

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ - ΤΜΗΥΠ

ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ Ι

Β. Μεγαλοοικονόμου
Δ. Χριστοδουλάκης

Δομές Ευρετηρίων και Κατακερματισμός Αρχείων ΙΙ

(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 ερωτήσεων (commercial query languages)
- **Συναρτησιακές Εξαρτήσεις** (Functional Dependencies)
- **Κανονικοποίηση** (Normalization)
- **Φυσικός Σχεδιασμός** (Physical Design)
- **Ευρετηριοποίηση** (Indexing)



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

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



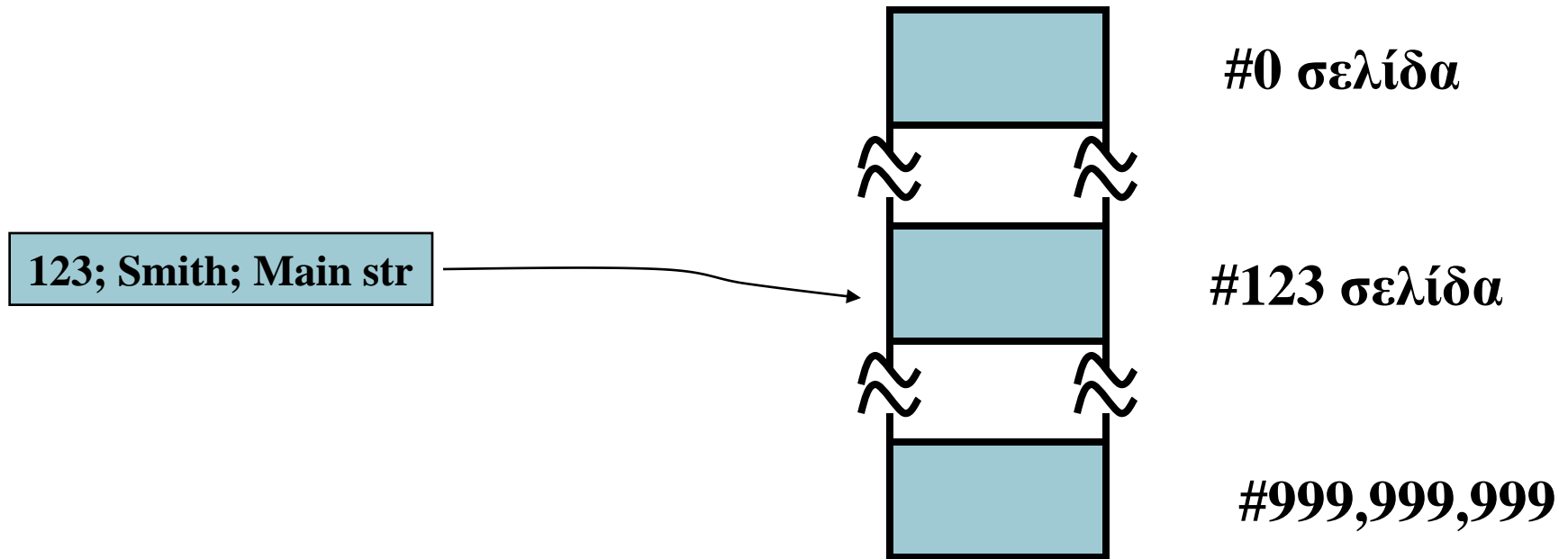
(Στατικός) Κατακερματισμός

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

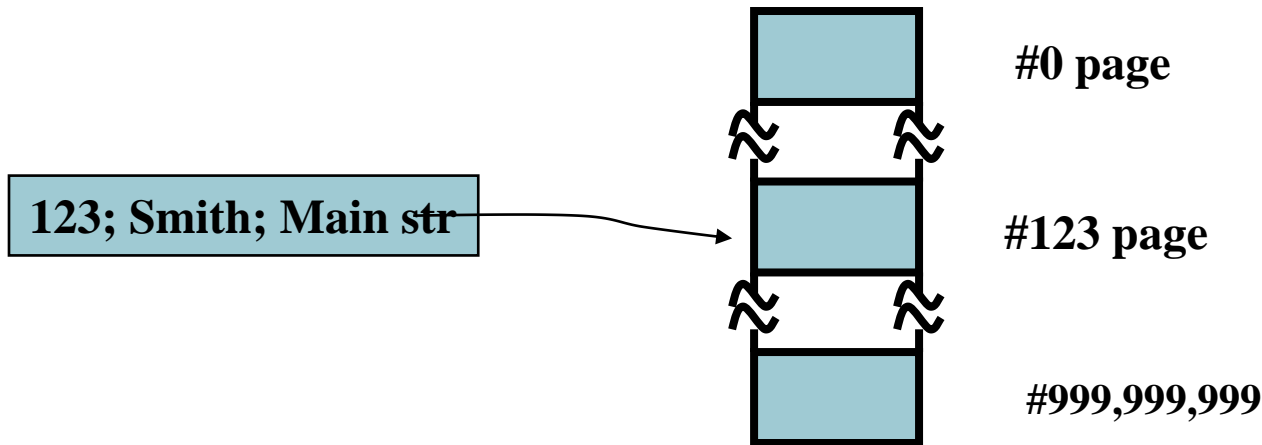
Απάντηση: Εκπληκτική ιδέα: αντιστοίχιση κλειδιού σε διεύθυνση :



Κατακερματισμός

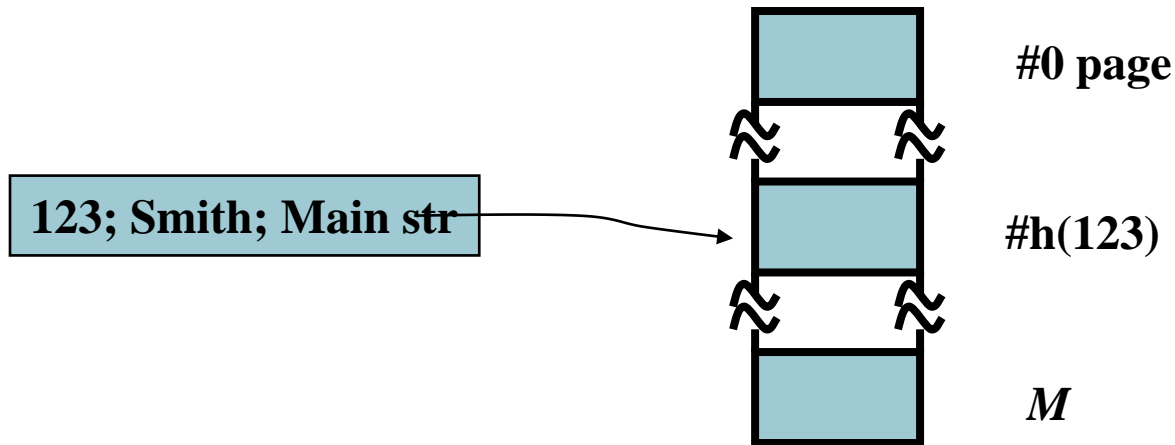
Καθώς όμως ο χώρος κοστίζει :

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



Κατακερματισμός

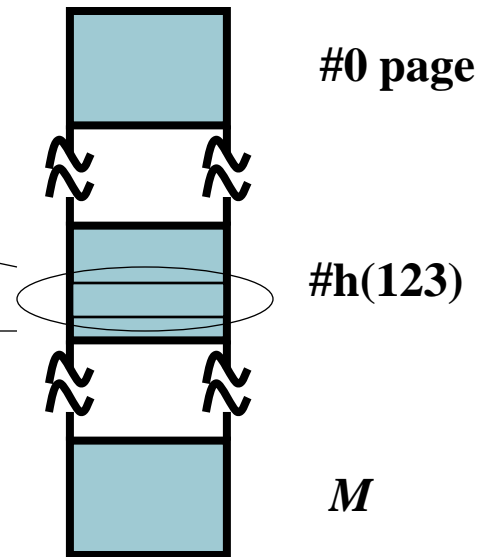
Τυπικά : Κάθε κάδος κατακερματισμού είναι μια σελίδα που διατηρεί πολλές εγγραφές:



