



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ - ΤΜΗΥΠ

ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΙ

Δομές Ευρετηρίων και Κατακερματισμός Αρχείων ΙΙ

*Β. Μεγαλοικονόμου
Δ. Χριστοδουλάκης*

(παρουσίαση βασισμένη εν μέρη σε σημειώσεις των Silberchatz, Korth και Sudarshan και του C. Faloutsos)



Σύνοψη Ύλης

- Σχεσιακό μοντέλο (Relational model) - SQL
 - Επίσημες (Formal) & Εμπορικές γλώσσες ερωτημάτων (commercial query languages)
- Συναρτησιακές Εξαρτήσεις (Functional Dependencies)
- Κανονικοποίηση (Normalization)
- Φυσικός Σχεδιασμός (Physical Design)
- **Ευρετηριοποίηση (Indexing)**



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

- ISAM and B-trees
- ➔ ■ Κατακερματισμός(Hashing)
- Hashing vs B-trees
- Ευρετήρια στην SQL
- Προχωρημένα θέματα:
 - Δυναμικός κατακερματισμός
 - Ευρετηριοποίηση πολλαπλών γνωρισμάτων (multi-attribute indexing)



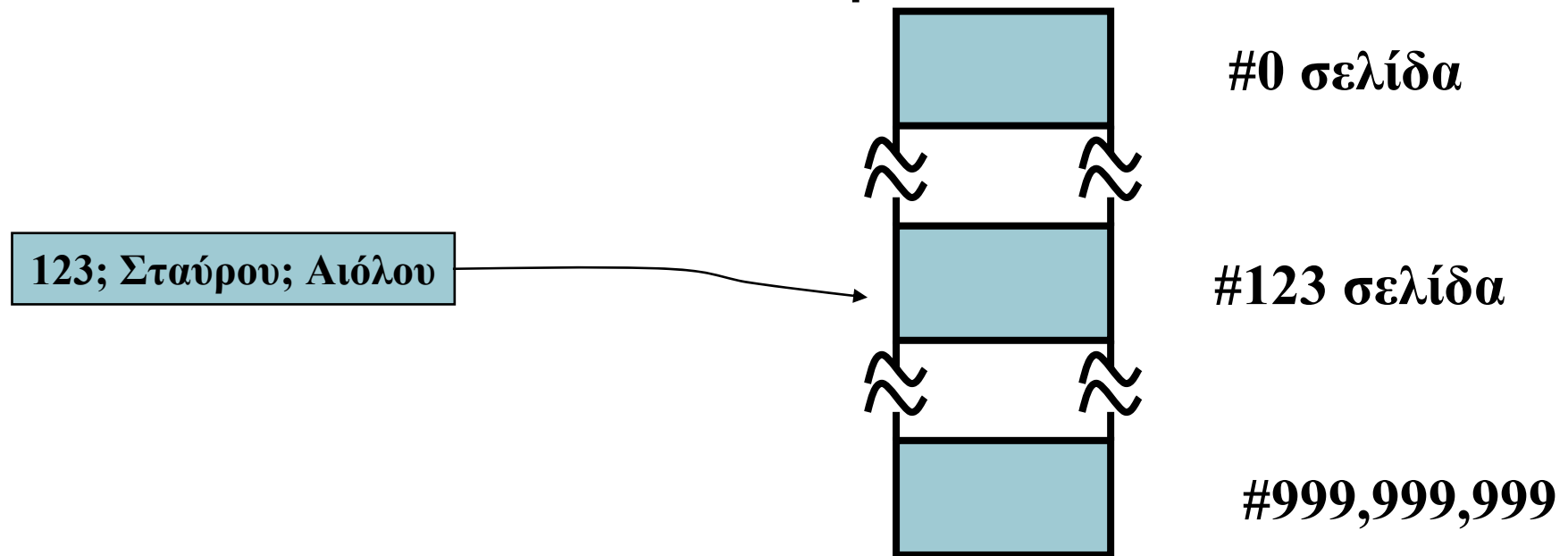
(Στατικός) Κατακερματισμός

Πρόβλημα: “Βρες την εγγραφή του ΥΠΑΛΛΗΛΟΥ
με ΑΦΜ=123”

Ερώτηση: Τι θα γινόταν εάν το κόστος
αποθήκευσης στον δίσκο δεν ήταν σημαντικό
και ο χρόνος πολύ σημαντικός;

Κατακερματισμός

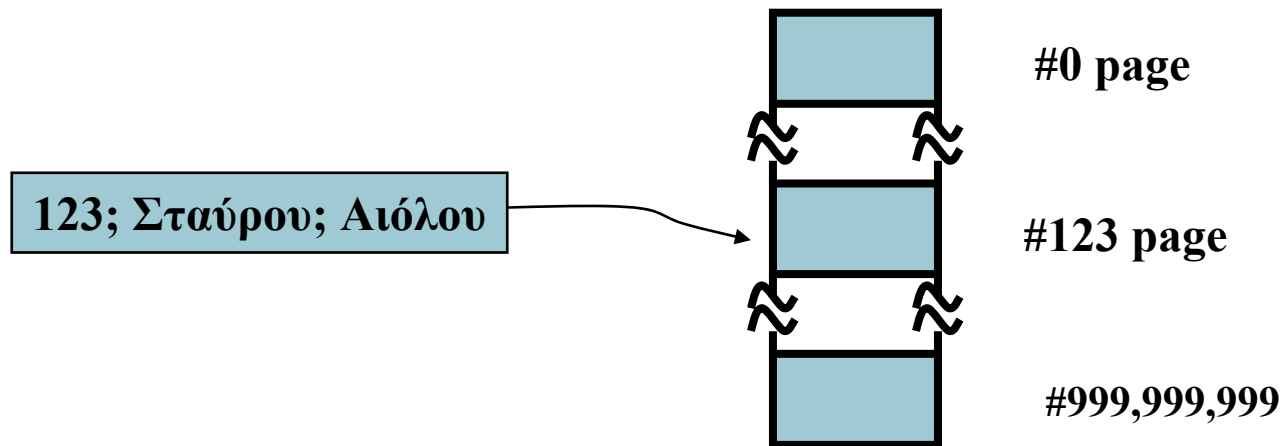
Απάντηση: Εκπληκτική ιδέα: αντιστοίχιση κλειδιού σε διεύθυνση:



Κατακερματισμός

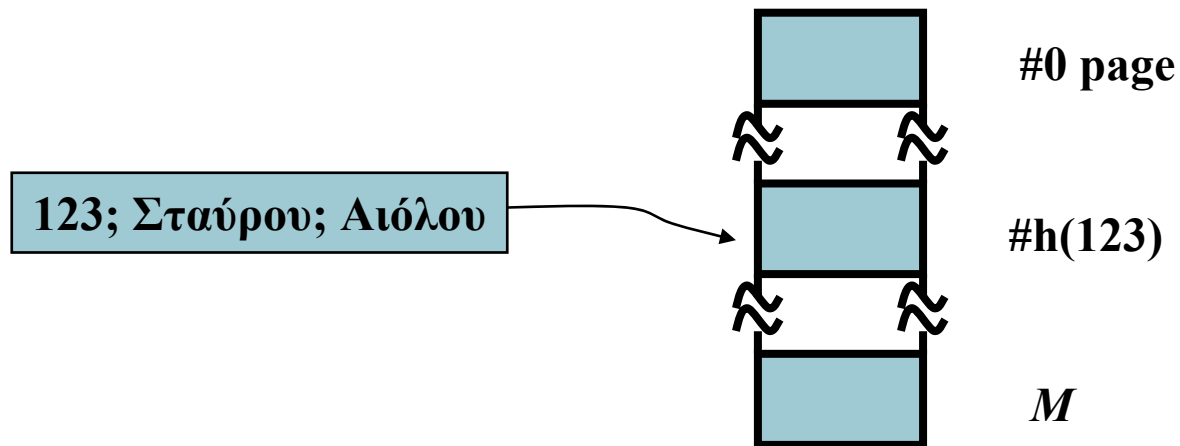
Καθώς ο χώρος κοστίζει :

- Χρησιμοποίηση M , αντί για 999,999,999 σχισμές
- Συνάρτηση Κατακερματισμού: $h(key) = slot-id$



