



HY463 - Συστήματα Ανάκτησης Πληροφοριών
Information Retrieval (IR) Systems

Μέρος Γ
Συστήματα Ομοτίμων
(Peer-to-Peer Systems)
και Ανάκτηση Πληροφοριών

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

1



Συστήματα Ομοτίμων
(Peer-to-Peer Systems)





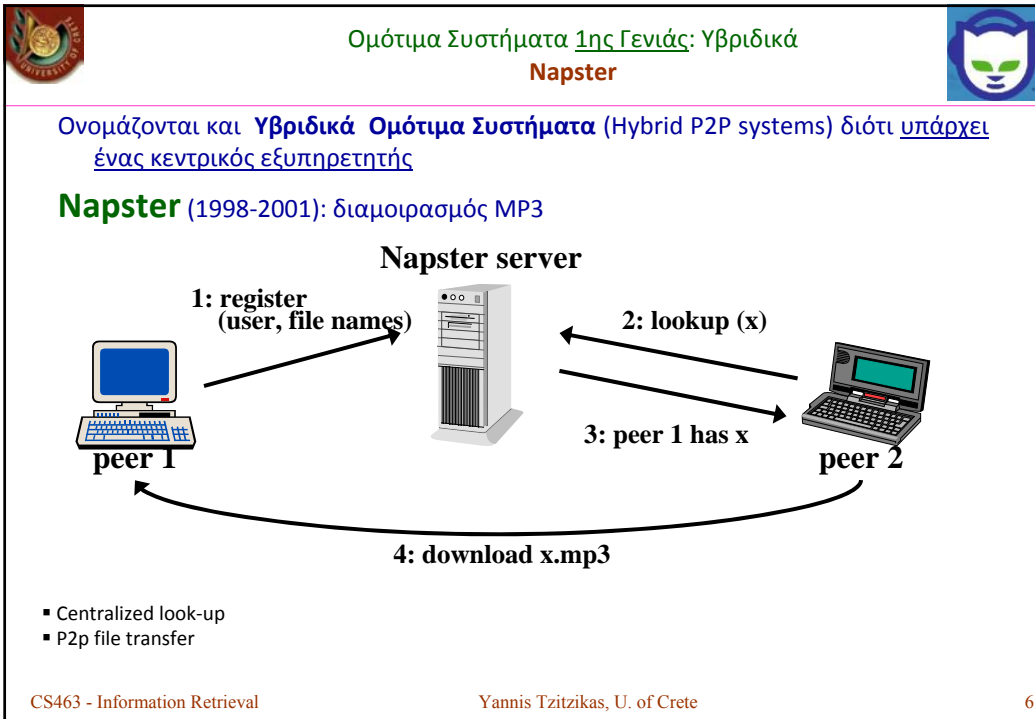
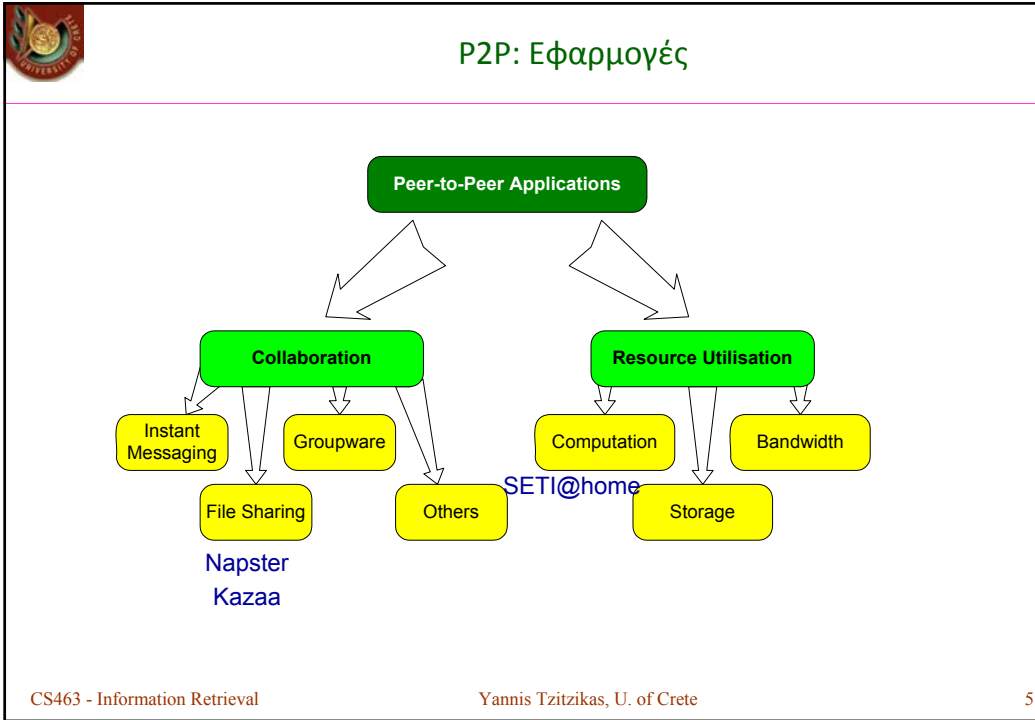
Διάρθρωση

- Κίνητρο
- Τύποι Ομότιμων Συστημάτων
 - Υβριδικά
 - Αποκεντρωμένα
 - Ιεραρχικά
 - Δομημένα
- Ομότιμα Συστήματα και Ανάκτηση Πληροφοριών



Ομότιμα Συστήματα: Κίνητρο

- Αξιοποίηση των ελεύθερων πόρων συστημάτων προσβάσιμων μέσω Internet για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων (π.χ. SETI@home)
- δημιουργία συστημάτων πιο κλιμακώσιμων
- δημιουργία συστημάτων με μεγαλύτερη διαθεσιμότητα
- κατάργηση μονοπωλίων στην διάθεση της πληροφορίας
- αυτό-οργάνωση αντί κεντρικής διαχείρισης (και εξόδων αυτής)





Google (Client-Server) vs. Napster (P2P)



- Και οι δυο εφαρμογές έχουν την ίδια κλίματα
 - εκατομμύρια αναζητήσεις ημερησίως
 - Terabytes δεδομένων
- **Google**
 - Στηρίζεται σε περίπου 100.000 μηχανές
 - το στήσιμο μιας τέτοια εφαρμογής έχει μεγάλο κόστος (μόνο μια μεγάλη επιχείρηση μπορεί να κάνει τέτοια επένδυση)
- **Napster**
 - ο server χρησιμοποιεί μόνο 100 μηχανές
 - το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς των μουσικών αρχείων χρεώνεται στις μηχανές των χρηστών του συστήματος (γι' αυτό ονομάζεται P2P)
 - μικρό κόστος



Τα Πλεονεκτήματα των Ομοτίμων Συστημάτων

Διαμερισμός πόρων

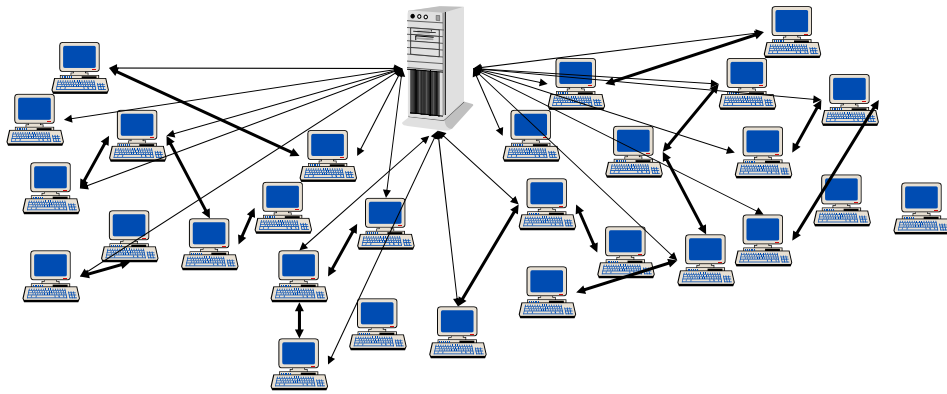
- **αποθηκευτικών**
 - οι εκατομμύρια χρήστες του Napster αποθηκεύουν τα αρχεία, όχι ο εξυπηρετητής
- **επικοινωνίας**
 - το κατέβασμα αρχείων γίνεται μεταξύ των χρηστών, ο εξυπηρετητής δεν παρεμβάλλεται
- **εισαγωγής στοιχείων**
 - οι χρήστες του Napster εισάγουν τα αρχεία στο σύστημα
 - οι χρήστες του Napster τα κατηγοριοποιούν

Δίδαγμα:

Η αποκέντρωση επιτρέπει τη δημιουργία εφαρμογών παγκόσμιας κλίμακας χωρίς την ανάγκη μεγάλων επενδύσεων αλλά με την αξιοποίηση των πόρων που ήδη υπάρχουν



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Υβριδικά Napster

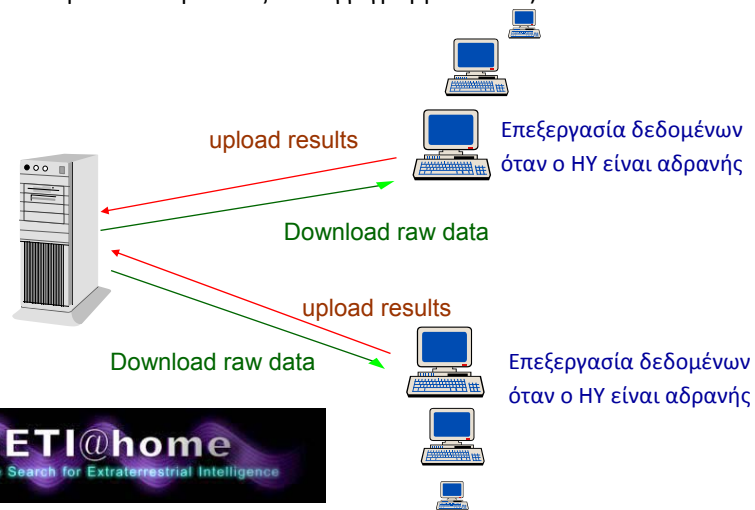


A central point of failure



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Υβριδικά SETI@home

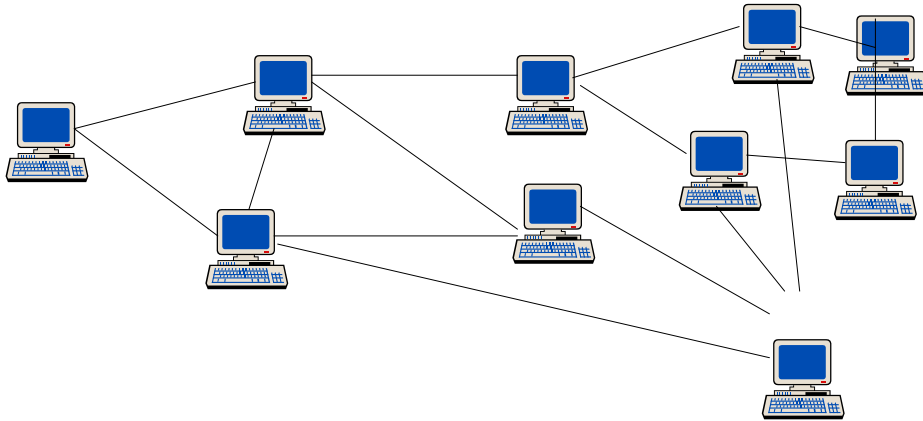
Σκοπός: Διαμοιρασμός υπολογιστικών πόρων
(αξιοποίηση των περιόδων αδράνειας των εγγεγραμμένων ΗΥ)





Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Αποκεντρωμένα GNUTELLA

- Δεν υπάρχει κανένας κεντρικός εξυπηρετητής
- Ονομάζονται και Αποκεντρωμένα (Decentralized P2P systems), Αδόμητα (Unstructured P2P systems), Pure P2P systems
- Gnutella (1999-now):



CS463 - Information Retrieval

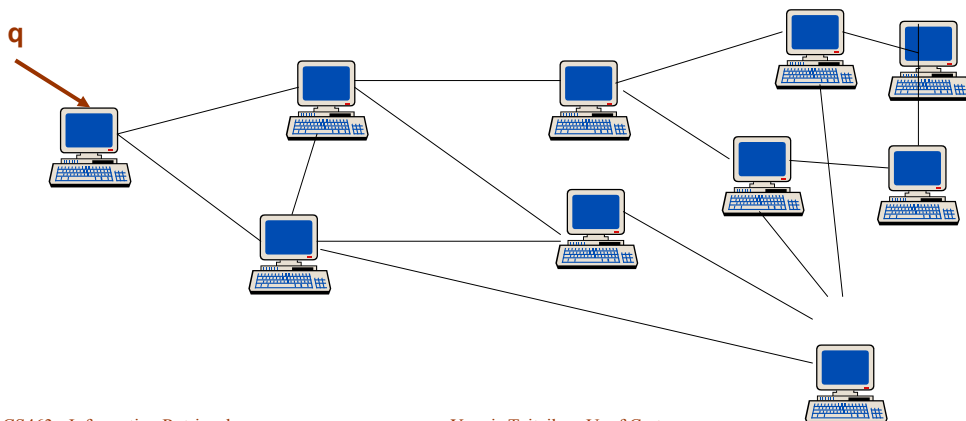
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

11



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Αποκεντρωμένα GNUTELLA

- Δεν υπάρχει κανένας κεντρικός εξυπηρετητής
- Ονομάζονται και Αποκεντρωμένα (Decentralized P2P systems), Αδόμητα (Unstructured P2P systems), Pure P2P systems
- Gnutella (1999-now):



CS463 - Information Retrieval

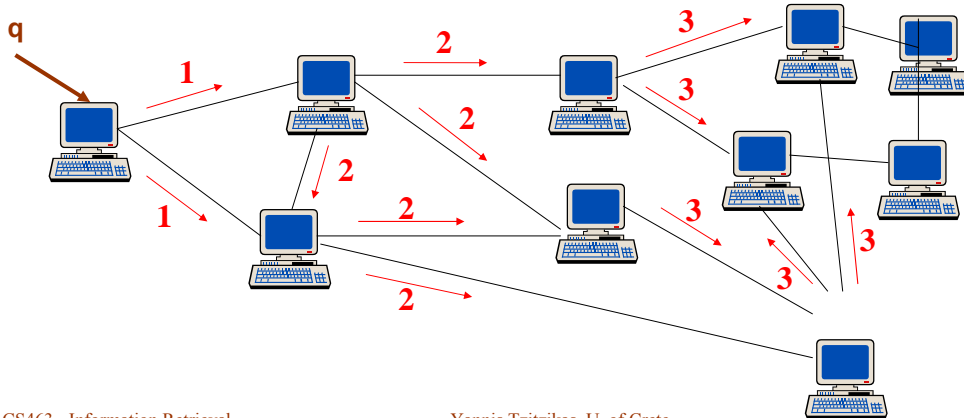
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

12



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Αποκεντρωμένα GNUTELLA

Κατακλυσμός Μηνυμάτων (Message Flooding or Gossiping)



CS463 - Information Retrieval

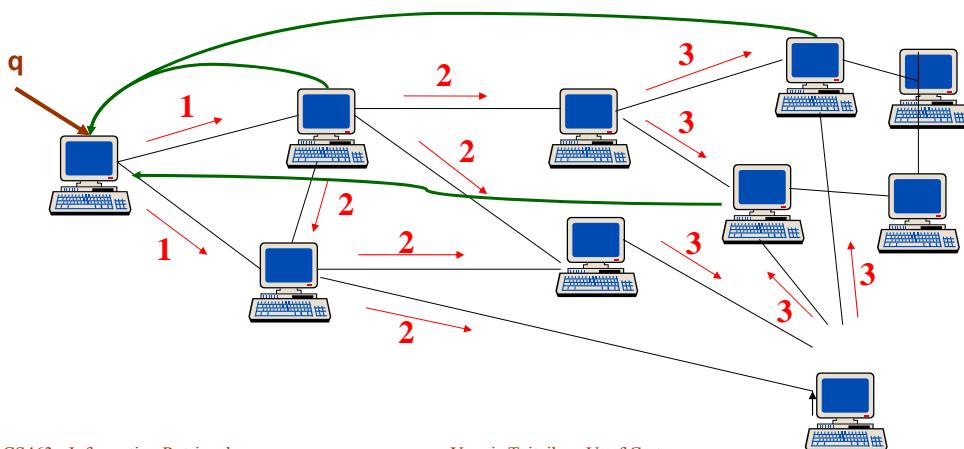
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

13



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Αποκεντρωμένα GNUTELLA

Κατακλυσμός Μηνυμάτων (Message Flooding)



CS463 - Information Retrieval

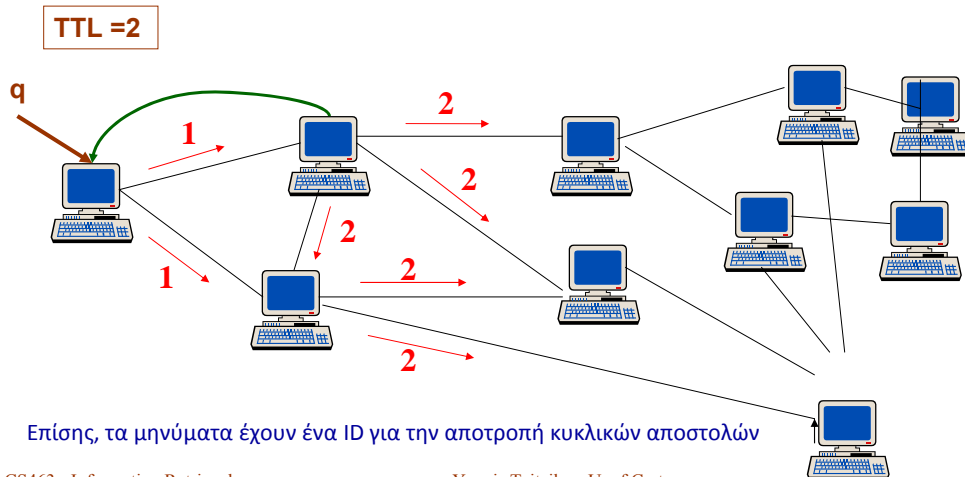
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

14



Ομότιμα Συστήματα 1ης Γενιάς: Αποκεντρωμένα GNUTELLA

Τα μηνύματα έχουν ένα TTL (time-to-live) tag



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

15



GNUTELLA: Sketch of the protocol

- **Ping**
Used to actively **discover hosts** on the network. A server receiving a **Ping** descriptor is expected to respond with one or more **Pong** descriptors.
- **Pong**
The response to a **Ping**. Includes the address of a connected Gnutella server and information regarding the amount of data it is making available to the network.
- **Query**
The primary mechanism for **searching** the distributed network. A server receiving a **Query** descriptor will respond with a **QueryHit** if a match is found against its local data set.
- **QueryHit**
The response to a **Query**. This descriptor provides the recipient with enough information to acquire the data matching the corresponding **Query**.
- **Push**
A mechanism that allows a firewalled server to contribute file-based data to the network.

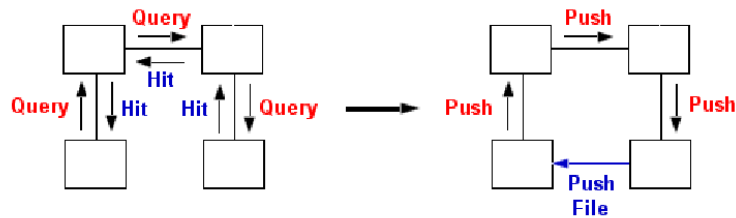
CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

16



GNUTELLA: The protocol



Example 2. Query/QueryHit/Push Routing

- Συνήθως κάθε κόμβος προωθεί μια επερώτηση σε C γείτονες (συνήθως $C = 3$)
- Τυπική τιμή TTL = 7
(πειράματα έδειξαν ότι η διάμετρος του Gnutella δικτύου είναι συνήθως 7)



Napster vs. Gnutella

- **Napster** (υπάρχει κεντρικός εξυπηρετητής)
 - single point of failure
 - στόχος νομικής επίθεσης
- **Gnutella** (δεν υπάρχει κεντρικός εξυπηρετητής)
 - δεν υπάρχει "single point of failure"
 - δεν μπορεί να γίνει εύκολα στόχος νομικής επίθεσης
 - δεν απαιτεί καμία επένδυση
 - δεν έχει κόστος διαχείρισης (administration)
 - "self-organizing system"
 - however, "free-riders" may occur



GNUTELLA: Επιδόσεις

Επιδόσεις

- Χρόνος αναζήτησης: Σχετικά μικρός
- Πλήθος Μηνυμάτων: **Μεγάλο**
- Κόστος αποθήκευσης: Μικρό (κάθε κόμβος γνωρίζει μόνο τους διπλανούς του)
- Κόστος ενημέρωσης: Μικρό (γείτονες)
- Ανθεκτικότητα σε σφάλματα: Μεγάλη