Κατακερματισμός

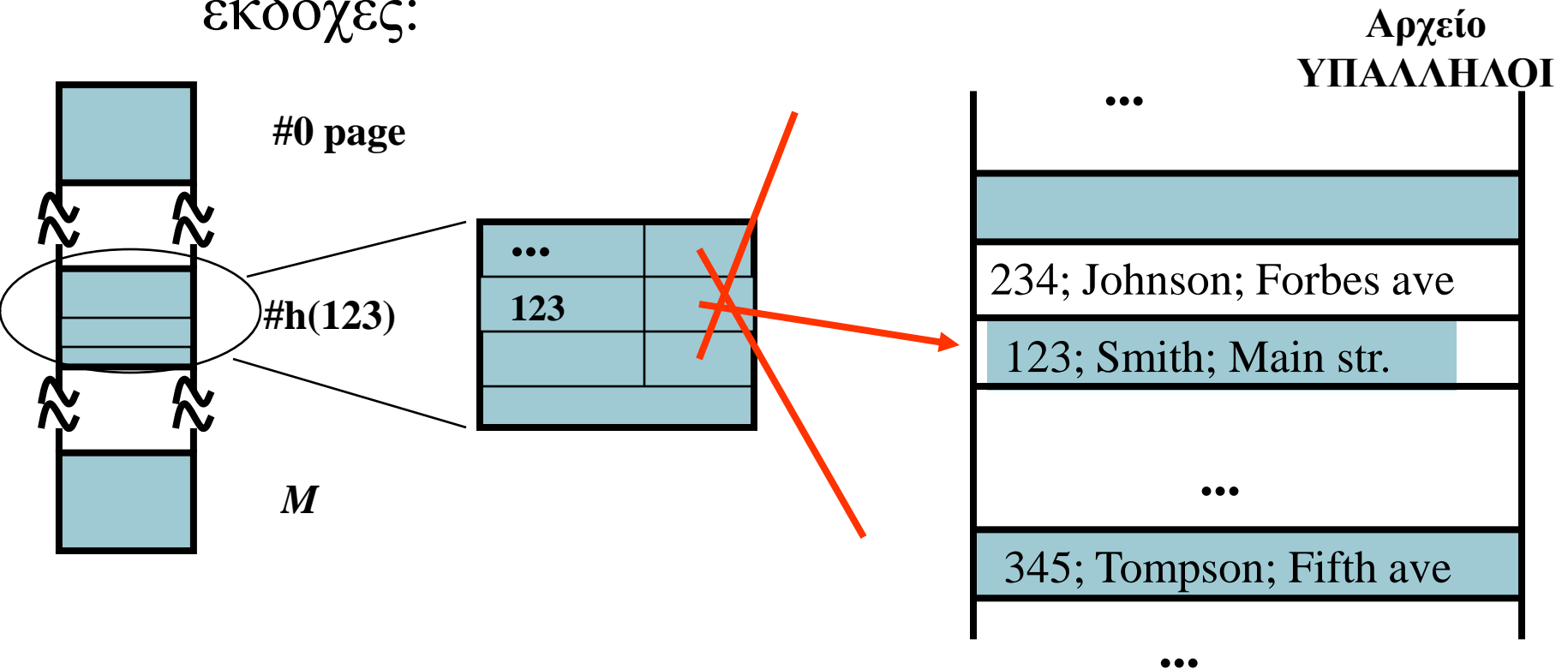
Παρατήρηση: μπορεί να υπάρξουν
ομαδοποιημένες (**clustering**), ή απλές (non-
clustering) εκδοχές:

123; Smith; Main str.



Κατακερματισμός

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






Ευρετηριοποίηση- Περίληψη

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





Επιλογές σχεδιασμού

- 
- 1) $h()$ 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 του πίνακα κατακερματισμού – **Επιλέγουμε αμυντικά, 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) ($0.618\dots = (\text{sqrt}(5)-1)/2$)
- Γενικά, επιθυμούμε άρρητους αριθμούς
- Πλεονέκτημα: Το M δεν χρειάζεται να είναι πρώτος
- 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) $h()$ 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/κάρδοι/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) $h()$ ως συνάρτηση κατακερματισμού
(**hashing function**)
- 2) Μέγεθος πίνακα κατακερματισμού M
- ⇒ 3) Μέθοδος επίλυσης συγκρούσεων
(**collision resolution method**)

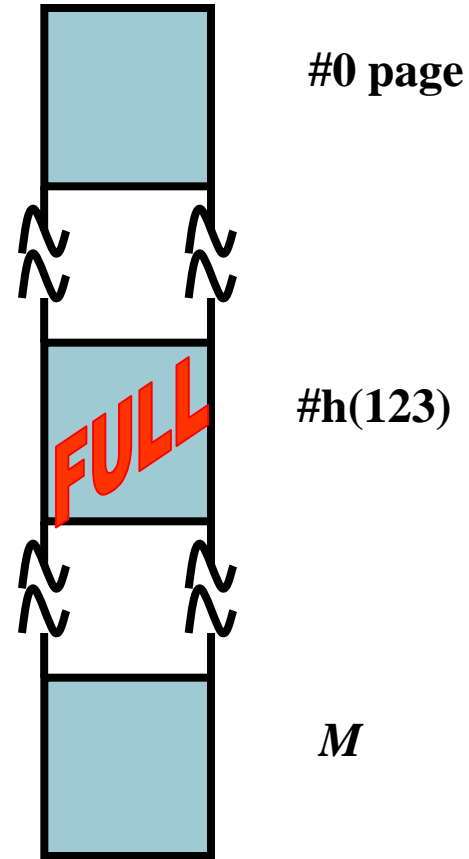
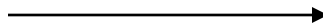


Επίλυση συγκρούσεων

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

Επίλυση Συγκρούσεων

123; Smith; Main str.





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. Καταθέσεις τραπεζικού λογαριασμού μεταξύ \$0 και \$10,000 και μεταξύ \$90,000 και \$100,000

