με επτά ατράκτους. Κάθε άτρακτος παριστά μία σειρά από δυαδικά ψηφία (bits) που καταχωρίζονται με πυκνότητα αποθήκευσης (recording density, Den) από 200 μέχρι 6250 bits ανά ίντσα (bpi). Μερικές συσκευές μπορούν να χειρισθούν ταινίες όλων των πυκνοτήτων αποθήκευσης, όμως μία μόνο πυκνότητα χρησιμοποιείται για κάθε ταινία. Κατά την ανάγνωση ή αποθήκευση δεδομένων η ταινία κινείται με καθορισμένη ταχύτητα. Συχνά η αναζήτηση γίνεται κατά τυχαίο τρόπο και συνεπώς πρέπει μία συγκεκριμένη εγγραφή να φθάσει εμπρός από την κεφαλή χωρίς απαραίτητα να γίνει επεξεργασία των προηγούμενων εγγραφών. Τότε η ταινία κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Μάλιστα ειδικός σερβομηχανισμός ελέγχει ώστε να μην καταστραφεί η ταινία κατά τις στάσεις και τις εκκινήσεις, γιατί η αναπτυσσόμενη επιτάχυνση ή επιβράδυνση είναι της τάξης των 25g. Επίσης στην ταινία υπάρχουν διαστήματα χωρίς δεδομένα, που είναι απαραίτητα ώστε να μειωθεί η ταχύτητα μέχρι το επιθυμητό σημείο και να γίνει κατόπιν η ανάγνωση ή η αποθήκευση. Αυτά τα διαστήματα ονομάζονται κενά μεταξύ των εγγραφών (interrecord gaps, Irg) ή κενά μεταξύ των block (interblock gaps, Ibg) και παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3. Ο χρόνος που απαιτείται για τη σάρωση των κενών μεταξύ των εγγραφών στη συνέχεια θα συμβολίζεται με $T_{s/s}$ (δηλαδή Χρόνος εκκί-



Σχήμα 2.3: Δείγμα μαγνητικής ταινίας.

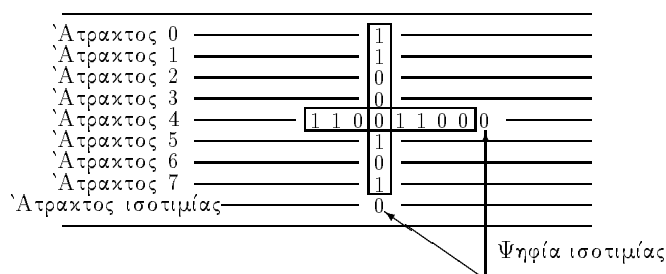
νησης/στάσης). Το μέγεθος των κενών είναι από 0,3 μέχρι 0,8 της ίντσας, ενώ συνήθως είναι μεγαλύτερο όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα αποθήκευσης. Η τυπική τιμή του για ταινίες των 7 και των 9 ατράκτων είναι 0.75 και 0.6 ίντσες, αντίστοιχα. Ως παράγοντας *χρησιμοποίησης χώρου* (storage utilization factor, U) ορίζεται ο λόγος του μήκους της φυσικής εγγραφής προς το άθροισμα του μήκους της φυσικής εγγραφής και του κενού.

Η έννοια της εγγραφής, όπως είναι γνωστή από τον προγραμματισμό, στις μαγνητικές ταινίες αποκαλείται *λογική εγγραφή* (logical record) και χαρακτηρίζεται από το αντίστοιχο μήκος (logical record length, R). Οι λογικές εγγραφές ομαδοποιούνται σε μικρά σύνολα και αποτελούν μία *φυσική εγγραφή* ή block (physical record, B). Επομένως τώρα μπορεί να διασαφηνισθεί ότι ένα κενό μεσολαβεί μεταξύ δύο φυσικών εγγραφών. Το πλήθος των λογικών εγγραφών που περιέχεται σε ένα block λέγεται *παράγοντας ομαδοποίησης* (blocking factor, Bfr). Το block πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό μέγεθος των κενών της ταινίας, αλλά ταυτόχρονα πρέπει να χωρά στις *απομονωτικές μνήμες* (buffers). Συνήθως μάλιστα το μέγεθος του block ισούται με το μέγεθος των απομονωτικών μνημών.

Τα δεδομένα ανταλλάσσονται μεταξύ κύριας μνήμης και ταινίας σε bytes των 8 bits. Στις οκτώ ατράκτους που βρίσκονται σε μία κατακόρυφη γραμμή της ταινίας αποθηκεύεται ένα byte. Ο αριθμός των άσπων σε ένα byte των οκτώ bits λέγεται *βάρος* (weight) Hamming. Η *έννατη άτρακτος* χρησιμεύει για την αποθήκευση του bit *ισοτιμίας* (parity). Στην *άρτια ισοτιμία* (even parity) το bit αυτό είναι άσπος ή μηδέν, έτσι ώστε το συνολικό βάρος Hamming να είναι άρτιο. Αντίθετα στην *περιττή ισοτιμία* (odd parity) το bit ισοτιμίας είναι άσπος ή μηδέν, ώστε το συνολικό βάρος Hamming να είναι περιττό.

Το bit ισοτιμίας χρησιμοποιείται για τον *κατακόρυφο* (vertical) έλεγχο λαθών που μπορεί να συμβούν στα bits ενός byte. Έτσι αν κατά την ανά-

γνώση της ταινίας διαπιστωθεί λάθος, τότε ενεργοποιείται μία διαδικασία διακοπής. Με άλλα λόγια επιχειρούνται πολλές προσπάθειες ανάγνωσης του συγκεκριμένου σημείου της ταινίας μέχρις ότου ή το λάθος να εντοπισθεί ή ο αριθμός των επαναλήψεων να φθάσει μία μέγιστη τιμή. Η αιτία των δυσλειτουργιών αυτών είναι είτε η ευαισθησία της ταινίας στη σκόνη, είτε η μη σωστή εφαρμογή της ταινίας στον οδηγό της. Επίσης περιοδικά τοποθετούνται bytes **ισοτιμίας** (parity) για τη διευκόλυνση των **κατά μήκος** (longitudinal) ελέγχων διαδοχικών bytes. Στο Σχήμα 2.4 δίνεται ένα παράδειγμα ελέγχων ισοτιμίας. Από το σχήμα φαίνεται ότι είναι εύκολο να προσδιορισθεί η θέση ενός λάθους, αν χρησιμοποιούνται και οι δύο τεχνικές.



Σχήμα 2.4: Έλεγχοι άρτιας ισοτιμίας.

Ο τρόπος επεξεργασίας μίας ταινίας είναι σχετικά απλός. Η επεξεργασία προχωρεί λαμβάνοντας όλα τα blocks σειριακά, γεγονός βέβαιο που είναι και το μεγαλύτερο μειονέκτημά της. Συνεπώς, οι εντολές προς μία συσκευή ταινίας είναι 'ανάγνωση του επόμενου block', 'αποθήκευση στο επόμενο block' και 'επιστροφή στην αρχή της ταινίας'. Επειδή συνήθως είναι πολύ δύσκολο ένα block να αποθηκευθεί ακριβώς επάνω από ένα άλλο, γι' αυτό και συχνότερα η αποθήκευση γίνεται στο τέλος της ταινίας με προσάρτηση (append). Λόγω της σειριακής φύσης του μέσου, μία τυχαία αναζήτηση στο μέσο της ταινίας απαιτεί χρόνο της τάξης των μερικών λεπτών. Συνεπώς, η ταινία ενδείκνυται για εφαρμογές που αποκλειστικά απαιτούν σεριακή επεξεργασία. Ο απαιτούμενος χρόνος για την ανάγνωση των n λογικών εγγραφών ενός αρχείου είναι:

$$\frac{n}{Bfr} \times \left(T_{s/s} + \frac{Bfr \times R}{Spd \times Den} \right)$$

όπου Spd είναι η ταχύτητα μεταφοράς από/προς την ταινία και μετράται σε ίντσες/δευτερόλεπτο, ενώ ο απαιτούμενος χώρος για την αποθήκευση των

n λογικών εγγραφών του αρχείου είναι:

$$\frac{n}{Bfr} \times \left(Irg + \frac{Bfr \times R}{Den} \right)$$

Οι συσκευές που περιγράφηκαν προηγουμένως λέγονται *εκκίνησης/στάσης* (start/stop) και συνήθως δεν χρησιμοποιούνται πλέον στην πράξη. Υπάρχουν όμως σύγχρονες συσκευές μαγνητικών ταινιών που εργάζονται χωρίς να σταματούν στα κενά διαστήματα. Αυτές οι συσκευές λέγονται, στα αγγλικά, οδηγό ταινιών streamer και χρησιμοποιούνται συνήθως στην αντιγραφή δίσκων για παραγωγή εφεδρικών αντιγράφων. Γενικά η ύπαρξη των κενών είναι απαραίτητη, γιατί η επεξεργασία του κάθε block μπορεί να είναι πιο αργή από την ανάγνωσή του. Στον Πίνακα 2.1 (δες βιβλίο του Harbron) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μερικών συσκευών οδηγών ταινιών. Οι πρώτες δύο συσκευές του πίνακα είναι οδηγό εκκίνησης/στάσης, ενώ οι επόμενοι τρεις είναι οδηγό τύπου streamer, που διακρίνονται για τις υψηλές τους χρονικές επιδόσεις σε σύγκριση με τους οδηγούς τύπου εκκίνησης/στάσης.

