

## Κεφάλαιο 13

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΩΝ

13.1 Εισαγωγή

13.2 Κριτήρια επιλογής της κατάλληλης οργάνωσης

13.3 Επίλογος

13.4 Ασκήσεις

## Κεφάλαιο 13

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΩΝ

#### 13.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε μία σειρά μεθόδων προσπέλασης (access methods), δηλαδή οργανώσεων αρχείων και αλγορίθμων διαχείρισης, οι οποίες είναι προσανατολισμένες στην επεξεργασία με βάση το πρωτεύον ή/και το δευτερεύον κλειδί. Δηλαδή οι οργανώσεις είναι οι δομές, ενώ οι αλγόριθμοι διαχείρισης είναι οι τρόποι επεξεργασίας της δομής και εκτελούνται από ένα σύνολο ρουτινών. Το κύριο πρόβλημα, λοιπόν, στη φυσική σχεδίαση ενός συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων είναι η διάταξη των εγγραφών, ώστε η προσπέλασή τους από τα προγράμματα εφαρμογής να γίνεται κατά αποτελεσματικό τρόπο.

Η επεξεργασία με βάση το πρωτεύον κλειδί μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω βασικές ερωτήσεις:

- απλή ερώτηση με βάση μία συγκεκριμένη τιμή,
- μαζική (batched) ερώτηση μερικών ταξινομημένων εγγραφών που θα εξετασθεί ειδικότερα στη συνέχεια,
- ερώτηση διαστήματος, ή τέλος
- εξαντλητική ερώτηση όλων των εγγραφών.

Στον Πίνακα 13.1 γίνεται μία ανακεφαλαίωση της επίδοσης των ερωτήσεων αυτών στα αρχεία πρωτεύοντος κλειδιού. Όπου Α σημαίνει ότι η επίδοση

| Δομή αρχείου          | Ερώτηση |        |             |             |
|-----------------------|---------|--------|-------------|-------------|
|                       | Απλή    | Μαζική | Διαστήματος | Εξαντλητική |
| Σωρός                 | E       | Γ      | E           | B           |
| Σειριακό ταξινομημένο | Δ       | Γ      | Δ           | A           |
| Σειριακό με δείκτη    | B       | Γ      | B           | B           |
| Δενδρικό              | A       | B      | A           | Γ           |
| Τυχαίο στατικό        | B       | E      | E           | Δ           |
| Τυχαίο δυναμικό       | A       | Δ      | Δ           | Γ           |

Πίνακας 13.1: Επίδοση δομών σε ερώτηση με βάση πρωτεύον κλειδί.

είναι πολύ καλή, το B σημαίνει καλή επίδοση, το Γ δηλώνει ότι απαιτείται μικρή προσπάθεια, το Δ ότι απαιτείται πολλή προσπάθεια, ενώ το E ότι δεν είναι λογική η χρήση της οργάνωσης αυτής για τέτοιου είδους ερώτηση. Ο πίνακας αυτός είναι αρκετά εύγλωττος όσον αφορά στην επιλογή μίας δομής για την αποτελεσματική υλοποίηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής.

| Δομή αρχείου           | Ερώτηση  |        |                  |             |
|------------------------|----------|--------|------------------|-------------|
|                        | Σημειακή | Μαζική | Μερικής Ταύτισης | Διαστήματος |
| Αντεστραμμένα αρχεία   | B        | B      | B                | Γ           |
| Πολλαπλές λίστες       | B        | Γ      | Γ                | Γ           |
| Συνδυασμένοι κατάλογοι | B        | Γ      | A                | Γ           |
| Πολυδιάστατα δένδρα    | B        | B      | B                | B           |
| Δικτυωτό αρχείο        | A        | B      | A                | A           |

Πίνακας 13.2: Επίδοση δομών σε ερώτηση με βάση δευτερεύον κλειδί.

Αν οι εγγραφές πρόκειται να ανακτηθούν με βάση περισσότερο από ένα κλειδιά, τότε οι οργανώσεις του Πίνακα 13.1 δεν είναι οι πλέον κατάλληλες, γιατί μεροληπτούν σε βάρος μερικών κλειδιών. Στον Πίνακα 13.2 ανακεφαλαιώνεται η επίδοση των δομών που εξετάστηκαν στο ενδέκατο κεφάλαιο σε σχέση με:

- τη σημειακή ερώτηση,
- τη μαζική ερώτηση,
- την ερώτηση μερικής ταύτισης, και τέλος

- την ερώτηση διαστήματος.

Υπενθυμίζεται ότι τα δικτυωτά αρχεία είναι μία από τις πιο σύγχρονες και αποτελεσματικές οργανώσεις όταν οι τιμές των δεδομένων κάθε πεδίου υπακούουν σε ομοιόμορφη στατιστική κατανομή, οπότε με τη δομή αυτή απαιτούνται δύο μόνο προσπελάσεις στο δίσκο για τη σημειακή ερώτηση. Αν οι κατανομές των τιμών των πεδίων δεν είναι ομοιόμορφες, τότε η δομή αυτή είναι προβληματική από άποψη χώρου. Τα πολυδιάστατα δένδρα και τα πολυδιάστατα B-δένδρα είναι επίσης αξιόλογες δομές για την ικανοποίηση σημειακών ερωτήσεων και ερωτήσεων διαστήματος. Συχνότερα όμως στην πράξη συναντώνται οι παραδοσιακές οργανώσεις των αντεστραμμένων αρχείων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναπτυχθούν και άλλες δομές που έχουν προταθεί στην πρόσφατη βιβλιογραφία και μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της αναζήτησης με βάση το πρωτεύον και το δευτερεύον κλειδί σε εξειδικευμένες εφαρμογές (για παράδειγμα τα R-δένδρα, δες Κεφάλαιο 14.2). Τέλος, αξ σημειωθεί ότι οι δύο προηγούμενοι πίνακες δεν δίνουν την επίδοση των δομών κατά την εισαγωγή και τη διαγραφή, λειτουργίες που οπωσδήποτε χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.