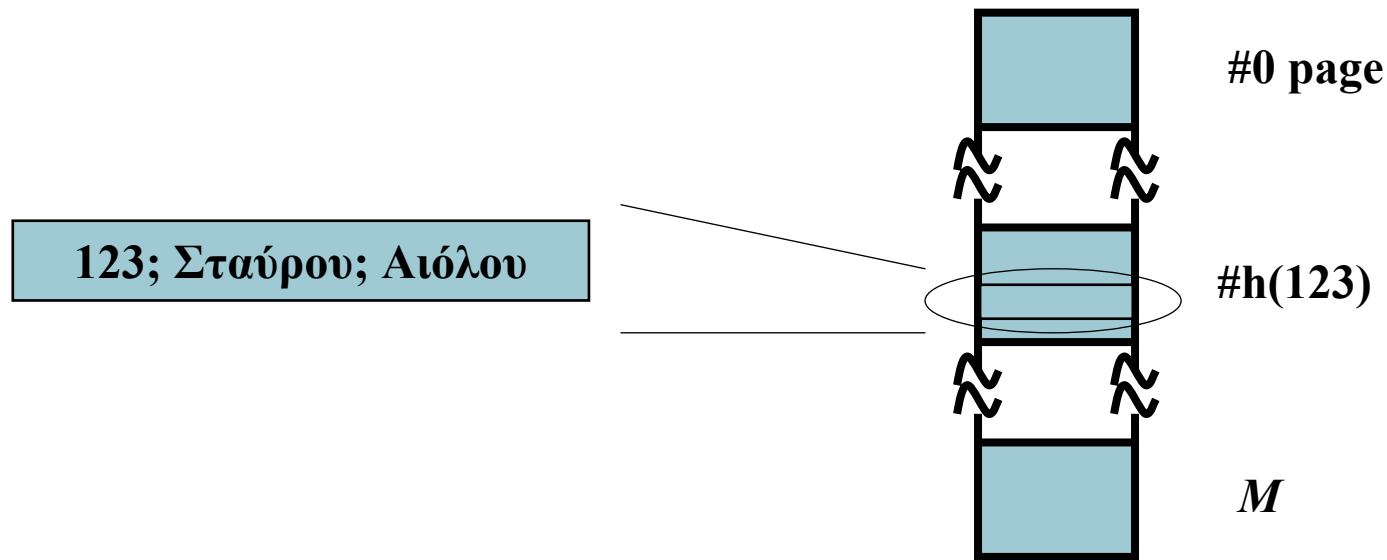
Κατακερματισμός

Τυπικά : Κάθε κάδος κατακερματισμού διατηρεί πολλές εγγραφές :



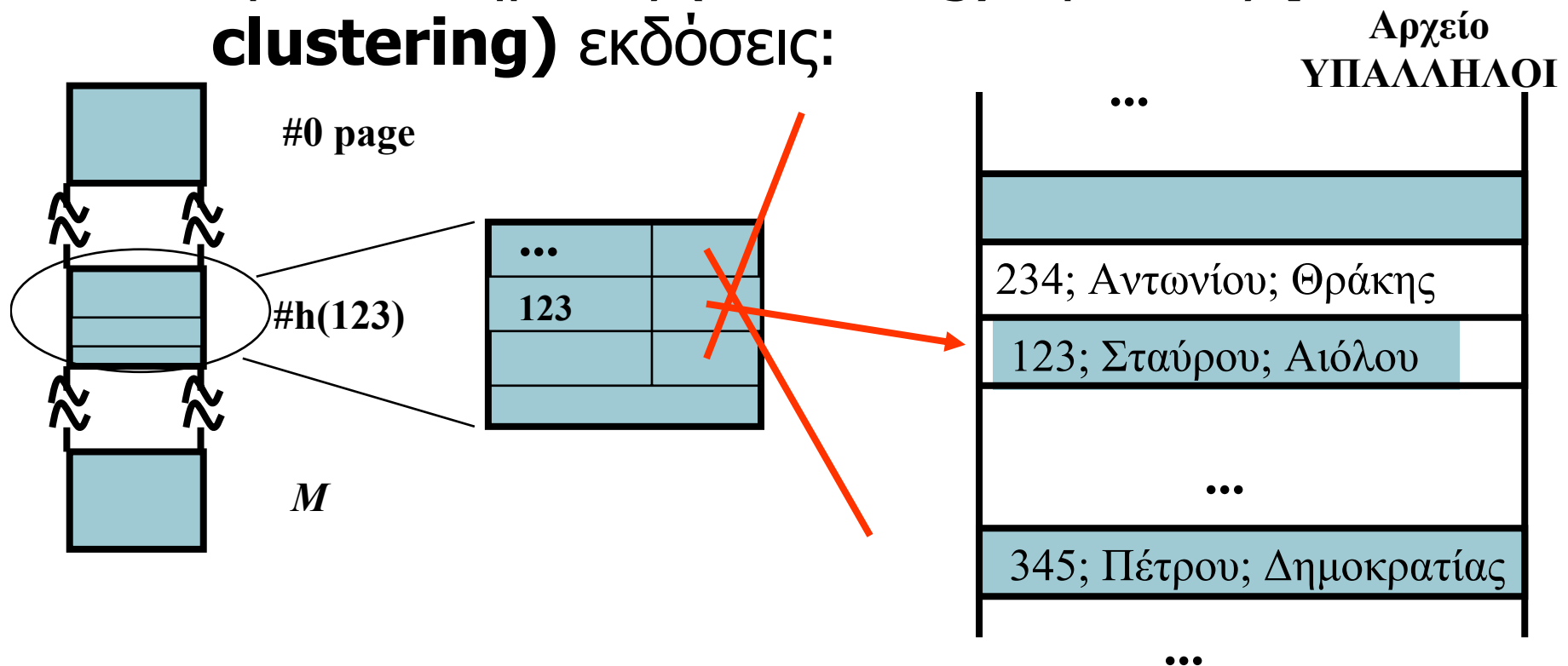
Κατακερματισμός

Παρατήρηση: μπορεί να υπάρξουν
ομαδοποιημένες (**clustering**), ή απλές
(non-clustering) εκδόσεις:



Κατακερματισμός

Παρατήρηση: μπορεί να υπάρξουν
ομαδοποιημένες (clustering), ή απλές (**non-
clustering**) εκδόσεις:





Ευρετηριοποίηση- Περίληψη

- ISAM και B-trees
- Κατακερματισμός
 - Συναρτήσεις κατακερματισμού
 - Μέγεθος του πίνακα κατακερματισμού
 - Επίλυση συγκρούσεων
- Κατακερματισμός vs B-trees
- Ευρετήρια σε SQL
- Προχωρημένα θέματα:





Επιλογές σχεδιασμού



- 1) Φόρμουλα $h()$ ως συνάρτηση κατακερματισμού (**hashing function**)
- 2) Μέγεθος πίνακα κατακερματισμού M
- 3) Μέθοδος Επίλυσης συγκρούσεων (**collision resolution method**)



Επιλογές σχεδιασμού – Συναρτήσεις

- Στόχος:

Ο ομοιόμορφος διαμοιρασμός των κλειδιών στους κάδους κατακερματισμού

- Δημοφιλής Επιλογές:

- Κατακερματισμός με διαίρεση (**Division hashing**)
- Κατακερματισμός με πολλαπλασιασμό (**Multiplication hashing**)



Κατακερματισμός με διαίρεση

$$h(x) = (a*x+b) \bmod M$$

- Π.χ., $h(ssn) = (ssn) \bmod 1,000$
 - Δίνει τα τρία τελευταία ψηφία του ssn
- M : μέγεθος size του πίνακα κατακερματισμού – Επιλέγουμε επιφυλακτικά, έναν πρώτο αριθμό (Γιατί;)



Κατακερματισμός με διαίρεση

- Π.χ., $M=2$; Κατακερματισμό στο πεδίο: αριθμός-διπλώματος οδηγού (driver-license number) **dln**, του οποίου το τελευταίο ψηφίο είναι το 'φύλο' (0/1 = M/F)
- Σε μια στρατιωτική μονάδα όπου η πλειοψηφία είναι άνδρες στρατιώτες
- Έτσι: για να αποφύγουμε περιπτώσεις όπου το M και τα κλειδιά έχουν κοινούς διαιρέτες επιλέγουμε M πρώτο αριθμό!



Κατακερματισμός με πολλαπλασιασμό

$$h(x) = [\textit{fractional-part-of} (x * \varphi)] * M$$

- φ : χρυσή αναλογία (golden ratio) ($0.618... = (\sqrt{5}-1)/2$)
- Γενικά, επιθυμούμε άρρητους αριθμούς
- Πλεονέκτημα: Το **M** Δεν χρειάζεται να είναι πρώτος αριθμός
- Αλλά ο φ πρέπει να είναι άρρητος



Άλλες συναρτήσεις κατακερματισμού

- Κατακερματισμός δευτέρου βαθμού (**quadratic hashing**) - κακή τεχνική
- ...
- Συμπέρασμα: χρησιμοποιείτε **κατακερματισμό με διαίρεση**



Επιλογές σχεδιασμού

1) Φόρμουλα $h()$ ως συνάρτηση κατακερματισμού (**hashing function**)



2) Μέγεθος πίνακα κατακερματισμού M

3) Μέθοδος Επίλυσης συγκρούσεων (**collision resolution method**)



Μέγεθος του πίνακα κατακερματισμού

- Πχ., 50,000 υπάλληλοι, 10 εγγραφές υπαλλήλων ανά σελίδα
- Ερώτηση: $M=??$ Σελίδες/κάδοι/σχισμές



Μέγεθος του πίνακα κατακερματισμού

- Πχ., 50,000 υπάλληλοι, 10 εγγραφές υπαλλήλων ανά σελίδα
- Ερώτηση: $M=??$ Σελίδες/κάδοι/σχισμές
- Απάντηση: Χρησιμοποίηση $\sim 90\%$ και
 - M : πρώτος αριθμός