Μοντέλο	bits/ ίντσα/ άτρακτο	Ταχύτητα ανάγνωσης (in/sec)	Ταχύτητα περιστροφής (in/sec)	Ταχύτητα μεταφοράς (kb/sec)
HP 7970E	1600	45	160	88
DEC TU81	1600/6250	25	192	125
DEC TU81	1600/6250	75	192	367
HP 7980A	1600/6250	125	320	611
IBM 3480	16900	40	150	1160

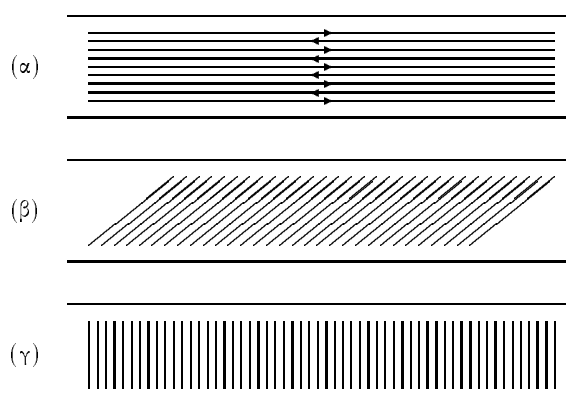
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά μερικών οδηγών ταινιών.

Όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως αναφέρονται στον πρώτο χρονολογικά τύπο ταινίας που διατίθεται εμπορικά μέχρι σήμερα. Ο τύπος αυτός αποθήκευσης ονομάζεται γραμμικός (linear) ή επιμήκης (longitudinal). Όμως στις ημέρες μας διατίθενται εμπορικά και άλλοι τρεις τύποι ταινιών που διαφέρουν σε σχέση με τον τρόπο αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων:

- ο τύπος οφιοειδούς αποθήκευσης (serpentine recording), που αποτελεί μία παραλλαγή του γραμμικού τύπου. Στις ταινίες αυτές ο αριθμός των ατράκτων είναι ιδιαίτερα μεγάλος, οπότε οι άτρακτοι ομαδοποιούνται σε αρκετά σύνολα. Για παράδειγμα, η ταινία Quantum

DLT4000 έχει 208 ατράκτους που ομαδοποιούνται σε 64 σύνολα. Ο τύπος, λοιπόν, αυτός έχει τη δυνατότητα ανάγνωσης/αποθήκευσης σε διαφορετικό σύνολο ατράκτων καθώς η ταινία κινείται και προς τις δύο κατευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5α. Έτσι, στις ταινίες αυτές ο χρόνος της εντολής 'επιστροφή στην αρχή της ταινίας' είναι μικρότερος σε σχέση με το γραμμικό τύπο ταινιών.

- ο τύπος **ελικοειδούς σάρωσης** (helical scan), που κατ' εξοχήν εφαρμόζεται στις βιντεοταινίες VCR. Στις ταινίες αυτές τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ατράκτους που έχουν γωνία 10° ως 20° ως προς τον άξονα της ταινίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5β, ενώ οι κεφαλές είναι στερεωμένες σε ένα κύλινδρο που επίσης περιστρέφεται υπό γωνία ως προς τον άξονα της ταινίας. Σε σχέση με τους προηγούμενους τύπους η ταινία αυτή κινείται με μικρή ταχύτητα κατά την ανάγνωση/αποθήκευση, ενώ σε περίπτωση εκτέλεσης εντολών rewind και forward κινείται με ταχύτητα από 50 μέχρι 75 φορές γρηγορότερα από την κανονική ταχύτητα. Μειονέκτημα της ταινίας είναι το γεγονός ότι οι κεφαλές εφάπτονται με την ταινία, το οποίο έχει επίπτωση στη διάρκεια ζωής της ταινίας. Πιο συγκεκριμένα, μετά τα 1500 περάσματα της ταινίας υπάρχει αυξημένη πιθανότητα απώλειας δεδομένων, ενώ οι οφιοειδείς ταινίες έχουν αυξημένη αξιοπιστία μέχρι και 500.000 περάσματα, που ισοδυναμεί 3,5 χρόνια συνεχούς λειτουργίας. Ωστόσο, το πλεονέκτημα της ταινίας αυτής είναι η μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης από 20 μέχρι 50 φορές.



Σχήμα 2.5: Σύγχρονοι τύποι μαγνητικών ταινιών.

- ο τύπος εγκάρσιας αποθήκευσης (transverse recording), όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ατράκτους κατακόρυφες προς τον άξονα της ταινίας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5γ. Οι ταινίες του τύπου αυτού διακρίνονται από υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης αλλά και χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς λόγω της μη σταθερής κίνησης της ταινίας. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές, όπως για αποθήκευση δεδομένων από αισθητήρες που καταγράφονται με χαμηλούς ρυθμούς.

Ο Πίνακας 2.2 δίνει μερικά βασικά χαρακτηριστικά σύγχρονων ταινιών. Οι τρεις πρώτες ταινίες είναι οφιοειδούς τύπου, ενώ οι δύο τελευταίες ταινίες είναι ελικοειδούς τύπου.

Μοντέλο	Χωρητικότητα/ ταινία (Gb)	Ταχύτητα μεταφοράς (Mb/s)
Quantum DLT4000	20	1,5
Quantum DLT7000	35	5
IBM 3590	10	9
Exabyte 8505XL	7	0,5
Ampex DST	165	15

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά σύγχρονων ταινιών οφιοειδούς και ελικοειδούς τύπου.

Ήδη υπάρχουν διαθέσιμες εμπορικά συσκευές που στεγάζουν και χειρίζονται πολλές ταινίες. Με βάση το μέγεθος, οι συσκευές αυτές ανήκουν σε τέσσερις κατηγορίες:

- stacker libraries, που έχουν ένα (μόνο) οδηγό όπου ανάλογα με τη ζήτηση εναλλάσσονται μέχρι 10 ταινίες περίπου,
- carousel libraries, που διαθέτουν 1 ή 2 οδηγούς ταινιών και μπορούν να χειρισθούν από 50 μέχρι 100 ταινίες σε cartridge.
- silos, που χρησιμοποιούν μέχρι 4 οδηγούς για το χειρισμό μέχρι 6000 ταινιών.
- large libraries, που διαθέτουν 1 ή 2 ρομποτικούς μηχανισμούς για τον εντοπισμό της κατάλληλης ταινίας, από 1 μέχρι 5 οδηγούς και μπορούν να στεγάσουν από εκατοντάδες μέχρι μερικές χιλιάδες ταινίες.

Τύπος	Συσκευή	αριθμός οδηγών	αριθμός ταινιών	χωρητικότητα	χρόνος (sec) αλλαγής
stacker	Exabyte-10i	1	10	50 Gb	≤ 20
carousel	SpectraLogic	1-2	45	225 Gb	10
silos	StorageTeck PowderHorn	1-4	6000	4800 Tb	10
large lib	IBM Magstar 3495/L50	4-64	18940	568 Tb	≤ 7

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά μερικών βιβλιοθηκών για ταινίες.

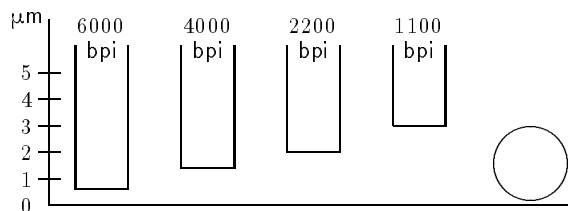
Ο Πίνακας 2.3 περιλαμβάνει μερικές χαρακτηριστικές συσκευές του εμπορίου για κάθε κατηγορία. Στις συσκευές αυτές, το χρονικό κόστος αλλαγής ταινίας και το χρονικό κόστος κίνησης της ταινίας (search + rewind delay) θεωρούνται οι πλέον σημαντικοί παράγοντες κόστους, και επιβαρύνουν τις χρονικές επιδόσεις ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε συσκευής. Έτσι υπάρχουν συσκευές, οι οποίες όταν πρέπει να αντικαταστήσουν μία ταινία στο πλατώ, πρέπει οπωσδήποτε να επαναφέρουν την ταινία στη φυσική της αρχή (πχ. συσκευές Exabyte). Αντίθετα, κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο σε άλλες συσκευές (πχ. συσκευές Ampex), όπου είναι δυνατόν πριν αντικατασταθεί μία ταινία, η επαναφορά να γίνει στο πλησιέστερο από ένα σύνολο καθορισμένων σημείων.

2.3 Μαγνητικοί δίσκοι

Η σημαντικότερη συσκευή αποθήκευσης δεδομένων είναι οι μαγνητικοί δίσκοι που ονομάζονται και αποθηκευτικές συσκευές άμεσης προσπέλασης (direct access storage device, DASD), γιατί οποιοδήποτε σημείο τους προσεγγίζεται σε κλάσμα του δευτερολέπτου κατά αντίθεση προς την ταινία, που αποτελεί ένα σειριακό μέσο αποθήκευσης. Αν και οι μαγνητικοί δίσκοι είναι συσκευές άμεσης προσπέλασης, χαρακτηριστικό που είναι κοινό και για την κύρια μνήμη, εντούτοις η διαφορά είναι ότι οποιαδήποτε διεύθυνση της κύριας μνήμης προσπελάζεται σε σταθερό χρόνο, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο και στην περίπτωση των μαγνητικών δίσκων.