### 13.2 Κριτήρια επιλογής της κατάλληλης οργάνωσης

Η επιλογή της κατάλληλης οργάνωσης γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια. Καμία δομή δεν μπορεί να χαρακτηριστεί γενικά ως η καλύτερη για κάθε λειτουργία. Πολύ περισσότερο η επιλογή μίας δομής για ένα πρόβλημα δεν είναι εύκολη υπόθεση, γιατί μπορεί δύο ή περισσότερες οργανώσεις να λειτουργούν περίπου το ίδιο ικανοποιητικά. Μία όσο το δυνατόν πιο εμπειριστατωμένη απάντηση πρέπει να εξετάσει τους εξής πέντε παράγοντες:

- τύπος, όγκος και χαρακτηριστικά των δεδομένων,
- πρότυπα χρήσης αρχείου (κυρίως ερώτηση, εισαγωγή ή διαγραφή),
- δομή, οργάνωση και χαρακτηριστικά (ταχύτητα, χωρητικότητα κλπ.) του υλικού,
- απαιτήσεις, όπως χρόνος προσπέλασης, ποσοστό χρήσης των υπολογιστικών πόρων κλπ., και τέλος,
- άλλα κριτήρια, όπως πχ. διαθεσιμότητα, ανακτησιμότητα, τρωσιμότητα, αξιοπιστία, εξελιξιμότητα, ασφάλεια, ακεραιότητα κλπ.

Στη συνέχεια σχολιάζονται μερικές ποιοτικές παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου αρχείου. Ποσοτικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τα στοιχεία αυτά είτε

- με αναλυτικές μεθόδους, οπότε για να υλοποιηθεί ένα μοντέλο θα πρέπει να γίνουν αρκετές απλοποιήσεις, είτε
- με προσομοίωση, που είναι μία σύνθετη και πιο χρονοβόρα διαδικασία.

Το μέγεθος του αρχείου (file size) μετράται σε χαρακτήρες και ισούται με το γινόμενο του πλήθους των εγγραφών επί το μέγεθος μίας εγγραφής σε bytes. Το μέγεθος μίας εγγραφής ισούται με το άθροισμα των μηκών των πεδίων της εγγραφής σε bytes. Αν είναι γνωστό το τρέχον μέγεθος του αρχείου και γίνει σωστή πρόβλεψη για την εξέλιξη του μεγέθους του αρχείου στο μέλλον, τότε μπορεί να επιλεγθεί επαρκές υλικό δευτερεύουσας μνήμης. Αν η εγγραφή είναι μεταβλητού μήκους, τότε η κατάσταση είναι συνθετότερη και πρέπει να γίνει λεπτομερέστερη ανάλυση για την εύρεση του τύπου των εγγραφών.

| Δομή αρχείου       | Αιτία επιπρόσθετου απαιτούμενου χώρου  |
|--------------------|--|
| Σειριακά με δείκτη | Χώρος για δείκτες (συνήθως τρία επίπεδα ή και περισσότερα) και περιοχή υπερχείλισης.       |
| B-δένδρα           | Δείκτες προς τους κόμβους. Μέση χρησιμοποίηση του χώρου περίπου 69%.                       |
| Δικτυωτά αρχεία    | Γραμμικές κλίμακες, δικτυωτός κατάλογος. Στους κάδους μέση χρησιμοποίηση του χώρου 69%.    |
| Στατικά Τυχαία     | Μη χρησιμοποιημένος χώρος στους κάδους απαιτεί δείκτες για τις νέες εγγραφές υπερχείλισης. |
| Δυναμικά Τυχαία    | Δενδρικοί κατάλογοι. Μέση χρησιμοποίηση του χώρου περίπου 69%.                             |

Πίνακας 13.3: Επιπλέον απαιτούμενος χώρος.

Στον Πίνακα 13.3 δίνεται ένας κατάλογος που δίνει για τις κυριότερες οργανώσεις αρχείων το χώρο που δεσμεύεται πλέον του χώρου που καταλαμβάνεται μόνο από τις εγγραφές. Παρατηρείται γενικά ότι οι δομές που

είναι ισοζυγισμένες και δυναμικές θεωρητικά επιτυγχάνουν μέση χρησιμοποίηση του χώρου περίπου 69% (για παράδειγμα, η οικογένεια B-δένδρων, το δικτυωτό αρχείο, τα δυναμικά τυχαία αρχεία κλπ). Αλλά και στις στατικές δομές υπάρχει ελεύθερος χώρος (τόσο στο κύριο αρχείο, όσο και στην περιοχή υπερχειλίσης, όπως στη δομή ISAM) με μέγεθος που πρέπει να εκτιμηθεί από το σχεδιαστή της φυσικής οργάνωσης.

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί παρεπιπτόντως ότι στην πράξη οι κατασκευαστές λογισμικού δεν υλοποιούν τις δομές όπως ακριβώς περιγράφονται θεωρητικά. Για παράδειγμα, στο B<sup>+</sup>-δένδρο, που είναι η βασική δομή στο φυσικό επίπεδο κάθε συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων, δεν γίνονται συγχωνεύσεις κόμβων όταν η περιεκτικότητά τους είναι λιγότερο από 50%. Έτσι, προφανώς η μέση τιμή του παράγοντα χρησιμοποίησης χώρου γίνεται λιγότερο από 69%. Ο πρώτος λόγος για την επιλογή αυτή είναι ότι συνήθως οι διαγραφές εκτελούνται σπανιότερα από τις εισαγωγές και επομένως το κόστος σε χώρο δεν είναι σημαντικό. Δεύτερον, με την εξέλιξη των μέσων αποθήκευσης, το κόστος του απαιτούμενου χώρου καθίσταται συνεχώς μικρότερο. Ο τρίτος λόγος για την επιλογή αυτή είναι, ότι έτσι η δομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από περισσότερους χρήστες, καθώς εκτελούνται λιγότερα κλειδώματα κόμβων (δες Κεφάλαιο 15.4). Από τον Shasha (1989) έχει εξετασθεί ένα B-δένδρο με  $n$  εγγραφές, όπου γίνονται  $m \gg n$  ενημερώσεις. Αν, λοιπόν, κάθε ενημέρωση αντιμετωπισθεί ως μία διαγραφή και μία εισαγωγή, τότε αποδεικνύεται αναλυτικά ότι αν οι κόμβοι συγχωνεύονται μόνο όταν είναι τελείως κενοί, τότε η μέση χρησιμοποίηση του χώρου είναι μόλις 39%.