Π.χ., στην περίπτωση που εξετάζουμε : $M = \text{o εγγύτερος πρώτος στο } 50,000/10/0.9 = 5,555$



Επιλογές σχεδιασμού

- 1) Φόρμουλα $h()$ ως συνάρτηση κατακερματισμού (**hashing function**)
- 2) Μέγεθος πίνακα κατακερματισμού M
- ⇒ 3) Μέθοδος Επίλυσης συγκρούσεων (**collision resolution method**)

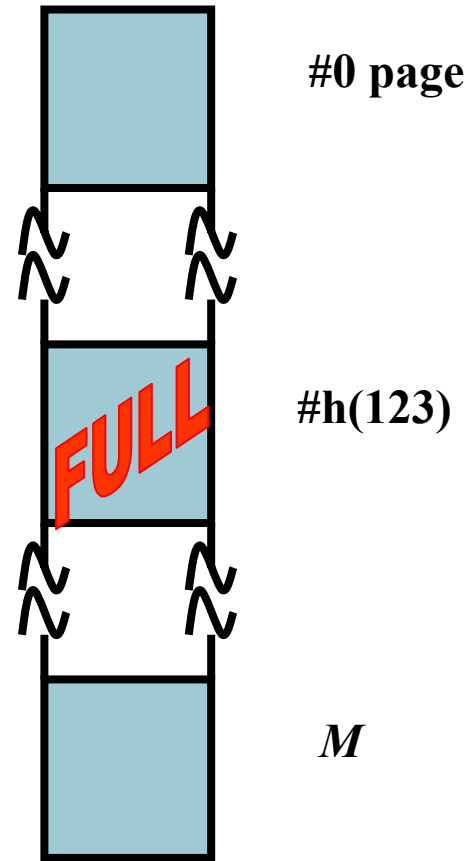


Επίλυση συγκρούσεων

- Ερώτηση: Πότε συμβαίνει μία 'σύγκρουση';
- Απάντηση: ;;;

Επίλυση Συγκρούσεων

123; Σταύρου; Αιόλου





Επίλυση Συγκρούσεων

- Ερώτηση: Πότε συμβαίνει μία 'σύγκρουση';
- Απάντηση: ;;;
- Ερώτηση: Γιατί να ανησυχούμε για συγκρούσεις/ υπερχειλίσσεις;
 - (θυμηθείτε ότι οι κάδοι είναι ~90% γεμάτοι)
- Απάντηση: Π.χ. Ένας τραπεζικός λογαριασμός ισορροπεί μεταξύ \$0 και \$10,000 και μεταξύ \$90,000 και 100,000

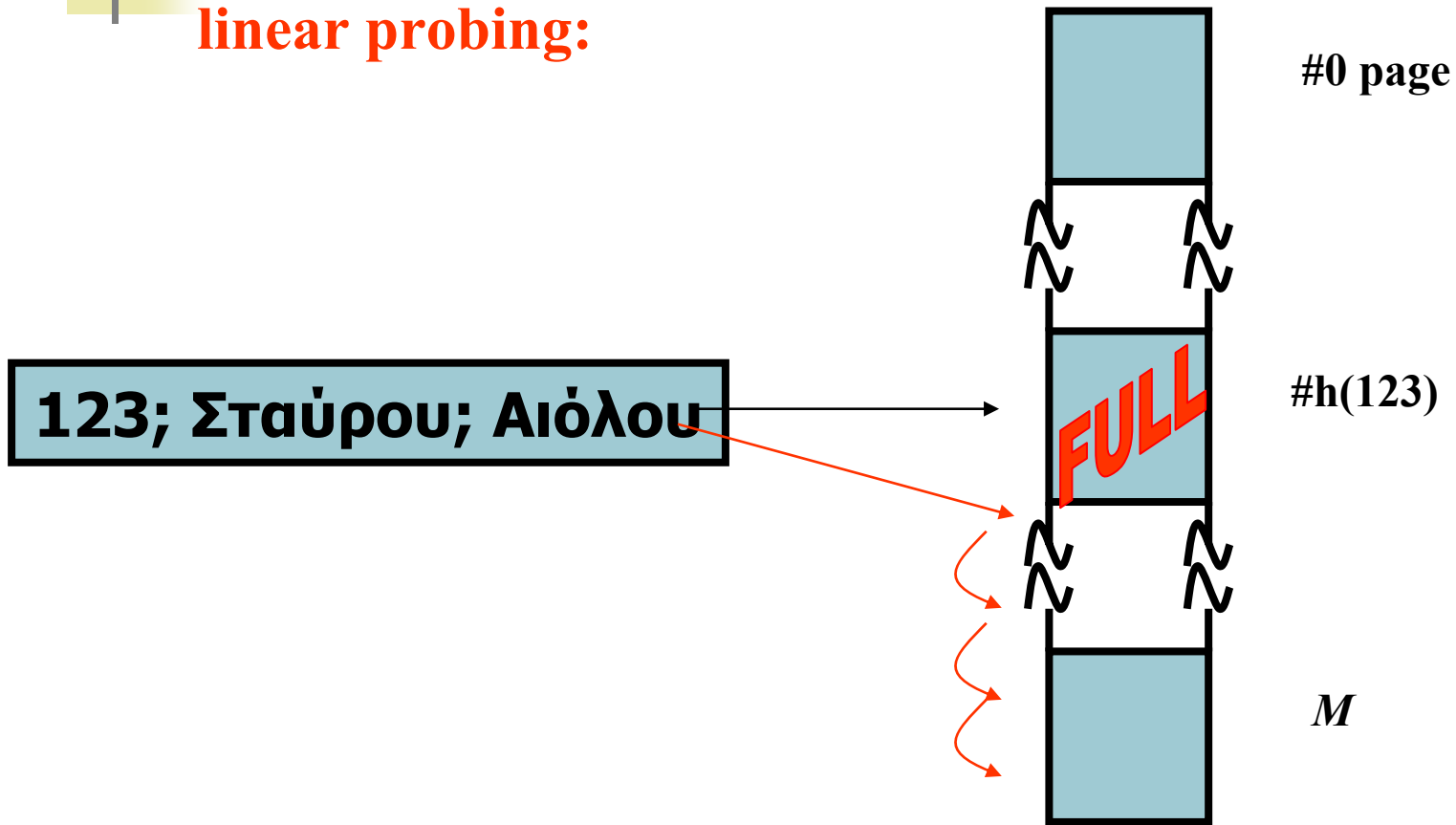


Επίλυση Συγκρούσεων

- Ανοιχτή διευθυνσιοδότηση (Open addressing)
 - linear probing (δηλ., ελέγχουμε διαδοχικές θέσεις (κάδους/σχισμές) από την αρχική θέση που προσδιόρισε η συνάρτηση κατακερματισμού μέχρι να βρεθεί ελεύθερη θέση)
 - re-hashing
- Αλυσιδωτή σύνδεση (**separate chaining**) (δηλ., χρησιμοποιούμε συνδέσεις στις σελίδες υπερχείλισης)