Ομότιμα Συστήματα 2ης Γενιάς

Πρωτότυπα ερευνητικά συστήματα:

Chord (MIT), CAN (Berkeley), OceanStore/Tapestry (Berkeley), Farsite (MSR), Spinglass/Pepper (Cornell), Pastry/PAST (Rice, MSR), Viceroy (Hebrew U), P-Grid (EPFL), P2P-Net (Magdeburg), Pier (Berkeley), Peers (Stanford), Kademlia (NYU), Bestpeer (Singapore), YouServ (IBM Almaden), Hyperion (Toronto), Piazza (UW Seattle), PlanetP (Rutgers), SkipNet (MSR),

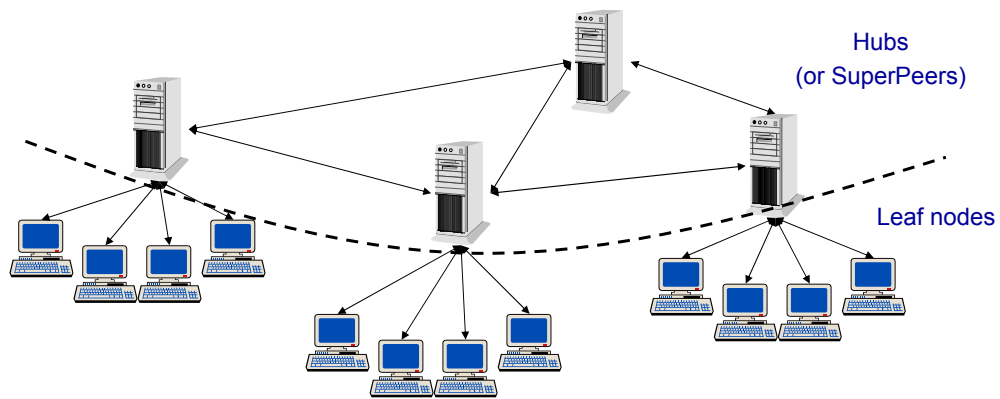
Μπορούμε να διακρίνουμε 2 μεγάλες κατηγορίες

- **Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα (Hierarchical P2P systems)**
 - Π.χ. Το σύστημα **Kazaa**
- **Δομημένα Ομότιμα Συστήματα (Structured P2P systems)**
 - Π.χ. το σύστημα **Chord**



Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα (Hierarchical P2P Systems)

Συστήματα: Morpheus, Kazaa, Limewire, JXTA Search, Gnutella 0.6



CS463 - Information Retrieval

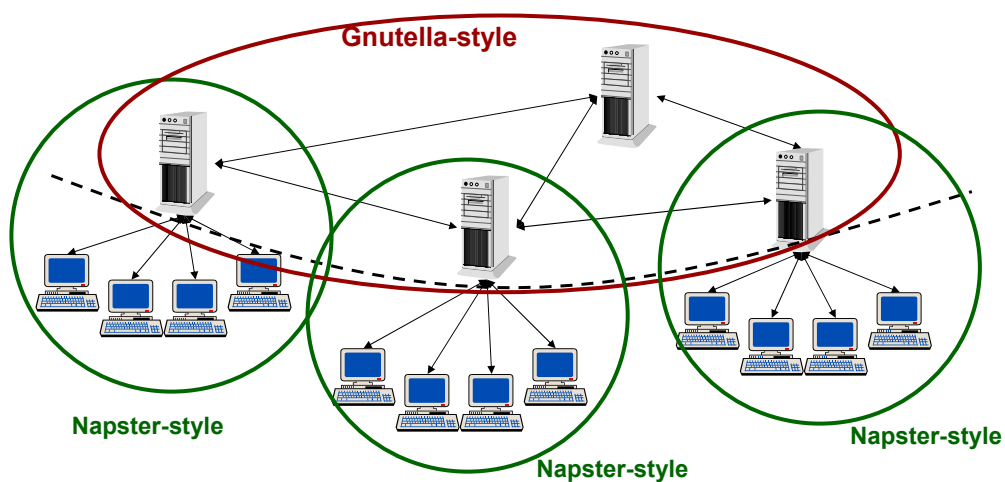
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

21



Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα (Hierarchical P2P Systems)

Συνδυασμός Napster και Gnutella



CS463 - Information Retrieval

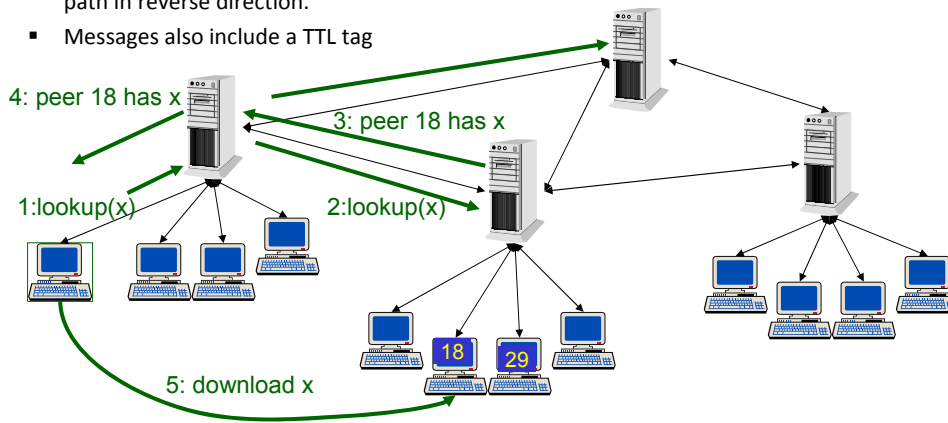
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

22



Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα (Hierarchical P2P Systems)

- Searching relies on **message-passing** between nodes.
- A **query** generated by a client node and is routed to a hub, **(1)** from one hub to another, or **(2)** from a hub to a leaf node.
- A response message (“**queryhit**”) is generated by a leaf node and routed back along the query path in reverse direction.
- Messages also include a TTL tag



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

23



Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα (Hierarchical P2P Systems)

Επιδόσεις

- Χρόνος αναζήτησης: Πολύ μικρός
- Πλήθος Μηνυμάτων: Μικρό
- Κόστος αποθήκευσης: Μικρό στα φύλλα, Μεγάλο στους εξυπηρετητές ευρετηρίου
- Κόστος ενημέρωσης: Μικρό
- Ανθεκτικότητα σε σφάλματα: **Μικρή**

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

24



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα (Structured P2P Systems)

Σκοπός:

Γρήγορη εύρεση του κόμβου που περιέχει ένα κλειδί χωρίς τη χρήση κεντρικού εξυπηρετητή και ανταλλάσσοντας λίγα μηνύματα

- Εύκολο κομμάτι:
 - κατανομή ευρετηρίου σε όλους τους κόμβους
- Δύσκολο:
 - κατανομή ευρετηρίου σε όλους τους κόμβους με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε γρήγορη αναζήτηση

Συστήματα

- Freenet, Chord, CAN, Pastry, Tapestry, FreeNet, P-Grid, Baton, etc



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα

Κοινά χαρακτηριστικά των δομημένων ομότιμων συστημάτων

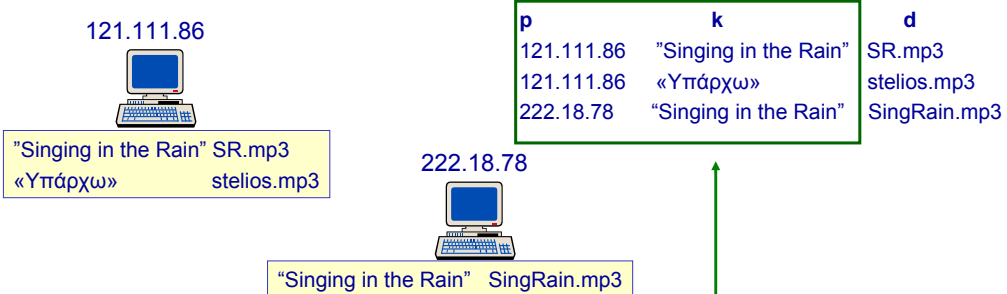
- κάθε κόμβος διατηρεί ένα μικρό τμήμα του καθολικού ευρετηρίου (πίνακας δρομολόγησης)
- οι αναζητήσεις γίνονται με προώθηση μηνυμάτων προς τη «σωστή» κατεύθυνση

Διαφορετικές Προσεγγίσεις

- FreeNet: caching πληροφορίας ευρετηρίου κατά μήκος των μονοπατιών αναζήτησης
- Chord: κατασκευή ενός κατανεμημένου πίνακα κατακερματισμού (Distributed Hash Table, DHT)
- CAN: Δρομολόγηση βάσει d-διάστατου χώρου
- P-Grid: κατανομή ενός δυναμικού δένδρου αναζήτησης



Το Πρόβλημα του Εντοπισμού Πόρου (Resource Location)



Έστω peer με δνση p που αποθηκεύει στοιχείο d που χαρακτηρίζεται από το κλειδί k
 Ζητούμενο: Δοθέντος k (ή συνθήκης πάνω στο k) εντόπισε τον peer που έχει το d ,
 δηλαδή βρες το ζεύγος ευρετηρίου (k, p) .

