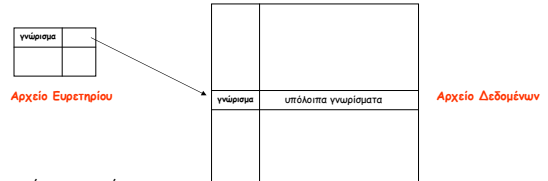


# Ευρετήρια

## Ευρετήρια

- Ένα **ευρετήριο (index)** είναι μια **βοηθητική δομή αρχείου** που κάνει πιο αποδοτική την αναζήτηση μιας εγγραφής σε ένα αρχείο
- Το ευρετήριο καθορίζεται (συνήθως) σε ένα **γνώρισμα** του αρχείου που καλείται **πεδίο ευρετηριοποίησης (indexing field)**



Εγγραφή στο ευρετήριο:

Τιμή Πεδίου Ευρετηριοποίησης    Δείκτης στο block της εγγραφής

## Ευρετήρια

Διαφορετικού τύπου εγγραφές ανάλογα με το πεδίο ευρετηριοποίησης:

- (α) κλειδί ή όχι,
- (β) πεδίο διάταξης του αρχείου ή όχι

## Ευρετήρια

- **Πυκνό ευρετήριο:** μια καταχώρηση για κάθε εγγραφή του αρχείου
- **Μη πυκνό ευρετήριο**

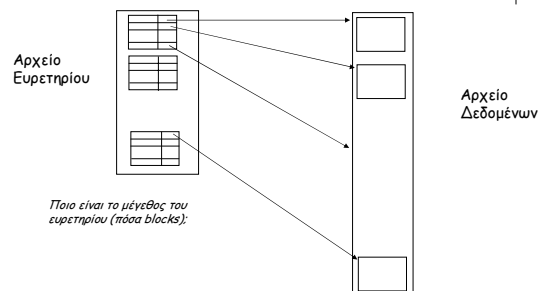
## Πρωτεύον Ευρετήριο

**Πρωτεύον ευρετήριο (primary index):** ορισμένο στο **κλειδί διάταξης** του αρχείου

Για κάθε block του αρχείου (μη πυκνό ευρετήριο) η εγγραφή  $i$  του ευρετηρίου είναι της μορφής  $\langle K(i), P(i) \rangle$  όπου:

- $K(i)$ : η τιμή του πρωτεύοντος κλειδιού της πρώτης εγγραφής του block (**άγκυρα** του block)
- $P(i)$ : δείκτης προς το block

## Πρωτεύον Ευρετήριο



Παράδειγμα (υπολογισμός μεγέθους αρχείου ευρετηρίου)

Έστω διατεταγμένο αρχείο με  $r_A = 30,000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, όπου το πεδίο κλειδιού διάταξης έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση. Κατασκευάζουμε πρωτεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

Μέγεθος αρχείου δεδομένων: 3.000 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου: 45 blocks

• Το ευρετήριο αρχείου είναι ένα *διατεταγμένο αρχείο* με σταθερού μήκους εγγραφές

• Το πρωτεύον ευρετήριο είναι ένα *μη πυκνό* ευρετήριο

• Το *μέγεθος* του αρχείου ευρετηρίου είναι *μικρότερο* από αυτό του αρχείου δεδομένων.

• Αναζήτηση

*Διαδική αναζήτηση* στο πρωτεύον ευρετήριο

Ανάγνωση του block από το αρχείο δεδομένων

Παράδειγμα (υπολογισμός κόστους αναζήτησης)

Δεδομένα όπως πριν

(Έστω διατεταγμένο αρχείο με  $r_A = 30,000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, όπου το πεδίο κλειδιού διάταξης έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση. Κατασκευάζουμε πρωτεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes)

$$bfr_A = 10$$

$$bfr_E = 68$$

Μέγεθος αρχείου δεδομένων: 3.000 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου: 45 blocks

Αναζήτηση χωρίς ευρετήριο:  $\lceil \log 3.000 \rceil = 12$  blocks

Αναζήτηση με ευρετήριο:  $\lceil \log 45 \rceil + 1 = 7$  blocks

block ευρετηρίου      block αρχείου

Διαδική γιατί το αρχείο ταξινομημένο

• Εισαγωγή εγγραφής

αλλαγές και στο πρωτεύον ευρετήριο

μη διατεταγμένο αρχείο υπερχειλίσις  
συνδεδεμένη λίστα εγγραφών υπερχειλίσις

• Διαγραφή εγγραφής

αλλαγές και στο πρωτεύον ευρετήριο  
χρήση σημαδιών διαγραφής

Access paths (μονοπάτια προσπέλασης)

- Το αρχείο ευρετηρίου καταλαμβάνει *μικρότερο χώρο* από το ίδιο το αρχείο δεδομένων (οι καταχωρήσεις είναι μικρότερες και λιγότερες)
- Κάνοντας *διαδική αναζήτηση* στο ευρετήριο (γιατί το ευρετήριο είναι διατεταγμένο αρχείο!) βρίσκουμε τον δείκτη στο block όπου αποθηκεύεται η εγγραφή που θέλουμε



**Ευρετήριο συστάδων (clustering index):** ορισμένο στο πεδίο διάταξης [το οποίο όμως δεν είναι κλειδί]

Υπάρχει μία εγγραφή για κάθε διακεκριμένη τιμή του πεδίου διάταξης (συστάδας) του αρχείου που περιέχει:

- την τιμή αυτή
- ένα δείκτη προς το πρώτο block του αρχείου δεδομένων που περιέχει μια εγγραφή με την τιμή αυτή στο πεδίο συστάδας



**Παράδειγμα (υπολογισμός μεγέθους ευρετηρίου)**

Έστω διατεταγμένο αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο διάταξης έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes και υπάρχουν 1000 διαφορετικές τιμές και οι εγγραφές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες ως προς τις τιμές αυτές. Υποθέτουμε ότι χρησιμοποιούνται άγκυρες block, κάθε νέα τιμή του πεδίου διάταξης αρχίζει στην αρχή ενός νέου block. Κατασκευάζουμε ευρετήριο συστάδων, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

$$\begin{aligned} \text{Μέγεθος αρχείου δεδομένων: } & 3.000 \text{ blocks} & bfr_A &= 10 \\ \text{Μέγεθος ευρετηρίου συστάδων: } & 15 \text{ blocks} & bfr_E &= 68 \end{aligned}$$