Ο δίσκος είναι μία μεταλλική ή υάλινη σκληρή κυκλική πλάκα (platter) με επιφάνειες καλυμμένες με μαγνητικό υλικό, και περιστρέφεται περί τον άξονά του. Η διάμετρος του δίσκου ποικίλει από 1,3 μέχρι 14 ίντσες, με συννηθέστερα τα μεγέθη των 5,25 και 3,5 ιντσών. Σύστημα ή πακέτο δίσκων (disk pack) είναι μία συστοιχία από 1 μέχρι 20 μαγνητικούς δίσκους,

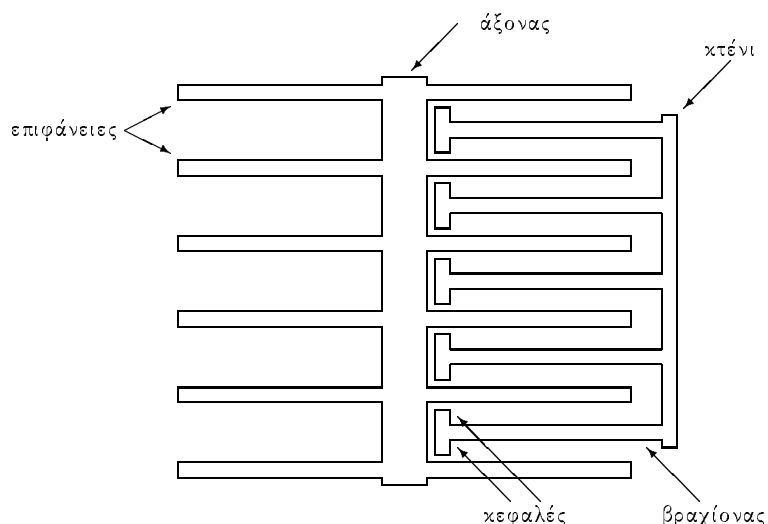
που απέχουν μεταξύ τους σταθερή απόσταση και έχουν κοινό άξονα, ενώ συνήθως στην πρώτη και στην τελευταία επιφάνεια δεν αποθηκεύονται δεδομένα. Το σύστημα αυτό είναι συνήθως κλεισμένο αεροστεγώς σε ένα σταθερό κουτί για να προστατεύεται από τη σκόνη, που μπορεί να προκαλέσει ζημιά τόσο στο δίσκο όσο και στην κεφαλή. Η συσκευή αυτή λέγεται οδηγός δίσκων Winchester κατ' αντίθεση προς τους φορητούς (removable) δίσκους, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλα υπολογιστικά κέντρα και μπορούν να εναλλάσσονται, αλλά δεν προστατεύονται από τη σκόνη κατά απόλυτα ασφαλή τρόπο. Στο Σχήμα 2.6 συγκρίνεται το μέγεθος του κόκκου σκόνης επάνω στην επιφάνεια του δίσκου σε σχέση με την απόσταση των κεφαλών από την επιφάνεια του δίσκου για μερικές τιμές της πυκνότητας αποθήκευσης.



Σχήμα 2.6: Σύγκριση μεγέθους κόκκου σκόνης και απόστασης κεφαλών από την επιφάνεια δίσκου.

Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ομόκεντρες περιφέρειες που ονομάζονται άτρακτοι. Ο αριθμός των ατράκτων ανά επιφάνεια ποικίλλει από 20 (στις παλαιότερες συσκευές) μέχρι 2000 (στις πλέον σύγχρονες). Οι άτρακτοι όλων των δίσκων που έχουν την ίδια ακτίνα αποτελούν ένα κύλινδρο (cylinder). Οι κεφαλές ανάγνωσης/αποθήκευσης (read/write heads) είναι ηλεκτρομαγνητικές διατάξεις σιδηρομαγνητικής κατασκευής, που ασχούν μαγνητικό πεδίο κατά μήκος μίας ατράκτου για να αποθηκεύσουν δεδομένα στο δίσκο, ενώ αντίστροφα κατά την ανάγνωση δεδομένων από κάποια άτρακτο παρουσιάζεται ρεύμα στην κεφαλή εξ αιτίας του μόνιμου μαγνητισμού του δίσκου. Κατά τη λειτουργία του δίσκου η απόσταση μεταξύ κεφαλής και επιφάνειας είναι της τάξης των μικροϊντσών, ενώ αν η κεφαλή αγγίσει την επιφάνεια, τότε και οι δύο καταστρέφονται. Οι κεφαλές είναι στερεωμένες σε βραχίονες (arm), ενώ οι βραχίονες είναι στερεωμένοι επάνω σε ένα στέλεχος παράλληλο προς τον άξονα του δίσκου, το οποίο ονομάζεται κτένι προσπέλασης (access comb). Το κτένι κινεί όλους τους βραχίονες ταυτόχρονα και συνεπώς όλες οι κεφαλές βρίσκονται σε κάθε στιγμή σε ίση απόστα-

ση από το κέντρο του δίσκου. Υπ' όψη ακόμη ότι σε κάθε βραχίονα είναι προσαρμοσμένες δύο κεφαλές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Οργάνωση δίσκου.

Σημειώνουμε ότι στο παρελθόν, υπήρχαν οδηγοί δίσκων με σταθερές (fixed) κεφαλές, όπου στον βραχίονα υπήρχαν προσαρμοσμένες τόσες κεφαλές όσες και οι άτρακτοι. Έτσι οι οδηγοί αυτοί διακρίνονταν από καλή επίδοση σε σχέση με το δεύτερο τύπο, όμως με αντιστάθμισμα το αυξημένο κόστος. Ακόμη στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται η ομοιότητα των μαγνητικών τυμπάνων με τους δίσκους σταθερών κεφαλών. Η ομοιότητα έγκειται στο γεγονός ότι και το τύμπανο έχει σταθερές κεφαλές που σε αριθμό είναι τόσες όσες είναι οι άτρακτοι στην περιμετρική επιφάνειά του.

Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 80 εμφανίσθηκαν στο εμπόριο συσκευές δίσκων με δύο κεφαλές ανά επιφάνεια (DEC RA81, DEC SA82 κλπ), όπου όλες οι κεφαλές στηρίζονται σε ένα μόνο κτένι προσπέλασης. Ακόμη οι δύο κεφαλές της κάθε επιφάνειας βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους, οπότε ο κύλινδρος θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνει τις άτρακτους που αντιστοιχούν και στα δύο σύνολα κεφαλών. Επίσης σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται συσκευές δίσκων με δύο κινούμενες κεφαλές σε κάθε επιφάνεια που στηρίζονται σε δύο ανεξάρτητους βραχίονες. Σε μία τέτοια συσκευή, πρακτικά το κάθε κτένι εξυπηρετεί τις μισές άτρακτους ενός κυλίνδρου, και επομένως η επίδοση είναι βελτιωμένη.

Όπως τονίστηκε, όλες οι κεφαλές κινούνται συγχρονισμένα, αλλά σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή μόνο μία από τις κεφαλές μπορεί να μεταφέρει δεδομένα από/προς την κύρια μνήμη. Έτσι όταν οι κεφαλές τοποθετηθούν σε έναν κύλινδρο, τότε ανάγνωση ή αποθήκευση μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε άτρακτο. Για παράδειγμα, αν κατά την αποθήκευση πολλών δεδομένων στο δίσκο μία άτρακτος γεμίσει, τότε ακαριαία η αντίστοιχη κεφαλή σηκώνεται και πλησιάζει προς το δίσκο η κεφαλή της επόμενης άτρακτου του ίδιου κυλίνδρου.

Οι άτρακτοι χωρίζονται σε **σελίδες** (pages, blocks) ή σε **τομείς** (sectors). Ο αριθμός των τομέων ανά άτρακτο κυμαίνεται από 4 μέχρι 32, ενώ το μέγεθος τους κυμαίνεται από 32 (στις παλαιότερες συσκευές) μέχρι 8192 bytes (στις νεότερες). Η μορφοποίηση και συνεπώς η μεθοδευμένη προσπέλαση του δίσκου γίνεται με δύο τρόπους: χρησιμοποιώντας **διευθύνσεις σελίδων** (block addressability) ή χρησιμοποιώντας **διευθύνσεις άτρακτων** (sector addressability). Ο πρώτος τρόπος συναντάται περισσότερο σε μεγάλα συστήματα, όπου από τον κατασκευαστή γίνεται η μορφοποίηση του δίσκου σε σελίδες που μπορεί να είναι διαφορετικού μεγέθους σε κάθε άτρακτο. Ο δεύτερος τρόπος συναντάται περισσότερο στα μικρά συστήματα, όπου τη μορφοποίηση σε τομείς σταθερού μεγέθους (σε bytes) εκτελεί ο χρήστης με ειδική εντολή/πρόγραμμα (format). Ας σημειωθεί ότι η μορφοποίηση/φορμάρισμα από τον κατασκευαστή είναι μόνιμη και λέγεται **σκληρή σελιδοποίηση** (hard sectoring), ενώ η μορφοποίηση από το χρήστη δεν είναι μόνιμη και λέγεται **μαλακή σελιδοποίηση** (soft sectoring). Από πρακτική άποψη οι δύο έννοιες της σελίδας και του τομέα έχουν το ίδιο περιεχόμενο: αποτελούν το ελάχιστο ποσό δεδομένων που μεταφέρεται μεταξύ δίσκου και κύριας μνήμης και γι' αυτό στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται μόνο ο όρος σελίδα.

Και οι δύο μέθοδοι μορφοποίησης δεσμεύουν σε κάθε άτρακτο και σε κάθε σελίδα κάποιο χώρο για δεδομένα του συστήματος, όπως ποσό άγραφου χώρου, χαρακτήρες ελέγχου, διευθύνσεις κλπ. Η διεύθυνση κάθε σελίδας δίνεται από τον **αριθμό της** (physical block number) που εκφράζει την απόσταση από την πρώτη σελίδα του δίσκου. Από τον αριθμό αυτό, ο ελεγκτής του δίσκου υπολογίζει την επακριβή θέση της σελίδας (δηλαδή τον κύλινδρο, την άτρακτο και τη θέση μέσα στην άτρακτο) και ενεργοποιεί την κατάλληλη κεφαλή.