(άρα το ευρετήριο μας αποτελείται από ζεύγη της μορφής (k, p))

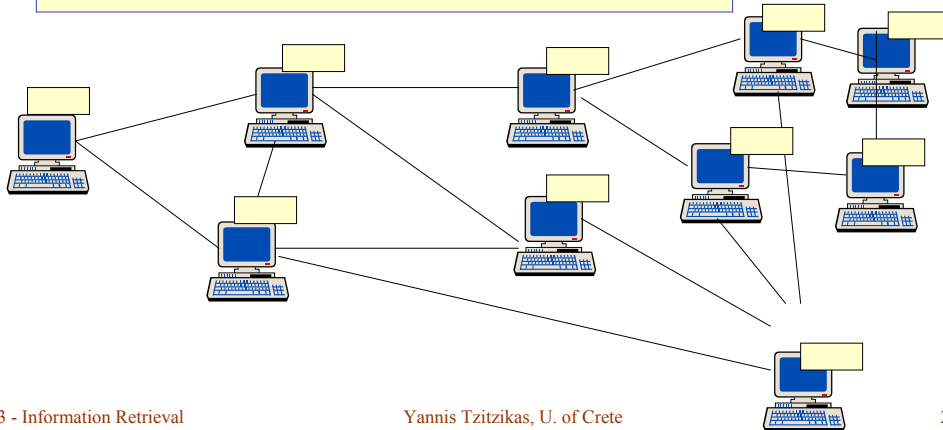
Κρίσιμο ερώτημα: Πως μπορούμε να (α) **φτιάξουμε**, (β) **συντηρήσουμε** και (γ) να **χρησιμοποιήσουμε** ένα τέτοιο ευρετήριο χωρίς κεντρικό έλεγχο;



Freenet

- Σύστημα για δημοσίευση και ανάκτηση δεδομένων με έμφαση στην ανωνυμία (και των συγγραφέων και των αναγνωστών)
- Τα κλειδιά και τα δεδομένα αποθηκεύονται κρυπτογραφημένα

Μοιάζει με: Gnutella + cache at each node



Freenet: Cache

p	k	d
121.111.86	"Singing in the Rain"	SR.mp3
121.111.86	«Υπάρχω»	
222.18.78	"One" U2One.mp3	
131.161.86	"Dog song"	
131.111.86	«Υπήρξα»	
122.118.73	"Pop2"	
144.44.46	"Singing in the Rain"	
155.11.86	«Υπάρχω»	stelios.mp3

Τμήμα του καθολικού ευρετηρίου

Αντίγραφα κάποιων αντικειμένων

- Ένα αρχείο (ή τμήματα του σε πολλούς κόμβους)
- Huge distributed cache

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 29

Freenet: Εισαγωγή Νέου Πόρου

- Υπολογίζουμε το κλειδί του νέου πόρου
- Φτιάχνεται η εγγραφή εισαγωγής και στέλνεται στον γείτονα με το πιο κοντινό κλειδί
- Κάθε κόμβος που λαμβάνει το νέο κλειδί, ελέγχει αν το κλειδί αυτό υπάρχει ήδη
- αν ναι, έχουμε σύγκρουση (collision), και άρα ο αρχικός κόμβος πρέπει να προτείνει ένα νέο κλειδί
- αν όχι, δρομολόγηση στον επόμενο κόμβο με τον ίδιο τρόπο
- Αν TTL = 0 και δεν είχαμε καμία σύγκρουση, τότε η τριάδα αποθηκεύεται σε όλους τους κόμβους του μονοπατιού που ακολουθήθηκε

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 30



Freenet: Τρόπος Εντοπισμού Πόρου

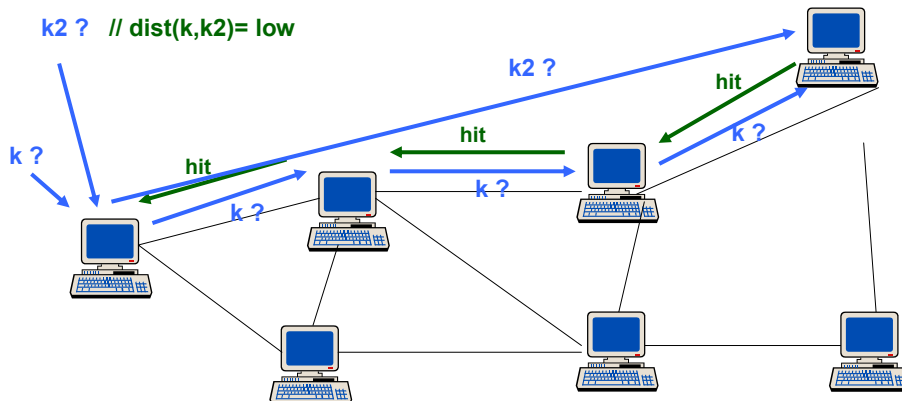
- Έλευση επερώτησης k
 - Αν η εγγραφή (p, k, d) είναι στη κρυφή μνήμη επέστρεψε το d
 - Αλλιώς προώθησε την επερώτηση στον κόμβο που έχει το **πιο όμοιο κλειδί**
- Έλευση απάντησης (k, p, d)
 - Η τριάδα εισάγεται στην κρυφή μνήμη
 - Η παραλιότερη εγγραφή (least recently used) διαγράφεται από την κρυφή μνήμη

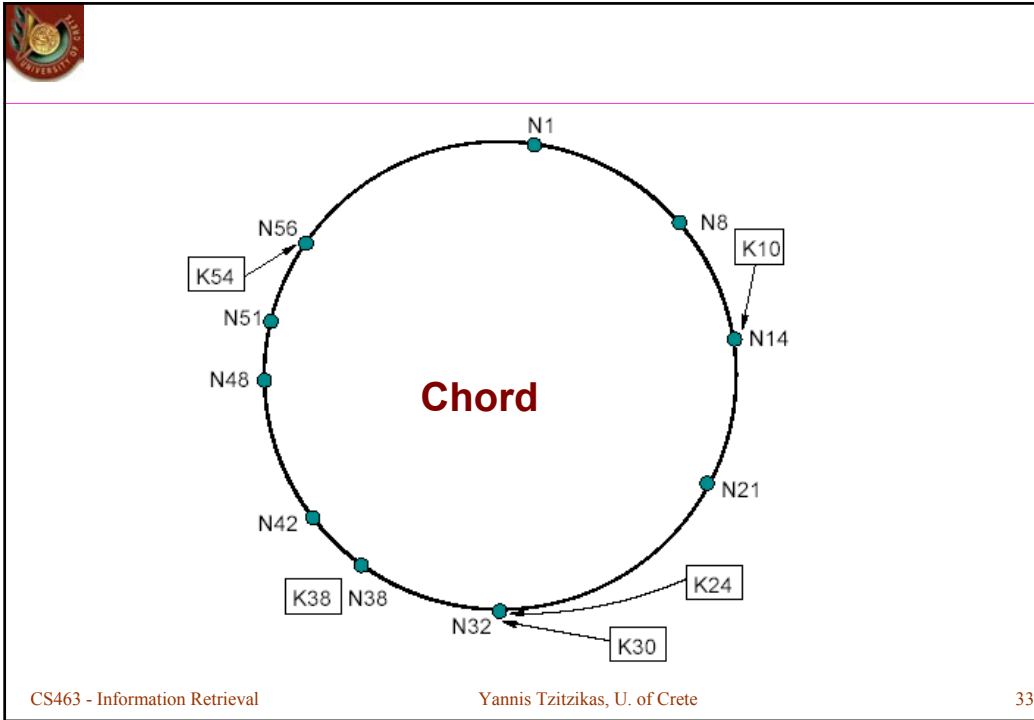
Παρατηρήσεις

- Οι δρομολογήσεις που κάνουν οι κόμβοι βελτιώνονται συν το χρόνο
- Οι κόμβοι τείνουν να έχουν στην κρυφή τους μνήμη εγγραφές με παρόμοια κλειδιά (άρα επιτυγχάνεται ένα είδος ομαδοποίησης)



Freenet





Chord (Distributed Hash Tables (DHT))

- Κατακερματισμός (Hashing) κλειδιών (k) και διευθύνσεων (p) σε δυαδικά κλειδιά με m -bits
 - π.χ. $m=6$, $h(\text{«υπάρχω»})=11$,
 $h(196.178.0.1)=3$
- Τα δυαδ. κλειδιά τοποθετούνται σε έναν κύκλο modulo 2^m
 - Για $m=8$, κυκλική διάταξη των αριθμών 0...255
- Ένα κλειδί k εκχωρείται στον πρώτο κόμβο p τ.ω. $h(p) \geq h(k)$
- Αυτός ο κόμβος λέγεται **successor(k)**

10 peers $P=\{p_1, \dots, p_{10}\}$
 5 keys $K=\{k_1, \dots, k_5\}$
 $m=6$, $\text{mod } 2^m = \text{mod } 2^6 = [0..63]$
 $\{h(p_i) \mid p_i \in P\} = \{1, 8, 14, 21, 32, 38, 42, 48, 51, 56\}$
 $\{h(k_i) \mid k_i \in K\} = \{10, 24, 30, 38, 54\}$

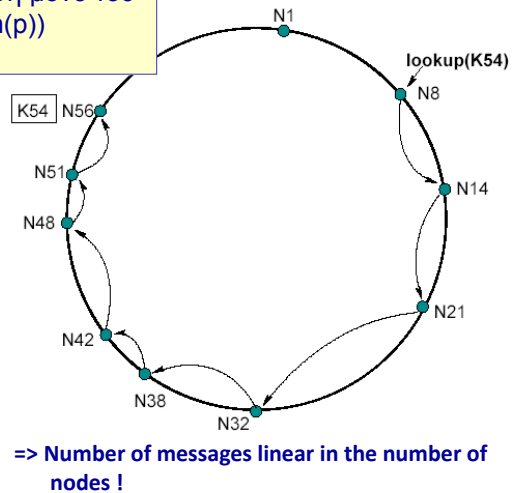
CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 34



Chord : Απλός τρόπος εντοπισμού κόμβων

Έστω ότι κάθε κόμβος p ξέρει την δνση μόνο του επόμενου του (του p' με $h(p') > h(p)$)

```
// ask node n to find the successor of
id
n.find_successor(id)
if (id in [n,successor])
    return successor;
else
    // forward the query around the
    circle
    return
    successor.find_successor(id);
```



Chord : Ένας πιο γρήγορος τρόπος εντοπισμού κόμβων με Πίνακες Δρομολόγησης

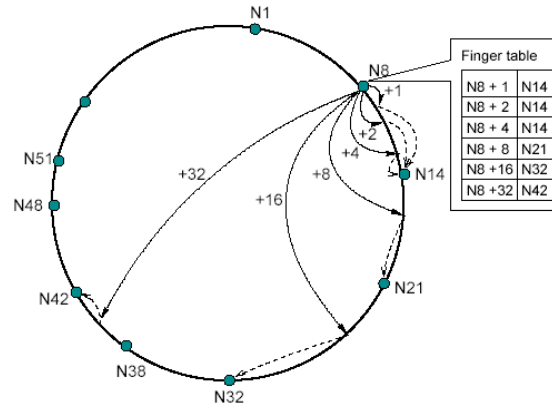
- Επιπλέον πληροφορία δρομολόγησης για επιτάχυνση
- Κάθε κόμβος n έχει έναν **πίνακα δρομολόγησης** με m εγγραφές
 - οι m αυτοί κόμβοι έχουν εκθετικά αυξανόμενη απόσταση από τον n
- Η i εγγραφή του πίνακα έχει την δνση του πρώτου κόμβου με κλειδί μεγαλύτερο ή ίσο με $n+2^{i-1}$
 - $finger[i] = successor(n + 2^{i-1})$



Chord : Παράδειγμα Πίνακα Δρομολόγησης

Finger table:

$$finger[i] = successor(n + 2^{i-1})$$



$n=8$

$$finger[1] = succ(n+1) = succ(9) = 14$$

$$finger[2] = succ(n+2) = succ(10) = 14$$

$$finger[3] = succ(n+4) = succ(12) = 14$$

$$finger[4] = succ(n+8) = succ(16) = 21$$

$$finger[5] = succ(n+16) = succ(24) = 32$$

$$finger[6] = succ(n+32) = succ(40) = 42$$

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

37



Chord: Εντοπισμός Πόρου με Πίνακες Δρομολόγησης

Έστω μια επερώτηση k προς έναν κόμβο n

- Ο n κοιτάζει τον πίνακα δρομολόγησης του και επιλέγει τον μεγαλύτερο peer με κλειδί μικρότερο αυτού της επερώτησης.
- Αν δεν υπάρχει τέτοιος peer, τότε ο ίδιος είναι υπεύθυνος για το k (και άρα το ζητούμενο βρέθηκε)
- Αλλιώς προωθεί σε αυτόν την επερώτηση

Αφού οι εγγραφές των πινάκων δρομολόγησης είναι εκθετικά αύξουσες, η αναζήτηση (με μεγάλη πιθανότητα) λαμβάνει λογαριθμικό χρόνο.