**Αναζήτηση**

Διαδική αναζήτηση στο ευρετήριο  
Ανάγνωση blocks από το αρχείο δεδομένων



**Παράδειγμα (υπολογισμός κόστους αναζήτησης)**

(στοιχεία όπως πριν) Έστω διατεταγμένο αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο διάταξης έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes και υπάρχουν 1000 διαφορετικές τιμές και οι εγγραφές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες ως προς τις τιμές αυτές. Υποθέτουμε ότι χρησιμοποιούνται άγκυρες block, κάθε νέα τιμή του πεδίου διάταξης αρχίζει στην αρχή ενός νέου block. Κατασκευάζουμε ευρετήριο συστάδων, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

$$\begin{aligned} \text{Μέγεθος αρχείου δεδομένων: } & 3.000 \text{ blocks} \\ \text{Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου: } & 15 \text{ blocks} \\ \text{Αναζήτηση χωρίς ευρετήριο: } & \lceil \log 3.000 \rceil + \text{ταιριάσματα} (= 3) \approx 15 \text{ blocks} \\ \text{Αναζήτηση με ευρετήριο: } & \lceil \log 15 \rceil + 3 = 7 \text{ blocks} \end{aligned}$$



**Δευτερεύον ευρετήριο (secondary index):** ορισμένο σε πεδίο διαφορετικό του πεδίου διάταξης

**Περίπτωση 1:** Το πεδίο ευρετηριοποίησης είναι **κλειδί** (καλείται και **δευτερεύον κλειδί**)

Υπάρχει μία εγγραφή για κάθε εγγραφή του αρχείου που περιέχει:

- την τιμή του κλειδιού για αυτήν την εγγραφή
- ένα δείκτη προς το block (ή την εγγραφή) του αρχείου δεδομένων που περιέχει την εγγραφή με την τιμή αυτή



Παράδειγμα (υπολογισμός μεγέθους ευρετηρίου)

Έστω αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο κλειδιού έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes αλλά δεν είναι πεδίο διάταξης. Κατασκευάζουμε δευτερεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

Μέγεθος αρχείου δεδομένων: 3.000 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου: 442 blocks

45 για πρωτεύον



• Αναζήτηση

Διαδική αναζήτηση στο δευτερεύον ευρετήριο  
Ανάγνωση του block από το αρχείο δεδομένων



Παράδειγμα (υπολογισμός κόστους αναζήτησης)

Στοιχεία όπως πριν

(Έστω αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο κλειδιού έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes αλλά δεν είναι πεδίο διάταξης. Κατασκευάζουμε δευτερεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes)

Μέγεθος αρχείου δεδομένων: 3.000 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου: 442 blocks

$bfr_A = 10$

$bfr_E = 68$

Αναζήτηση χωρίς ευρετήριο (σειριακή αναζήτηση, γιατί το αρχείο δεδομένων δεν είναι ταξινομημένο):  $3.000/2 = 1500$  blocks

Αναζήτηση με ευρετήριο:  $\lceil \log 442 \rceil + 1 = 10$  blocks

Για πρωτεύον ήταν 45 και 7 blocks αντίστοιχα



Περίπτωση 2: Το πεδίο ευρετηριοποίησης **δεν είναι κλειδί**

1. Πυκνό ευρετήριο: μία καταχώρηση για κάθε εγγραφή
2. Μεταβλητού μήκους εγγραφές με ένα επαναλαμβανόμενο πεδίο για το δείκτη
3. Μία εγγραφή ευρετηρίου για κάθε τιμή του πεδίου ευρετηριοποίησης + ένα ενδιάμεσο επίπεδο για την διαχείριση των πολλαπλών δεικτών



Παράδειγμα (υπολογισμός μεγέθους ευρετηρίου)

Έστω μη διατεταγμένο αρχείο (αρχείο σωρού) με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο ευρετηριοποίησης (δηλαδή, το πεδίο στο οποίο θα κατασκευάσουμε το ευρετήριο) έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes. Υπάρχουν 100 διαφορετικές τιμές και οι εγγραφές είναι ομοιόμορφα καταναμημένες ως προς τις τιμές αυτές. Κατασκευάζουμε ευρετήριο συστάδων χρησιμοποιώντας την επιλογή (3), μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

Ευρετήριο  $bfr_E = 68$   $b_E = 2$

κόστος αναζήτησης:

Ενδιάμεσο επίπεδο -- Ποια είναι η οργάνωση του;

$bfr_{EE} = 170$   $b_{EE} = 177$  blocks



• Αναζήτηση

Διαδική αναζήτηση στο δευτερεύον ευρετήριο  
Ανάγνωση του block (ή των blocks) από το ενδιάμεσο επίπεδο  
Ανάγνωση των blocks (συνήθως τόσα όσες οι εγγραφές που ταιριάζουν) από το αρχείο δεδομένων

## Δευτερεύον Ευρετήριο

### • Εισαγωγή

Απλή αν δεν αφορά εισαγωγή νέας τιμής στο ευρετήριο

- Εύκολη η λογική διάταξη των εγγραφών με βάση το πεδίο ευρετηριοποίησης
- Ανακτήσεις με *σύνθετες συνθήκες*, μπορεί να γίνουν χρησιμοποιώντας τα blocks του ευρετηρίου

## Ευρετήρια (επανάληψη)

### Ορισμοί

**Πρωτεύον:** όταν το πεδίο ευρετηριοποίησης είναι πρωτεύον κλειδί και πεδίο διάταξης του αρχείου

**Δευτερεύον:** αλλιώς

**Συστάδων (clustered index)** αν η διάταξη των εγγραφών στο ευρετήριο όμοια ή παρόμοια αυτής των εγγραφών στο αρχείο δεδομένων (συμβαίνει, πχ όταν το ευρετήριο κτίζεται στο πεδίο ταξινόμησης του αρχείου δεδομένων)

## Ευρετήρια (επανάληψη)

Το πολύ ένα ευρετήριο συστάδων - δηλαδή ένα ευρετήριο στο πεδίο διάταξης του αρχείου

Range scan (αναζήτηση περιοχής)

- Συστάδων: #σελίδων στο αρχείο που ταιριάζουν
- Μη συστάδων: αριθμός εγγραφών στο ευρετήριο που ταιριάζουν - για κάθε τέτοια εγγραφή -> μια σελίδα αρχείου

## Ευρετήρια (επανάληψη)

Οι εγγραφές στο ευρετήριο  $K^*$

1. Η πραγματική εγγραφή (πλειάδα) με τιμή  $K$  στο κλειδί  
οργάνωση αρχείου
2.  $\langle K, rid \rangle$
3.  $\langle K, list\ of\ rids \rangle$

## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

Ιδέα:

Τα ευρετήρια είναι αρχεία - χτίζουμε ευρετήρια πάνω στα αρχεία ευρετηρίου

Το αρχείο είναι **διατεταγμένο** και το πεδίο διάταξης είναι και κλειδί (άρα πρωτεύον ευρετήριο!)