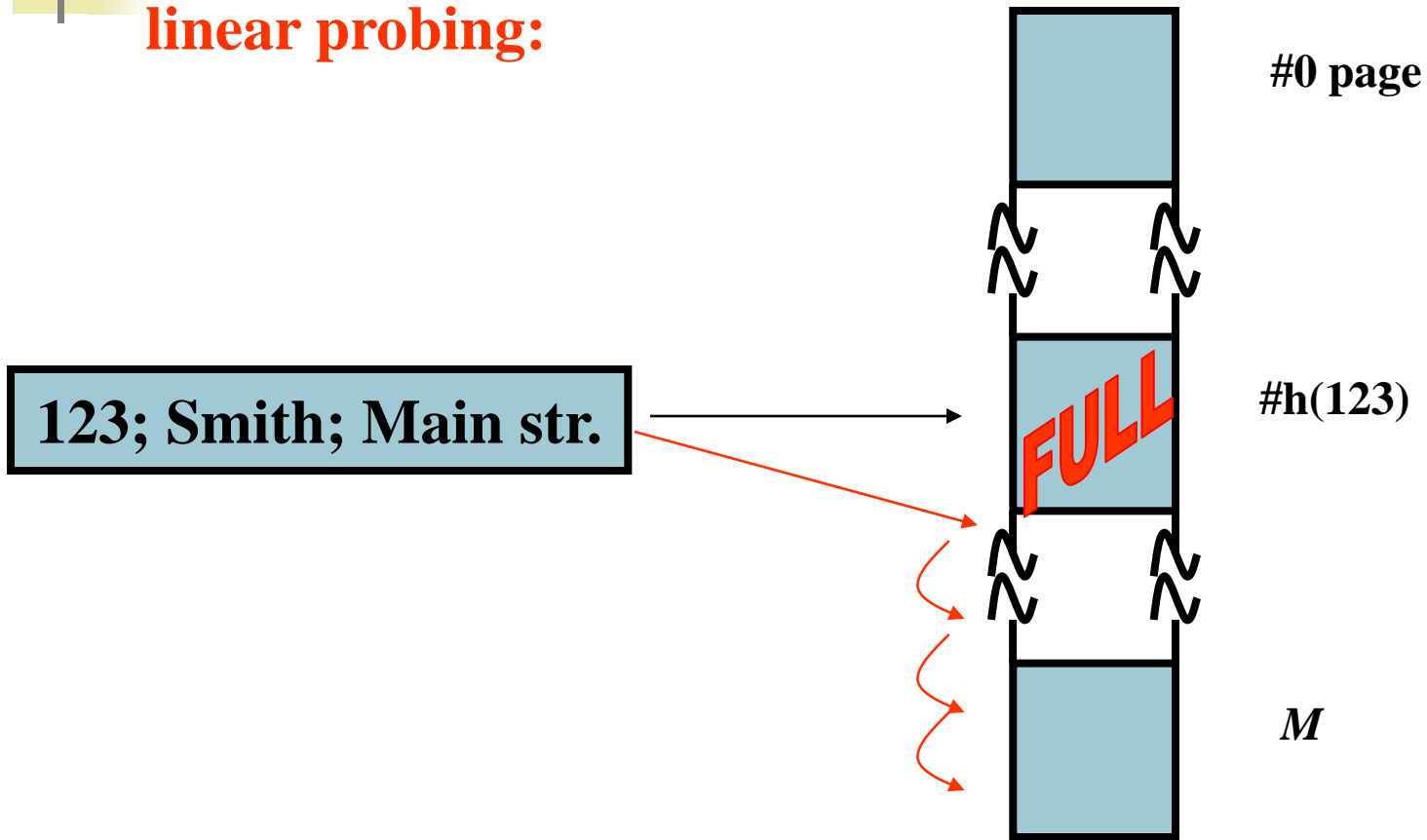


Επίλυση Συγκρούσεων

- 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 προς σελίδες υπερχείλισης)

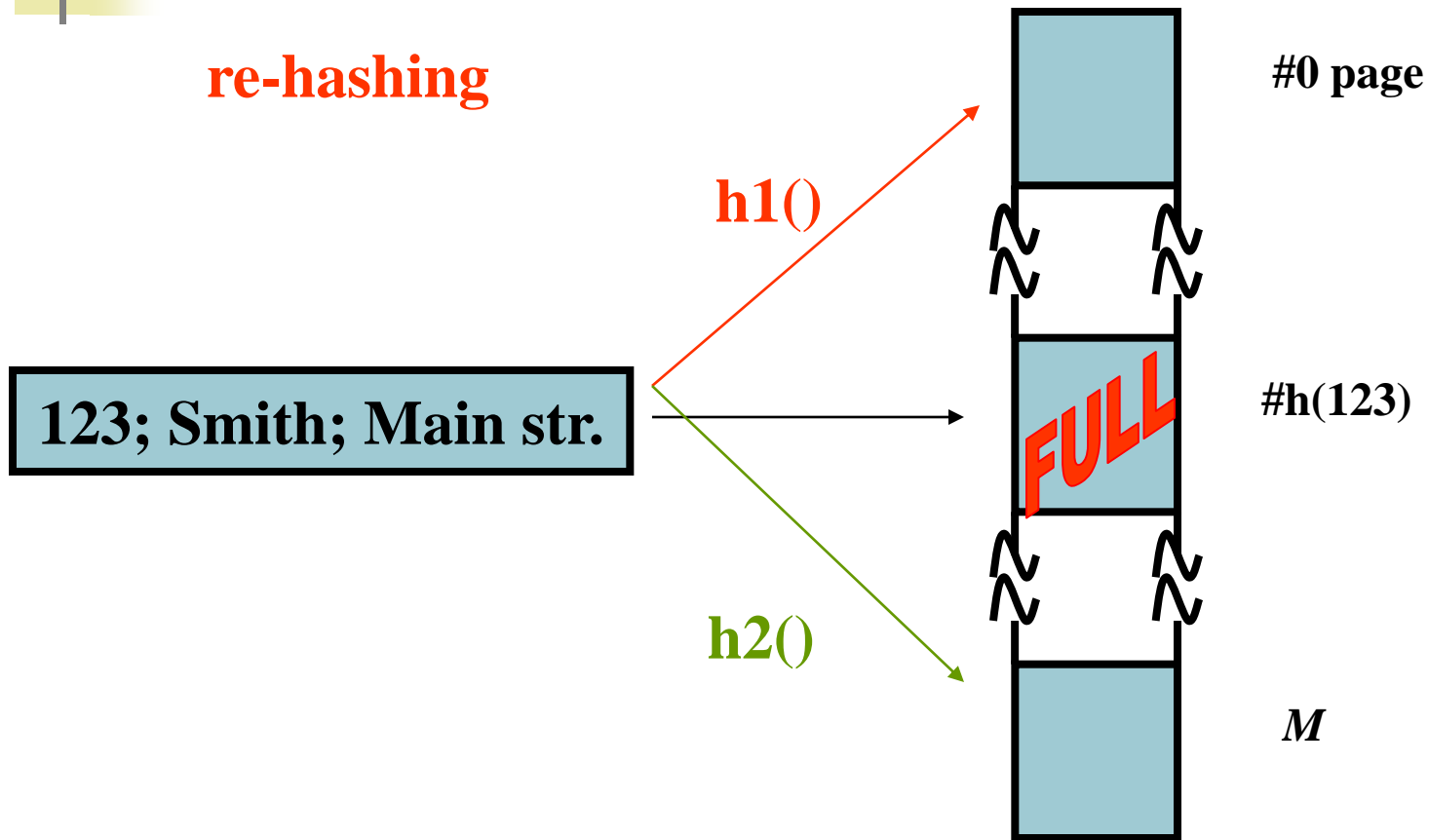
Επίλυση Συγκρούσεων

linear probing:



Επίλυση Συγκρούσεων

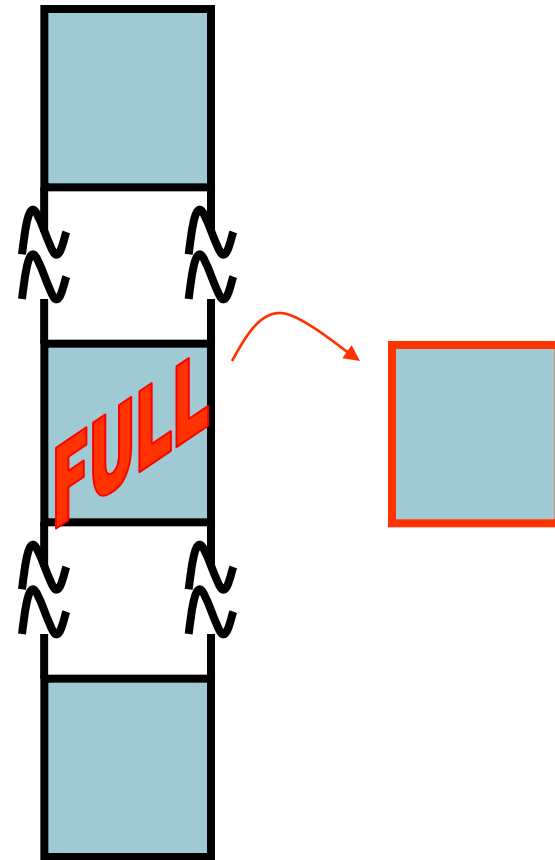
re-hashing

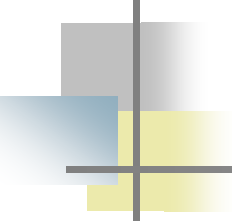


Επίλυση Συγκρούσεων

separate chaining
(Αλυσιδωτή σύνδεση)

123; Smith; Main str.





Επιλογές σχεδιασμού - Συμπεράσματα

- Συνάρτηση : κατακερματισμός με διαίρεση
 - $h(x) = (a*x+b) \text{ mod } M$
- Μέγεθος M : ~90% χρησιμοποίηση. Πρώτος αριθμός.
- Επίλυση συγκρούσεων: Αλυσιδωτή σύνδεση
 - Ευκολότερη υλοποίηση (διαγραφές!);
 - Δεν υπάρχει κίνδυνος να γεμίσει ο κάδος



Ευρετηριοποίηση - Περίληψη

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



Κατακερματισμός ή B-trees;

Ο κατακερματισμός προσφέρει:

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

...αλλά τα B-trees προσφέρουν:



Κατακερματισμός ή 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 ή B-trees;

Έτσι:

- Τα B-trees χρησιμοποιούνται στα περισσότερα συστήματα

Σημείωση:

- Ο κατακερματισμός όχι (Γιατί?)