Οι δίσκοι που υποβάλλονται σε μορφοποίηση σκληρής σελιδοποίησης διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους:

- σε σταθερής γωνιακής ταχύτητας (constant angular velocity, CAV), και
- σε σταθερής γραμμικής ταχύτητας (constant linear velocity, CLV).

Ωστόσο σημειώνεται ότι υπάρχουν δύο παραλλαγές των δύο αυτών τύπων:

- η μορφοποίηση τροποποιημένης σταθερής γωνιακής ταχύτητας (modified constant angular velocity, MCAV), και
- η μορφοποίηση τροποποιημένης σταθερής γραμμικής ταχύτητας (modified constant linear velocity, MCLV).

Οι μαγνητικοί δίσκοι είναι βασικά τύπου CAV, ενώ οι πλέον σύγχρονοι είναι MCAV. Οι οπτικοί δίσκοι είναι κυρίως τύπου CLV, και γι' αυτό οι λεπτομέρειες της τεχνολογίας αυτής θα εξετασθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Το βασικό χαρακτηριστικό των δίσκων CAV είναι η σταθερή πυκνότητα αποθήκευσης (constant bit density) για κάθε άτρακτο και ο σταθερός χρόνος μεταφοράς σελίδας (που θα εξηγηθεί λεπτομερέστερα στη συνέχεια), οπότε η γραμμική ταχύτητα και το μήκος σελίδας είναι μεταβλητά μεγέθη. Πιο συγκεκριμένα, η γραμμική ταχύτητα είναι μικρότερη στις εσωτερές ατράκτους από ότι στις εξώτερες. Έτσι, οι σελίδες που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον άξονα περιστροφής έχουν μικρότερο μέγεθος σε σχέση με τις σελίδες που βρίσκονται στους εξώτερους κυλίνδρους, αλλά διακρίνονται από μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης σε bits/inch.

Η τεχνολογία των δίσκων MCAV στηρίζεται στη λεγόμενη τεχνική των ζωνών (zoning), που σημαίνει ότι οι διαδοχικές άτρακτοι ομαδοποιούνται σε ζώνες. Σε κάθε ζώνη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του δίσκου παραμένουν σταθερά, ενώ μεταβάλλονται από ζώνη σε ζώνη. Οι άτρακτοι των εξώτερων ζωνών περιέχουν περισσότερες σελίδες απ' ότι των εσωτερων ζωνών. Συνεπώς, οι σελίδες των εξώτερων ζωνών έχουν μικρότερο μήκος και με μικρότερο χρόνο μεταφοράς (σε σχέση με τις σελίδες των εσωτερων ζωνών), και επομένως ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι μεγαλύτερος. Ο αριθμός των ζωνών ποικίλλει στα διάφορα προϊόντα. Έτσι, προς το παρόν υπάρχουν δίσκοι από 3 μέχρι 20 ζώνες, ενώ αναμένεται αυτός ο αριθμός να διπλασιασθεί μέχρι το τέλος της χιλιετίας. Για παράδειγμα, ο δίσκος HP C2240 έχει ρυθμούς μεταφοράς από 3,1 MB/sec για την εσωτερη ζώνη, και μέχρι 5,3 MB/sec για την εξώτερη.

Αναφέρονται πέντε βασικές παράμετροι κατά την κοστολόγηση του απαιτούμενου χρόνου για τη μεταφορά δεδομένων από το δίσκο με κινητές κεφαλές στην κύρια μνήμη και αντίστροφα.

- Η πρώτη παράμετρος κόστους, και μάλιστα η σημαντικότερη, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να κινηθεί ο βραχίονας από έναν κύλινδρο σε κάποιον άλλο, και ονομάζεται **χρόνος αναζήτησης ή εντοπισμού** (seek time, s). Στο παρελθόν, ο χρόνος εντοπισμού είχε μοντελοποιηθεί σαν γραμμική συνάρτηση της διανυόμενης απόστασης, d . Όμως, αυτή η παλινδρομική κίνηση του βραχίονα υποστηρίζεται από πολύ εξελιγμένους μηχανισμούς που επιτυγχάνουν επιταχύνσεις της τάξης των 30-40g. Έτσι, στους σύγχρονους δίσκους κατά τη μετάβαση του βραχίονα από μία θέση κυλίνδρου σε μία άλλη, διακρίνεται η φάση της επιτάχυνσης του βραχίονα, η φάση της κίνησης με σταθερή ταχύτητα και η φάση της επιβράδυνσης. Με το σχεπτικό αυτό, ο χρόνος εντοπισμού μοντελοποιείται από τη σχέση:

$$s = \begin{cases} c_1 + c_2 \times \sqrt{d} & \text{αν } d < cutoff \\ c_3 + c_4 \times d & \text{αν } d \geq cutoff \end{cases}$$

Για παράδειγμα, οι αντίστοιχες τιμές για τη συσκευή HP 97560 είναι $c_1=3,24$ ms, $c_2=0,4$ ms, $c_3=8$ ms, $c_4=0,008$ ms, $cutoff=383$, ενώ ο δίσκος αυτός έχει χωρητικότητα 1,3 Mb και 1962 κυλίνδρους συνολικά. Για την ιστορία σημειώνεται ότι στους δίσκους σταθερών κεφαλών και στα τύμπανα δεν συναντάται αυτός ο παράγοντας.

- Ο δίσκος κινείται συνεχώς με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (όπως εξηγήθηκε προηγουμένως). Συνεπώς αν εντοπισθεί ο ζητούμενος κύλινδρος και κάποια κεφαλή προσεγγίσει την κατάλληλη άτρακτο του συγκεκριμένου κυλίνδρου, τότε απαιτείται κάποιος χρόνος ώστε η κεφαλή να έρθει επάνω από την κατάλληλη σελίδα της άτρακτου. Ο χρόνος αυτός λέγεται **λανθάνων περιστροφικός χρόνος** (rotational latency time, r) και είναι η δεύτερη παράμετρος κόστους.
- Η τρίτη παράμετρος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει η κεφαλή επάνω από τη σελίδα και να μεταφερθούν τα δεδομένα της στην κύρια μνήμη. Επομένως, εύλογα αυτός ο χρόνος λέγεται **χρόνος μεταφοράς της σελίδας** (block transfer time, btt).
- Η τέταρτη παράμετρος είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ενεργοποίηση μίας κεφαλής μετά την απενεργοποίηση μίας άλλης. Η παράμε-

τρος αυτή είναι πολύ μικρότερης σημασίας από τις προηγούμενες και δεν θα εξετασθεί στη συνέχεια.

- Τέλος, η πέμπτη παράμετρος σχετίζεται με την γενικότερη αρχιτεκτονική του υπολογιστικού συστήματος και συμπεριλαμβάνει την **καθυστέρηση λόγω ουρών** (queueing delay), και τον απαιτούμενο **χρόνο από τον ελεγκτή του δίσκου** (controller time). Η παράμετρος αυτή θα γίνει καλύτερα αντιληπτή στο επόμενο κεφάλαιο.

Γενικά Χαρακτηριστικά	W.Digital WDAC 32500	IBM 0662 SXX	Quantum Prodrive 1800S	Seagate Barracuda 4LP
έτος κατασκευής	1995		1994	1995
διάμετρος δίσκου (in)	3.5	3.5	3.5	3.5
χωρητικότητα (Gb)	2.6	1.05	1.8	2.15
ταχύτητα περιστροφής (rpm)	5200	5400	4500	7200
αριθμός επιφανειών	3	3	7	
ρυθμός μεταφοράς (MB/s)	16.6	6	10	20
αναζητήσεις (ms)				
ελάχιστος χρόνος	3		3	0.9
μέσος χρόνος	13	9	10	9
εγγύηση εταιρείας (έτη)	3	5	5	5
μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών MTBF (ώρες)	300000	800000	350000	1000000

Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά μερικών οδηγών δίσκων.

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται στοιχεία που δίνονται από κατασκευαστές δίσκων για την ταχύτητα περιστροφής, το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και τους χρόνους αναζήτησης. Μέχρι πρόσφατα εθεωρείτο ότι ο χρόνος αναζήτησης είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το λανθάνοντα περιστροφικό χρόνο, που με τη σειρά του είναι μεγαλύτερος από το χρόνο μεταφοράς δεδομένων. Ωστόσο, τα νεότερα δεδομένα υπαγορεύουν ότι οι πρώτοι δύο παράγοντες πλέον αποτελούν συγκρίσιμα μεγέθη και επομένως κάθε προσπάθεια ελαχιστοποίησης του χρόνου απόκρισης θα έπρεπε να θεωρήσει και τους δύο παράγοντες.

Η τεχνολογία των μαγνητικών δίσκων έχει προοδεύσει ταχύτατα τα τελευταία χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, έχουν επιτευχθεί μικρότερες αποστάσεις μεταξύ της κεφαλής και των επιφανειών, περισσότερο επακριβή ηλεκτρονικά συστήματα τοποθέτησης των κεφαλών στις ατράκτους, καθώς επίσης και

αυξημένη επιφανειακή πυκνότητα (areal density) αποθήκευσης, που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Επιφανειακή πυκνότητα} = \frac{\text{άτρακτοι}}{\text{ίντσα}} \times \frac{\text{bits}}{\text{ίντσα}}$$

Μάλιστα, αυτή η αυξημένη επιφανειακή πυκνότητα έχει συντελέσει στη βελτίωση των επιδόσεων των δίσκων κατά δύο τρόπους:

- μειώνοντας το μέγεθος του δίσκου (για παράδειγμα, από 5,25 ίντσες το 1983 σε 1,3 ίντσες το 1993), οπότε μικραίνουν οι χρόνοι αναζήτησης, και
- αυξάνοντας την ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων (σε συνδυασμό με την αύξηση της περιστροφικής ταχύτητας από 3.600 το 1980 σε 5.400-7.200 rpm).