Κατά τη φάση του φυσικού σχεδιασμού, λοιπόν, ο αναλυτής πρέπει να εκτιμήσει το διατιθέμενο χώρο για την κύρια και τη δευτερεύουσα μνήμη. Για παράδειγμα, αν ο συνολικός καταλαμβανόμενος χώρος αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα, τότε ίσως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή (για παράδειγμα, παθολογική περίπτωση επεκτατού κατακερματισμού). Επίσης, μερικές οργανώσεις έχουν καλή απόδοση μόνο αν ο κατάλογος τους βρίσκεται στην κύρια μνήμη. Επομένως, ακόμη και αν ο δίσκος είναι μεγάλης χωρητικότητας, η μη ύπαρξη της απαιτούμενης κύριας μνήμης καθιστά τις δομές του δικτυωτού αρχείου και των τυχαίων δυναμικών οργανώσεων (εκτός του γραμμικού κατακερματισμού) απρόσφορες.

Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται ότι για την οικονομικότερη αποθήκευση των δεδομένων και την ταχύτερη απόκριση χρησιμοποιείται πολύ συχνά στη πράξη η τεχνική της συμπίεσης (compression). Στη βιβλιογραφία συνα-

ντάται πληθώρα τεχνικών συμπύεσης που είτε εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή είτε όχι. Στο Κεφάλαιο 15.2 γίνεται μία επιλεγμένη παρουσίαση μερικών μεθόδων συμπύεσης. Ακόμη κατά το λογικό σχεδιασμό μίας βάσης δεδομένων πρέπει να προσεχθεί ποιά είναι τα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ των διαφόρων αρχείων (δηλαδή, πινάκων κατά το σχεσιακό μοντέλο). Με σκοπό τον περιορισμό των πλεοναζόντων δεδομένων (redundant data) επιδιώκεται αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά να αποθηκευθούν μόνο μία φορά. Το αντικείμενο αυτό θα εξετασθεί λεπτομερώς στα πλαίσια του μαθήματος των Βάσεων Δεδομένων.

Με τον όρο **χρόνος ανάπτυξης** (development time) εννοούνται οι εξής παράγοντες:

- υπονοείται ο απαιτούμενος χρόνος για την ανάπτυξη και συντήρησης του λογισμικού. Μία πιο σύνθετη δομή αρχείου απαιτεί, προφανώς, περισσότερο χώρο για να δημιουργηθεί.
- υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να συνυπολογισθούν στο χρόνο ανάπτυξης του αρχείου, όπως ο χρόνος ανάπτυξης του λογισμικού για τα βοηθητικά αρχεία, όπως το αρχείο συναλλαγών κλπ.
- η **δοκιμασία** (testing) του λογισμικού του αρχείου είναι ένας τρίτος παράγοντας.

Εναλλακτικά, αντί να γίνει πλήρης ανάπτυξη του λογισμικού, μπορεί να χρησιμοποιηθούν έτοιμες βιβλιοθήκες για μεθόδους προσπέλασης, που διατίθενται είτε εμπορικά είτε είναι διαθέσιμες μέσω του διαδικτύου. Σε μία τέτοια περίπτωση, απαιτείται προσπάθεια για την ενοποίηση και την ομογενοποίηση των συνιστωσών.

Ο απαιτούμενος **χρόνος απόκρισης** (responce time) είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψη κατά το φυσικό σχεδιασμό του συστήματος μίας εφαρμογής. Για παράδειγμα, αν απαιτείται απόκριση σε χρόνο της τάξης του δευτερολέπτου στη χειρότερη περίπτωση και όχι της τάξης λεπτών ή περισσότερο, τότε το τυχαίο αρχείο είναι η μοναδική επιλογή. Αν οι απαιτήσεις των χρηστών για προσπέλαση σε κάποιο αρχείο είναι πολύ συχνές, τότε είναι επιθυμητό ο χρόνος απόκρισης να είναι μικρός ιδιαίτερα σε αυτή τη δομή. Ωστόσο, ο χρόνος απόκρισης εξαρτάται από πολλούς σύνθετους παράγοντες. Για παράδειγμα, αποτελεί αντικείμενο της περιοχής της Αξιολόγησης Επίδοσης (Perfromance Evaluation) η μελέτη ιδιαίτερων παραγόντων, όπως ο ρυθμός άφιξης των αιτήσεων προς το

σύστημα, τα ίδια χαρακτηριστικά του συστήματος (όπως αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης, χρόνος εντοπισμού, ταχύτητα επεξεργασίας, διαθέσιμη απομονωτική μνήμη, αλγόριθμος αντικατάστασης σελίδων) κλπ. Σε κρίσιμες εφαρμογές όπως σε συστήματα πραγματικού χρόνου (όπως σε συστήματα αεροπορικών εταιρειών για κράτησεις θέσεων, σε τραπεζικά ή χρηματιστηριακά συστήματα κλπ.), πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές παράλληλης αναζήτησης, ενώ επίσης πρέπει η δομή του αρχείου να λαμβάνει υπ' όψη την ελαχιστοποίηση του χρόνου εντοπισμού.

Σε ένα σύστημα πολλών χρηστών είναι οι δυνατόν οι ερωτήσεις να ομαδοποιηθούν και να απαντηθούν ως σύνολο. Δηλαδή, αγνοώντας τη σειρά άφιξης των ερωτήσεων και διατάσσοντας τις κατά κάποιο διαφορετικό τρόπο μπορεί και:

- οι πόροι του συστήματος να χρησιμοποιηθούν πιο αποδοτικά (εργασίες στην κύρια μνήμη και στο δίσκο), αλλά και
- η μέση χρονική απόκριση προς τους χρήστες να ελαττωθεί.