**Υπενθύμηση (παράγοντας ομαδοποίησης: αριθμός εγγραφών ανά block)**

**Παράγοντας ομαδοποίησης (blocking factor)**, όταν  $B \geq R$

$bfr = \lfloor (B / R) \rfloor$ , όπου  $B$  μέγεθος block σε byte και  $R$  μέγεθος εγγραφής σε bytes

## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

• Έστω ότι το αρχείο ευρετηρίου είναι το **πρώτο ή βασικό επίπεδο**  
Έστω ότι ο παράγοντας ομαδοποίησης είναι  $f_0$  και ότι έχει  $r_1$  blocks  
Το αρχείο είναι διατεταγμένο και το πεδίο διάταξης είναι και κλειδί

• Δημιουργούμε ένα πρωτεύον ευρετήριο για το ευρετήριο πρώτου επιπέδου - **δευτερο** επίπεδο

Παράγοντας ομαδοποίησης:  $f_0$  Αριθμός block  $\lceil (r_1 / f_0) \rceil$

• Δημιουργούμε ένα πρωτεύον ευρετήριο για το ευρετήριο δεύτερου επιπέδου - **τρίτο** επίπεδο

Παράγοντας ομαδοποίησης:  $f_0$  Αριθμός block  $\lceil (r_1 / (f_0)^2) \rceil$

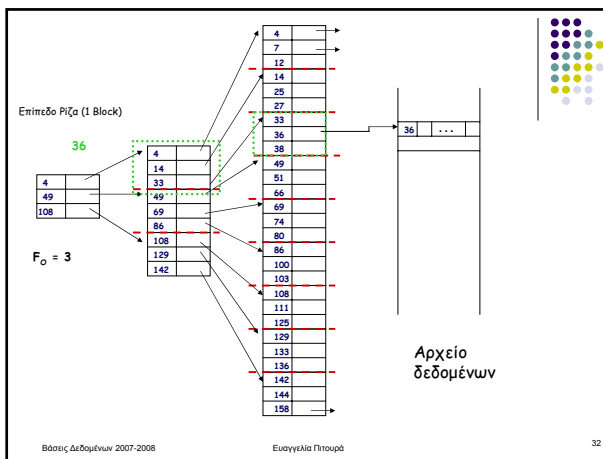
## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

- Μέχρι πόσα επίπεδα:

Μέχρι όλες οι εγγραφές του ευρετηρίου να χωρούν σε ένα block

Έστω  $t$  κορυφαίο επίπεδο  $\lceil (r_t / (f_0)^t) \rceil = 1$   
(top level)

- Το  $f_0$  ονομάζεται και *παράγοντας διακλάδωσης* του ευρετηρίου



## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

- Εισαγωγή/διαγραφή

τροποποιήσεις πολλαπλών ευρετηρίων

*Δυναμικό* πολυεπίπεδο ευρετήριο: B-δέντρα και B+-δέντρα

## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

### Παράδειγμα (υπολογισμός μεγέθους ευρετηρίου)

Έστω αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο κλειδιού έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes αλλά δεν είναι πεδίο διάταξης. Κατασκευάζουμε δευτερεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

$$f_0 = \lfloor (1024 / (9 + 6)) \rfloor = 68$$

Μέγεθος αρχείου δεδομένων: 3.000 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου *πρώτου* επιπέδου: 442 blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου *δευτέρου* επιπέδου:  $\lceil (442 / 68) \rceil = 7$  blocks

Μέγεθος αρχείου ευρετηρίου *τρίτου* επιπέδου:  $\lceil (7 / 68) \rceil = 1$  block

$$\text{Άρα } t = 3$$

## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

- Αναζήτηση

$p$  := διεύθυνση του block του κορυφαίου επιπέδου του ευρετηρίου

$t$  := αριθμός επιπέδων του ευρετηρίου

for  $j = t$  to 1 step -1 do

    read block με διεύθυνση  $p$  του ευρετηρίου στο επίπεδο  $j$   
    αναζήτηση στο block  $p$  της εγγραφής  $i$  με τιμή  $K_j(i) \leq K < K_j(i+1)$

    read το block του αρχείου δεδομένων με διεύθυνση  $p$

    Αναζήτηση στο block  $p$  της εγγραφής  $i$  με τιμή  $K_j(i) \leq K < K_j(i+1)$

## Ευρετήριο Πολλών Επιπέδων

### Παράδειγμα (υπολογισμός κόστους αναζήτησης)

Έστω αρχείο με  $r_A = 30.000$  εγγραφές, μέγεθος block  $B = 1024$  bytes, σταθερού μεγέθους εγγραφές μεγέθους  $R_A = 100$  bytes, μη εκτεινόμενη καταχώρηση, όπου το πεδίο κλειδιού έχει μέγεθος  $V_A = 9$  bytes αλλά δεν είναι πεδίο διάταξης. Κατασκευάζουμε δευτερεύον ευρετήριο, μέγεθος δείκτη block  $P = 6$  bytes

$$\text{Άρα } t = 3$$

Παράδειγμα

$t + 1 = 4$  προσπελάσεις

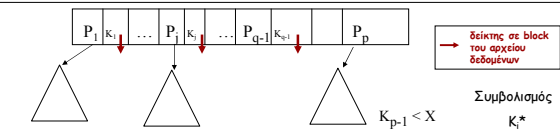
Για το δευτερεύον ήταν 10 και χωρίς ευρετήριο 1500