Ωστόσο, είναι χρήσιμο να παρατηρήσουμε ότι η πρόοδος αφορά περισσότερο στη χωρητικότητα παρά στις επιδόσεις των δίσκων. Για παράδειγμα, ο χρόνος αναζήτησης από 20 ms το 1980 έφθασε πρόσφατα μόλις τα 10 ms. Αυτό φαίνεται ανάγλυφα από τα στοιχεία του επόμενου πίνακα.

	Συνήθεις τιμές (1993)	Ετήσια πρόοδος (%)
Επιφανειακή πυκνότητα	50-150 Mbits/τετρ.ίντσα	27%
Γραμμική πυκνότητα	40.000-60.000 bpi	13%
Απόσταση ατράκτων	1.500-3.000 άτρακτοι/ίντσα	10%
Χωρητικότητα	100-2000 Mb	27%
Ρυθμός μεταφοράς	3-4 Mb/s	22%
Χρόνος αναζήτησης	7-20 ms	8%

Πίνακας 2.5: Εξελίξεις στην τεχνολογία των δίσκων.

Στα επόμενα κεφάλαια θα εξετασθεί, μεταξύ των άλλων, η επίδραση των διαφόρων οργανώσεων στο χρόνο εντοπισμού και στο χρόνο περιστροφής. Ο χρόνος που απαιτείται από την κεντρική μονάδα για επεξεργασία των πληροφοριών είναι τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερος και γι' αυτό συνήθως αγνοείται.

2.4 Οπτικοί δίσκοι

Η οπτική τεχνολογία είναι η πιο σύγχρονη τεχνολογία αποθήκευσης δεδομένων και έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης στο μέλλον. Ο οπτικός δίσκος (optical disk) έχει ακτίνα από 3,5 μέχρι 12 ίντσες και η επιφάνειά του είναι από κράμα τελλουρίου (πάχους από 10 μέχρι 50 nm), που έχει ιδιαίτερες θερμοαγώγιμες ιδιότητες. Μία ακτίνα laser προσπίπτει στην επάνω επιφάνεια και δημιουργεί τρύπες (τεχνική ablation) ή στην κάτω επιφάνεια και δημιουργεί φυσαλίδες (τεχνική vesication), που ανιχνεύονται λόγω της διαφορετικής ανάκλασης σε σχέση με την παρθένα επιφάνεια. Ας σημειωθεί, επίσης, ότι οι δίσκοι που εγγράφονται στην κάτω επιφάνεια είναι πιο αξιόπιστοι, γιατί είναι λιγότερο ευαίσθητοι στη σκόνη.

Μέχρι πρόσφατα υπήρχαν εμπορικά διαθέσιμοι οδηγοί δίσκων και αντίστοιχοι δίσκοι σε δύο τύπους που διαφέρουν ως προς τη δυνατότητα του οδηγού για αποθήκευση ή όχι στο δίσκο. Οι τύποι αυτοί είναι:

- compact disk read only memory (CD-ROM). Οι δίσκοι αυτοί προσφέρονται μόνο για ανάγνωση, και έχουν ήδη προτυποποιηθεί σε σχέση με την κωδικοποίηση και την αποθήκευση των δεδομένων στην επιφάνεια, καθώς και σε σχέση με τους απαραίτητους κώδικες αναγνώρισης/διόρθωσης λαθών.
- compact disk recordable, (CD-R), που είναι αποθηκευτικοί δίσκοι, καθώς μάλιστα ονομάζονται και δίσκοι 'μίας αποθήκευσης, πολλών αναγνώσεων' (write once read many, WORM).

Οι δίσκοι WORM διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο ελέγχου των αποθηκευόμενων δεδομένων:

- τους δίσκους άμεσης ανάγνωσης μετά την αποθήκευση (direct read after write, DRAW), όπου ο έλεγχος της ορθότητας των αποθηκευόμενων δεδομένων γίνεται στην επόμενη περιστροφή του δίσκου, και
- τους δίσκους άμεσης ανάγνωσης κατά την αποθήκευση (direct read during write, DRDW), όπου ο σχετικός έλεγχος παραγματοποιείται τη στιγμή της αποθήκευσης συγκρίνοντας με τα δεδομένα της απομονωτικής μνήμης.

Προφανώς, στη δεύτερη μέθοδο οι αποθηκεύσεις γίνονται εξ ίσου αποτελεσματικά όσο οι αναγνώσεις, πράγμα που δεν συμβαίνει με την πρώτη μέθοδο.

Η χρήση των δίσκων WORM γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, γιατί οι εγγραφές δεν ανανεώνονται ούτε διαγράφονται, ενώ οι εισαγωγές αποθηκεύονται με προσάρτηση (append) σε απομακρυσμένο σημείο από το υπόλοιπο αρχείο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών τεχνικών οργάνωσης και διαχείρισης αρχείων που θα εξετασθούν στο τελευταίο κεφάλαιο των ειδικών θεμάτων.

Ήδη βέβαια στο εμπόριο διατίθενται οδηγοί και αντίστοιχοι δίσκοι που επιτρέπουν την επανα-αποθήκευση σε κάθε συγκεκριμένο σημείο του δίσκου, οι λεγόμενοι CD-erasable, (CD-E). Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας, οι συσκευές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- στις συσκευές με **αλλαγή φάσης** (phase change), όπου η επιφάνεια των δίσκων (με επίστρωση από τελλούριο ή σεληνίο) έχει την ιδιότητα ανάλογα με τη θερμοκρασία να βρίσκεται σε άμορφη ή χρυσταλλική κατάσταση, και
- στις **μαγνητοοπτικές** (magneto-optic) συσκευές, όπου η επίστρωση των δίσκων είναι από ειδικά σιδηρομαγνητικά κράματα, που αλλάζουν πολικότητα όταν η θερμοκρασία ξεπερνά τους 150° C.

Και για τις δύο κατηγορίες είναι ευνόητο ότι στη μία κατάσταση γίνεται η αποθήκευση και στην άλλη γίνεται η ανάγνωση. Ο μηχανισμός των μαγνητοοπτικών συσκευών είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος και διαφαίνεται ότι θα επικρατήσουν οι συσκευές αλλαγής φάσης. Μάλιστα δίσκοι που στηρίζονται στην αλλαγή φάσης μπορούν να αναγνωσθούν από οδηγό δίσκων WORM. Η ύπαρξη των δίσκων CD-E δεν απομακρύνει από την επικαιρότητα τους δίσκους WORM, που αποτελούν το ιδανικό μέσο για πλήθος εφαρμογών, όπως για αποθήκευση εγχειροκροπαιδίων, λεξικών και γενικά στατικών βάσεων δεδομένων.

Σε σύγκριση με τους μαγνητικούς δίσκους, οι οπτικοί δίσκοι διακρίνονται γενικά από:

- τεράστια χωρητικότητα (πχ. 650 Mb για δίσκους CD-ROM, και περισσότερο από 7 Gb για δίσκους WORM διαμέτρου 12 ιντσών),
- μεγαλύτερο χρόνο μεταφοράς δεδομένων (πχ. από 150 Kb μέχρι 6 Mb για ταχύτητες από 1X μέχρι 40X),
- μεγαλύτερο χρόνο προσπέλασης (πχ. από 150 μέχρι 350 ms),

- πολύ καλή αξιοπιστία επειδή η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του δίσκου και του συστήματος της κεφαλής είναι σχετικά μεγάλη,
- μεταφερσιμότητα, και τέλος,
- μεγάλη διάρκεια ζωής (τουλάχιστον 10 χρόνια, και στο μέλλον αναμένεται 100 χρόνια, σε σύγκριση με τη διάρκεια των 2-10 χρόνων για μαγνητικούς δίσκους).

Προς το παρόν γίνεται έρευνα για την επίτευξη ακόμη μεγαλύτερων χωρητικότητας σε οπτικούς δίσκους χρησιμοποιώντας μικρότερο μήκος κύματος laser ώστε να μειωθεί το μέγεθος των τρυπών/φυσσαλίδων. Επίσης, γίνεται έρευνα για την ελαχιστοποίηση της μάζας του κινούμενου μηχανισμού, ώστε να βελτιωθεί ο χρόνος αναζήτησης. Έτσι μέχρι στιγμής υπάρχει ανταγωνισμός δύο τύπων: του MultiMedia Compact Disk (MMCD) των Sony-Philips και του Super Density (SD) των Toshiba-Time/Warner, με αντίστοιχες χωρητικότητες 7,4 και 10 Gb σε δίσκο διαμέτρου 12 cm.