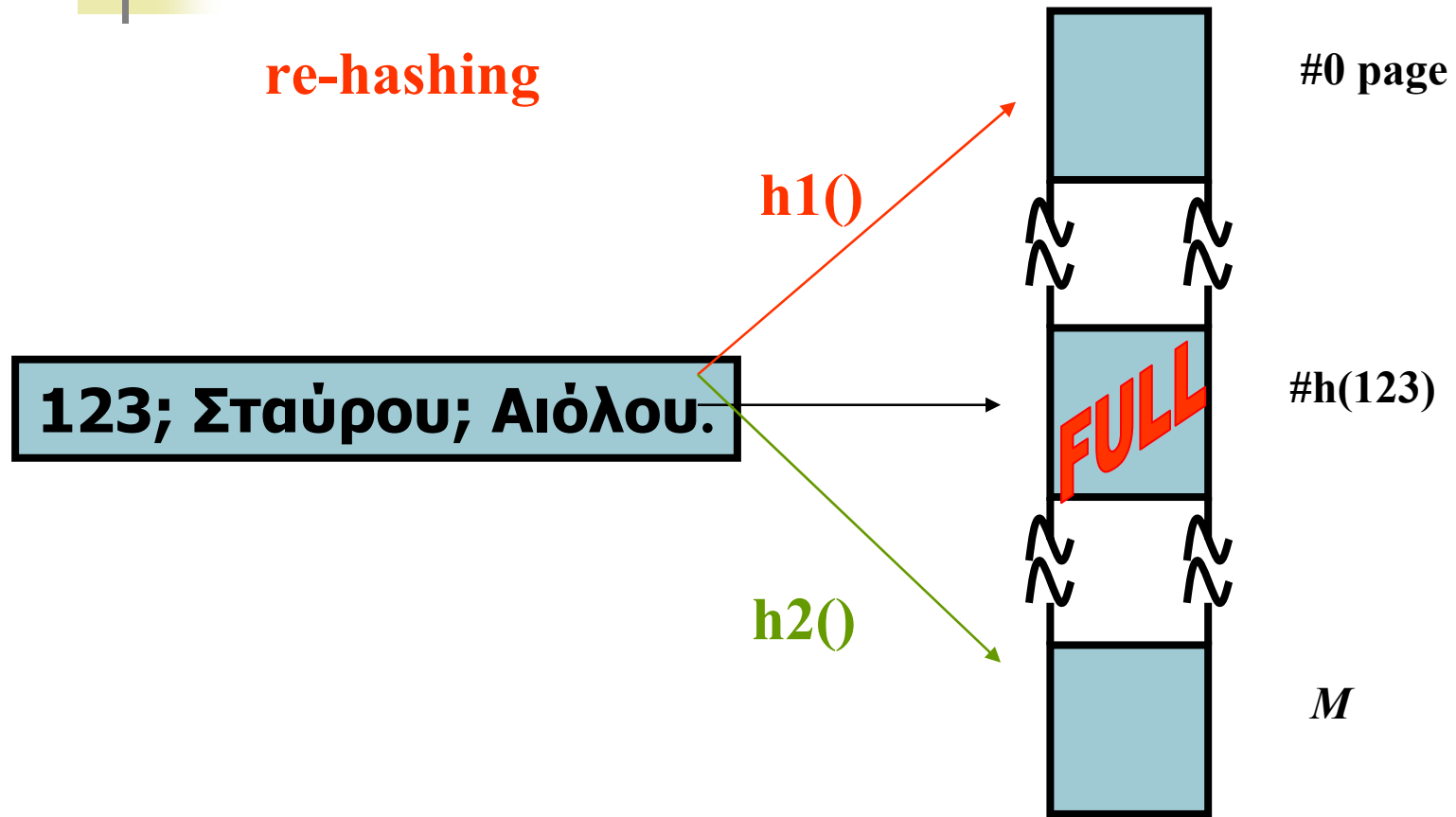
Επίλυση Συγκρούσεων

linear probing:



Επίλυση Συγκρούσεων

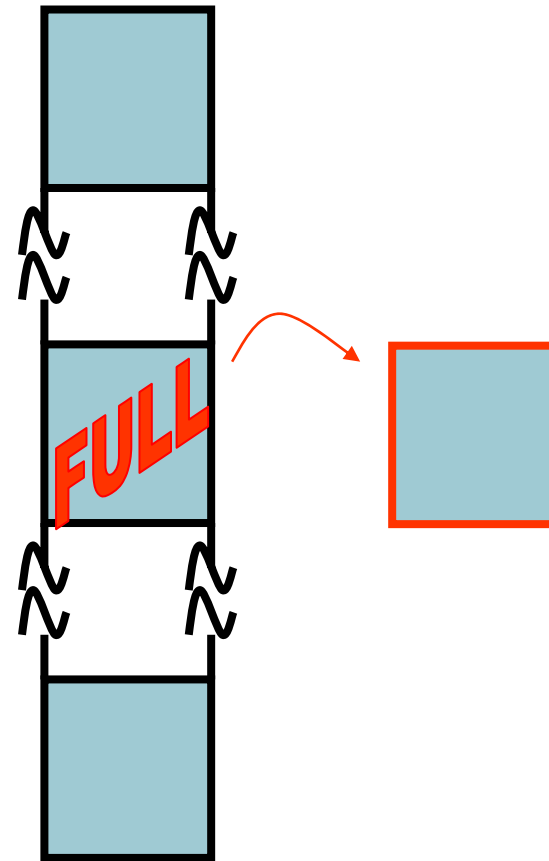
re-hashing



Επίλυση Συγκρούσεων

separate chaining

123; Σταύρου; Αιόλου






Επιλογές σχεδιασμού - Συμπεράσματα

- Συνάρτηση : κατακερματισμός με διαίρεση
 - $h(x) = (a*x+b) \bmod M$
- μέγεθος M : ~90% ποσοστό χρησιμοποίησης.
Πρώτος αριθμός.
- Επίλυση συγκρούσεων: Αλυσιδωτή σύνδεση
 - Ευκολότερη υλοποίηση (διαγραφές!);
 - Δεν υπάρχει κίνδυνος υπερχείλησης



Ευρετηριοποίηση - Περίληψη

- 
- ISAM και B-trees
 - Κατακερματισμός
 - Κατακερματισμός vs B-trees
 - Ευρετήρια Indices in SQL
 - Προχωρημένα θέματα:
 - Δυναμικός κατακερματισμός
 - Ευρετηριοποίηση πολλαπλών γνωρισμάτων (multi-attribute indexing)



Κατακερματισμός vs B-trees:

Ο κατακερματισμός προσφέρει:

- **ΤΑΧΥΤΗΤΑ** ! ($O(1)$ Χρόνος αναζήτησης **ΜΕΣΗΣ** περίπτωσης)

...αλλά τα B-trees προσφέρουν:



Κατακερματισμός vs B-trees:

... αλλά τα B-trees προσφέρουν:

Διάταξη κλειδιών:

- **Ερωτήματα διαστημάτων (range queries)**
- **Προσεγγιστικά ερωτήματα (proximity queries)**
- **Σειριακή σάρωση (sequential scan)**
- $O(\log(N))$ εγγύηση για αναζήτηση/εισαγωγή/διαγραφή
- Ομαλή επαύξηση / συρρίκνωση



Κατακερματισμός vs B-trees:

Έτσι:

- Τα B-trees χρησιμοποιούνται στα περισσότερα συστήματα

Σημείωση:

- Ο κατακερματισμός όχι (Γιατί?)



Ευρετηριοποίηση- Περίληψη

- ISAM και B-trees
- Κατακερματισμού
- Κατακερματισμός vs B-trees
- ⇒ ■ Ευρετήρια σε SQL
- Προχωρημένα θέματα:



Ευρετηριοποίηση σε SQL

- ***create*** index **<index-name>** on **<relation-name>** (**<attribute-list>**)
- ***create unique*** index **<index-name>** on **<relation-name>** (**<attribute-list>**)
(Στην περίπτωση που το κλειδί αναζήτησης είναι υποψήφιο κλειδί (candidate key))
- ***drop*** index **<index-name>**



Ευρετηριοποίηση σε SQL

- Π.χ.,
**create index ssn-index
on STUDENT (ssn)**
- ή (Π.χ., στον πίνακα *TAKES(ssn,cid,
grade)*) :
**create index sc-index
on TAKES (ssn, c-id)**



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

- ISAM and B-trees
- Κατακερματισμός (Hashing)
- Hashing vs B-trees
- Ευρετήρια στην SQL
- Προχωρημένα θέματα: (θεωρητικό ενδιαφέρον)
 - Δυναμικός κατακερματισμός
 - Ευρετηριοποίηση πολλαπλών γνωρισμάτων (multi-attribute indexing)





Πρόβλημα με τον στατικό Κατακερματισμό

- Πρόβλημα: υπερχείλιση ;
- Πρόβλημα: Υποχείλιση; (ποσοστό μη χρησιμοποίησης (under-utilization))



Λύση: Δυναμικός/ επεκτατός Κατακερματισμός

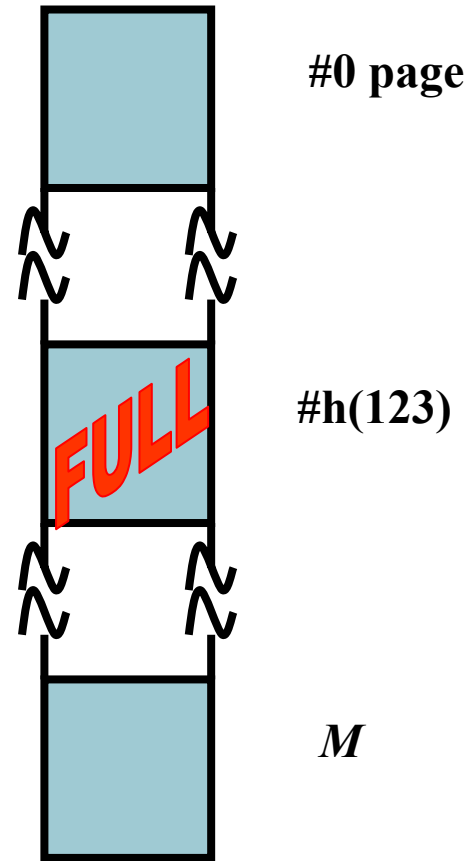
- Ιδέα: Συρρίκνωσε / επαύξησε τον πίνακα κατακερματισμού κατ' απαίτηση..
- ... → Δυναμικός κατακερματισμός

Λεπτομέρειες : Πώς θα μεγαλώσει ομαλά σε περίπτωση υπερχείλισης ;

Πολλές λύσεις – Μία από αυτές : Επεκτατός κατακερματισμός(extendible hashing)

Επεκτατός Κατακερματισμός (Extendible hashing)

123; Σταύρου; Αιόλου

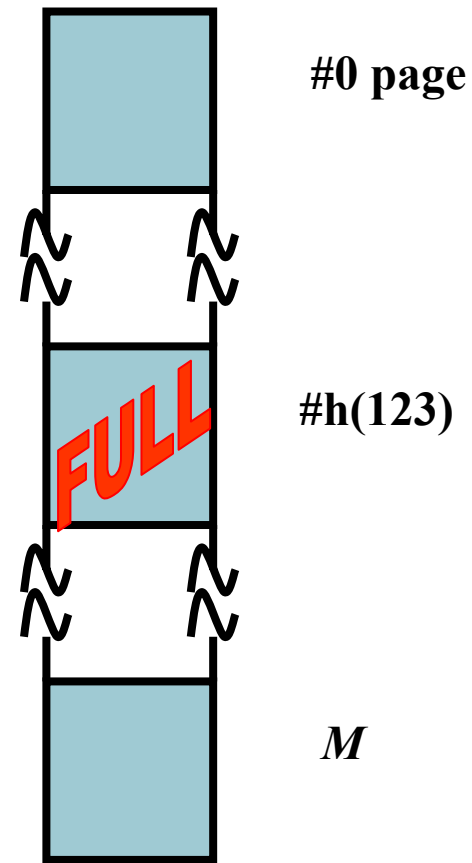


Επεκτατός Κατακερματισμός

Λύση:

**Διέσπασε τον κάρδο σε
δύο κάρδους**

123; Σταύρου; Αιόλου.