Τα πολυεπίπεδα ευρετήρια μπορεί να θεωρηθούν ως δέντρα αναζήτησης

Κάθε κόμβος (block) έχει  $f_0$  δείκτες και  $f_0$  τιμές κλειδιού

- Τα αρχεία ευρετηρίων είναι απλά αρχεία, άρα και σε αυτά μπορούν να οριστούν ευρετήρια
- Καταλήγουμε λοιπόν σε μια ιεραρχία δομών ευρετηρίων (πρώτο επίπεδο, δεύτερο επίπεδο, κλπ.)
- Κάθε επίπεδο του ευρετηρίου είναι ένα *διατεταγμένο* αρχείο, συνεπώς, εισαγωγές/διαγραφές εγγραφών απαιτούν επιπλέον δουλειά
- Ένα πολύ-επίπεδο ευρετήριο αποτελεί ένα *Δέντρο Αναζήτησης*

Ένα *δέντρο αναζήτησης* (search tree) τάξεως  $p$  είναι ένα δέντρο τέτοιο ώστε κάθε κόμβος του περιέχει το πολύ  $p - 1$  τιμές αναζήτησης και  $p$  δείκτες ως εξής



Υποθέτουμε ότι οι τιμές αναζήτησης είναι μοναδικές  
 $K_1 < K_2 < \dots < K_{q-1}$  και για όλες τις τιμές  $X$  στα υποδέντρα ισχύει  
 $K_{j-1} < X < K_j$  για  $1 < j < p$ ,  $X < K_j$  για  $j = 1$ , και  $K_{j-1} < X$  για  $j = p$

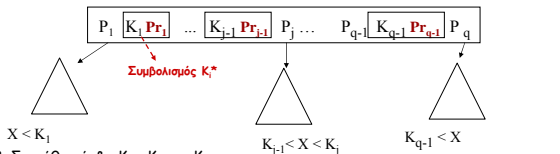
Κάθε κόμβος του δέντρου είναι ένα block στο δίσκο

Ισοζυγιαμένο: όλοι οι κόμβοι-φύλλα στο ίδιο επίπεδο

**B-δέντρο:** ένα δέντρο αναζήτησης που παραμένει ισοζυγιαμένο και χωρίς «πολύ αδειαούς» κόμβους

Ένα **B-δέντρο** τάξεως (order)  $p$  ορίζεται ως εξής:

1. Κάθε εσωτερικός κόμβος είναι της μορφής  $\langle P_1, \langle K_1, PR_1 \rangle, P_2, \langle K_2, PR_2 \rangle, \dots, \langle K_{q-1}, PR_{q-1} \rangle, P_q \rangle$ ,  $q < p$ , όπου  $P_i$  δείκτης δέντρου,  $K_i$  τιμή αναζήτησης,  $PR_i$  δείκτης δεδομένων



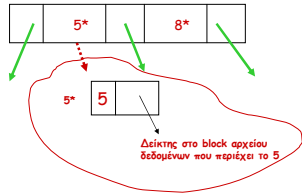
2. Σε κάθε κόμβο  $K_1 < K_2 < \dots < K_{q-1}$
3. Για όλες τις τιμές  $X$  στο υποδέντρο που δείχνει το  $P_j$  ισχύει  $K_{j-1} < X < K_j$  για  $1 < j < q$ ,  $X < K_j$  για  $j = 1$ , και  $K_{j-1} < X$  για  $j = q$

4. Κάθε κόμβος έχει το **πολύ  $p$  δείκτες** δέντρου
5. Κάθε κόμβος *εκτός της ρίζα* και των *φύλλων* έχει **τουλάχιστον  $\lceil p/2 \rceil$**  δείκτες δέντρου. Η ρίζα έχει τουλάχιστον 2 εκτός αν είναι ο μόνος κόμβος του δέντρου.
6. Ένας κόμβος με  $q$  δείκτες δέντρου περιέχει  $q - 1$  τιμές πεδίου αναζήτησης (και άρα και  $q - 1$  δείκτες δεδομένων)
7. Όλα τα φύλλα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Τα φύλλα έχουν την ίδια δομή εκτός του ότι οι δείκτες δέντρου είναι null.

## B-δέντρα (παράδειγμα)

τάξη  $p = 3$  (2 τιμές ανά κόμβο, 3 δείκτες block ευρετηρίου)

Δείκτης σε block ευρετηρίου (null για κόμβους φύλλα)



Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιτουρά

43

## B-δέντρα

### Εισαγωγή τιμής

Αρχικά ένας μόνο κόμβος (ρίζα) στο Επίπεδο 0

Όταν ο κόμβος ρίζα γεμίσει ( $p - 1$  τιμές κλειδιού), νέα εισαγωγή οδηγεί στην διάσπαση του κόμβου σε δύο κόμβους στο Επίπεδο 1: η μεσαία τιμή μένει στη ρίζα, οι υπόλοιπες μοιράζονται εξίσου σε δύο κόμβους του Επίπεδου 1

Όταν ένας κόμβος εκτός της ρίζας γεμίσει, νέα εισαγωγή οδηγεί σε διάσπαση του κόμβου σε δύο κόμβους στο ίδιο επίπεδο και μεταφορά της μεσαίας τιμής στον γονέα του κόμβου

ΠΡΟΣΟΧΗ: η εισαγωγή της μεσαίας τιμής στο γονέα αν ο γονέας είναι γεμάτος μπορεί να οδηγήσει σε διάσπαση του γονέα. Η διάσπαση μπορεί να οδηγήσει ως τη ρίζα, οπότε δημιουργείται και νέο επίπεδο.