Αυτή η μέθοδος, που είναι γνωστή ως **μαζικοποίηση** (batching), αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Shneiderman (1976) και μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο κατά την επεξεργασία δομών της δευτερεύουσας ή της κύριας μνήμης όσο και σε χρονοδρομολόγηση δίσκων. Για παράδειγμα, αντί οι αναζητήσεις σε ένα σειριακό ή σε ένα δενδρικό αρχείο να εκτελεστούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη ανάλογα με τη σειρά άφιξης, είναι δυνατόν τα κλειδιά των αναζητούμενων εγγραφών να συγκεντρωθούν και να διαταχθούν κατά την τάξη του αρχείου ώστε να απαντηθούν ομαδικά. Έτσι η εξοικονόμηση προσπελάσεων στο δίσκο μπορεί να είναι σημαντική, και ιδιαίτερα με τη βοήθεια μεγάλων απομονωτικών μνημών. Όπως γίνεται όμως αντιληπτό η τεχνική αυτή κάνει διάκριση σε βάρος μερικών ερωτήσεων που καθυστερεί η εξυπηρέτησή τους, ώστε να εξυπηρετηθεί γρηγορότερα το σύνολο των ερωτήσεων. Έτσι δεν ενδείκνυται για χρήση σε συστήματα πραγματικού χρόνου.

Η **δραστηριότητα** (activity) ενός αρχείου είναι ένα μέτρο που δείχνει το ποσοστό των εγγραφών του κύριου αρχείου που ενημερώνεται σε κάθε τρέξιμο ενός προγράμματος εφαρμογής. Ένα αρχείο με πολύ μεγάλο δείκτη δραστηριότητας κατά προτίμηση οργανώνεται κατά σειριακό τρόπο, επειδή σχεδόν κάθε εγγραφή θα πρέπει να προσπελασθεί και να ενημερωθεί κατά τη διάρκεια του τρεξίματος της εφαρμογής. Ένα αρχείο με χαμηλό δείκτη δραστηριότητας θα είναι περισσότερο αποτελεσματικό αν οργανωθεί κατά



τυχαίο τρόπο έτσι ώστε να προσπελάζονται κάθε φορά μόνο οι εγγραφές που θα ενημερωθούν. Όταν μερικά πεδία μίας εγγραφής δεν ενημερώνονται τόσο συχνά όσο άλλα, τότε επιτυγχάνεται καλύτερη επίδοση αν το αρχείο χωρισθεί σε δύο μικρότερα, το ένα αρχείο σταθερό και το άλλο με μεγαλύτερη δραστηριότητα. Το πρόβλημα αυτό είναι και αντικείμενο του λογικού σχεδιασμού των βάσεων δεδομένων και θα μελετηθεί στα πλαίσια του αντίστοιχου μαθήματος.

Η μεταβλητότητα (volatility) ενός αρχείου είναι το μέτρο που δείχνει το ποσοστό των εγγραφών που εισάγονται ή διαγράφονται από το κύριο αρχείο. Ένα πολύ μεταβαλλόμενο σειριακό κύριο αρχείο ανανεώνεται με μία διαδικασία συγχώνευσης των νέων εγγραφών με τις εγγραφές του αρχείου συναλλαγών για να προκύψει το νέο κύριο αρχείο. Η επίδοση των σειριακών αρχείων φθίνει όσο αυξάνει η μεταβλητότητα του αρχείου επειδή είναι απαραίτητη μία εκτεταμένη αναδιοργάνωση ακόμη και για περιορισμένο αριθμό εισαγωγών ή/και διαγραφών. Γενικά, οι στατικές δομές δεν προσφέρονται σε εφαρμογές που διακρίνονται από υψηλή μεταβλητότητα.

Οι δύο αυτές έννοιες της δραστηριότητας και της μεταβλητότητας δίνουν το βαθμό προσπέλασης του αρχείου για αναζήτηση ή για ενημέρωση, αντίστοιχα, σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Ποσοτικά μάλιστα εκφράζονται με το λόγο των εγγραφών που αναζητώνται ή ενημερώνονται, αντίστοιχα, προς το σύνολο των εγγραφών. Όσο ο πρώτος λόγος τείνει προς τη μονάδα (το μηδέν), τόσο πιο ισχυρό είναι το επιχείρημα υπέρ της σειριακής (αντίστοιχα, της τυχαίας) οργάνωσης. Η επιλογή είναι δύσκολη όταν αυτός ο λόγος είναι, για παράδειγμα, 30% ή 50%. Μία τέτοια επιλογή θα μπορούσε να υποστηριχθεί μόνο με βάση τα αποτελέσματα μίας προσομοίωσης. Ακόμη πρέπει να διασαφηνισθεί αν ο παράγοντας μεταβλητότητας οφείλεται σε απλές ενημερώσεις ή σε εισαγωγές και διαγραφές. Μία δομή αρχείου ISAM δεν δημιουργεί προβλήματα στην πρώτη περίπτωση, δημιουργεί όμως στη δεύτερη. Αντίθετα η οικογένεια των Β-δένδρων συμπεριφέρεται πολύ ομαλά στις εισαγωγές και διαγραφές.