Ευρετηριοποίηση- Περίληψη

- ISAM και B-trees
- Κατακερματισμού
- Κατακερματισμός ή 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*)) :

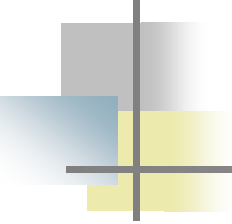
```
create index sc-index  
on TAKES (ssn, c-id)
```



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

- ISAM and B-trees
- Κατακερματισμός (Hashing)
- Hashing ή 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; (χαμηλό ποσοστό
χρησιμοποίησης (under-utilization))



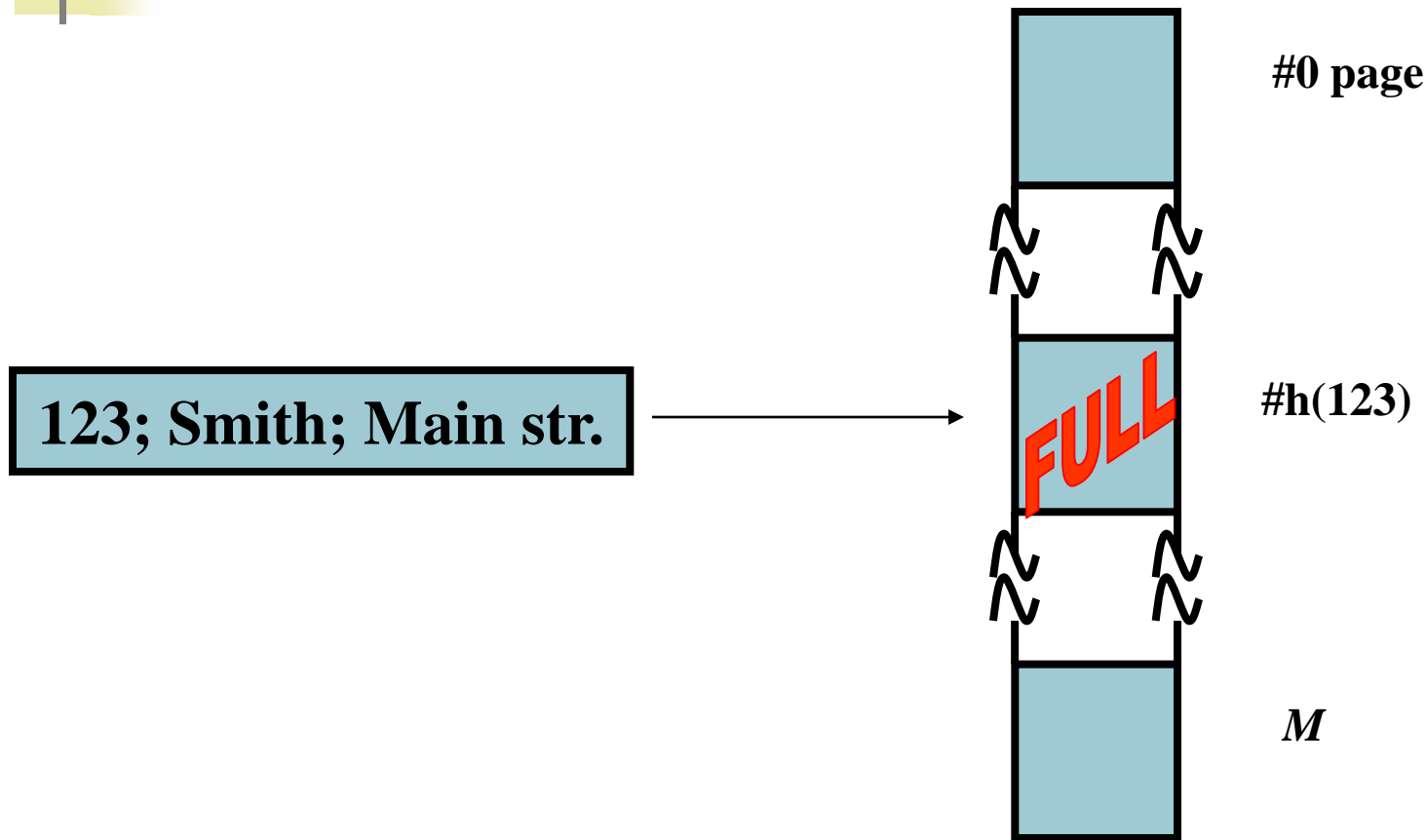
Λύση: Δυναμικός/ επεκτατός Κατακερματισμός

- Ιδέα: Συρρίκνωσε / επ αύξησε 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)

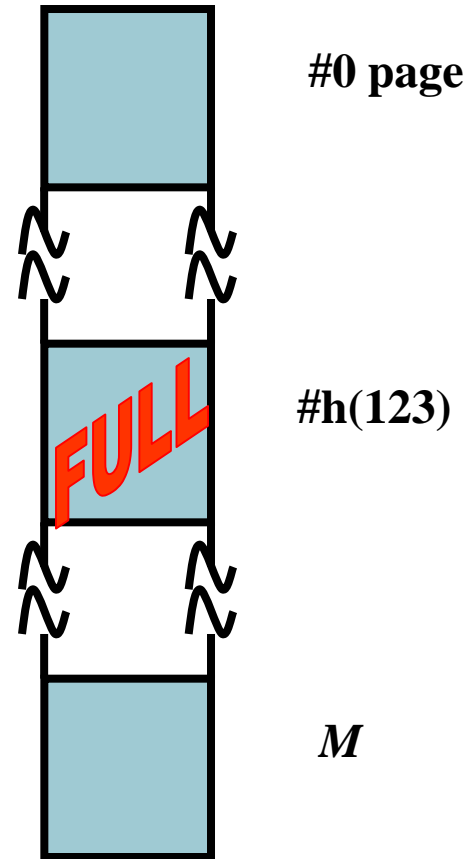


Επεκτατός Κατακερματισμός

Λύση:

**Διέσπασε τον κάδο σε
δύο κάδους**

123; Smith; Main str.





Επεκτατός Κατακερματισμός

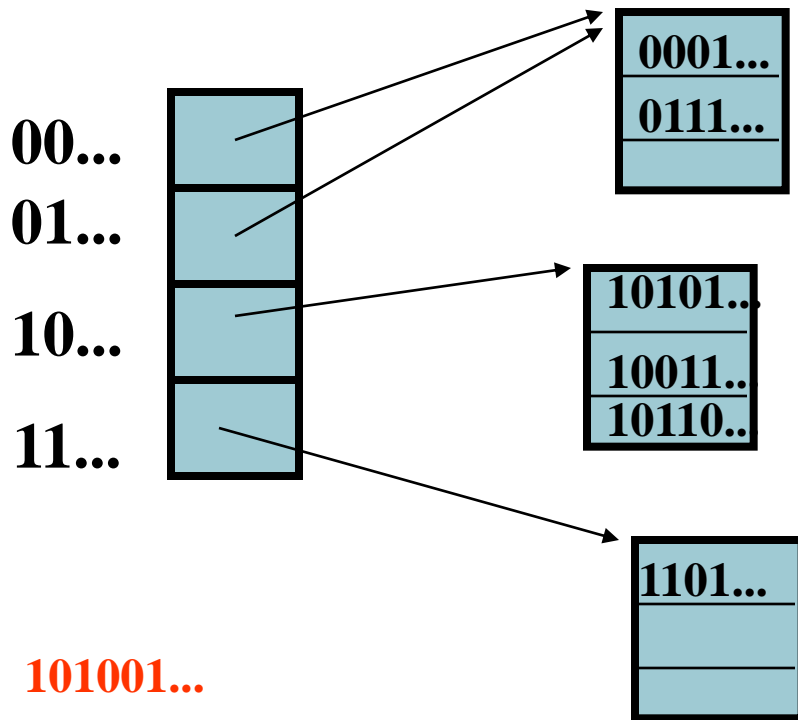
Λεπτομερώς:

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

Τελικά:

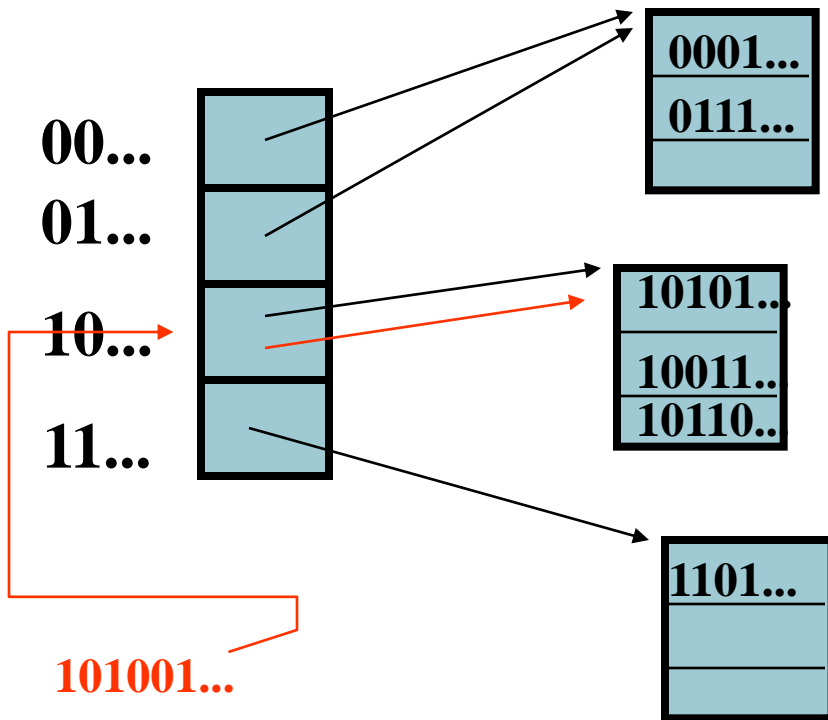
Επεκτατός Κατακερματισμός

Ευρετήριο



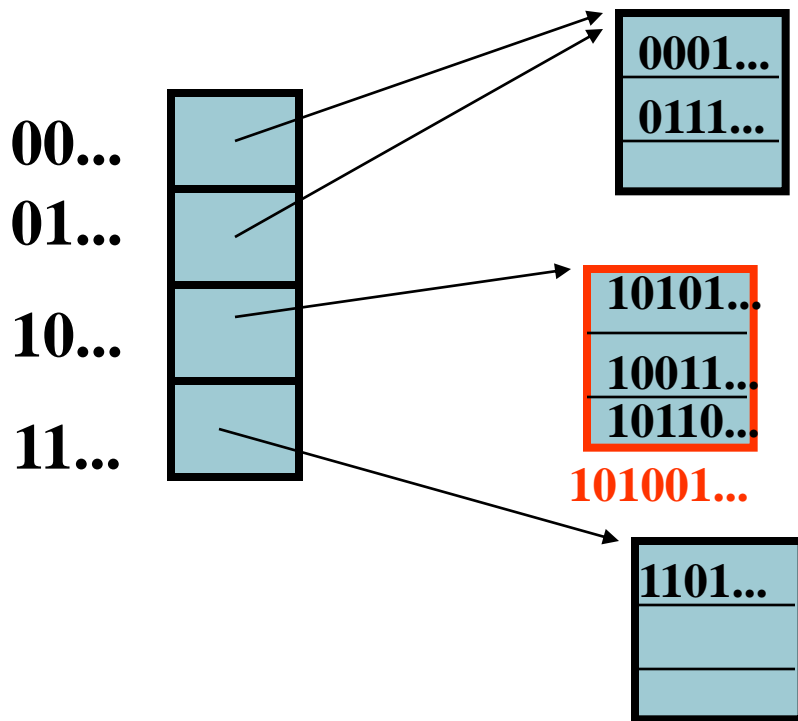
Επεκτατός Κατακερματισμός

directory



Επεκτατός Κατακερματισμός

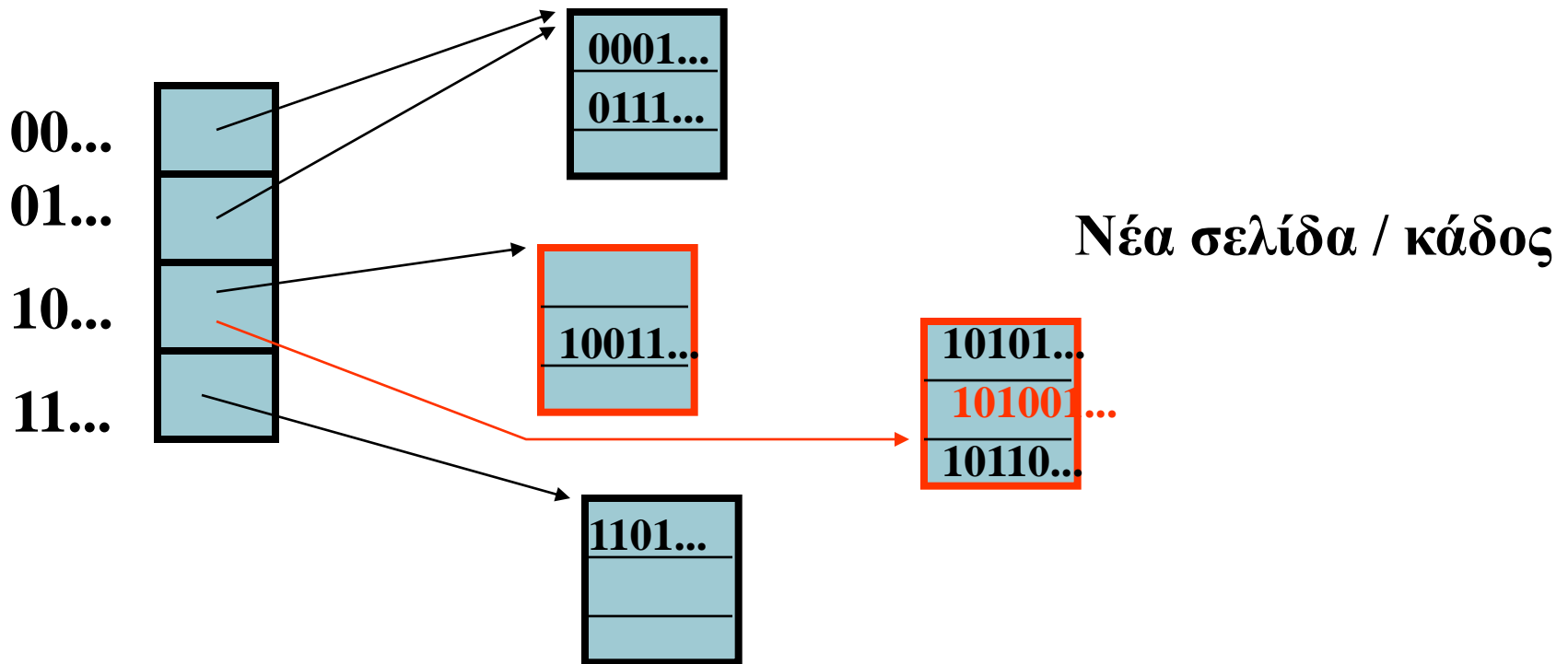
directory



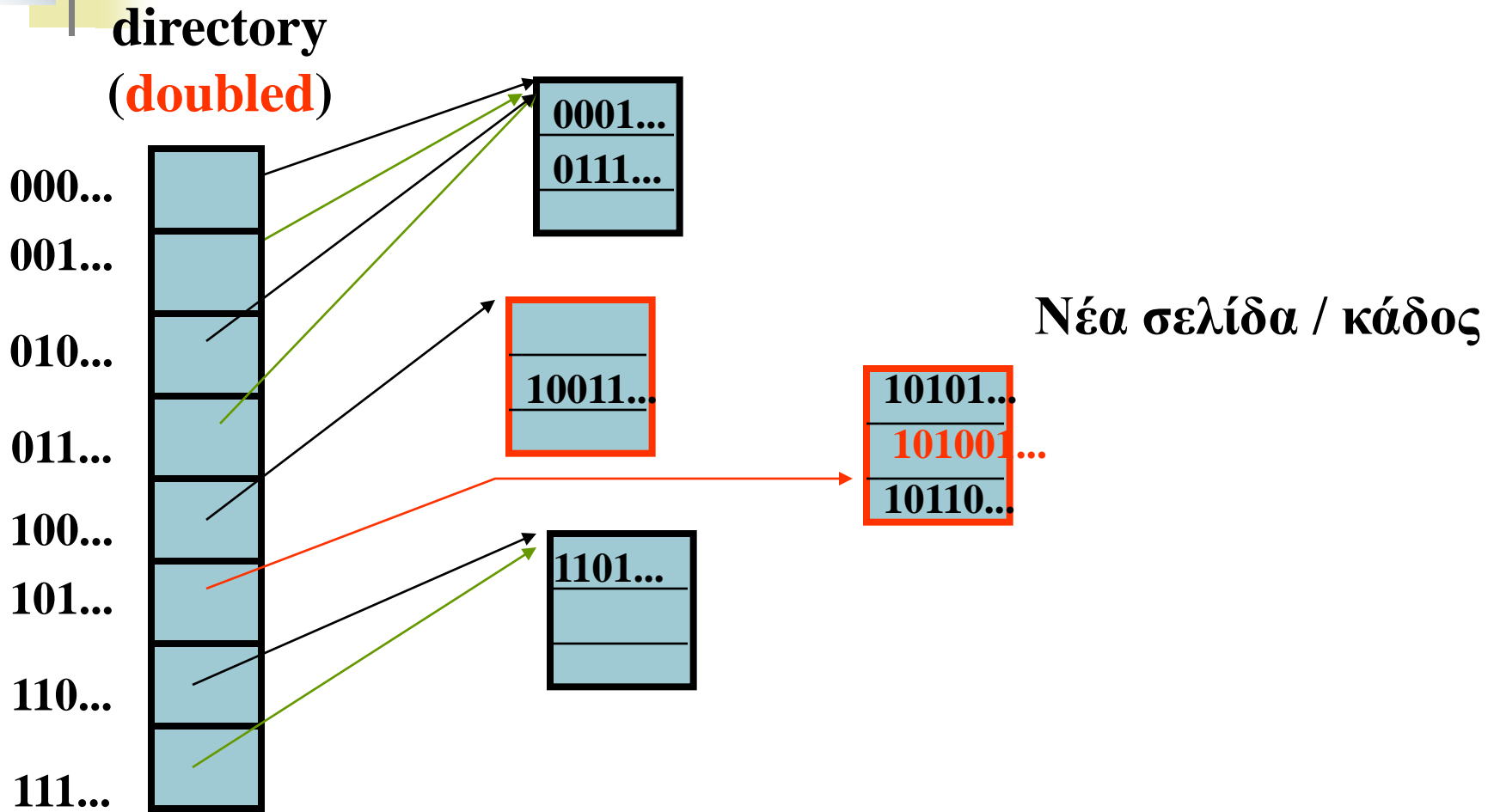
Διάσπαση
στο τρίτο
bit

Επεκτατός Κατακερματισμός

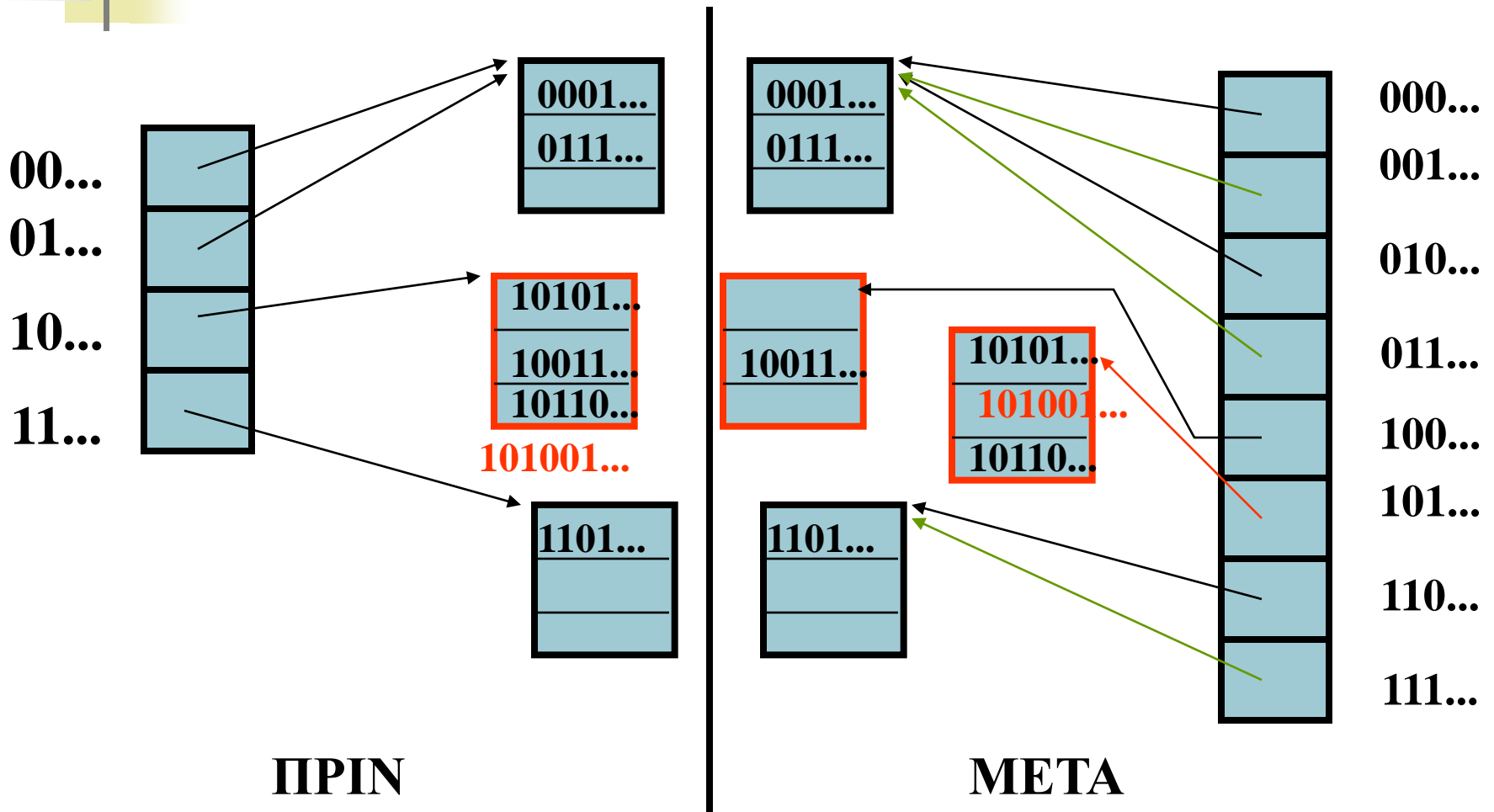
directory



Επεκτατός Κατακερματισμός



Επεκτατός Κατακερματισμός





Επεκτατός Κατακερματισμός

■ Σύνοψη:

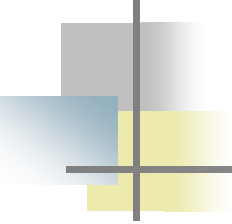
- Το ευρετήριο (directory) διπλασιάζεται κατ' απαίτηση ... ή μειώνεται στο μισό, σε αρχεία που συρρικνώνονται
- Απαιτεί πίνακα με 2^d διευθύνσεις
 - **d**: 'ολικό (global-depth)'
 - Κάθε κάδος διατηρεί 'τοπικό (local-depth)' d'
 - Προσδιορίζει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων στα οποία βασίζεται η χρήση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