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

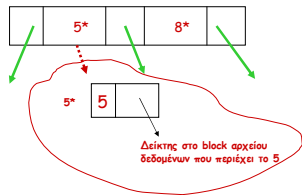
Ευαγγελία Πιτουρά

44

## B-δέντρα (παράδειγμα)

τάξη  $p = 3$  (2 τιμές ανά κόμβο, 3 δείκτες block ευρετηρίου) - Εισαγωγή 5, 8, 7, 14, 19, 6, 10

Δείκτης σε block ευρετηρίου (null για κόμβους φύλλα)



Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιτουρά

45

## B-δέντρα

### Διαγραφή τιμής

Μια «προς διαγραφή» τιμή μπορεί να ανήκει σε εσωτερικό κόμβο

Αν σβήσουμε το  $K_i$ , το μικρότερο κλειδί του υποδέντρου  $P_{i+1}$  πρέπει να το αντικαταστήσει (δηλαδή το μικρότερο κλειδί του κόμβου στα δεξιά του κλειδιού που διαγράφεται)

Ειδικά για τα φύλλα, αν λόγω διαγραφής κάποιος κόμβος παραμείνει γεμάτος λιγότερο από το μισό: ενώνεται (συνχωνεύεται) με τους γειτονικούς του κόμβους - αυτή η ένωση μπορεί να διαδοθεί ως τη ρίζα οπότε και οδηγεί σε μείωση των επιπέδων.

Πειραματικά: τυχαίες εισαγωγές και διαγραφές οδηγούν σε 69% πληρότητα

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιτουρά

46

## B-δέντρα

Κάθε κόμβος του B-δέντρου καταλαμβάνει μια σελίδα (block)

Τάξη  $p$  ώστε κάθε κόμβος να χωρά σε ένα block

Έστω  $B$  μέγεθος block,  $V$  μέγεθος πεδίου αναζήτησης,  $P_r$  μέγεθος δείκτη δεδομένων (εγγραφής) και  $P$  μέγεθος δείκτη δέντρου (block)

$$p * P + (p - 1) * (P_r + V) \leq B$$

$$p * (P + P_r + V) \leq B + V + P_r$$

$$p \leq (B + V + P_r) / (P + P_r + V)$$

Παράδειγμα,  $V = 9$  bytes,  $B = 512$  bytes,  $P_r = 7$  bytes,  $P = 6$  bytes,

τότε  $p = 23$

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιτουρά

47

## B-δέντρα

### Υπολογισμός επιπέδων

Έστω όπως πριν,  $p = 23$ . Έστω ότι κάθε κόμβος είναι γεμάτος κατά 69%. Πόσα επίπεδα χρειαζόμαστε για να ευρετηριοποιήσουμε 65.000 τιμές;

$(p - 1) * 0,69 = 22 * 0,69 = 15$  κλειδιά και  $15 + 1 = 16$  δείκτες ανά κόμβο

|            | #κόμβων      | #τιμές                            | #δείκτες      |
|------------|--------------|-----------------------------------|---------------|
| Ρίζα       | 1 κόμβος     | 15 ( $22 * 0,69$ ) καταχωρήσεις   | 16 δείκτες    |
| Επίπεδο 1: | 16 κόμβοι    | 240 ( $16 * 15$ ) καταχωρήσεις    | 256 δείκτες   |
| Επίπεδο 2: | 256 κόμβοι   | 3.840 ( $256 * 15$ ) καταχωρήσεις | 4.096 δείκτες |
| Επίπεδο 3: | 4.096 κόμβοι | 61.440                            |               |

Σύνολο:  $61.440 + 3.840 + 240 + 15$  (65.535)

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιτουρά

48





Αναζήτηση

Διαβάζουμε το block της ρίζας

Αν η εγγραφή δεν υπάρχει στο κόμβο διαβάζουμε το αντίστοιχο block στο επόμενο πεδίο

Τα B-δέντρα τροποποιούνται αντίστοιχα (πως;) αν το πεδίο δεν είναι κλειδί ή πεδίο ταξινόμησης (π.χ. με χρήση ενδιάμεσου επιπέδου)



Διαφορά B+ από B-δέντρο: Αποθηκεύουμε δείκτες δεδομένων (στο αρχείο δεδομένων) μόνο στα φύλλα

Δύο τύποι κόμβων:

- εσωτερικοί κόμβοι
- φύλλα

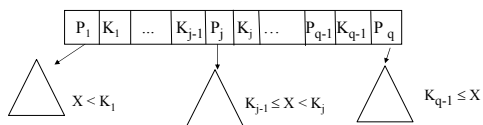
Κάποιες τιμές του πεδίου αναζήτησης μπορεί να εμφανίζονται *παραπάνω από μια φορά*



Ένα B+ -δέντρο τάξεως (order) p ορίζεται ως εξής:

1. Κάθε εσωτερικός κόμβος είναι της μορφής

$\langle P_1, K_1, P_2, K_2, \dots, K_{q-1}, P_q, K_q \rangle$   $q \leq p$ , όπου  $P_i$  δείκτης δέντρου,  $K_i$  τιμή αναζήτησης



2. Σε κάθε εσωτερικό κόμβο  $K_1 < K_2 < \dots < K_{q-1}$

3. Για όλες τις τιμές X στο υποδέντρο που δείχνει το  $P_j$  ισχύει  $K \leq X < K_j$  για  $1 < j < q$ ,  $X < K_j$  για  $j=1$ , και  $K_{j-1} \leq X$  για  $j = q$



4. Κάθε εσωτερικός κόμβος έχει το πολύ p δείκτες δέντρου

5. Κάθε εσωτερικός κόμβος εκτός της ρίζας έχει τουλάχιστον  $\lceil p/2 \rceil$ . Η ρίζα έχει τουλάχιστον 2 εκτός αν είναι ο μόνος κόμβος του δέντρου.

6. Ένας κόμβος με q δείκτες δέντρου περιέχει q - 1 τιμές πεδίου αναζήτησης



1. Κάθε **κόμβος-φύλλο** είναι της μορφής

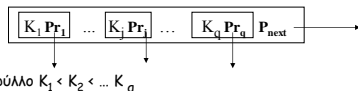
$\langle \langle K_1, P_{r_1} \rangle, \langle K_2, P_{r_2} \rangle, \dots, \langle K_q, P_{r_q} \rangle, P_{next} \rangle$ ,  $q \leq p_{leaf}$ , όπου

$p_{leaf}$  είναι η τάξη των κόμβων-φύλλων

$K_i$  τιμή αναζήτησης,

$P_{r_i}$  δείκτης δεδομένων που δείχνει στο block (ή στην εγγραφή) με τιμή στο πεδίο αναζήτησης  $K_i$  (ή σε ένα block ενδιάμεσου επιπέδου αν το πεδίο αναζήτησης δεν είναι κλειδί),

$P_{next}$  δείχνει στο επόμενο φύλλο και χρησιμοποιείται για τη γρήγορη ανάγνωση του αρχείου σε διάταξη



2. Σε κάθε κόμβο-φύλλο  $K_1 < K_2 < \dots < K_q$



3. Κάθε κόμβος-φύλλο έχει το πολύ p<sub>leaf</sub> τιμές

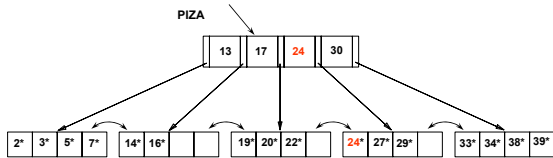
4. Κάθε κόμβος-φύλλο έχει τουλάχιστον  $\lceil p_{leaf} / 2 \rceil$  τιμές.