Στις λεγόμενες Στατιστικές βάσεις δεδομένων κάθε εγγραφή έχει πάρα πολλά πεδία και συνεπώς έχει μεγάλο μήκος, ενώ ταυτόχρονα ο αριθμός των εγγραφών είναι επίσης τεράστιος. Ένα κλασικό παράδειγμα της κατηγορίας αυτής είναι τα αρχεία που προκύπτουν κατά τις απογραφές πληθυσμού. Σε εφαρμογές αυτού του είδους απαιτείται η εύρεση του μέγιστου, του ελάχιστου, του μέσου όρου ή της απόκλισης των τιμών ενός συγκεκριμένου πεδίου. Βέβαια σε μία τέτοια περίπτωση η δραστηριότητα ισούται με τη

μονάδα, όμως η οργάνωση των δεδομένων στο περιβάλλον αυτό αντιμετωπίζεται διαφορετικά. Επειδή απαιτείται η σάρωση όλης της δομής του αρχείου εκτελώντας μία εξαντλητική αναζήτηση με βάση ένα μόνο συγκεχυμένο πεδίο του αρχείου για κάθε ερώτηση κάθε φορά, χρησιμοποιείται μία διαφορετική οργάνωση: το **αρχείο αντιμετάθεσης** (transposed file), που προτάθηκε από τον Easton (1969). Η δομή αυτή αποτελείται από τόσες εγγραφές όσα είναι τα πεδία του αρχικού αρχείου, ενώ κάθε εγγραφή του νέου αρχείου αποτελείται από τις τιμές ενός πεδίου από όλες τις εγγραφές του αρχικού αρχείου. Η τάξη των πεδίων στις εγγραφές του αρχείου αντιμετάθεσης είναι η ίδια με την τάξη των εγγραφών στο αρχικό αρχείο και δεν περιέχει καθόλου δείκτες προς κάποιο άλλο αρχείο (είναι κύριο αρχείο αυτό το ίδιο). Είναι προφανές ότι το μέγεθος του αρχείου αντιμετάθεσης είναι ίσο με το μέγεθος του αρχικής δομής. Ωστόσο στις διαδοχικές τιμές μίας εγγραφής του αρχείου αντιμετάθεσης μπορεί να εφαρμοσθεί μία τεχνική συμπίεσης με σκοπό τη μεγαλύτερη οικονομία σε χώρο και χρόνο. Εν πάσει περιπτώσει, για τη στατιστική επεξεργασία ενός πεδίου του αρχικού αρχείου δεν προσπελάζονται από το δίσκο άσχετα δεδομένα αλλά μόνο η σχετική εγγραφή του αρχείου αντιμετάθεσης. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος για τη δημιουργία και την ενημέρωση του αρχείου αντιμετάθεσης λόγω των εισαγωγών και διαγραφών είναι υψηλό.

Στενά συνδεδεμένη με τις βασικές έννοιες της δραστηριότητας και της μεταβλητότητας είναι η έννοια της **συχνότητας χρήσης** (frequency of use) του αρχείου. Ο παράγοντας αυτός είναι επίσης πολύ σπουδαίος για τη σωστή φυσική σχεδίαση. Κατά κανόνα όσο πιο συχνά χρησιμοποιείται μία δομή, τόσο πιο ισχυροί είναι οι λόγοι που επιβάλλουν την υλοποίηση του με μία τυχαία οργάνωση.

Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι η **συχνότητα αναφοράς των εγγραφών** μίας δομής δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλεται. Δηλαδή, πρακτικά έχει διαπιστωθεί ότι το 80% (το 20%) των εγγραφών αναζητώνται με πιθανότητα 20% (αντίστοιχα, με πιθανότητα 80%). Αυτή η παρατήρηση λέγεται κανόνας του Heising και συνετέλεσε στον ορισμό της λεγόμενης στατιστικής κατανομής 80-20 (1963). Συνήθως μάλιστα οι πιο συχνά αναζητούμενες εγγραφές είναι εκείνες που έχουν εισαχθεί στη δομή τελευταίες. Έτσι αν κάποια ανταλλακτικά μίας αποθήκης αναζητώνται πιο συχνά τότε θα έπρεπε να τοποθετηθούν στη δομή, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος απόκρισης (για παράδειγμα, στην αρχή μίας αλυσίδας και όχι στο τέλος της). Οι δευτερεύοντες κατάλογοι ενός αρχείου θα έπρεπε να αντιμετωπισθούν κατά τον ίδιο τρόπο, θα έπρεπε να τοποθετηθούν στον κεντρικό κύλινδρο

του δίσκου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος εντοπισμού. Για λόγους ευκολίας πολύ συχνά χρησιμοποιείται σε μελέτες με αναλυτικό υπόβαθρο η υπόθεση εργασίας ότι όλες οι εγγραφές αναζητώνται ισοπίθانا. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ωστόσο από το Χριστοδουλάκη ότι η παραδοχή οδηγεί σε πεσομιστικές εκτιμήσεις των διαφόρων χρονικών απαιτήσεων (1984).

Με τον όρο **ομαδοποίηση, συγκέντρωση ή συνάθροιση** (clustering, aggregation) των δεδομένων εννοείται η τεχνική τοποθέτησης των εγγραφών που σχετίζονται και θα αναζητηθούν ταυτόχρονα στην ίδια σελίδα ή σε γειτονικές σελίδες στο δίσκο. Κατά τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη επίδοση κατά την αναζήτηση. Για παράδειγμα, δίνεται ένα αρχείο ανταλλακτικών με πρωτεύον κλειδί τον κωδικό του ανταλλακτικού που είναι ένα αλφαριθμητικό πεδίο. Έστω, επίσης ότι τα κομμάτια με κωδικούς από 217AK300 ως 217AK700 αποθηκεύονται στην ίδια περιοχή του δίσκου. Ωστόσο, διαδοχικές εισαγωγές εκατό κομματιών από 217AK400 ως το 217AK499 μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα στη φυσική οργάνωση. Μερικές δομές μπορούν να απορροφήσουν τη συγκέντρωση των δεδομένων χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα (οικογένεια Β-δένδρων). Σε άλλες δομές όμως δημιουργείται τοπική υπερχειλίση με τη συνακόλουθη πτώση της επίδοσης, ενώ σε άλλα σημεία της δομής το ποσοστό χρησιμοποίησης του χώρου είναι σχετικά χαμηλό. Σωστή φυσική σχεδίαση της συνάθροισης των δεδομένων απαιτεί σύνθετα μαθηματικά εργαλεία, όπως για παράδειγμα μαθηματικό προγραμματισμό. Η επισκόπηση από τον March (1983) είναι ιδιαίτερα κατατοπιστική.