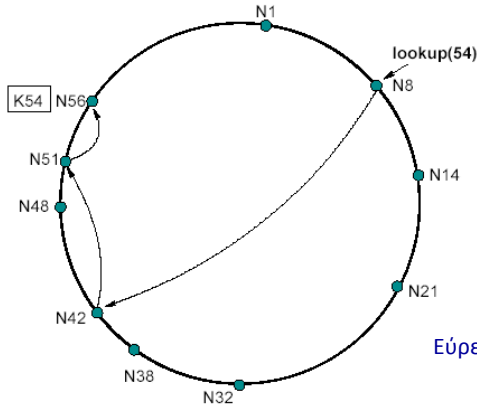
CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

38



Chord: Πλήθος μηνυμάτων: $O(\log N)$



N8		N42	
Finger table		Finger table	
N8 + 1	N14	N42 + 1	N48
N8 + 2	N14	N42 + 2	N48
N8 + 4	N14	N42 + 4	N48
N8 + 8	N21	N42 + 8	N51
N8 + 16	N32	N42 + 16	N1
N8 + 32	N42	N42 + 32	N14

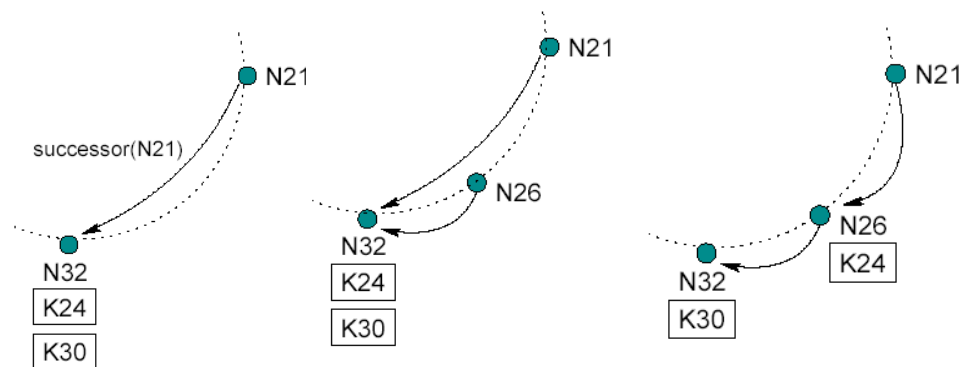
Εύρεση του κόμβου που έχει το αναζητούμενο κλειδί με ανταλλαγή τριών μηνυμάτων

- Search in finger table for the nodes which most immediately precedes id
- Invoke `find_successor` from that node
- => Number of messages $O(\log N)$



Chord: Είσοδος νέου κόμβου

- Ο νέος κόμβος πρέπει να φτιάξει τον πίνακα δρομολόγησης του
- Το κόστος κατασκευής του είναι αυτό της αναζήτησης
- Οι άλλοι κόμβοι πρέπει να ενημερώσουν τους δικούς τους πίνακες





Chord : Περίληψη

Βασικά σημεία:

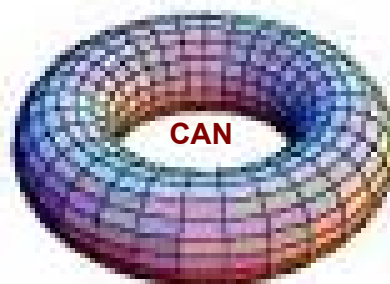
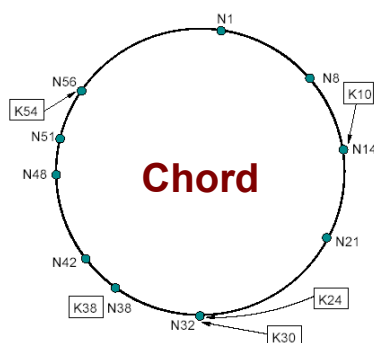
- Κάθε κόμβος αποθηκεύει πληροφορία για μικρό αριθμό κόμβων (m)
 - Κάθε κόμβος ξέρει περισσότερα για τους κοντινούς του όρους (απ' ότι για τους μακρινούς)

Επιδόσεις

- Χρόνος αναζήτησης: $O(\log n)$ (με μεγάλη πιθανότητα)
- Πλήθος Μηνυμάτων: $O(\log n)$ (επιλεκτική δρομολόγηση μηνυμάτων)
- Κόστος αποθήκευσης: $O(\log n)$ (πίνακας δρομολόγησης)
- Κόστος εισόδου/εξόδου κόμβου: $O(\log^2 n)$
- Κόστος ενημέρωσης: μικρό (περίπου σαν το κόστος αναζήτησης)

Chord software

- 3000 lines of C++ code, Library to be linked with the application, provides a `lookup(key)` – function: yields the IP address of the node responsible for the key, Notifies the node of changes in the set of keys the node is responsible for





Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN (Content Addressable Network)

Βασίζεται στον κατακερματισμό κλειδιών στον **κ-διάστατο** Καρτεσιανό χώρο (torus) (συνήθως $\kappa=2-10$)

- Κλειδί = σημείο του κ -διάστατου χώρου
 - κ διαστάσεις, $\text{Hash}(\text{key}) = (x_1, \dots, x_\kappa)$
- Κάθε κόμβος είναι υπεύθυνος για ένα κομμάτι του χώρου, μία **ζώνη**
 - Αποθηκεύει το ευρετήριο των αντικειμένων των οποίων οι συντεταγμένες εμπίπτουν στην ζώνη του
- Κάθε κόμβος αποθηκεύει τις διευθύνσεις των κόμβων των διπλανών ζωνών
- Εύρεση πόρου = δρομολόγηση στις ζώνες



<http://mathworld.wolfram.com/Torus.html>

CS463 - Information Retrieval

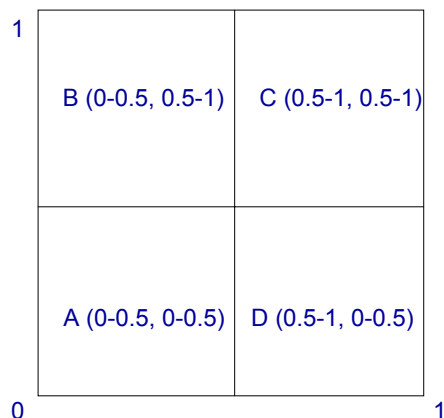
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

43



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN

Παράδειγμα διαμέρισης του δισδιάστατου χώρου $[0,1] \times [0,1]$ σε 4 peers A, B, C, D



CS463 - Information Retrieval

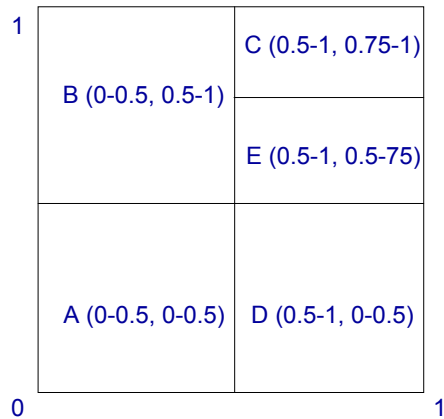
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

44



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN

Είσοδος ενός νέου κόμβου E



CS463 - Information Retrieval

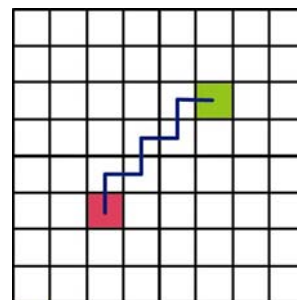
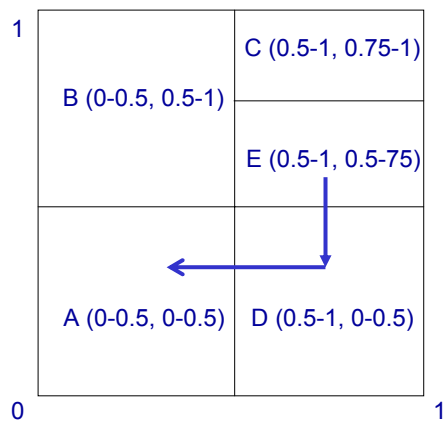
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

45



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN

Ο E θέλει να ανακτήσει το αντικείμενο με συντεταγμένες (0.2, 0.2)



Start Zone
Destination Zone
Current state
? possible direction

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

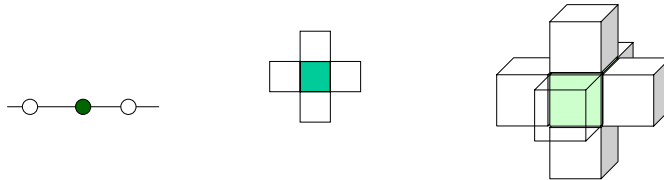
46



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN

Αυξάνοντας τις διαστάσεις

- **μειώνεται** το μήκος του μονοπατιού αναζήτησης
- **αυξάνεται** το πλήθος των γειτόνων που πρέπει κάθε κόμβος να αποθηκεύει



- Πολυπλοκότητα αναζήτησης αν έχω n κόμβους και k διαστάσεις:

$$O(k^k \sqrt{n})$$



Δομημένα Ομότιμα Συστήματα CAN Περίληψη

Βασικά σημεία:

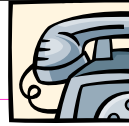
- Κάθε κόμβος αποθηκεύει πληροφορία για ένα τμήμα του διανυσματικού χώρου και γνωρίζει τις δυνσεις των διπλανών του κόμβων