5. Όλοι οι κόμβοι-φύλλα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

## Β+-δέντρα

Η αναζήτηση ξεκινά από τη ρίζα, και οι συγκρίσεις των κλειδιών μας οδηγούν στα φύλλα

Αναζήτηση για τα 5\*, 15\*, όλες οι καταχωρήσεις  $\geq 24^*$  ...



Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

55

## Β+-δέντρα: Αναζήτηση

Nodepointer tree\_search(nodepointer P, keyvalue K)

if P is a leaf return(P);

else

if  $K < K_1$

tree\_search( $P_1$ , K)

else

find i such that  $K_i \leq K < K_{i+1}$

return tree\_search( $P_i$ , K)

end

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

56

## Β+-δέντρα: Αναζήτηση

### Αναζήτηση (αναδρομική εκδοχή)

nodepointer find(keyvalue K):

return tree\_search(root, K);

end;

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

57

## Β+-δέντρα: Εισαγωγή

### Εισαγωγή

1. Αναζήτηση του φύλλου για εισαγωγή: έστω φύλλο P

2. Εισαγωγή τιμής K στο κόμβο P

Αν ο κόμβος-φύλλο δεν είναι γεμάτος  
εισαγωγή της τιμής

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

58

## Β+-δέντρα: Εισαγωγή

Αν ο κόμβος-φύλλο είναι γεμάτος (έχει  $p_{leaf}$  εγγραφές)

διάσπαση του κόμβου:

- οι πρώτες  $k = \lfloor (p_{leaf} + 1) / 2 \rfloor$  παραμένουν στον κόμβο
- οι υπόλοιπες σε καινούργιο κόμβο
- εισαγωγή (αντιγραφή) της  $k+1$ -οστής τιμής ( $K_{k+1}$ ) στον γονέα

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

59

## Β+-δέντρα: Εισαγωγή

Αν ένας εσωτερικός κόμβος είναι γεμάτος (έχει  $p$  εγγραφές)

διάσπαση του κόμβου: έστω  $k = \lfloor ((p+1)/2) \rfloor$

- οι εγγραφές μέχρι το  $P_k$  (μετά την εισαγωγή) παραμένουν στον κόμβο
- η  $k+1$ -οστή  $K_{k+1}$  τιμή **μεταφέρεται (δεν αντιγράφεται)** στον πατέρα
- οι υπόλοιπες σε καινούργιο κόμβο

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008

Ευαγγελία Πιουρά

60

Β+-δέντρα: Εισαγωγή

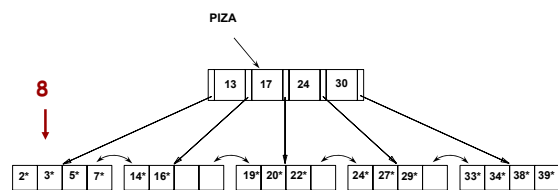
Οι διασπάσεις κόμβων (εκτός ρίζας) "μεγαλώνουν" το δέντρο  
 Η διάσπαση της ρίζας "υψώνει" το δέντρο

Β+-δέντρα (παράδειγμα)

5, 8, 7, 14, 19, 6, 10 και τάξη  $p = 3$  (2 τιμές ανά κόμβο, 3 δείκτες block ευρετηρίου)  
 και  $p_{leaf} = 2$

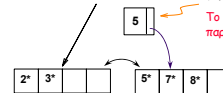
Β+-δέντρα: Εισαγωγή

Εισαγωγή της καταχώρησης 8\*

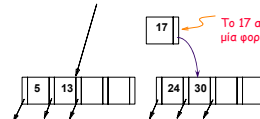


Β+-δέντρα: Εισαγωγή

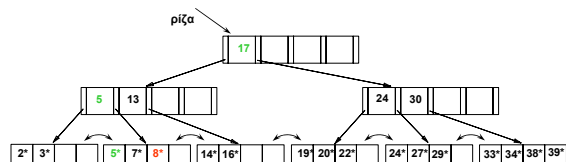
Καταχώρηση στον κόμβο γονέα (αντιγραφή)



Καταχώρηση στον κόμβο γονέα (μεταφορά)



Β+-δέντρα: Εισαγωγή



Η ρίζα διασπάστηκε οδηγώντας σε αύξηση του ύψους.

Β+-δέντρα

Όλες οι τιμές εμφανίζονται στα φύλλα και *κάποιες επαναλαμβάνονται* και σε εσωτερικούς κόμβους (η τιμή K σε ένα εσωτερικό κόμβο μπορεί επίσης να εμφανίζεται ως η *πιο αριστερή τιμή* στο φύλλο του υποδέντρου με ρίζα το δείκτη στα δεξιά του K)



**Διαγραφή**

1. Αναζήτηση του φύλλου που περιέχει το K: έστω φύλλο P
2. Αν υποχείλιση
  - αν είναι δυνατόν ανακατανομή με τον αριστερό αδελφό ( $\lceil n/2 \rceil$ )
  - αν όχι, προσπάθεια ανακατανομής με το δεξιό αδελφό
  - αν όχι, συγχώνευση και των τριών κόμβων σε δύο κόμβους



2. Αν υποχείλιση (αναλυτικά)

<ανακατανομή εγγραφών>

Αν είναι δυνατόν ανακατανομή με τον αριστερό αδελφό ( $\lceil n/2 \rceil$ )  
αν όχι, προσπάθεια ανακατανομής με το δεξιό αδελφό