Ευρετηριοποίηση - Περιληπτικά

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

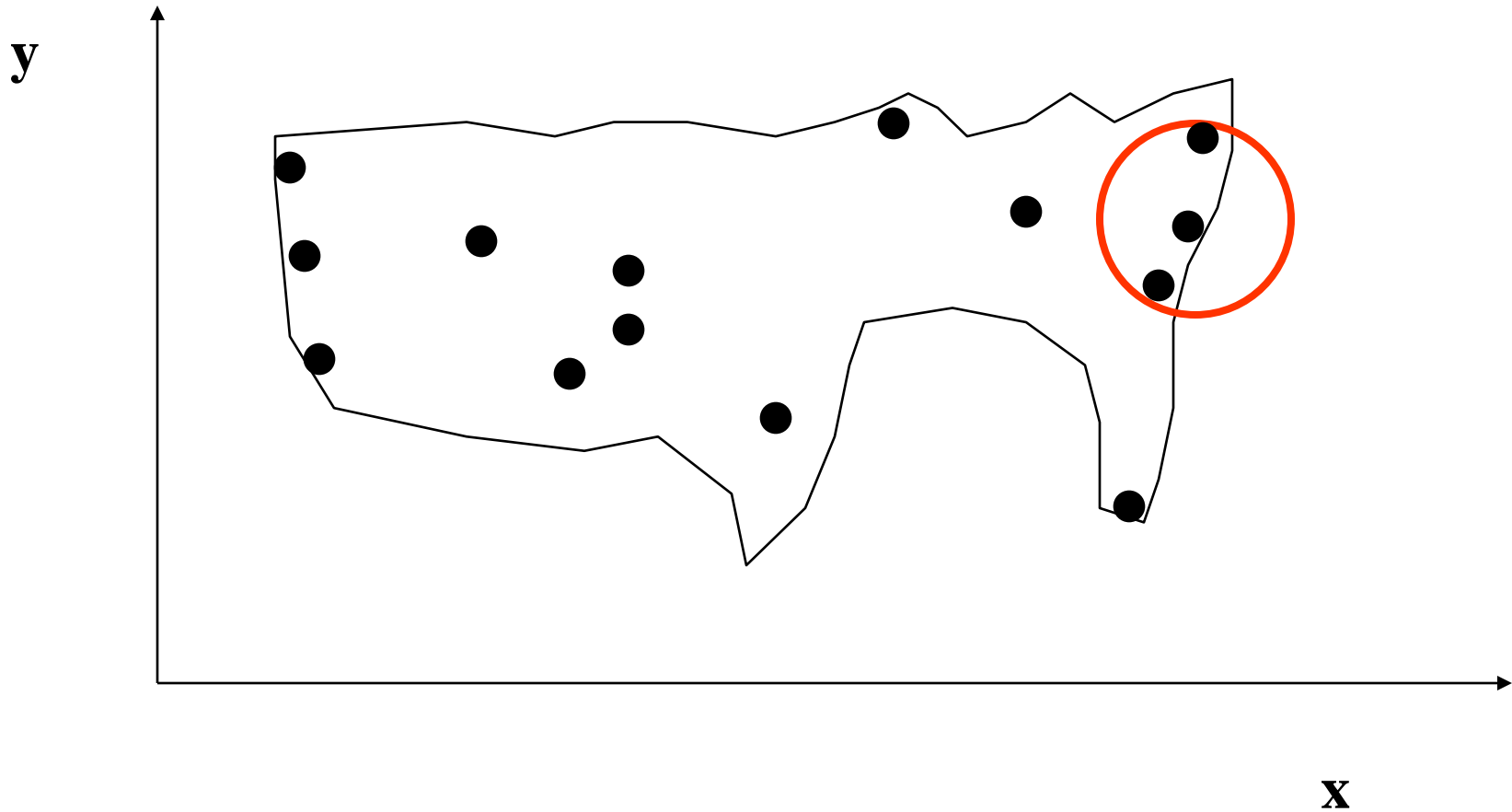




Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά (multiple-key access)

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

Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά





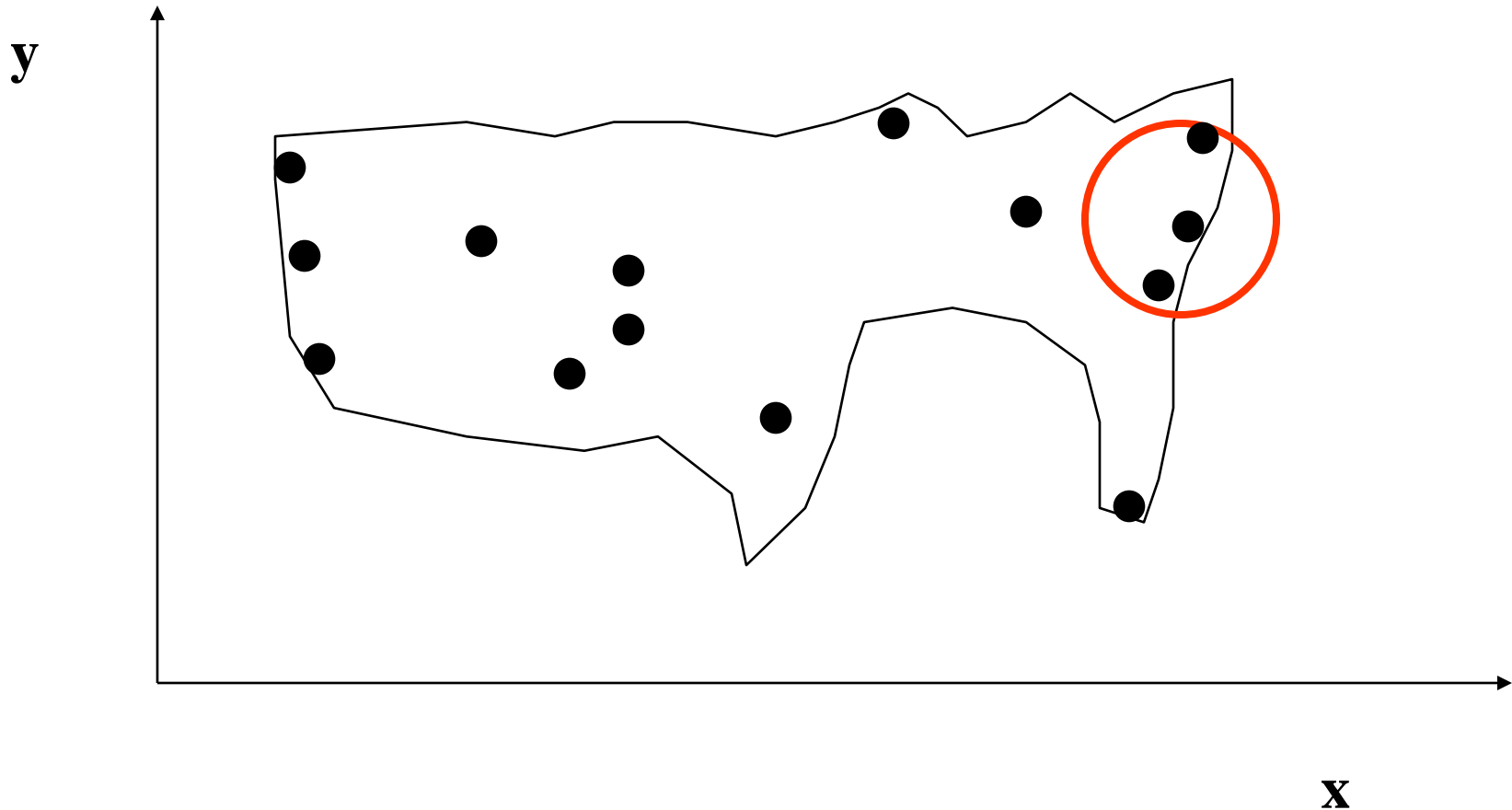
Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά

Τυπικό ερώτημα:

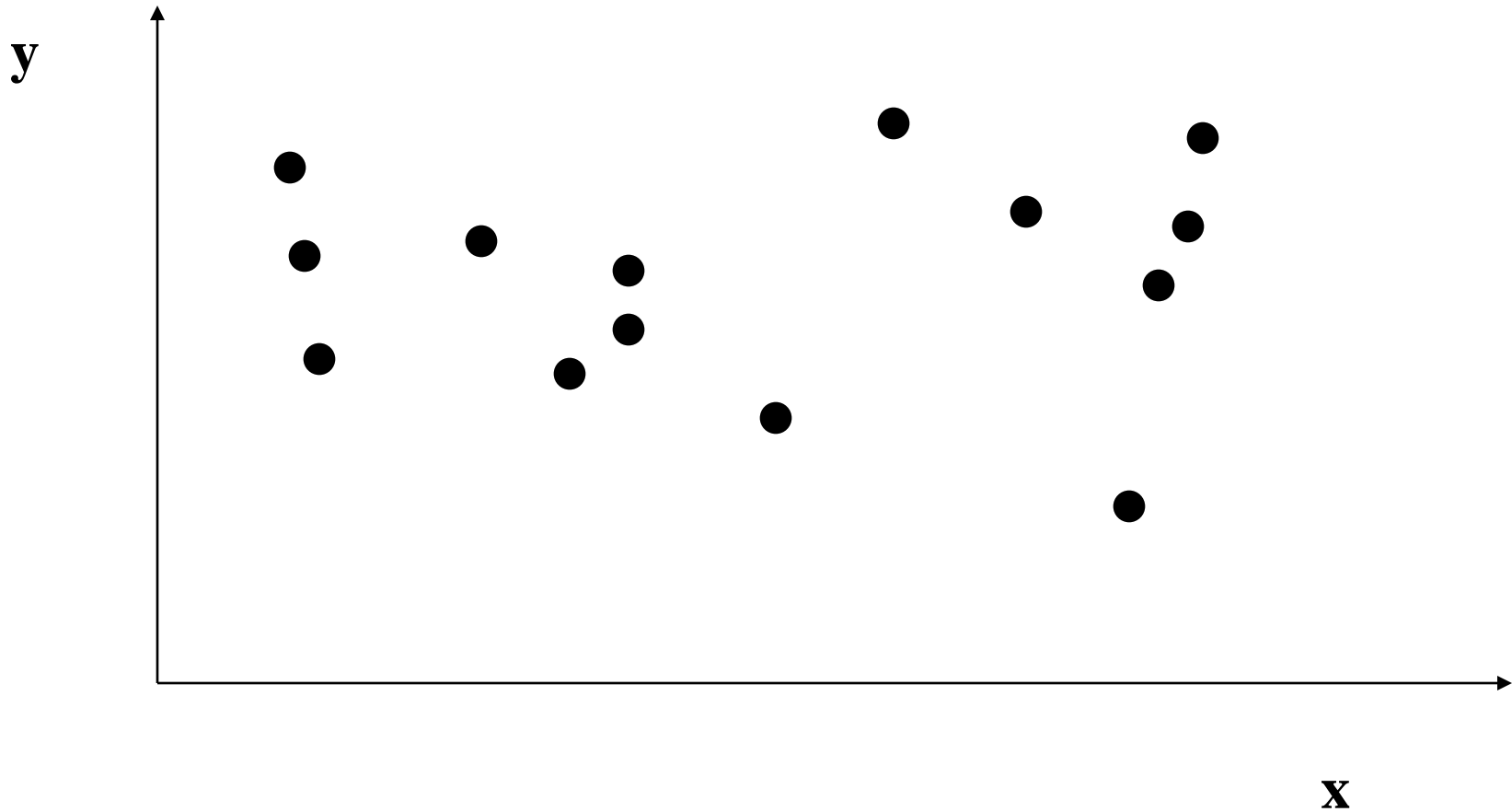
- Βρες τις πόλεις που βρίσκονται το πολύ σε απόσταση x χιλιομέτρων από την Αθήνα

Έτσι επιθυμούμε να αποθηκεύσουμε κοντινές πόλεις στην ίδια σελίδα δίσκου:

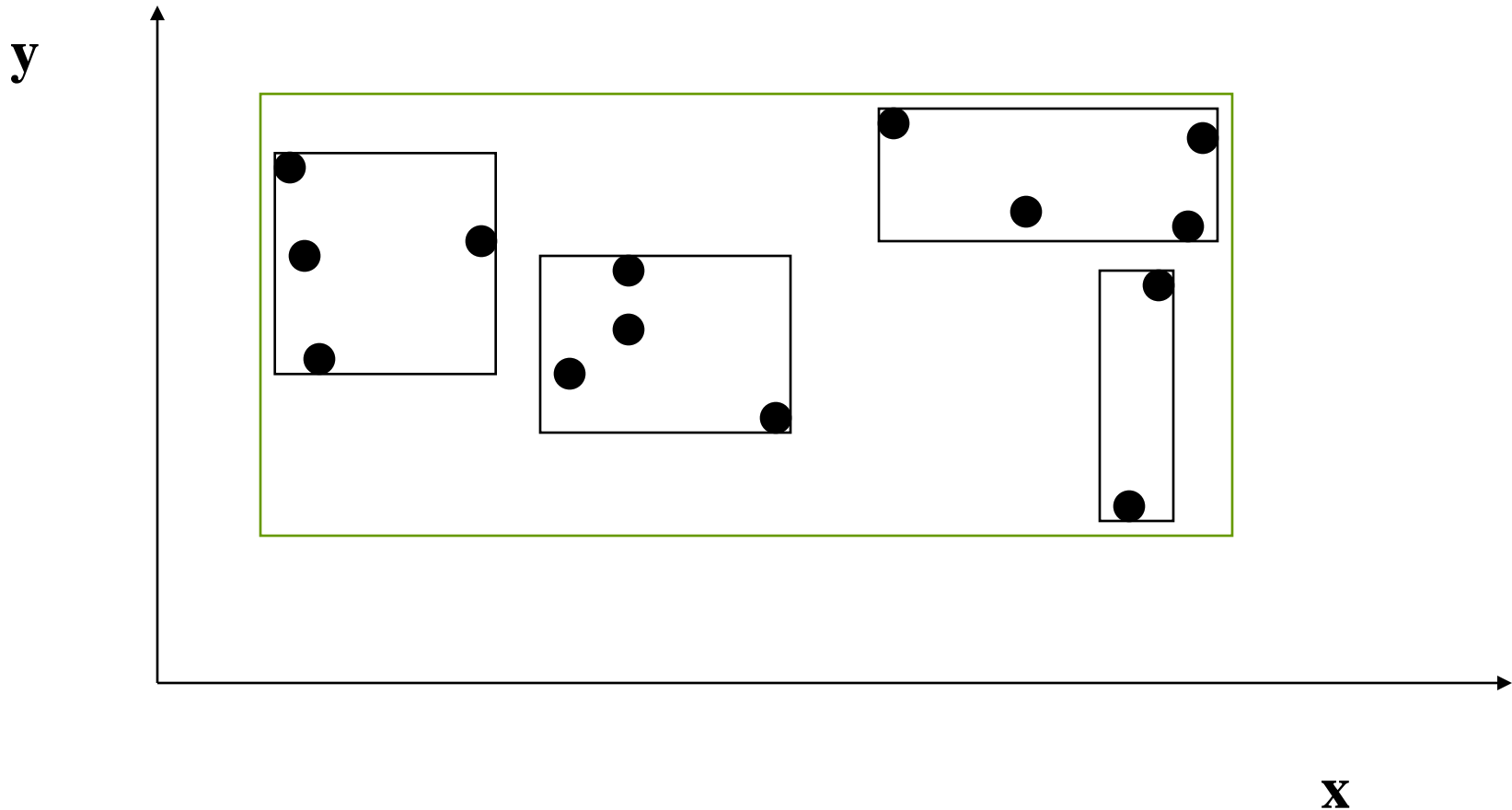
Προσπέλαση με βάση πολλαπλά κλειδιά



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 ... στο Βάσεις 2



Ευρετηριοποίηση - Σύνοψη

industry workhorse

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