Σε πολλές εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι πολύ κρίσιμο θέμα να υπάρχει υψηλή **διαθεσιμότητα** (availability) του αρχείου, δηλαδή να είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμο και πλήρως ενημερωμένο. Στις περιπτώσεις αυτές δεν ισχύει η μέθοδος της διατήρησης κύριου αρχείου και αρχείου συναλλαγών. Όλες οι εισαγωγές και διαγραφές πρέπει να γίνουν στο κύριο αρχείο που πρέπει να είναι στην εντέλεια ενημερωμένο. Αυτό έχει ως συνέπεια την αποφυγή σειριακών αρχείων. Ακόμη μερικές φορές οι συσκευές αποθήκευσης παθαίνουν βλάβες. Για να αποφευχθεί αυτή η καταστροφική περίπτωση, τα δεδομένα αποθηκεύονται δύο ή και περισσότερες φορές σύμφωνα με την πρακτική των συστημάτων RAID (δες Κεφάλαιο 2.6). Έτσι, οι εφαρμογές είναι πάντοτε on-line, ακόμη και αν κάποια δεδομένα χαθούν από βλάβη του λογισμικού ή του δίσκου. Μία δεύτερη εναλλακτική λύση είναι η χρήση φορητών off-line δίσκων και γενικά η τακτική λήψη φεδρικών αντιγράφων (backups).

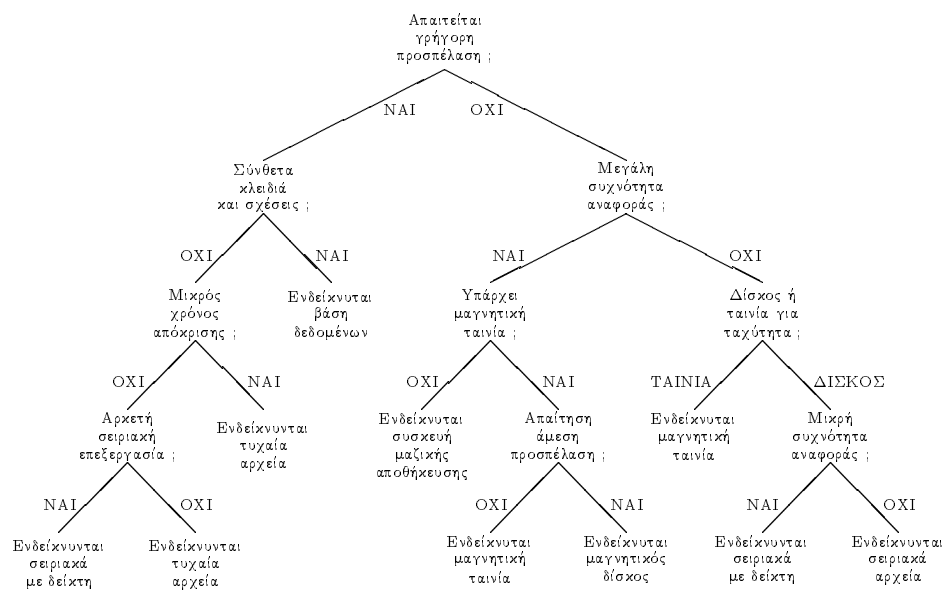
Άλλοτε μπορεί να μην καταστραφεί ο ολόκληρος ο δίσκος, αλλά μόνο ένα μικρό τμήμα του. Παλαιότερα ήταν απαραίτητο να υπάρχουν ρουτίνες ανάκτησης ή αναδημιουργίας των αρχείων από τα εφεδρικά αρχεία και τα υπόλοιπα βοηθητικά ή ιστορικά αρχεία. Στα συστήματα RAID η περίπτωση αυτή αντιμετωπίζεται συστηματικά, και η αποκατάσταση των δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια ειδικών κωδικών διόρθωσης λαθών (error correcting codes). Η **ανάκτηση** (recovery), λοιπόν, είναι μία ακόμη σημαντική παράμετρος.

Η διαδικασία της **αναδιοργάνωσης**, όπως εξετάσθηκε, σε δυναμικές δομές γίνεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της δομής. Αντίθετα σε στατικές δομές (όπως σειριακά, τυχαία αρχεία, ISAM κλπ.), όταν περιοδικά εκτελείται αυτή η αναγκαία διαδικασία, τότε το αρχείο τίθεται off-line, δηλαδή δεν είναι διαθέσιμο στους χρήστες. Το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής του χρόνου αναδιοργάνωσης έχει προσεγγισθεί αναλυτικά κατά πολλούς τρόπους που αναφέρονται στην επισκόπηση του Sockut (1979). Στην πράξη ίσως χρησιμοποιούνται μάλλον πρακτικές συνταγές για τη σωστή επιλογή του χρόνου αναδιοργάνωσης. Για παράδειγμα, αν γίνει δεκτό ότι σε αρχείο ISAM οι εγγραφές υπερχειλίσας καταλαμβάνουν το 80% του συνολικού χώρου που έχει διατεθεί για την υπερχείλιση, τότε μία τέτοια πρακτική συνταγή υπαγορεύει ότι: *‘Αναδιοργάνωση του αρχείου πρέπει να γίνει την πρώτη νύκτα που η περιοχή υπερχειλίσας υπερβαίνει το 75% του συνολικού χρησιμοποιημένου χώρου και όταν η μέση ημερήσια αύξηση της περιοχής υπερχειλίσας είναι 10%’*.

Η **τρωσιμότητα** (vulnerability) σχετίζεται με την ικανότητα των δομών να είναι ανθεκτικές σε πιθανά λάθη. Σε μερικές δομές είναι πιο εύκολο από ότι σε άλλες να χαθούν δεδομένα από λάθος προγραμματιστικό. Έστω ότι υπάρχει μία αλυσίδα από δείκτες, όπου η εγγραφή Α έχει ένα δείκτη προς την εγγραφή Β, η εγγραφή Β έχει ένα δείκτη προς την εγγραφή Γ κοκ. Αν από λάθος καταστραφεί ένα δείκτης της ακολουθίας των δεικτών, τότε μερικά δεδομένα θα χαθούν. Όμως, με χρήση, για παράδειγμα, διπλής αλυσίδας μπορεί να αποφευχθεί αυτή η δυνατότητα. Μία ενδιαφέρουσα ερευνητική περιοχή είναι οι **εύρωστες δομές** (robust structures) που μελετούν όλες τις γνωστές μεθόδους οργάνωσης (για παράδειγμα Β-δένδρα, λίστες κλπ.) ώστε χρησιμοποιώντας πλεονάζοντες (redundant) δείκτες να επιτευχθεί αυξημένη αξιοπιστία, έστω και σε περίπτωση που συμβεί κάποιο λάθος.