ανακατανομή εγγραφών σε κάθε κόμβο  
βρείτε την εγγραφή στο γονέα του δεξιού κόμβου N

αντικατάσταση της τιμής κλειδιού στο γονέα τους με τη μικρότερη τιμή του κόμβου N

<συχώνευση κόμβων>

Αν δεν είναι δυνατή η ανακατανομή

συχώνευση κόμβων

οδηγεί σε διαγραφή στο παραπάνω επίπεδο, αφήνεται η εγγραφή που δείχνει στον κόμβο (πιθανότητα νέας υποχείλισης)



Εσωτερικοί κόμβοι

Ειδική περίπτωση στη συγχώνευση εσωτερικών κόμβων, όταν συγχωνεύεται ο ακραίος αριστερός δείκτης ενός εσωτερικού κόμβου (ο οποίος δεν έχει τιμή)

Τότε, πρέπει να συμβουλευτούμε τον γονέα των δύο κόμβων που συγχωνεύονται -> χρήση της τιμής του δείκτη που δείχνει σε αυτόν τον κόμβο

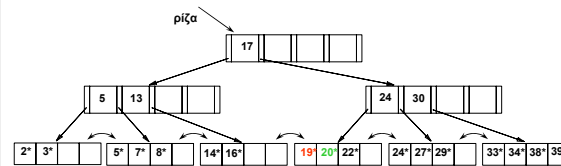
«Κατεβάζουμε» την τιμή από τον γονέα ως πιο αριστερή τιμή στον προς συγχώνευση κόμβο

Ειδικά για την ανακατανομή εσωτερικών κόμβων

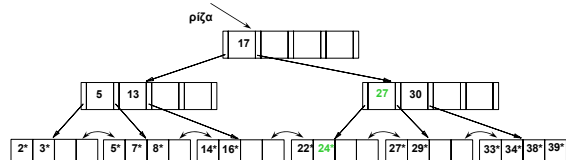
Πάει μέσω του γονέα τους

Δηλαδή θεωρούμε και την τιμή του γονέα στην ανακατανομή

Η τιμή αυτή αλλάζει στο γονέα



Διαγραφή 19, 20

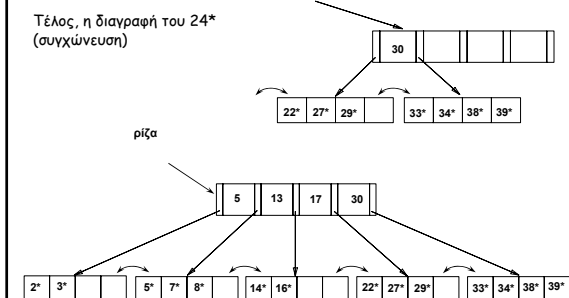


Το παράδειγμα μετά τη διαγραφή του 19\* και του 20\* (ανακατανομή με δεξιό αδελφό και αντικατάσταση του 24 με 27)

Διαγραφή του 24 ->



Τέλος, η διαγραφή του 24\* (συχώνευση)



Εστω στο παρακάτω δέντρο μετά από συγχώνευση φύλλων

**B+-δέντρα: Διαγραφή**

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 73

**B+-δέντρα: Διαγραφή**

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 74

**B+-δέντρα**

- Εισαγωγή/Διαγραφή με κόστος  $\log_p N$  --- κρατούν το δέντρο σε ισορροπημένη μορφή. ( $F$  = διακλάδωση,  $N$  = αριθμός των φύλλων)
- Ελάχιστη πληρότητα 50% (εκτός της ρίζας).
- Εξαιρετική δομή ΚΑΙ για ερωτήσεις ισότητας ΚΑΙ για ερωτήσεις διαστήματος (range queries).
- Το αρχείο δεδομένων μπορεί να είναι ή όχι ταξινομημένο

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 75

**B+-δέντρα**

- Κάθε κόμβος του B+-δέντρου καταλαμβάνει μια σελίδα (block)

**Τάξη  $p$  ώστε κάθε εσωτερικός-κόμβος να χωρά σε ένα block**

Εστω  $B$  μέγεθος block,  $V$  μέγεθος πεδίου αναζήτησης,  $P_r$  μέγεθος δείκτη (εγγραφής) και  $P$  μέγεθος δείκτη δέντρου (block)

$$p * P + (p - 1) * V \leq B$$

$$p * (P + V) \leq B + V$$

$$p \leq (B + V) / (P + V)$$

Παράδειγμα,  $V = 9$  bytes,  $B = 512$ ,  $P_r = 7$  bytes,  $P = 6$  bytes, τότε  $p = 34$

Για B-δέντρο,  $p = 23$

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 76

**B+-δέντρα**

**Τάξη  $p_{leaf}$  ώστε κάθε φύλλο να χωρά σε ένα block**

Εστω  $B$  μέγεθος block,  $V$  μέγεθος πεδίου αναζήτησης,  $P_r$  μέγεθος δείκτη δεδομένων (εγγραφής) και  $P$  μέγεθος δείκτη δέντρου (block)

$$p_{leaf} * (P_r + V) + P \leq B$$

$$p_{leaf} * (P_r + V) \leq B - P$$

$$p_{leaf} \leq (B - P) / (P_r + V)$$

Παράδειγμα,  $V = 9$  bytes,  $B = 512$ ,  $P_r = 7$  bytes,  $P = 6$  bytes, τότε  $p_{leaf} = 31$

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 77

**B+-δέντρα**

**Υπολογισμός επιπέδων**

Παράδειγμα,  $V = 9$  bytes,  $B = 512$ ,  $P_r = 7$  bytes,  $P = 6$  bytes, τότε  $p = 34$ . Εστω ότι κάθε κόμβος είναι γεμάτος κατά 69%. Πόσες καταχωρήσεις (τιμές) χωρά αν έχει 3 επίπεδα

|                 |               |   |                |
|-----------------|---------------|---|----------------|
| Ρίζα            | 1 κόμβος      | 22 (33*0,69) καταχωρήσεις                 | 23 δείκτες     |
| Επίπεδο 1:      | 23 κόμβοι     | 506 (23*22) καταχωρήσεις                  | 529 δείκτες    |
| Επίπεδο 2:      | 529 κόμβοι    | 11.638 (529*22) καταχωρήσεις              | 12.167 δείκτες |
| Επίπεδο φύλλων: | 12.167 κόμβοι | 255.507 (12.167 * 31 * 0.69) καταχωρήσεις | 12.167 δείκτες |