Επεκτατός Κατακερματισμός

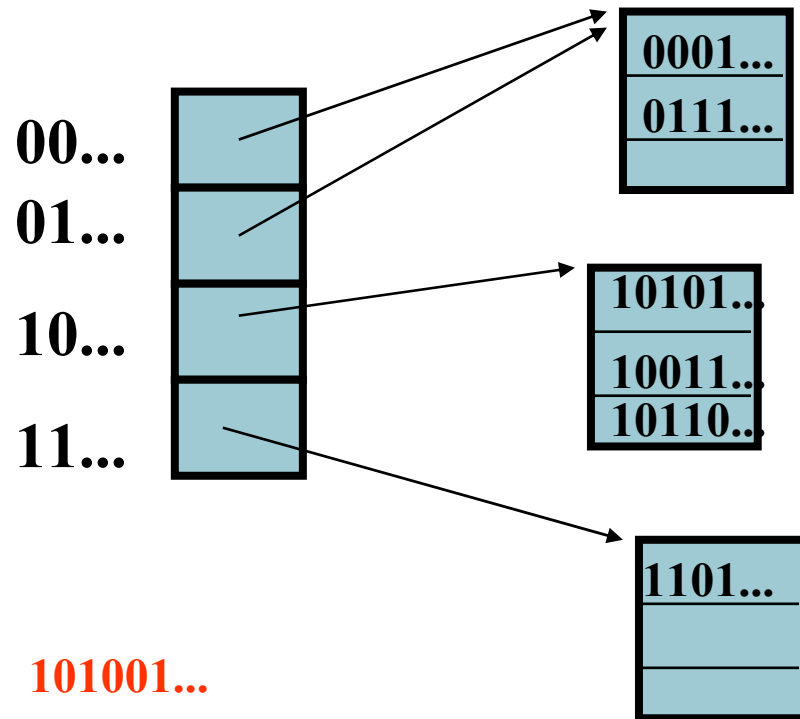
Λεπτομερώς:

- Διατήρησε ευρετήριο, με δείκτες που δείχνουν σε κάδους κατακερματισμού
- Ερώτηση: Πώς θα διαιρέσουμε τα περιεχόμενα ενός κάδου στα δύο;
- Απάντηση: αντιστοίχησε κάθε κλειδί σε μία μεγάλη ακολουθία bits. Κράτησε μόνο όσα bits είναι απαραίτητα

Τελικά:

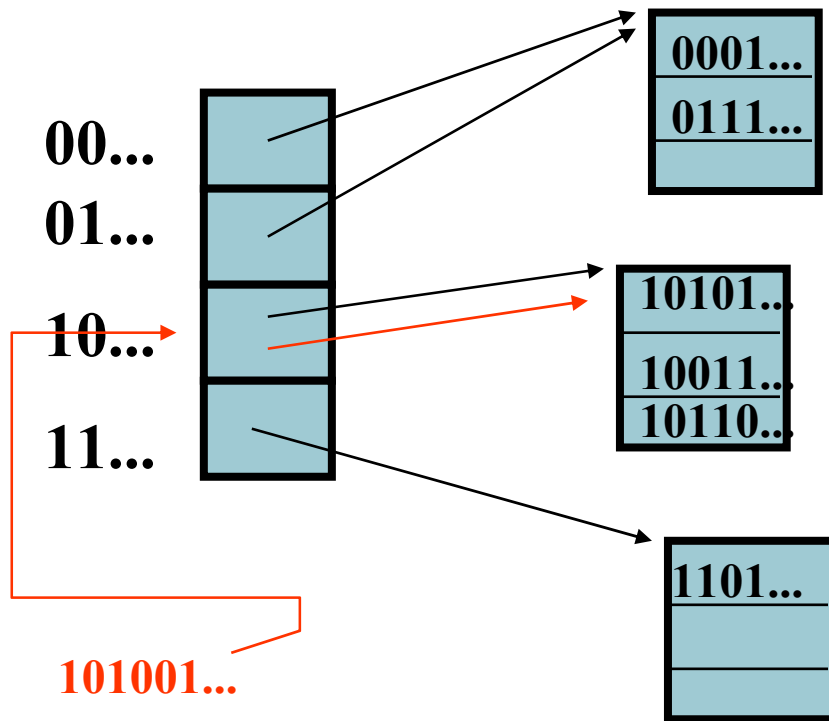
Επεκτατός Κατακερματισμός

Ευρετήριο



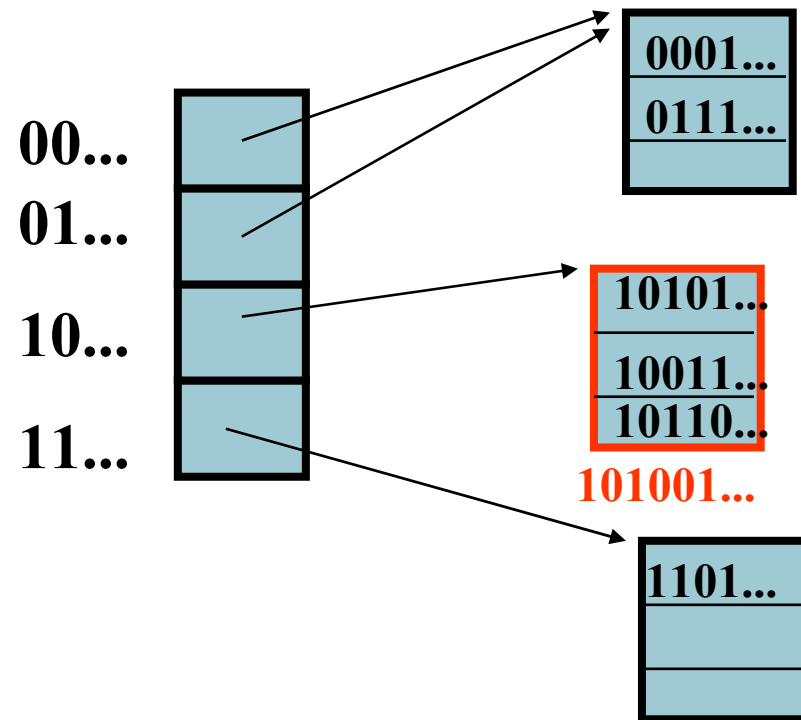
Επεκτατός Κατακερματισμός

Ευρετήριο



Επεκτατός Κατακερματισμός

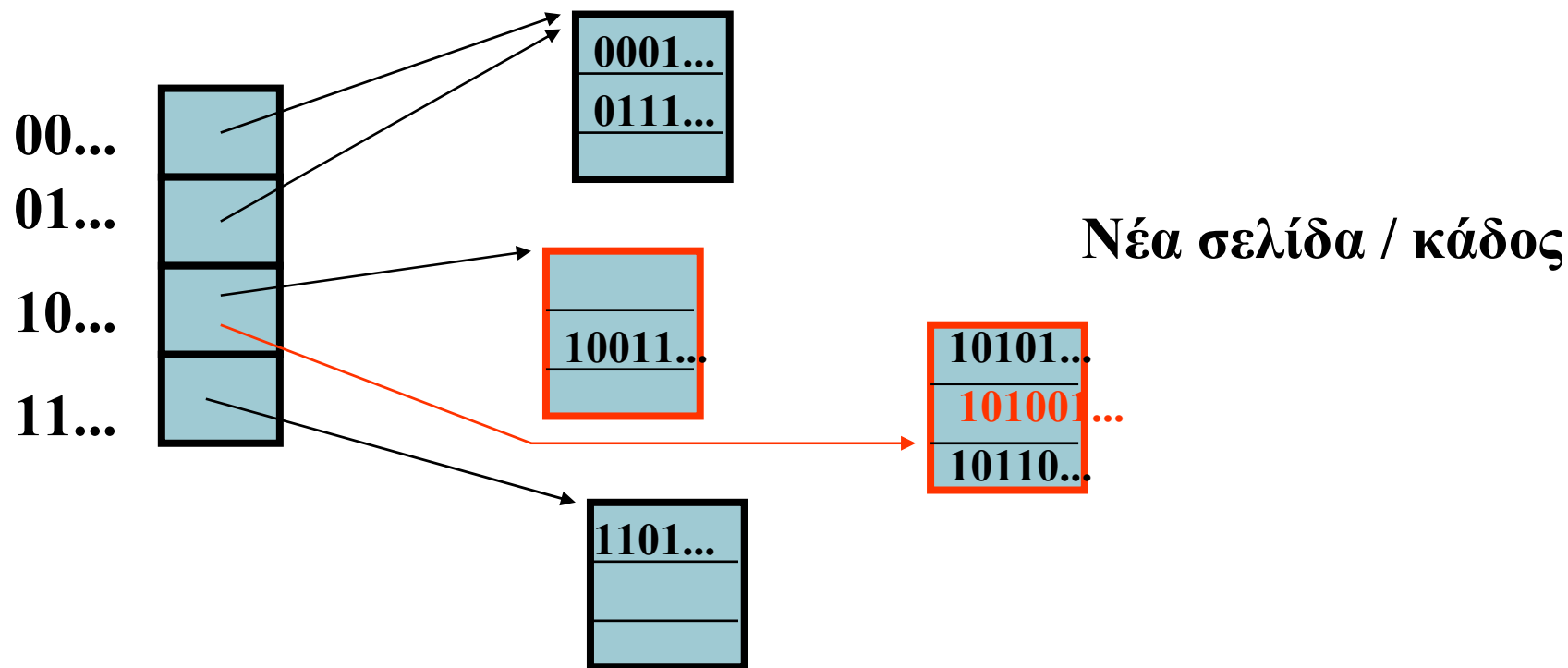
Ευρετήριο



Διάσπαση
στο τρίτο
bit

Επεκτατός Κατακερματισμός

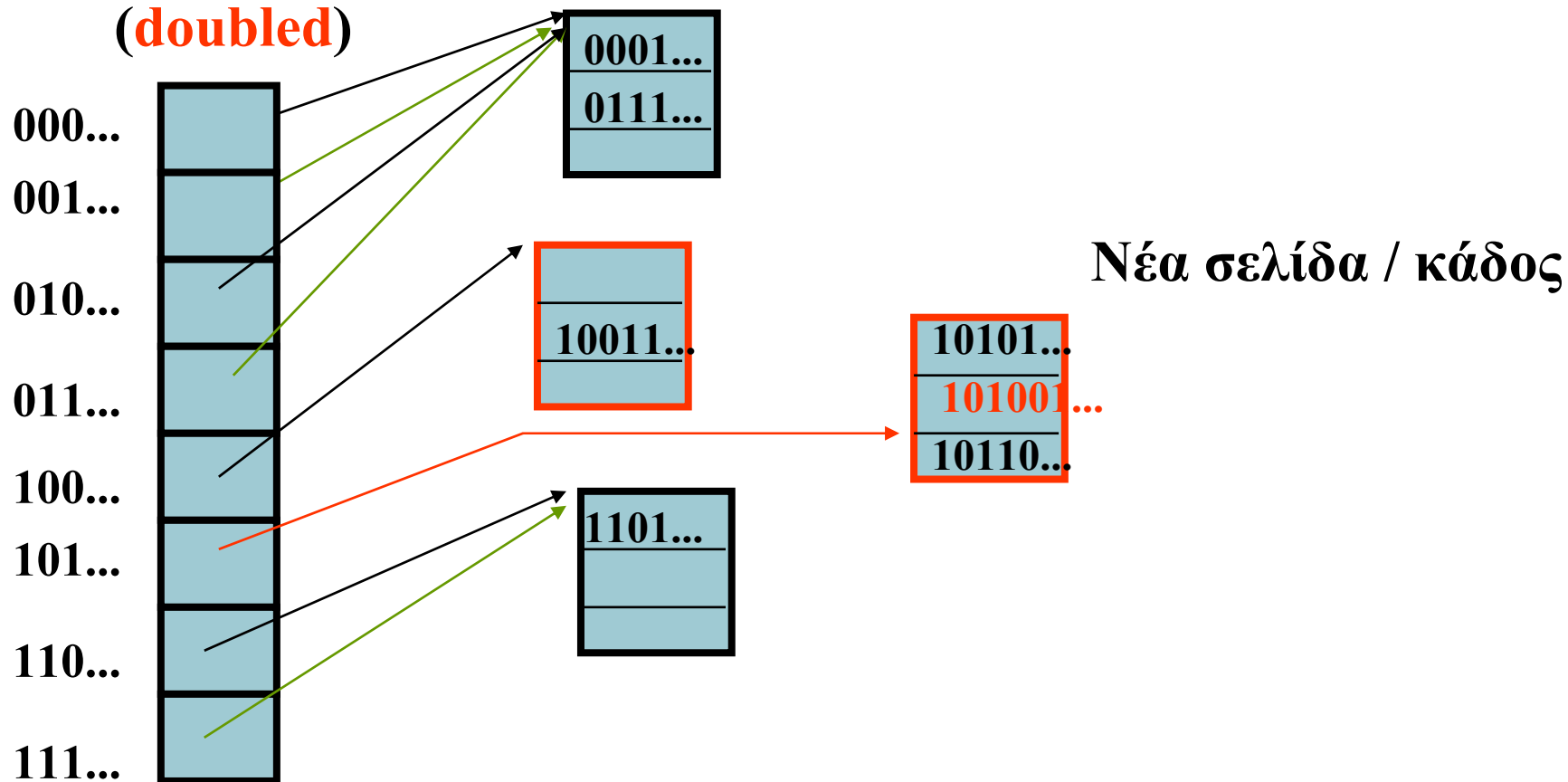
Ευρετήριο



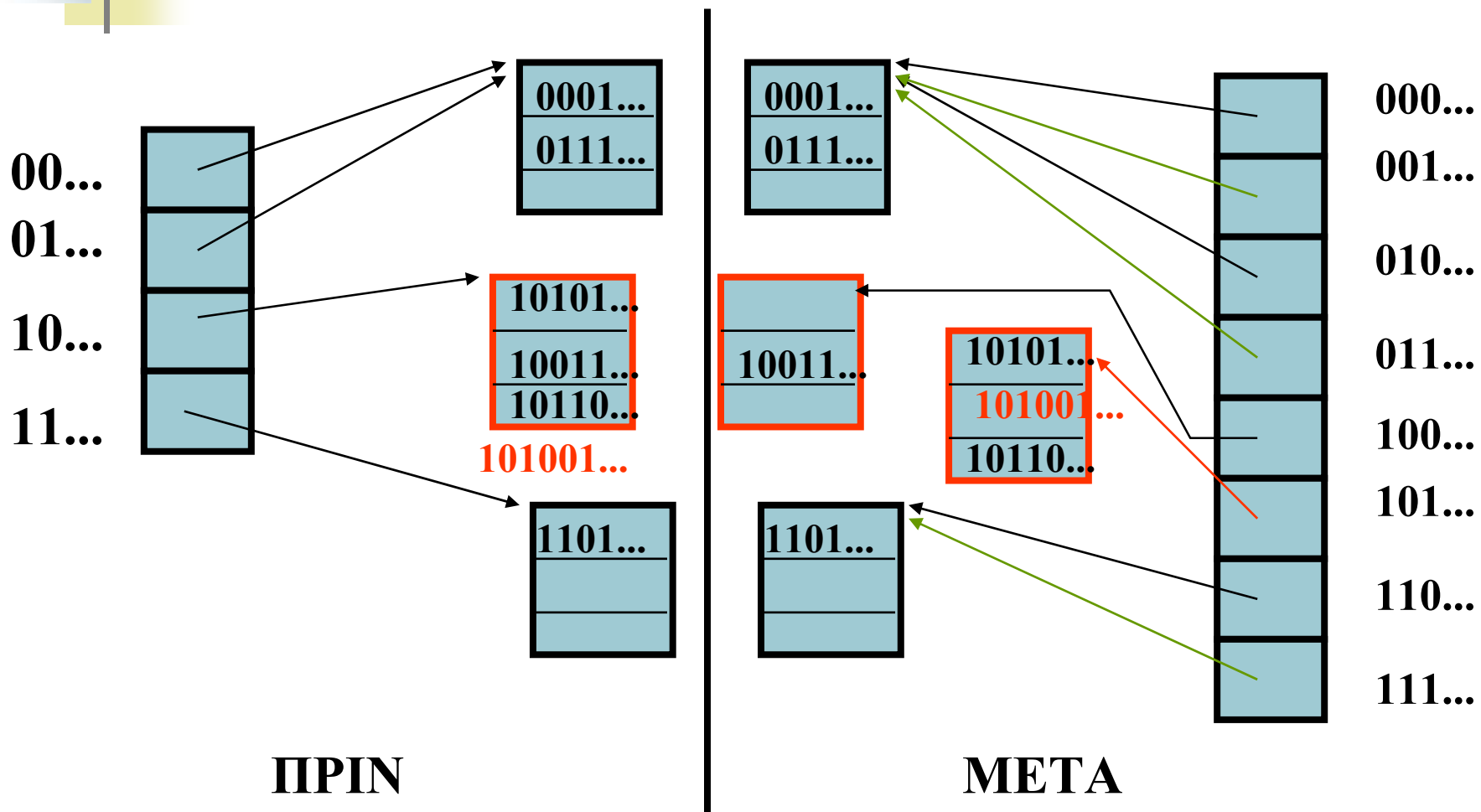
Επεκτατός Κατακερματισμός

Ευρετήριο

(doubled)



Επεκτατός Κατακερματισμός





Επεκτατός Κατακερματισμός

- Σύνοψη:
 - Το ευρετήριο (directory) διπλασιάζεται κατ' απαίτηση
 - ή μειώνεται στο μισό, σε αρχεία που συρρικνώνονται
 - Απαιτεί πίνακα με 2^d διευθύνσεις
 - **d**: 'ολικό(**global-depth**)'
 - Κάθε κάδος διατηρεί 'τοπικό(**local-depth**)' d'
 - Προσδιορίζει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων στα οποία βασίζεται η χρήση του κάδου.
 - Κυρίως θεωρητικό ενδιαφέρον – το ίδιο για
 - Γραμμικός κατακερματισμός (linear hashing) του Litwin
 - 'order preserving'
 - Τέλειος κατακερματισμός (perfect hashing) (χωρίς συγग्रούσεις!)