Ανακεφαλαιώνοντας αναφέρεται ότι μερικοί από τους προηγούμενους παράγοντες είναι συγκρουόμενοι. Για το λόγο αυτό, στη φάση της φυσικής σχεδίασης δίνεται προτεραιότητα του ενός παράγοντα έναντι του άλλου. Τα πιο συνηθισμένα ζευγάρια αντιτιθέμενων παραγόντων είναι:

- η πυκνότητα συνάθροισης έναντι της ταχύτητας ανάκτησης,
- η ταχύτητα ανάκτησης έναντι του κόστους του υλικού,
- η ευελιξία στην αναζήτηση έναντι της ταχύτητας ανάκτησης,
- η ευκολία στη διατήρηση έναντι της πυκνότητας συνάθροισης,
- η χαμηλή πολυπλοκότητα έναντι της αποτελεσματικότητας, και τέλος
- η ανακτησιμότητα έναντι της υψηλής πολυπλοκότητας.



Σχήμα 13.1: Δένδρο αποφάσεων για επιλογή οργάνωσης και μέσου.

Τις περισσότερες φορές η επιλογή είναι σχετικά εύκολη, ωστόσο συχνά υπάρχουν δυσκολίες επιλογής αφ' ενός μεταξύ σειριακών αρχείων και σειριακών αρχείων με δείκτη αφ' ετέρου μεταξύ σειριακών αρχείων με δείκτη και τυχαίων αρχείων. Στα φύλλα του δένδρου αποφάσεων του Σχήματος 13.1 παρουσιάζονται οι κατάλληλες οργανώσεις για μερικές περιπτώσεις

που μπορεί να εμφανισθούν συχνά στην πράξη. Ο αναγνώστης καλείται να συμπληρώσει και να ολοκληρώσει τον πίνακα με τις δομές που δεν αναφέρονται στον πίνακα αυτό, αλλά έχουν ήδη παρουσιασθεί στα προηγούμενα κεφάλαια.

### 13.3 Επίλογος

Τα αρχεία πρέπει να θεωρηθούν ως φυσικές επεκτάσεις των δομών δεδομένων της κύριας μνήμης. Οι δύο βασικές διαφορές τους είναι το μέγεθος και η επίδοσή τους. Παρ' ότι διατίθενται εμπορικά ολοένα και περισσότερο μεγάλες και φθηνές κύριες μνήμες, εν τούτοις δεν μπορούν να ικανοποιήσουν μεγάλες εφαρμογές. Στην πράξη δεν είναι ασυνήθιστο να συναντώνται αρχεία πολλών εκατομμυρίων εγγραφών και το μέγεθός τους να προσεγγίζει το διατιθέμενο χώρο στο δίσκο.

Επίσης, είναι γνωστό ότι η κύρια μνήμη δεν μπορεί να διατηρήσει τα δεδομένα μετά το τέλος του προγράμματος που τα χρησιμοποίησε, γιατί άλλα δεδομένα έρχονται με τη σειρά τους στην κύρια μνήμη. Εξ άλλου τα δεδομένα της κύριας μνήμης χάνονται μόλις σταματήσει η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι με τη βοήθεια της δευτερεύουσας μνήμης τα αρχεία μπορούν να διατηρηθούν για πολύ καιρό.

### 13.4 Ασκήσεις

<1> Η εταιρεία πιστωτικών καρτών 'Πλαστικό Χρήμα ΑΕ' διατηρεί τα δεδομένα των πελατών της σε έξι αρχεία με τα εξής χαρακτηριστικά.

- Αρχείο τρεχόντων λογαριασμών με 100.000 εγγραφές των 50 bytes. Καθημερινά γίνονται προσπελάσεις στο αρχείο αυτό για ερωτήσεις που αφορούν στο υπόλοιπο και το πιστωτικό όριο της κάρτας.
- Κύριο αρχείο πελατών με 100.000 εγγραφές των 200 bytes. Η προσπελάση μπορεί να είναι είτε άμεση είτε σειριακή. Το αρχείο ενημερώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Αρχείο συναλλαγών με 3.000 εγγραφές των 100 bytes. Δημιουργείται καθημερινά και οι προσπελάσεις γίνονται σειριακά με κλειδί τον αριθμό της κάρτας. Ποτέ δεν γίνονται ενημερώσεις.

- Ιστορικό αρχείο συναλλαγών με 20.000 εγγραφές των 100 bytes. Ενημερώνεται καθημερινά και περιέχει τις συναλλαγές της εβδομάδας. Οι προσπελάσεις είναι πολύ λίγες και γίνονται σειριακά με κλειδί τον αριθμό της κάρτας.
- Εφεδρικό αρχείο πελατών με 100.000 εγγραφές των 200 bytes. Ενημερώνεται κάθε εβδομάδα ενώ προσπελάσεις γίνονται μόνο σε περιπτώσεις ανάγκης.
- Εφεδρικό ιστορικό αρχείο συναλλαγών με 80.000 εγγραφές των 100 bytes. Περιέχει τις συναλλαγές των τεσσάρων τελευταίων εβδομάδων. Ενημερώνεται κάθε εβδομάδα, ενώ προσπελάσεις γίνονται σε περίπτωση ανάγκης.