Όσον αφορά στη μορφοποίηση των οπτικών δίσκων επαναλαμβάνεται ότι βασικά είναι τύπου CLV. Το πλεονέκτημα των συσκευών CLV είναι η καλύτερη χρήση του χώρου λόγω ομοιόμορφης πυκνότητας αποθήκευσης σε όλο το δίσκο. Το μειονέκτημα είναι ότι η κεφαλή σε ένα τέτοιο δίσκο δεν μπορεί να μετρήσει τις ατράκτους που προσπερνά καθώς κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Έτσι η γωνιακή ταχύτητα αυξάνεται καθώς οι κεφαλές κινούνται προς τον άξονα περιστροφής, ώστε όλες οι εγγραφές να περνούν από το μηχανισμό ανάγνωσης με τον ίδιο ρυθμό ανεξάρτητα της θέσης τους στην επιφάνεια του δίσκου. Όμως είναι δυνατόν να χρειασθούν περισσότερες της μίας προσπάθειες μέχρι να εντοπισθεί η αναζητούμενη άτρακτος. Το αποτέλεσμα είναι ότι η μετακίνηση του μηχανισμού και συνεπώς η αναζήτηση είναι σχετικά αργότερες σε συσκευές CLV από ότι σε συσκευές CAV. Για παράδειγμα, η συσκευή SONY WDD531 έχει μέσο χρόνο προσπέλασης 190 ms για δίσκους CAV και 800 ms για δίσκους CLV.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στους δίσκους CLV δεν υπάρχουν οι γνωστοί ομόκεντροι άτρακτοι των δίσκων CAV, αλλά μία ή περισσότερες σπειροειδείς άτρακτοι. Η μορφοποίηση θεωρείται με βάση μία ακτίνα του δίσκου, οπότε μία νοερή άτρακτος βρίσκεται μεταξύ δύο διαδοχικών τομών της ακτίνας και μίας σπειροειδούς ατράκτου. Έτσι, το σύνολο των διαδοχικών νοερών ατράκτων ίδιας χωρητικότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν μία ζώνη (δίσκοι MCLV).

Σε σχέση με τους τέσσερις παράγοντες κόστους που αναφέρθηκαν για τους μαγνητικούς δίσκους, υπάρχει μία διαφοροποίηση που αφορά στο χρόνο αναζήτησης κατά την προσπέλαση οπτικών δίσκων CLV. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης της θέσης της κεφαλής, υπάρχει μία μικρή γειτονιά ατράκτων που εντοπίζονται χωρίς κάποια χρονοβόρα παλινδρομική μετακίνηση του βραχίονα. Δηλαδή, με μία απλή περιστροφική κίνηση ενός φακού στο μηχανισμό της κεφαλής προσεγγίζονται μερικές άτρακτοι προς τα αριστερά και δεξιά της τρέχουσας θέσης της κεφαλής με αμελητέο κόστος. Το σύνολο των ατράκτων αυτών ονομάζεται: *εγγύς παράθυρο* (proximal window). Ωστόσο, η περιστροφή αυτή μπορεί να γίνει μέχρι μία μέγιστη γωνία, οπότε το μέγεθος του εγγύς παραθύρου είναι σχετικά περιορισμένο. Έτσι, η μοντελοποίηση και ο αναλυτικός υπολογισμός της επίδοσης, καθώς και η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος καθίσταται πιο δύσκολη υπόθεση.

Κατ' αναλογία προς τις βιβλιοθήκες ταινιών που μπορούν να χειρισθούν πολλές ταινίες, οι *βιβλιοθήκες οπτικών δίσκων* (optical disk libraries, jukebox) μπορούν να στεγάσουν πολλούς οπτικούς δίσκους, που τοποθετούνται από μία ρομποτική διάταξη σύμφωνα με τη ζήτηση επάνω στο πλατώ, όπου προσπελάζονται από κατάλληλο μηχανισμό. Οι συσκευές αυτές διακρίνονται από τεράστιες αποθηκευτικές ικανότητες. Για παράδειγμα, η συσκευή Hitachi OL321 αποτελείται από 64 δίσκους WORM με συνολική χωρητικότητα 0,5 Tb, ενώ ο χρόνος αλλαγής δίσκου (robot delay) στο πλατώ είναι λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα. Επίσης, μία συσκευή της Ascent αποτελείται από 200 δίσκους CD-ROM. Εξ άλλου υπάρχουν συσκευές όπου μπορούν να εγκατασταθούν ταυτόχρονα δίσκοι CD-ROM, CD-R και CD-E. Είναι προφανές ότι κατά τη μελέτη της επίδοσης των βιβλιοθηκών δίσκων η χρονική επιβάρυνση για την αλλαγή δίσκου πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ως ο πλέον σημαντικός παράγοντας κόστους.

Ως αντικαταστάτης του δίσκου CD-ROM θεωρείται ο οπτικός δίσκος DVD-ROM, δηλαδή digital versatile disk read only memory. Οι τρύπες/φουσαλίδες στην επιφάνεια του δίσκου DVD είναι σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες του δίσκου CD, με αποτέλεσμα ο δίσκος DVD να έχει 7 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα. Έτσι, ένας τέτοιος δίσκος μπορεί να αποθηκεύσει 8 ώρες μουσική, 135 λεπτά ψηφιακής κινούμενης εικόνας (με κωδικοποίηση MPEG-2) ή 4,7 Gb. Όμως, επιπλέον προβλέπεται οι δίσκοι DVD της επόμενης γενιάς να διαθέτουν δύο στρώματα (dual layer), επομένως διπλάσια χωρητικότητα, ενώ αργότερα θα υπάρξουν δίσκοι DVD με δεδομένα και στις δύο επιφάνειες του δίσκου (dual side/dual layer), επομένως τετραπλάσια χωρητικότητα.

Σήμερα τα αρχικά DVD θεωρείται ότι προέρχονται και από τους αγγλικούς όρους Digital Video Disk, λόγω του γεγονότος ότι αναμένεται η καθιέρωσή του το χώρο της διασκέδασης και της ψυχαγωγίας. Τα πλεονεκτήματα του δίσκου DVD σε σχέση με τη βιντεοταινία είναι:

- πολύ μεγαλύτερη αντοχή,
- πολύ μικρότερο κόστος, και
- άμεση προσπέλαση (ενώ η ταινία είναι σειριακό μέσο).

Το μειονέκτημά του είναι ότι απαιτείται ειδική συσκευή για την ανάγνωσή του (DVD-ROM driver), που ωστόσο μπορεί να αναγνωρίσει και δίσκους CD.

2.5 Άλλες συσκευές αποθήκευσης

Οι προσωπικοί υπολογιστές έχουν μικρούς εύκαμπτους (floppy) δίσκους των 3,5 (και στο παρελθόν 5,25) ιντσών. Οι δίσκοι αυτοί έχουν βασικές διαφορές από τους μεγάλους σκληρούς δίσκους. Είναι πλαστικοί από υλικό Mylar, κλεισμένοι σε τετράγωνες προστατευτικές πλαστικές θήκες και δεν συσχευάζονται σε συστοιχίες. Οι σελίδες κάθε ατράκτου διακρίνονται μεταξύ τους με τη μέθοδο της μαλακής σελιδοποίησης. Από άποψη επίδοσης έχουν αυξημένους χρόνους αναζήτησης, περιστροφής και μεταφοράς δεδομένων κατά δέκα περίπου φορές. Επίσης από άποψη πυκνότητας και χωρητικότητας η διαφορά είναι πολύ μεγάλη. Οι κεφαλές ανάγνωσης/αποθήκευσης κατά τη λειτουργία τους εφάπτονται στους εύκαμπτους δίσκους (που σημαίνει μειωμένη αξιοπιστία), και έτσι ο μηχανισμός είναι πολύ πιο απλός, αργός και φθηνός.

Οι συσκευές που θα αναφερθούν στη συνέχεια δεν έχουν γνωρίσει πολύ ευρεία χρήση παρά μόνο σε ειδικές εφαρμογές και πολλές από αυτές βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξής τους. Οι συσκευές διεύθυνσης με βάση το περιεχόμενο (content addressable filestores) στηρίζονται σε ειδικού τύπου υλικό και λογισμικό, ώστε οι εγγραφές να αναζητούνται όχι με βάση την τιμή του πρωτεύοντος κλειδιού αλλά με λογικούς συνδυασμούς των τιμών πολλών κλειδιών. Το κύριο πεδίο χρήσης των συσκευών αυτών είναι για Ανάκτηση Πληροφοριών (Information Retrieval) σε βιβλιοθηκονομικά συστήματα. Τυπικό παράδειγμα είναι η συσκευή CAFS-ISP της ICL με χωρητικότητα 900 Gb σε πλήρη ανάπτυξη.

Οι συσκευές μαζικής αποθήκευσης (mass storage) χρησιμοποιούν πλήθος από κασέτες για μακροχρόνια αποθήκευση σε συνδυασμό με μαγνητικούς δίσκους για την αποθήκευση των δεδομένων κατά την επεξεργασία. Για παράδειγμα, οι συσκευές Control Data 3850 και IBM 3850 σε πλήρη ανάπτυξη έχουν συνολική χωρητικότητα 1.000 και 472 Gb, αντίστοιχα. Το μειονέκτημα βέβαια είναι ότι ο χρόνος προσπέλασης και αλλαγής των κασετών είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων.

Οι μνήμες μαγνητικών φυσαλίδων (magnetic bubble memories) έχουν καλούς χρόνους προσπέλασης (από 4 μέχρι 7 ms), αλλά υστερούν σε χωρητικότητα (από 92.000 μέχρι 1310.720 bits) και χρόνο μεταφοράς (από 50.000 μέχρι 5000.000 bps) σε σχέση με τις συσκευές δίσκων. Η τεχνολογία των μνημών αυτών έχει αγγίσει τα όριά της και διαπιστώθηκε ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εμπορικούς παρά μόνο για στρατιωτικούς και διαστημικούς σκοπούς, επειδή δεν έχουν κινητά και συνεπώς ευαίσθητα μέρη.