Επιδόσεις

- Χρόνος αναζήτησης: $O(k \cdot n^{1/k})$ (με μεγάλη πιθανότητα)
- Πλήθος Μηνυμάτων: $O(k \cdot n^{1/k})$ (επιλεκτική δρομολόγηση μηνυμάτων)
- Κόστος αποθήκευσης: $O(k)$ (πίνακας δρομολόγησης)
- Κόστος ενημέρωσης: μικρό (περίπου σαν το κόστος αναζήτησης)



Περίληψη Ομότιμων Συστημάτων



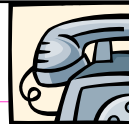
Έστω ότι στην Ελλάδα κατοικούν 1000 άτομα και κάθε ένας τους έχει ένα τηλέφωνο

Τρόποι εύρεσης του τηλεφώνου ενός κυρίου X

- **Napster-style**
 - Εύρεση τηλεφώνου τηλεφωνώντας στο 11811 του ΟΤΕ
- **Gnutella-style**
 - Εύρεση τηλεφώνου ρωτώντας όποιον βρούμε μπροστά μας (κ.ο.κ)
- **Kazaa-style**
 - Δεν υπάρχει ΟΤΕ για όλη την Ελλάδα, αλλά κάθε νομός έχει έναν τοπικό ΟΤΕ. Τηλεφωνούμε στον τοπικό και αν αυτός δεν το έχει, επικοινωνεί με τους υπόλοιπους τοπικούς ΟΤΕ



Περίληψη Ομότιμων Συστημάτων



- **Freenet-style**
 - Κάθε ένας έχει μια ατζέντα περιορισμένου μεγέθους. Εύρεση τηλεφώνου τηλεφωνώντας σε αυτόν που έχει το πλησιέστερο όνομα (π.χ. λεξικογραφικά), κ.ο.κ. Όταν τελικά βρεθεί, ενημερώνουμε την ατζέντα μας.
- **Chord-style**
 - Κάθε κάτοικος έχει μια ατζέντα με 10 τηλέφωνα ($10 = \log 1024$)
 - Η εύρεση του τηλεφώνου του κυρίου X θα γίνει με 10 τηλεφωνήματα (κατά μέσο όρο)
- **CAN-style**
 - Κάθε ένας ξέρει το τηλέφωνο των γειτόνων του
 - αν όλοι οι Έλληνες ζουν σε μονοκατοικίες τότε κάθε ένας έχει 4 γείτονες (Βορ, Νοτ, Α, Δ)
 - αν όλοι οι Έλληνες ζουν σε 1 πολυκατοικία τότε κάθε ένας έχει 6 γείτονες
 - Για να τηλεφωνήσω σε κάποιον πρέπει να ξέρω που είναι το σπίτι του και τηλεφωνώ στο γείτονα μου που είναι προς εκείνη την κατεύθυνση (κ.ο.κ)
 - Αν όλοι μένουν σε μονοκατοικίες τότε $2 * \text{SQRT}(1000) = 64$ τηλεφωνήματα
 - Αν όλοι μένουν σε μια πολυκατοικία τότε $3 * \text{CubicRoot}(1000) = 3 * 10$ τηλεφωνήματα



HY463 - Συστήματα Ανάκτησης Πληροφοριών
Information Retrieval (IR) Systems

**Ανάκτηση Πληροφοριών
& Συστήματα Ομοτίμων**
(Peer-to-Peer Systems)



Τι διαφέρει η Ανάκτηση σε
P2P συστήματα από την Καταναμημένη Ανάκτηση;

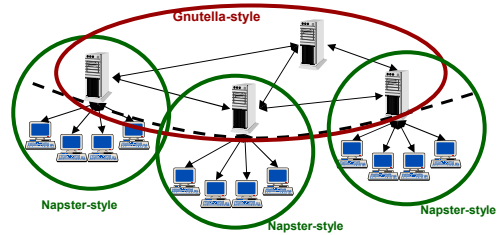
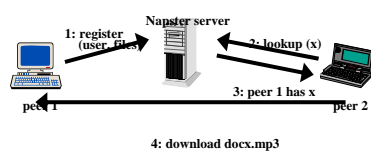
Η ανάκτηση πληροφοριών σε συστήματα ομοτίμων είναι μια περίπτωση καταναμημένης ανάκτησης

Ιδιαιτερότητες των ομοτίμων συστημάτων:

- Υπερβολικά μεγάλος αριθμός πηγών (peers)
- Μεγαλύτερη αυτονομία πηγών
- Έλλειψη Σταθερότητας, Ελέγχου, Προβλεψιμότητας
 - (not stable, controllable, unpredictable)
- Επιτακτική ανάγκη για μείωση του κόστους επικοινωνίας



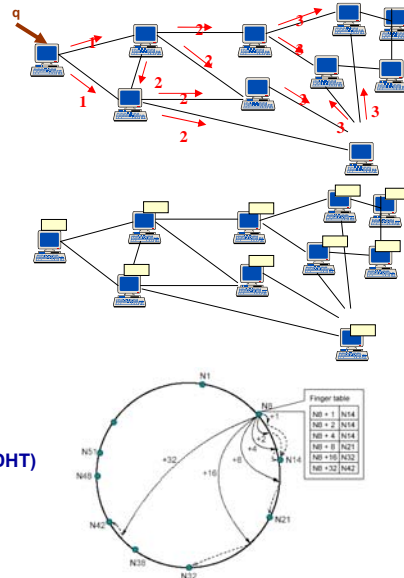
Αρχιτεκτονικές Ομότιμων Συστημάτων



CAN (Content Addressable Network)



Chord (DHT)



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

53



P2P and IR: Περίπτωση: Κατηγοριοποιημένα Έγγραφα

Έστω ότι κάθε έγγραφο είναι ταξινομημένο σε μια κατηγορία ενός ελεγχόμενου ευρετηρίου (ODP, Yahoo!). Ο χρήστης κάνει αναζήτηση δίνοντας μια κατηγορία

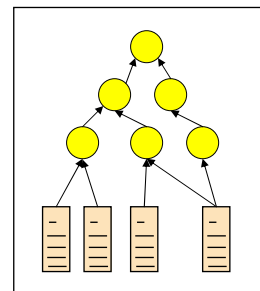
έγγραφο \approx mp3 αρχείο

κατηγορία εγγράφου \approx τίτλος του mp3 αρχείου

Άρα μπορούμε να φτιάξουμε ένα ομότιμο σύστημα

- τύπου Napster (Hybrid P2P)
- τύπου Gnutella (Pure P2P)
- τύπου Kazaa (Hierarchical P2P)
- τύπου Freenet (Structured P2P)
- τύπου Chord (Structured P2P)
- τύπου CAN (Structured P2P)

Βέβαια έτσι θα μπορούμε να κάνουμε ανάκτηση μόνο βάσει του τίτλου (και όχι βάσει του περιεχομένου).



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

54

P2P and Statistical IR

Τυπικό Ευρετήριο P2P →

p	k	d
121.111.86	"Singing in the Rain"	SR.mp3
121.111.86	«Υπάρχω»	stelios.mp3
222.18.78	"Singing in the Rain"	SingRain.mp3

Τυπικό Ευρετήριο IRS
(document partitioning) →

P1
cold → <2,1>
hot → <1,1>
pease → <1,1> <2,1>
porridge → <1,1> <2,1>

P2
cold → <4,1>
hot → <4,1>
in → <3,1>
not → <4,1>
pease → <3,1> <4,2>
porridge → <3,1> <4,2>
pot → <3,1>
the → <3,1>

P3
cold → <5,1>
hot → <5,1> <6,1>
in → <6,1>
not → <5,1>
pease → <5,2> <6,1>
porridge → <5,2> <6,1>
pot → <6,1>
the → <6,1>

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 55

P2P and Statistical IR

Τυπικό Ευρετήριο P2P →

p	k	d
121.111.86	"Singing in the Rain"	SR.mp3
121.111.86	«Υπάρχω»	stelios.mp3
222.18.78	"Singing in the Rain"	SingRain.mp3

Τυπικό Ευρετήριο IRS
(term partitioning) →

P1	cold	→	<2,1>	<4,1>	<5,1>			
	hot	→	<1,1>	<4,1>	<5,1>	<6,1>		
	in	→	<3,1>	<6,1>				
P2	not	→	<4,1>	<5,1>				
	pease	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
	porridge	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
P3	pot	→	<3,1>	<6,1>				
	the	→	<3,1>	<6,1>				

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 56



Ομότιμα Συστήματα (P2P) και Ανάκτηση Πληροφοριών

- Διαφορές με Κατανεμημένη Ανάκτηση
- **Napster-style**
- **Gnutella-style (local inv. Index)**
- **Freenet-style**
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES$
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES * sim(q)$
- **Hierarchical**
- PlanetP (Bloom filters)
- Chold-style: key=1 term, a term pair, ...
 - term partitioning
- **CAN-style: key = LSI vector pSearch (LSI + CAN)**
 - document partitioning
 - Result aggregation



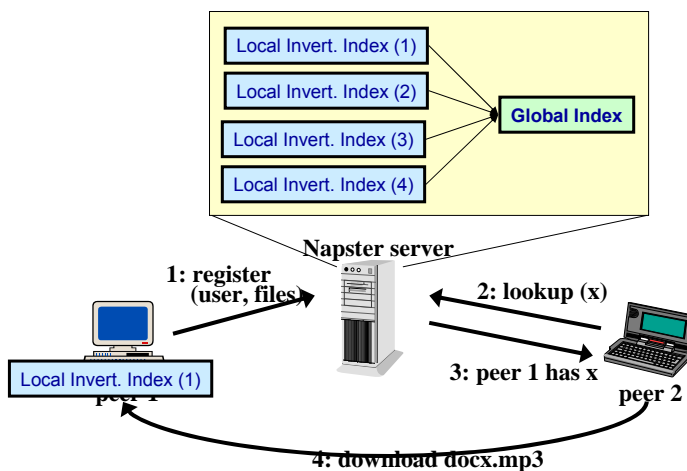
Γενικά: P2P & IR = αντικείμενο έρευνας σήμερα



P2P and IR: Ανεστραμμένα Ευρετήρια (Napster-style)