Για κάθε ένα από αυτά τα αρχεία να επιλεγθεί μία μέθοδος προσπέλασης που ελαχιστοποιεί το κόστος διατήρησης του αρχείου και παρέχει ταυτόχρονα όλες τις ζητούμενες απαιτήσεις. Οι διατιθέμενες μέθοδοι προσπέλασης είναι η σειριακή, η άμεση και η σειριακή με δείκτη. Τα δευτερεύοντα μέσα αποθήκευσης είναι η ταινία, που κοστίζει 5\$ το μήνα και 1\$ για κάθε χρήση της, και ο δίσκος που κοστίζει 0.8\$ ανά άτρακτο. Δίνεται ότι ο δίσκος αποτελείται από 40.000 Mb/άτρακτο και 10 ατράκτους/κύλινδρο. Επίσης, να θεωρηθεί ότι η άμεση μέθοδος προσπέλασης απαιτεί 40% επιπλέον χώρο, ενώ η σειριακή με δείκτη απαιτεί 25% επιπλέον.

Η απάντηση πρέπει να περιέχει υπολογισμούς του κόστους για κάθε μέθοδο προσπέλασης σε συνδυασμό με το μέσο αποθήκευσης, έτσι βέβαια ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του χρήστη.

<2> Να σχεδιασθούν οι κατάλληλες δομές αρχείων για μία βάση δεδομένων αεροπορικής εταιρείας. Οι πληροφορίες συνηθέστατα αναζητώνται με τα εξής κλειδιά:

- Ονομα Επιβάτη,
- Αριθμός πτήσης και Ημερομηνία,
- Τόπος Αναχώρησης και Προορισμού, και
- Χρονική Διάρκεια.

Να θεωρηθούν εναλλακτικές δομές πρωτευόντων κλειδιών με γνώμονα ότι οι δομές πρέπει να ενοποιηθούν σε ενιαίο σύστημα. Τα δεδομένα που κρατούνται είναι τα εξής.

- Πρόγραμμα πτήσεων. Δοθέντος ενός ζευγαριού πόλεων και ημέρας της εβδομάδος και των σχετικών περιορισμών σε αναχωρήσεις και/ή αφίξεις το σύστημα να δίνει τις εναλλακτικές διαδρομές. Επίσης, πρέπει να διατηρούνται στοιχεία για τη διαθεσιμότητα των κλάσεων σε θέσεις, ώστε να εμφανίζονται μόνο οι πτήσεις που διαθέτουν θέσεις.
- Πτήσεις. Για κάθε στιγμιότυπο πτήσης (συνδυασμός αριθμού πτήσης και ημερομηνίας) πρέπει να διατηρούνται πληροφορίες για τον τύπο του αεροσκάφους, τις ώρες αναχώρησης και άφιξης για κάθε στάση. Επίσης θα πρέπει για κάθε τμήμα πτήσης να διατηρούνται πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα κάθε τάξης σε θέσεις, για τη διαθεσιμότητα σε όγκο και βάρος φορτίου, για φορτώσεις γευμάτων, για τους επιβάτες και για τη λίστα αναμονής. Ακόμη, για κάθε στάση θα πρέπει να διατηρείται ο αριθμός των επιβατών που μεταβιβάζονται σε άλλη πτήση και ο αριθμός των επιβατών που επιβιβάζονται στην πτήση αυτή.
- Επιβάτες. Για κάθε επιβάτη, είτε έχει κρατήσει θέση είτε είναι σε λίστα αναμονής, θα πρέπει να διατηρούνται τα εξής στοιχεία: όνομα και τίτλος, διεύθυνση, δρομολόγιο και κωδικός εισητηρίου, τύπος γεύματος, απαιτήσεις για ξενοδοχείο και ενοικίαση αυτοκινήτου και ονόματα συνεπιβατών.

Οι διαδικασίες που θα πρέπει να υποστηρίζει το σύστημα ομαδοποιημένες ανάλογα με τη συχνότητα που υποβάλλονται ως εξής.

- Πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο. Κράτηση θέσης, ακύρωση κράτησης, ερώτηση πιθανών δρομολογίων, έλεγχος διαθεσιμότητας θέσεων, έκδοση εισητηρίου.
- Πολλές φορές ανά ώρα. Δημιουργία στιγμιότυπου πτήσης (συνήθως μερικούς μήνες πριν την αναχώρηση της πτήσης), δημιουργία πληροφοριών αναχώρησης (ώρα αναχώρησης, πληροφορίες ακυρώσεων, απώλειες συνδέσεων κλπ.) και διαγραφή στιγμιότυπων πτήσεων (συνήθως ένα μήνα μετά την πτήση κρατούνται στατιστικά στοιχεία και τα περισσότερα δεδομένα διαγράφονται).
- Μερικές φορές το χρόνο. Αναθεώρηση στοιχείων πτήσεων (τύπος αεροσκάφους, δρομολόγια, ώρες αναχώρησης και άφιξης κλπ.)



- Οργάνωση μνήμης. Το σύστημα δίσκων μπορεί να αποθηκεύσει όλα τα αρχεία, ενώ στην κύρια μνήμη υπάρχει απομονωτική μνήμη που μπορεί να χωρέσει τους καταλόγους και μερικές σελίδες δεδομένων από τη δευτερεύουσα αποθήκευση.

Κύριος σκοπός του φυσικού σχεδιασμού είναι η γρήγορη απόκριση των πολύ συχνών ερωτήσεων (μερικές αεροπορικές εταιρείες δέχονται ένα εκατομμύριο συναλλαγές την ημέρα). Δευτερεύων σκοπός είναι η αποφυγή περιττών επαναλήψεων στοιχείων. Για παράδειγμα, τα στοιχεία του επιβάτη να κρατούνται μόνο μία φορά αν και ο επιβάτης μπορεί να επιβιβασθεί σε πολλές διαδοχικές πτήσεις.

Υποτίθεται ότι εκ μέρους ενός κατασκευαστικού οίκου λογισμικού πρόκειται να υποβάλλετε σε μία μεγάλη αεροπορική εταιρεία (και να αμοιφθείτε γενναιόδωρα) μία έκθεση μερικών σελίδων (χωρίς μαθηματικές αποδείξεις αλλά μόνο με ποιοτικά στοιχεία) με τις πιθανές επιλογές και την προτιμότερη τελική λύση για τις οργανώσεις των αρχείων που θα χρησιμοποιήσετε.