Οι συσκευές ημιαγωγίμων δίσκων (semiconductor disks) εμφανίσθηκαν εμπορικά το 1978 και έκτοτε έχουν γνωρίσει σημαντική εξέλιξη και εφαρμογή σε περιπτώσεις αποθήκευσης βιβλιοθηκών προγραμμάτων, καταλόγων, προσωρινών αρχείων εργασίας, κλπ. Οι ημιαγωγιμοί δίσκοι διακρίνονται από πάρα πολύ γρήγορη προσπέλαση (πχ. 0,5 ms), μεγάλη χωρητικότητα (πχ. 700 Mb), χαμηλό κόστος και κατανάλωση ρεύματος. Πολλές τέτοιες συσκευές μπορούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα δεδομένα από πολλά κανάλια (από 2 μέχρι 4) επιτυγχάνοντας πολύ υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων (πχ. 12 Mb/sec).

Ωστόσο, η οπτική τεχνολογία διαφαίνεται ότι είναι η τεχνολογία του μέλλοντος, καθώς ήδη υπάρχουν νέες πρωτοποριακές συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης. Η οπτική ταινία (optical tape) διακρίνεται για τη δυνατότητα αποθήκευσης τεράστων χωρητικότητων σε πολύ μικρό όγκο. Για παράδειγμα, στο τέλος της χιλιετίας το υπόστρωμα της ταινίας θα φθάσει στο πάχος από 0,076 mm σε 0,013 mm. Επίσης, πραγματική αποθήκευση γίνεται μόνο στο 1/2 της επιφάνειας του οπτικού δίσκου, σε αντίθεση με την οπτική ταινία, όπου αποθήκευση γίνεται σε περισσότερο από τα 4/5 της επιφάνειάς της. Έτσι, τελικά για την ίδια επιφανειακή πυκνότητα αποθήκευσης, η πυκνότητα αποθήκευσης ως προς τον όγκο για μία οπτική ταινία είναι 25 φορές περισσότερο από ότι σε ένα οπτικό δίσκο, με προοπτική να γίνει 75 φορές περισσότερο. Ακόμη σε σχέση με τη μαγνητική ταινία, η οπτική ταινία διακρίνεται από:

- πολλαπλάσια αποθηκευτική ικανότητα (πχ. μαγνητική ταινία 3480 ποδών αποθηκεύει 10 GB, ενώ για την οπτική ταινία αναμένεται δυνατότητα για αποθήκευση 200 Gb στο τέλος της χιλιετίας),
- πολύ μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων (πχ. 3 Mb/sec με προοπτική από 4,5 μέχρι 10 Mb/sec στο τέλος της χιλιετίας), και
- μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Επί του παρόντος στα προϊόντα που διατίθενται στο εμπόριο χρησιμοποιείται ο γραμμικός τρόπος οργάνωσης των δεδομένων στην ταινία, υποστηρίζοντας μόνο τεχνολογία WORM.

Μία άλλη κατεύθυνση είναι η αξιοποίηση της τεχνικής της ολογραφίας (holography) για την ανάπτυξη ειδικών συσκευών, με σκοπό την εκμετάλλευση των τριών διαστάσεων του χώρου για την αποθήκευση δεδομένων. Για παράδειγμα, πειραματικά έχει επιτευχθεί η αποθήκευση 1000 εικόνων σε χρύσταλλο οξειδίου λιθίου-νιοβίου μήκους 1 cm, ενώ εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί αποθήκευση δεδομένων 10 Tb σε 1 cm³. Βέβαια, παρά την υψηλή αποθηκευτική ικανότητα, πρόβλημα παραμένει η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων.

Τέλος, μία άλλη κατεύθυνση είναι προς την ανάπτυξη δίσκων που στηρίζονται στο φαινόμενο της παγίδευσης ηλεκτρονίων (electron trapping). Με απλά λόγια, κατά την αποθήκευση, ένα στρώμα υλικού τύπου φωσφόρου δέχεται ακτίνα φωτός και εκπέμπει ηλεκτρόνια, που απορροφώνται από μία αγώγιμη ζώνη. Για την ανάγνωση δεδομένων, ο δίσκος σαρώνεται από φως διαφορετικής συχνότητας που αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να εξέλθουν από την αγώγιμη ζώνη και να εκπέψουν φωτόνια. Ανάλογα με την ένταση της ακτίνας φωτός κατά την αποθήκευση, εξάγονται περισσότερα ή λιγότερα ηλεκτρόνια, και κατά συνέπεια φωτόνια κατά την τελική φάση. Αυτό ισοδυναμεί με την αποθήκευση περισσότερων από ένα bit σε κάθε θέση. Έτσι, εκτιμάται ότι με τη μέθοδο αυτή θα επιτευχθούν υψηλές αποθηκευτικές επιδόσεις και ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων στο μέλλον. Μειονέκτημα είναι ότι μετά από κάθε ανάγνωση πρέπει να ακολουθήσει επανα-αποθήκευση με την ίδια αρχική διαδικασία. Ο Πίνακας 2.6 συνοψίζει τα μέχρι στιγμής δεδομένα για τις συσκευές που στηρίζονται στην οπτική τεχνολογία.

	Οπτικός δίσκος	Οπτική ταινία	Ολογραφία	Παγίδευση ηλεκτρονίου
Πλεονεκτήματα	Βιομηχανικό πρότυπο	Κόστος/Mb Διάρκεια ζωής	Πυκνότητα αποθήκευσης, Παραλληλισμός	Αποθηκευτική ικανότητα, Ταχύτητα μεταφοράς
Χωρητικότητα	5 Gb σε δίσκο 15 cm	200 Gb σε ταινία 3480 ft	1 Gb σε κάρτα 30x30 mm	10 Gb σε δίσκο 13 cm
Κύρια χρήση	Υπέρβαση εύκαμπτου δίσκου	Αρχειοθέτηση	Φορητά συστήματα	Βίντεο
Ανταγωνιστής	Φορητοί μαγνητικοί δίσκοι	Μαγνητική ταινία	Μαγνητικός δίσκος σε κάρτα	Πίνακες δίσκων RAID
Μειονεκτήματα	Χρόνος αναζήτησης	Σειριακή προσπέλαση	Καταστροφική ανάγνωση	Καταστροφική ανάγνωση

Πίνακας 2.6: Σύγκριση συσκευών που στηρίζονται στην οπτική τεχνολογία.

2.6 Πίνακες δίσκων RAID

Γενικά, οι χρήσεις των μαγνητικών δίσκων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- σε μεγάλες εγκαταστάσεις, υψηλού κόστους και επιδόσεων, που στηρίζονται σε αξιόπιστους μεγάλους δίσκους (πχ. μεγαλύτερους σε διάμετρο από 25 cm), και
- σε σταθμούς εργασίας και προσωπικούς υπολογιστές που χρησιμοποιούν φθηνότερους και μικρότερους δίσκους.

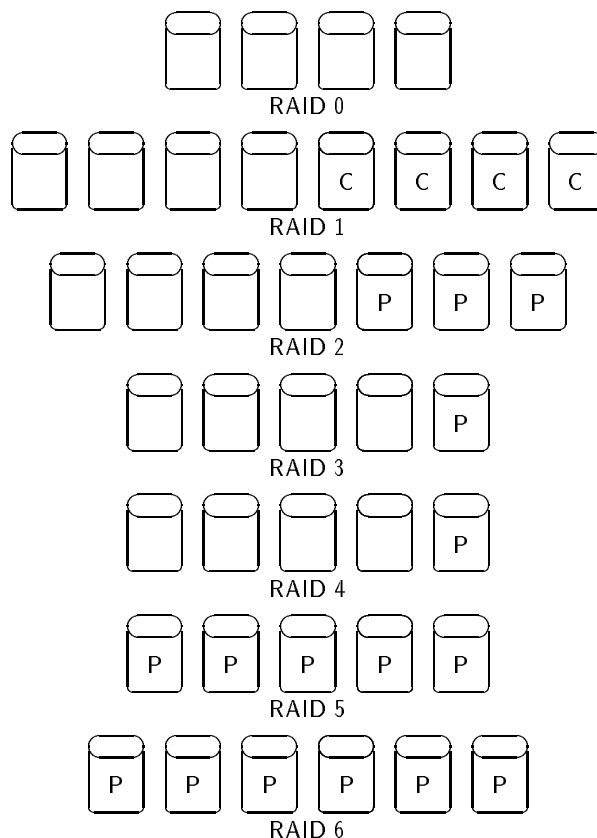
Στη δεκαετία του 80, το χάσμα μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών δίσκων ήταν σημαντικό. Από μία ομάδα ερευνητών, λοιπόν, τέθηκε το πρόβλημα: είναι δυνατόν να αντικατασταθεί ένας μεγάλος δίσκος από ένα σύνολο μικρών και φθηνών δίσκων; Έτσι, από τους Patterson, Katz και Gibson προτάθηκε (1988) η χρήση πινάκων δίσκων χαμηλού κόστους αντί των μεγάλων συστημάτων δίσκων. Οι διατάξεις αυτές ονομάστηκαν **Πλεονάζοντες Πίνακες μη Ακριβών Δίσκων** (Redundant Arrays of Inexpensive Disks, RAID).

Αν και οι μαγνητικοί δίσκοι είναι το κυρίαρχο μέσο αποθήκευσης, εντούτοις οι συσκευές αυτές δεν έχουν άπειρο χρόνο ζωής αλλά συχνά παθαίνουν βλάβες. Μία σημαντική παράμετρος, λοιπόν, που ενδιαφέρει κάθε

είδους χρήστη και κάθε είδους εφαρμογή είναι η αξιοπιστία του συστήματος. Όμως αν υποθεθεί ότι για ένα δίσκο ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (mean-time-between-failure, MTBF) είναι 200.000 ώρες, τότε ένα σύστημα 100 δίσκων θα έχει 2.000 ώρες ζωή πριν πάθει βλάβη. Το γεγονός ότι ένα σύστημα RAID αποτελείται από φθηνούς δίσκους, επιτρέπει τη λύση του προβλήματος της αξιοπιστίας με τον πλεονασμό (redundancy) των αποθηκευμένων δεδομένων, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται είτε αυτούσια δύο φορές, είτε συμπιεσμένα με τη βοήθεια ειδικών κωδικών διόρθωσης λαθών (error correcting codes). Έτσι σε περίπτωση βλάβης ενός δίσκου, είναι δυνατόν να γίνει πλήρης αποκατάσταση των δεδομένων χρησιμοποιώντας αυτούς τους κώδικες (πχ. Hamming κλπ.). Άρα, εκτός από το κόστος αποθήκευσης, ένα άλλο πλεονεκτήματα των συστημάτων RAID είναι η αυξημένη αξιοπιστία.