Ένας κεντρικός εξυπηρετητής αποθηκεύει όλα τα ανεστραμμένα ευρετήρια των κόμβων



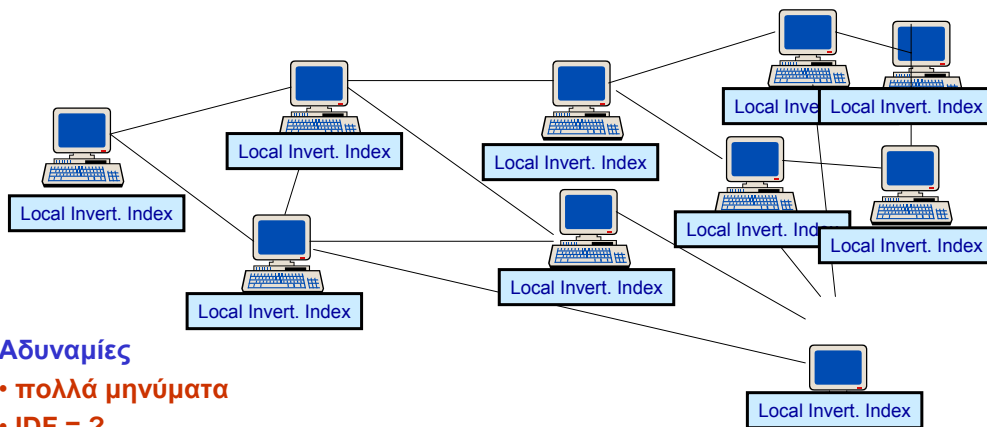
αδυναμίες:

- ο εξυπηρετητής χρειάζεται πολύ χώρο
- χρονοβόρο upload των ευρετηρίων στον εξυπηρετητή,
- το κόστος αποτίμησης επερωτήσεων πάει εξ' ολοκλήρου στον εξυπηρετητή
- \approx Google, χωρίς το crawling (συλλογή σελίδων) και έχοντας έτοιμα κομμάτια του ευρετηρίου



P2P and IR: (Gnutella-style)

- Κάθε κόμβος συντηρεί το ανεστραμμένο ευρετήριο των εγγράφων του.
- Αποτίμηση επερωτήσεων με κατακλυσμό μηνυμάτων



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

59



P2P and IR: (Gnutella-style)

Παραλλαγές του Κατακλυσμού μηνυμάτων

- BFS: Breadth First Search (=Gnutella)
- RBFS: κάθε κόμβος προωθεί ένα μήνυμα σε ένα τυχαίο ποσοστό (π.χ. 20%) των γνωστών του κόμβων
 - + πιθανοκρατικός αλγόριθμος
 - μπορεί το μήνυμα να μην πάει σε κόμβους που έχουν συναφή αντικείμενα
- 1-Random Walker:
 - κάθε κόμβος προωθεί ένα μήνυμα σε έναν τυχαία επιλεγμένο κόμβο από τους γνωστούς του
- k-Random Walkers:
 - κάθε κόμβος προωθεί ένα μήνυμα σε κ τυχαία επιλεγμένους κόμβους από τους γνωστούς του
 - + λιγότερα μηνύματα από το RDFS

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

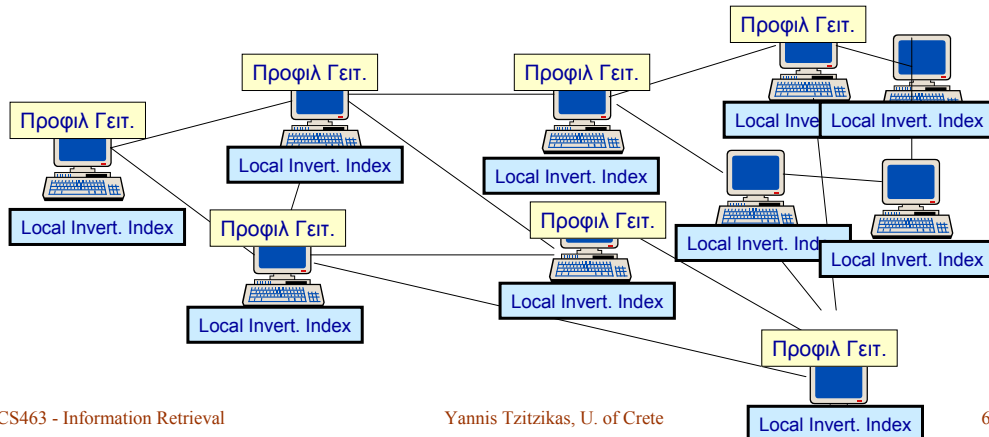
60



P2P and IR (Freenet-style)

Κάθε κόμβος:

- (α) συντηρεί το ανεστραμμένο ευρετήριο των εγγράφων του.
- (β) φτιάχνει ένα **προφίλ των γειτόνων** του βασισμένο στις επερωτήσεις του παρελθόντος
- (γ) έχει μια φόρμουλα βαθμολόγησης κόμβων που τη χρησιμοποιεί για **επιλεκτική δρομολόγηση**



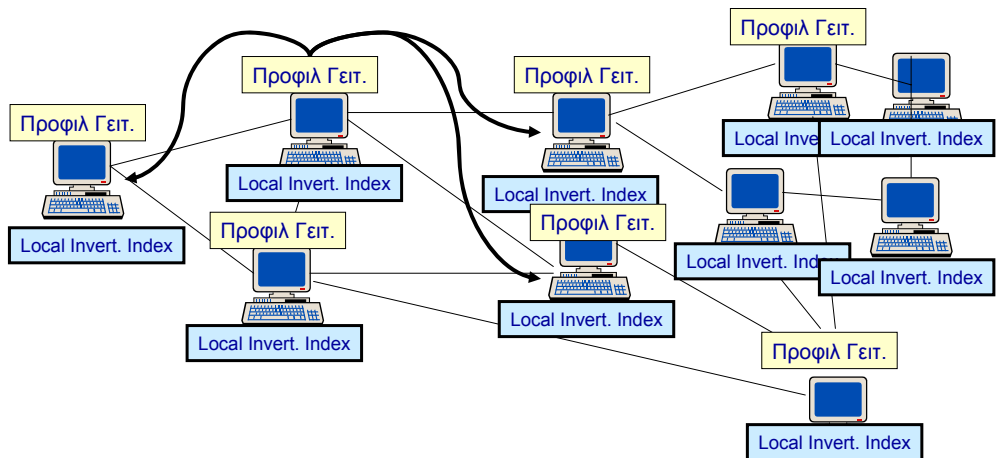
CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

61



P2P and IR (Freenet-style)



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

62



Προφίλ Γειτόνων βάσει των προηγούμενων απαντήσεων

p	q	ans(q)
121.111.86	"Singing in the Rain"	4
121.111.86	«Υπάρχω»	12
222.18.78	"One" U2One.mp3	6
131.161.86	"Dog song"	7
131.111.86	«Υπήρξα»	4
122.118.73	"Pop2" 12	8
144.44.46	"Singing in the Rain"	5
155.11.86	«Υπάρχω»	7

LRU (Least Recently Used) deletion policy

Local Invert. Index

- Το **προφίλ** είναι τριάδες της μορφής (p, q, |ans(p,q)|)
 - όπου p ένας γείτονας, q μια επερώτηση που απήντησε αυτός ο γείτονας, και |ans(p,q)| το μέγεθος της απάντησης
 - LRU update policy

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 63



Προφίλ Γειτόνων και Δρομολόγηση: >RES (περισσότερα αποτελέσματα)

p	q	ans(q)
121.111.86	"Singing in the Rain"	4
121.111.86	«Υπάρχω»	12
222.18.78	"One" U2One.mp3	6
131.161.86	"Dog song"	7
131.111.86	«Υπήρξα»	4
122.118.73	"Pop2" 12	8
144.44.46	"Singing in the Rain"	5
155.11.86	«Υπάρχω»	7

Score(121.111.86)=16
Score(122.118.73)=8

Local Invert. Index

- Για την δρομολόγηση μιας επερώτησης επιλέγονται εκείνοι οι γείτονες που έχουν δώσει τα περισσότερα αποτελέσματα στο παρελθόν (εξ ου και το όνομα >RES). Συγκεκριμένα στις προηγούμενες n επερωτήσεις.
- Το **σκορ ενός γείτονα p_j** είναι
 - $Score(p_j) = \sum \{ |ans(p_j, q_j)| \mid q_j \text{ answered by } p_j \text{ in the past} \}$

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 64



Προφίλ Γειτόνων και Δρομολόγηση: >RES και ομοιότητα ερωτήσεων

p	q	ans(q)
121.111.86	"Singing in the Rain"	4
121.111.86	«Υπάρχω»	12
222.18.78	"One" U2One.mp3	6
131.161.86	"Dog song"	7
131.111.86	«Υπήρξα»	4
122.118.73	"Pop2" 12	8
144.44.46	"Singing in the Rain"	5
155.11.86	«Υπάρχω»	7

Local Invert. Index

- Για την δρομολόγηση μιας ερωτήσης q επιλέγονται εκείνοι οι γείτονες που έχουν δώσει τα περισσότερα αποτελέσματα στο παρελθόν (>RES) σε ερωτήσεις που είναι κοντινές με το q



Προφίλ Γειτόνων και Δρομολόγηση: >RES και ομοιότητα ερωτήσεων

Το σκορ ενός γείτονα p_j δοθείσας ερωτήσης q, είναι:

>RES

$$\text{Score}(p_j) = \sum \{ |\text{ans}(p_j, q_j)| \mid q_j \text{ answered by } p_j \text{ in the past} \}$$

>RES και ομοιότητα ερωτήσεων

$$\text{Score}(p_j, q) = \sum \{ |\text{ans}(p_j, q_j)| \cdot \text{sim}(q_j, q)^\alpha \mid q_j \text{ answered by } p_j \text{ in the past} \}$$

- sim(q_j, q): Π.χ. ομοιότητα συνημίτονου
- α: παράμετρος για το καθορισμό της σχετικής σπουδαιότητας της συνάφειας έναντι του μεγέθους απάντησης



Προφίλ Γειτόνων και Δρομολόγηση: >RES και ομοιότητα επερωτήσεων

p	q	ans(q)
121.111.86	"Singing in the Rain"	4
121.111.86	«Υπάρχω»	12
222.18.78	"One" U2One.mp3	6
131.161.86	"Dog song"	7
131.111.86	«Υπήρξα»	4
122.118.73	"Pop2" 12	8
144.44.46	"Singing in the Rain"	5
155.11.86	«Υπάρχω»	7

q1 = Singing
q2 = Special Dog Song

Local Invert. Index

Πότε αυτή η προσέγγιση είναι καλή;