Σε 3 επίπεδα **255.507** εγγραφές έναντι 65.535 για το B-δέντρο

Σημείωση: εγγραφές μόνο στα φύλλα

Βάσεις Δεδομένων 2007-2008 Ευαγγελία Πιτουρά 78

## Παρατηρήσεις

- Τυπική Τάξη: 100. Τυπικός Παράγοντας Πληρότητας: 67%.
- Μέση τιμή διακλάδωσης (fan out) = 133
- Τυπικές Δυνατότητες:
  - Ύψος 4:  $133^4 = 312,900,700$  εγγραφές
  - Ύψος 3:  $133^3 = 2,352,637$  εγγραφές
- Μπορεί να κρατά τα υψηλότερα επίπεδα στη μνήμη (buffer):
  - Επίπεδο 1 = 1 block = 8 Kbytes
  - Επίπεδο 2 = 133 blocks = 1 Mbyte
  - Επίπεδο 3 = 17,689 blocks = 133 Mbytes

## Είδη Ευρετηρίων

- Ευρετήριο ενός επιπέδου ένα διατεταγμένο αρχείο με εγγραφές  $\langle K(i), P(i) \rangle$
- Ευρετήριο πολλών επιπέδων
- Ευρετήρια δομής δέντρου
- Ευρετήρια κατακερματισμού

## Ανεξάρτητα του ΣΔΒΔ

Μικρόκοσμος

Συλλογή Απαιτήσεων και Ανάλυση

Απαιτήσεις ΒΔ

Εννοιολογικός Σχεδιασμός Βάσης

Εννοιολογικό Μοντέλο (Σχήμα)

## Εξαρτώμενο του επιλεγμένου ΣΔΒΔ

(π.χ., με Σχεσιακό Μοντέλο)

Λογικό Μοντέλο -- Σχήματα/Όψεις

Λογικός Σχεδιασμός Βάσης

Φυσικός Σχεδιασμός Βάσης

Φυσικό Μοντέλο Εσωτερικό Σχήμα

Πλήρωση Βάσης

- Μετά τον σχεδιασμό Ο/Σ και το λογικό σχεδιασμό (σχεσιακό μοντέλο), έχουμε τα εννοιολογικά και λογικά (με τις όψεις) σχήματα για τη Βάση Δεδομένων.
- Το επόμενο βήμα είναι ο **Φυσικός Σχεδιασμός**, δηλαδή η επιλογή των δομών αποθήκευσης των σχέσεων, η επιλογή των ευρετηρίων, οι αποφάσεις για συστάδες - γενικά ότι είναι απαραίτητο για να επιτευχθούν οι προσδοκώμενες επιδόσεις χρήσης της ΒΔ.
- Η υλοποίηση μιας (φυσικής) Σχεσιακής Βάσης Δεδομένων περιλαμβάνει τη δημιουργία ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (directory system tables)

Η SQL-92 δεν περιλαμβάνει εντολές για τη δημιουργία ευρετηρίων. Τα περισσότερα εμπορικά ΣΔΒΔ το υποστηρίζουν

```
create [unique] index <index_name>
on <table_name> (<attr_list>);
```

- Η <attr\_list> μπορεί να περιέχει παραπάνω από ένα γνυρίσματα.
- Προαιρετικό UNIQUE σημαίνει ότι το <attr\_list> είναι κλειδί του <table\_name>.

```
drop index <index_name>
```

- Η Oracle δημιουργεί αυτόματα ευρετήρια για κάθε UNIQUE ή PRIMARY KEY ορισμό.

```
select <index_name> from user_indexes
```



Για να κάνουμε όσο το δυνατόν καλύτερο τον Φυσικό Σχεδιασμό πρέπει να :

Κατανοήσουμε το **Φόρτο Εργασίας (workload)**

Ποιές είναι οι σημαντικές ερωτήσεις και πόσο συχνά εμφανίζονται.

Ποιές είναι οι πιο σημαντικές τροποποιήσεις και πόσο συχνά εμφανίζονται.

Ποια είναι η επιθυμητή επίδοση για την εκτέλεση αυτών των ερωτήσεων και τροποποιήσεων.



Πριν δημιουργήσουμε ένα ευρετήριο, πρέπει να συνηγορήσουμε και την επίδρασή του σε ενημερώσεις του φορτίου εργασίας!

Ένα ευρετήριο κάνει τις ερωτήσεις ΠΙΟ ΓΡΗΓΟΡΕΣ και τις ενημερώσεις ΠΙΟ ΑΡΓΕΣ

Επιπλέον, απαιτεί και χώρο στον δίσκο



Για κάθε ερώτηση (query) το φόρτο εργασίας:

Σε ποιες σχέσεις έχει πρόσβαση?

Ποια γνωρίσματα ανακαλεί?

Ποια γνωρίσματα υπεισέρχονται στις συνθήκες για selection/join? Πόσο επιλεκτικές είναι αυτές οι συνθήκες?

Για κάθε ενημέρωση (insert/delete/update):

Ποια γνωρίσματα υπεισέρχονται στις συνθήκες για selection/join? Πόσο επιλεκτικές είναι αυτές οι συνθήκες?

Ο τύπος της ενημέρωσης (INSERT/DELETE/UPDATE), και τα γνωρίσματα που θα επηρεασθούν



#### Αποφάσεις που Απαιτούνται

Τι ευετηρία πρέπει να δημιουργηθούν;

Ποιες σχέσεις πρέπει να έχουν ευετηρία; Ποια γνωρίσματα χρησιμοποιούνται για αναζήτηση; Πρέπει να ορίσουμε πολλαπλά ευετηρία;

Για κάθε ευετηρία, τι είδους ευετηρία πρέπει να είναι;

Συστάδες; Δέντρο/Κατακερματισμός; Δυναμικό/Στατικό; Πυκνό/Μη-πυκνό;

Χρειάζονται αλλαγές και στο εννοιολογικό/λογικό Σχήμα;

Διαφορετικό κανονικοποιημένο σχήμα;

Denormalization (μήπως χρειάζεται από-κανονικοποίηση);

Όψεις, Επανάληψη Δεδομένων (replication) ...