Τέλος, ένα τρίτο πλεονέκτημα των συστημάτων RAID είναι οι υψηλές επιδόσεις. Λόγω της ύπαρξης πολλών δίσκων, οι αποθηκεύσεις/αναγνώσεις από/προς τους δίσκους γίνονται παράλληλα χρησιμοποιώντας την τεχνική του stripping. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, μία λογική σελίδα τεμαχίζεται σε μικρότερα τμήματα και αποθηκεύεται στους δίσκους, έτσι ώστε εγγυημένα να υπάρχει ο μέγιστος παραλληλισμός (και όχι κάποιοι δίσκοι να εργάζονται, ενώ οι υπόλοιποι να παραμένουν αδρανείς).

Η αυξημένη επίδοση λόγω παραλληλισμού και η αυξημένη αξιοπιστία λόγω πλεονασμού είναι έννοιες αντιστρόφως ανάλογες. Δηλαδή, όσο περισσότεροι οι δίσκοι, τόσο καλύτερη η επίδοση, αλλά τόσο μικρότερη η αξιοπιστία (και το αντίστροφο). Έχουν προταθεί 7 αρχιτεκτονικές συστημάτων RAID που διαφέρουν στα σχήματα πλεονασμού και στις μεθόδους stripping. Κάθε μία από τις αρχιτεκτονικές αυτές έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στο Σχήμα 2.8 παρουσιάζονται τα 7 επίπεδα RAID. Μπορεί να λεχθεί ότι το επίπεδο 0 δεν είναι RAID, αλλά παρατίθενται για λόγους σύγκρισης. Το επίπεδο RAID 1 παριστά την τεχνική του καθρεπτισμού (mirroring) ή σκίασης (shadowing), όπου για κάθε δίσκο υπάρχει ακόμη ένας πανομοιότυπος, ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα C (από την αγγλική λέξη copy). Τα υπόλοιπα επίπεδα χρησιμοποιούν ειδικούς κώδικες διόρθωσης λαθών, οπότε περιττεύουν περισσότερες επεξηγήσεις στα πλαίσια του βιβλίου αυτού. Απλώς, σημειώνεται ότι το γράμμα P (από την αγγλική λέξη parity) δηλώνει που τοποθετούνται τα δεδομένα ισοτιμίας. Επίσης, σε σχέση με το σχήμα σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, για το χρήστη οι χρήσιμοι δίσκοι είναι 4.



Σχήμα 2.8: Επίπεδα αρχιτεκτονικής RAID.

Σήμερα, υπάρχουν εμπορικά προϊόντα RAID από διάφορες εταιρείες, όπως το σύστημα IBM Ramac, που είναι μία υλοποίηση του 5ου επιπέδου, το σύστημα AutoRAID της Hewlett-Packard, που υλοποιεί μία προσαρμοστική τεχνική αυτόματης επιλογής του κατάλληλου επιπέδου (από το 1ο ως το 5ο), το σύστημα StorageTEK 9200 της Iceberg, που υλοποιεί την αρχιτεκτονική του 6ου επιπέδου κλπ. Κοινός παρονομαστής όλων αυτών των προϊόντων είναι ότι οι επιμέρους δίσκοι δεν είναι ούτε μικροί, ούτε φθηνοί. Απεναντίας, οι συσκευές αυτές σκοπό έχουν κυρίως την υψηλή αξιοπιστία και ανήκουν στην κλάση των προϊόντων υψηλών επιδόσεων (high performance). Έτσι, πολλές φορές γράφεται ότι RAID σημαίνει Redundant Arrays of Independent Disks, δηλαδή Πλεονάζοντες Πίνακες Ανεξάρτητων Δίσκων αντί 'μη Ακριβών'.

2.7 Ασκήσεις

<1> Μαγνητική ταινία αποτελείται από 2400 πόδια, η πυκνότητα αποθήκευσης είναι 1600 bpi και η ταχύτητα ανάγνωσης/αποθήκευσης είναι 50 ίντσες/sec. Το κενό μεταξύ των εγγραφών είναι 0,5 ίντσα, ενώ ο χρόνος εκκίνησης/στάσης είναι 0,01 sec. Αν το μήκος της λογικής εγγραφής είναι 200 bytes, ποιός είναι ο βέλτιστος παράγοντας ομαδοποίησης ώστε $N\%$ της ταινίας να καταλαμβάνεται από block. Πόσο μήκος ταινίας χρειάζεται για να αποθηκευθούν A block μεγέθους B bytes;

<2> Πακέτο δίσκων αποτελείται από 11 χρήσιμες επιφάνειες, κάθε επιφάνεια έχει 200 ατράκτους, κάθε ατράκτος έχει 20 σελίδες και κάθε σελίδα αποτελείται από 512 bytes. Πόση είναι η συνολική χωρητικότητα σε bytes; Αν υποθεθεί ότι δεν επιτρέπεται μία εγγραφή να αποθηκευθεί κατά το ήμισυ σε δύο σελίδες, τότε πόσες εγγραφές των 120 bytes χωρούν σε 10 κυλίνδρους αυτού του συστήματος;

<3> Το λειτουργικό σύστημα αντιγράφει αρχεία από το μαγνητικό δίσκο σε μαγνητική ταινία που βρίσκεται σε συσκευή εκκίνησης/στάσης. Το μέγεθος της σελίδας είναι 512 bytes, η πυκνότητα αποθήκευσης είναι 1600 bpi, το κενό μεταξύ των block της ταινίας είναι 0,5 ίντσα και τέλος σε κάθε block χωρούν 20 σελίδες. Πόσες σελίδες χωρούν σε μία ταινία μήκους 2400 ποδών;

<4> Τα αρχεία των χρηστών ενός υπολογιστικού συστήματος καταλαμβάνουν 150.000 σελίδες. Για λόγους ακεραιότητας και ασφάλειας τα αρχεία που ενημερώνονται, αποθηκεύονται σε αρχεία ταινίας στο τέλος της ημέρας. Έστω επίσης ότι καθημερινά κατά μέσο όρο 20% των σελίδων του δίσκου αποθηκεύονται στην ταινία. Πόσος χρόνος απαιτείται καθημερινά για την αντιγραφή στις ταινίες, αν είναι γνωστό ότι η γραμμική ταχύτητα της ταινίας κατά την ανάγνωση και την αποθήκευση είναι 50 ίντσες/sec και ότι ο χρόνος εκκίνησης/στάσης είναι 0,02 sec. Ό,τι άλλα δεδομένα χρειάζονται να ληφθούν από την προηγούμενη άσκηση.

<5> Ας υποθεθεί ότι για την προηγούμενη άσκηση η ανάγνωση των σελίδων από το δίσκο γίνεται κατά διαδοχικούς κυλίνδρους. Τα δεδομένα βρίσκονται σε 30.000 σελίδες που μοιράζονται εξίσου σε 500 κυλίνδρους. Το πακέτο των δίσκων αποτελείται από τέσσερις χρήσιμες επιφάνειες και οι σελίδες που αντιστοιχούν σε ένα κύλινδρο μοιράζονται εξίσου σε αυτές. Ο ελάχιστος χρόνος εντοπισμού είναι ίσος με 7 ms, ο μέσος χρόνος περιστροφής είναι

8,3 ms, ενώ ο χρόνος μεταφοράς και ο χρόνος ενεργοποίησης των κεφαλών για προσέγγιση στις επιφάνειες θεωρείται αμελητέος. Να υπολογισθεί και πάλι ο απαιτούμενος χρόνος για την αντιγραφή στις ταινίες.

<6> Να βρεθεί η μέση τιμή των κυλίνδρων που σαρώνονται σε μία τυχαία προσπέλαση. Το σύνολο των κυλίνδρων είναι C και θεωρείται ότι κάθε κύλινδρος προσπελάται ισοπίθανα. Αν υποθεθεί ότι οι κύλινδροι ενός συστήματος αρχείων δεν προσπελάζονται ισοπίθανα, τότε ποιός είναι ο καλύτερος τρόπος διάταξης του περιεχομένου των κυλίνδρων ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος εντοπισμού;

<7> Συνήθως οι κατασκευαστές μαγνητικών δίσκων δίνουν τον ελάχιστο, το μέγιστο και το μέσο χρόνο αναζήτησης. Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή αντιστοιχούν στον απαιτούμενο χρόνο για τη μετάβαση των κεφαλών σε γειτονικό κύλινδρο και από τον πρώτο ως τον τελευταίο κύλινδρο, αντίστοιχα. Τα μεγέθη αυτά είναι πραγματικά και ασφαλή. Ο μέσος χρόνος αναζήτησης υπολογίζεται ως το άθροισμα των χρόνων αναζήτησης για όλες τις δυνατές αποστάσεις δια του αριθμού των δυνατών αποστάσεων. Να υπολογισθεί ο μέσος χρόνος αναζήτησης για το δίσκο HP 97560. Γιατί στην πράξη ο μέσος χρόνος αναζήτησης είναι μικρότερος;