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

- ISAM and B-trees
- Κατακερματισμός(Hashing)
- Hashing vs B-trees
- Ευρετήρια στην SQL
- Προχωρημένα θέματα: (θεωρητικό ενδιαφέρον)
 - Δυναμικός κατακερματισμός
 - Ευρετηριοποίηση πολλαπλών γνωρισμάτων (multi-attribute indexing)

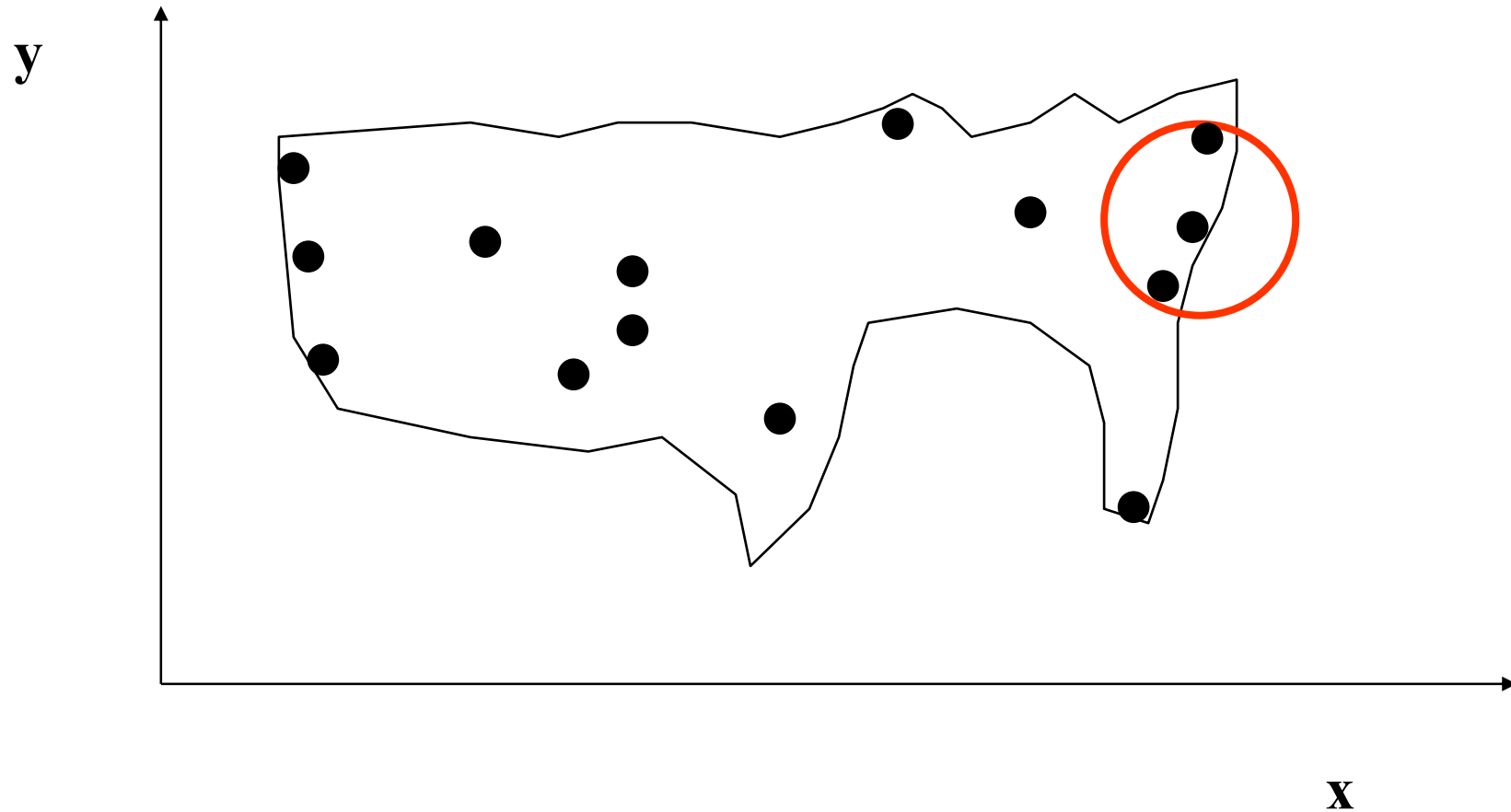




Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά (multiple-key access)

- Πώς θα υποστηρίξουμε ερωτήματα σε πολλαπλά ερωτήματα, όπως
 - `grade >= 3 and course = '415'`
- Βασικό κίνητρο: Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)

Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά





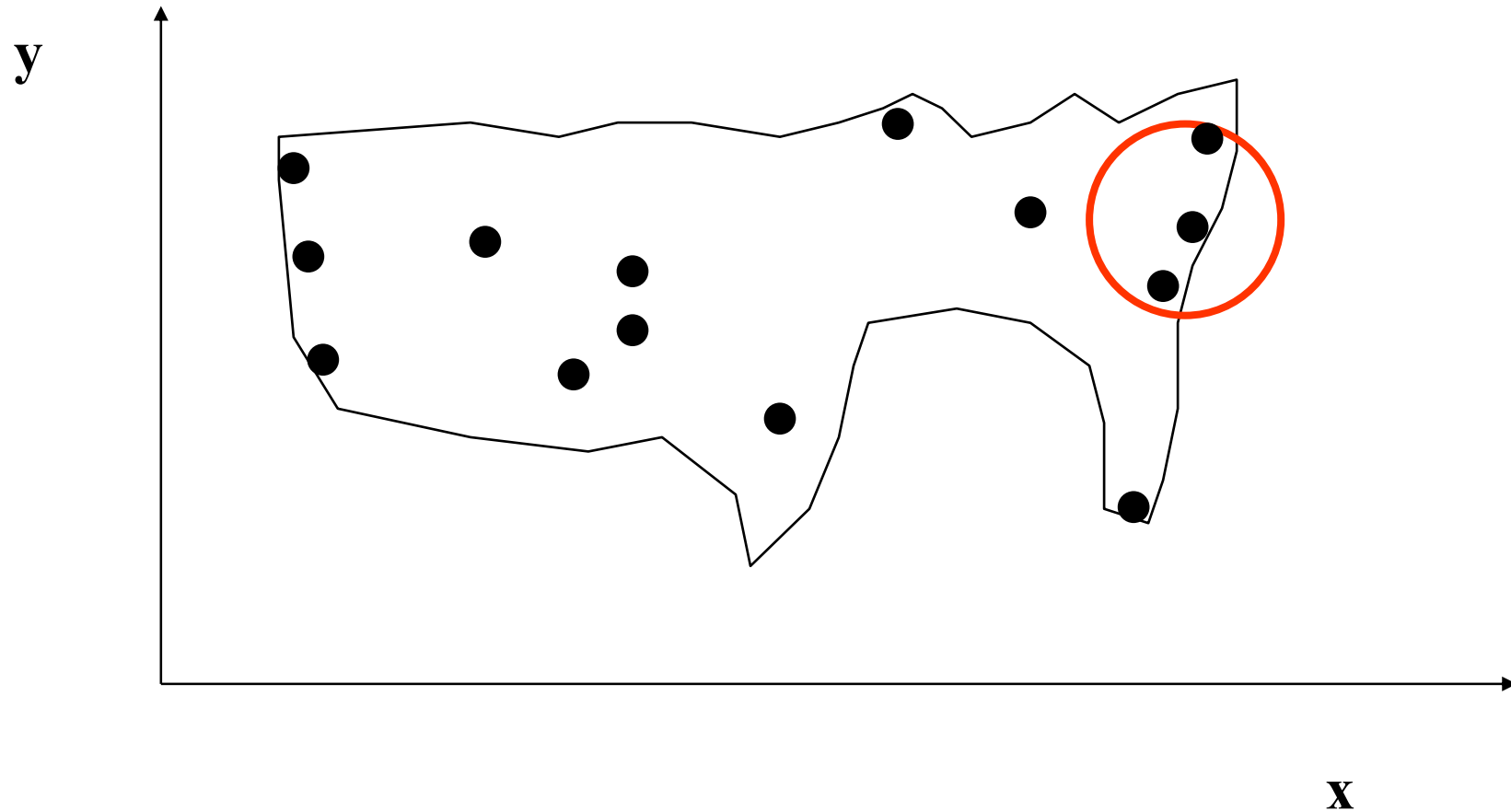
Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά

Τυπικό ερώτημα:

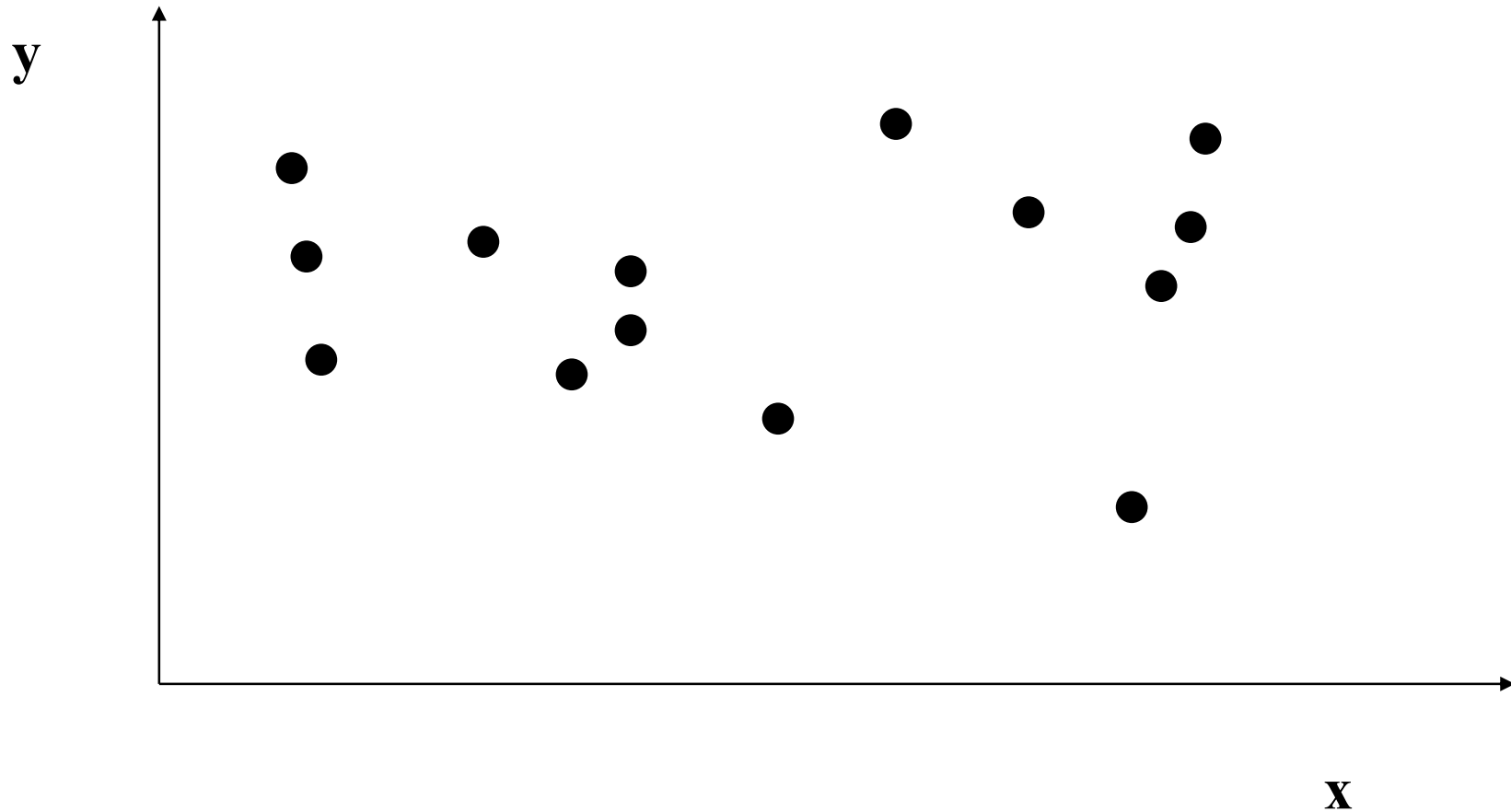
- Βρες τις πόλεις που βρίσκονται το πολύ σε απόσταση x χιλιομέτρων από την Αθήνα

Έτσι επιθυμούμε να αποθηκεύσουμε κοντινές πόλεις στην ίδια σελίδα δίσκου:

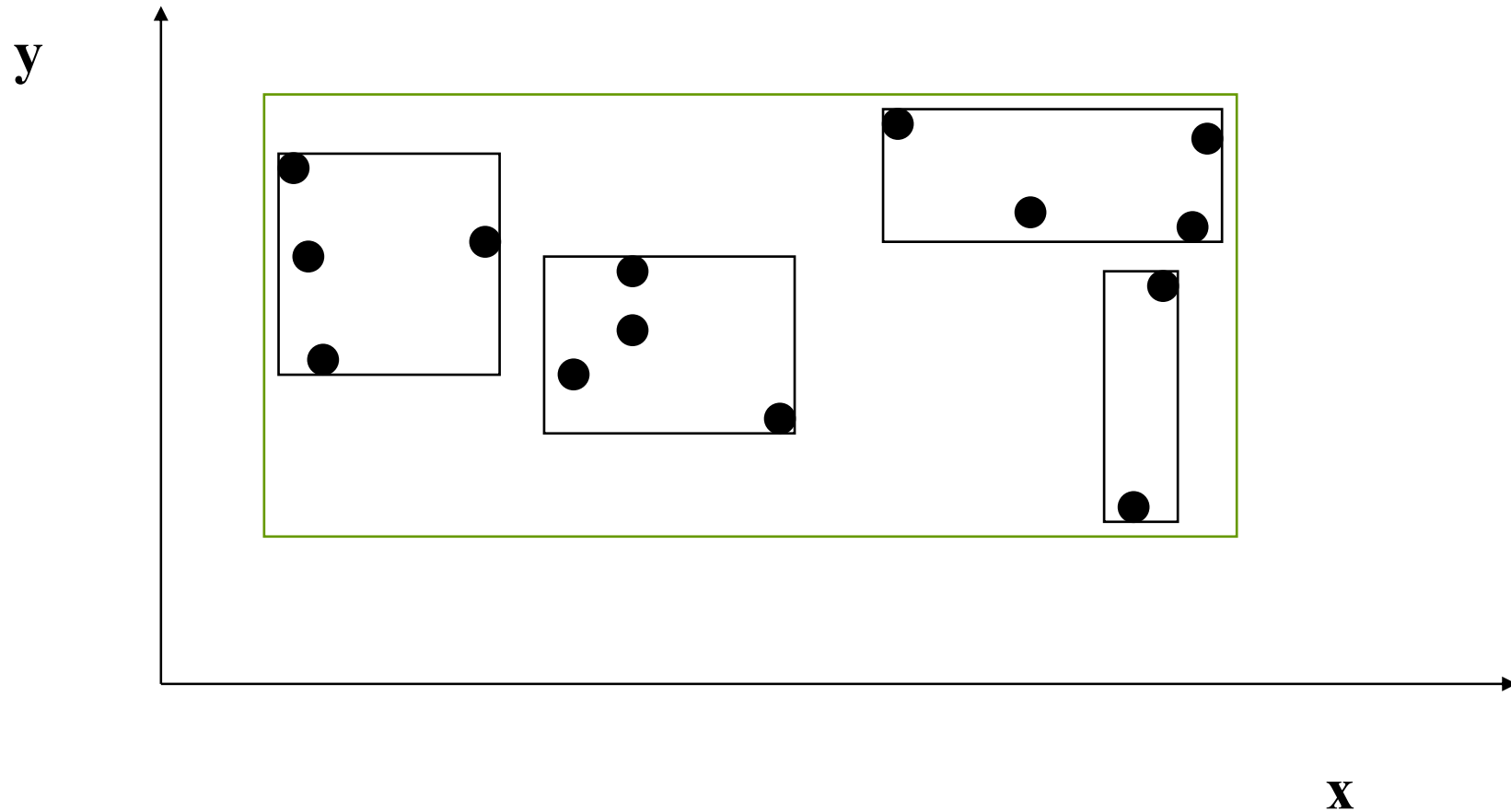
Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά



Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά



Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά - R-trees





Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά - R-trees

- R-trees: πολύ επιτυχή για GIS
- ...σε συνδυασμό με την κατά z-διάταξη '(z-ordering')
- Περισσότερες λεπτομέρειες... στην ενότητα SAMs II



Ευρετηριοποίηση - Σύνοψη

industry workhorse

- ISAM και **B-trees**
- Κατακερματισμός
- Κατακερματισμός vs B-trees
- Ευρετήρια στην SQL
- Προχωρημένα θέματα:
 - Δυναμικός κατακερματισμός
 - Ευρετηριοποίηση πολλαπλών γνωρισμάτων (multi-attribute indexing)