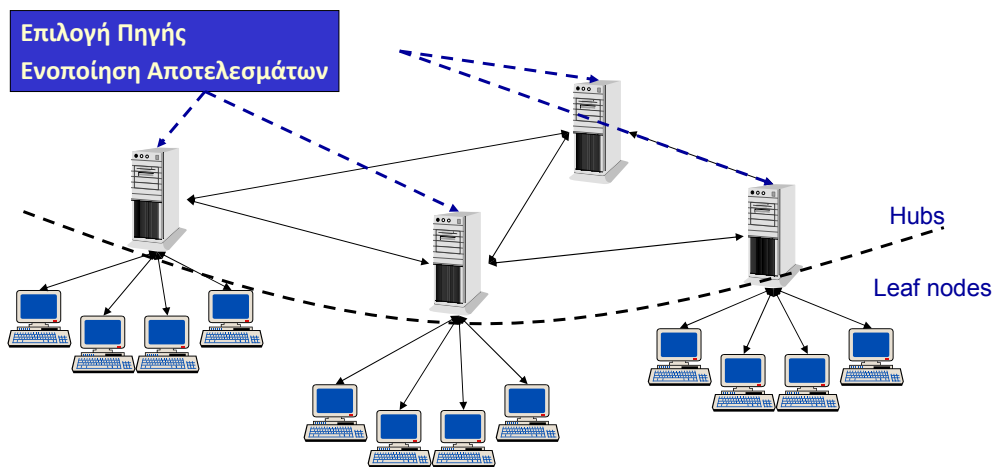
- Απ: Όταν τα έγγραφα του κάθε κόμβου είναι σημασιολογικά κοντινά
- Επειδή αυτό όμως δεν συμβαίνει πάντα η επερώτηση προωθείται και σε έναν τυχαία επιλεγμένο γείτονα. // αυτό επίσης συμβάλει στην καλή εκκίνηση του συστήματος

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 67



Ανάκτηση Κειμένων σε *Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα* (Kazaa-style IR)

Γενική Ιδέα: Κάνουμε ό,τι και στην κατακεκομμένη, απλά εδώ έχουμε πολλούς μεσίτες
Κάθε μεσίτης (εδώ super-peer) έχει μια περιγραφή των περιεχομένων των υποκειμένων κόμβων

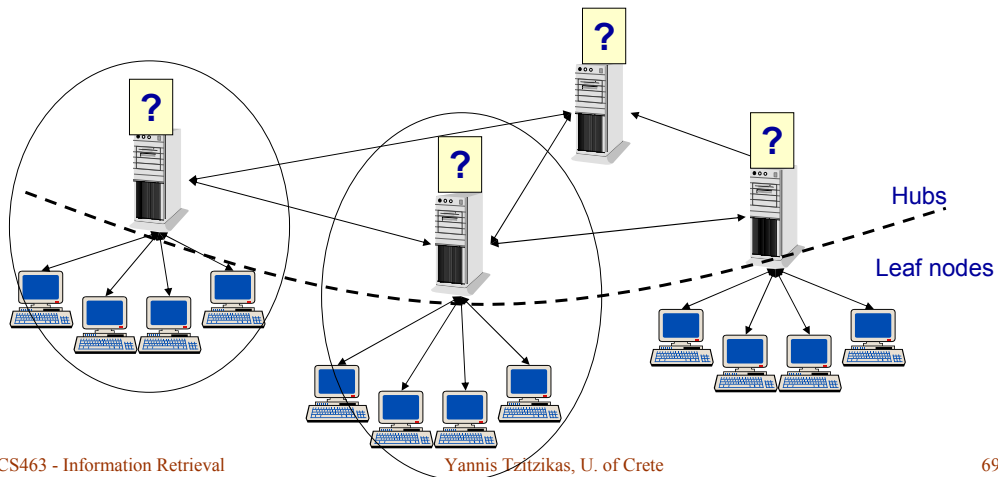




Ανάκτηση Κειμένων σε *Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα* (Kazaa-style IR)

Περιγραφή των περιεχομένων των φύλλων

Ανάγκη για μείωση του αποθηκευτικού χώρου στα Hubs



CS463 - Information Retrieval

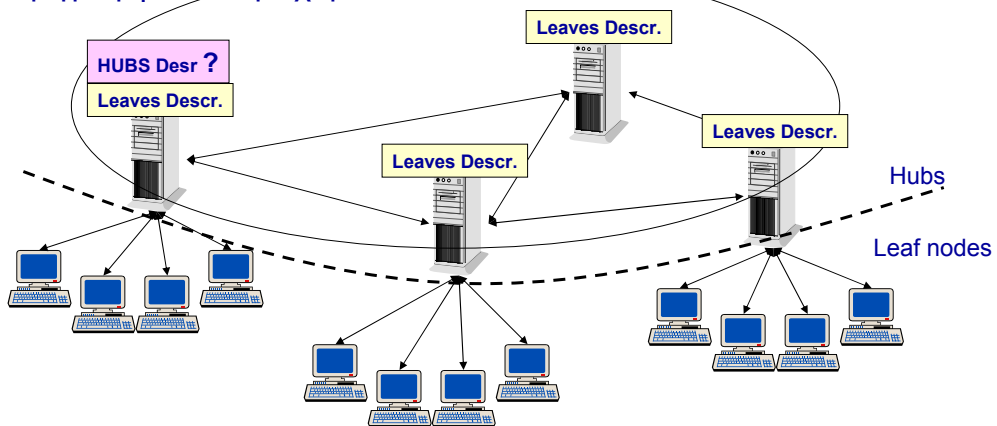
Yannis Tzitzikas, U. of Crete

69



Ανάκτηση Κειμένων σε *Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα* (Kazaa-style IR)

Περιγραφή των περιεχομένων των άλλων Hub ?



- Η περιγραφή ενός HUB είναι η ένωση των περιγραφών των υποκείμενων του κόμβων (Πρόβλημα: χώρος)
- Καταγραφή προηγούμενων ερωτήσεων που έχουν απαντηθεί
 - π.χ. >RES και ομοιότητα ερώτησης

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

70



Ανάκτηση Κειμένων σε *Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα*

Επιλογές

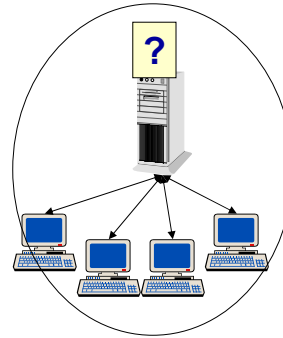
1/ Λεξιλόγια των υποκείμενων κόμβων + συχνότητες εμφάνισης τους

- (δεν ξέρουμε το καθολικό λεξιλόγιο για να φτιάξουμε το διάνυσμα πηγής)

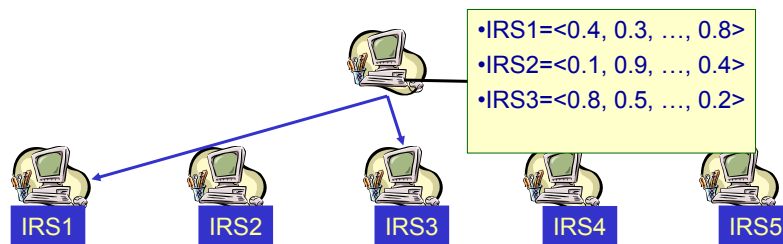
2/ Λεξιλόγια των υποκείμενων κόμβων

3/ Λέξεις που εμφανίζονται πάνω από 1 φορά + συχνότητες τους

- λόγω του νόμου του Zipf, ο απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος μειώνεται στο μισό



Επανάληψη: Επιλογή Πηγής με *Διανύσματα Πηγών*



- Βλέπουμε **κάθε συλλογή** ως ένα **μεγάλο έγγραφο**
- Φτιάχνουμε ένα **διάνυσμα για κάθε συλλογή** (τύπου TF-IDF)
 - tf_{ij} : συνολικές εμφανίσεις του όρου i στη συλλογή j
 - idf_i : $\log(N/n_i)$, όπου N το πλήθος των συλλογών, και n_i το πλήθος των συλλογών που έχουν τον όρο i
- Υπολογίζουμε το **βαθμό ομοιότητας** κάθε νέας επερώτησης με το **διάνυσμα** **κάθε συλλογής** (π.χ. ομοιότητα συνημίτονου)
- Διατάσσουμε τις συλλογές και επιλέγουμε τις κορυφαίες
- **Εναλλακτικά**: Αντί για ένα, μπορούμε να περιγράψουμε κάθε πηγή με K διανύσματα

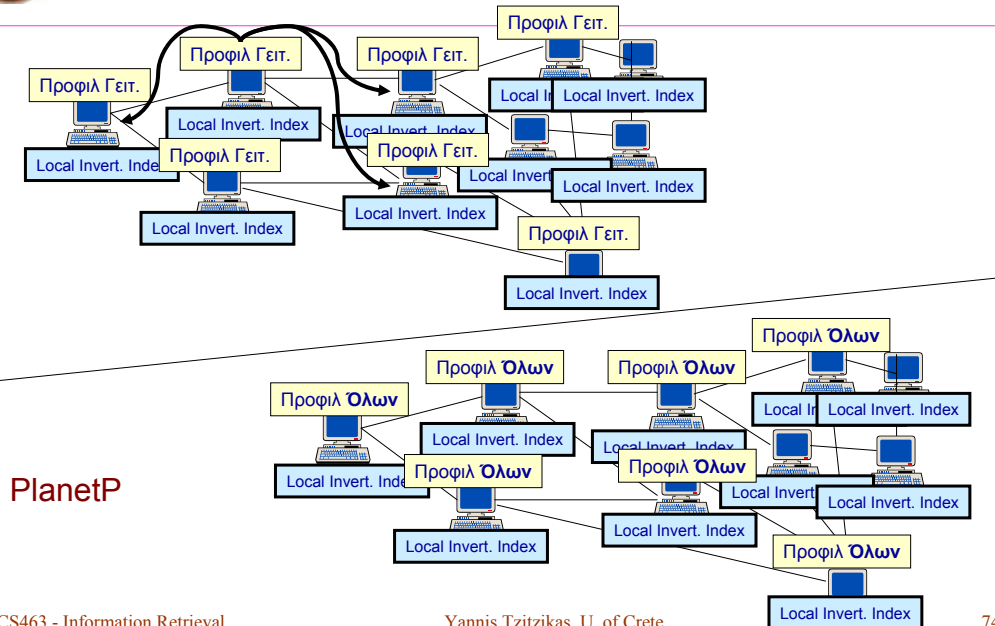


Ανάκτηση Κειμένων σε Ιεραρχικά Ομότιμα Συστήματα

- A **Client node** sends its query to each of its connecting **hubs**.
- A **hub** that receives the query uses its **resource selection algorithm** to **rank** and **select one or more** neighboring leaf nodes as well as hubs, and routes the query to them if the message's TTL hasn't reached 0.
- A **leaf node** that receives the query message uses its **document retrieval algorithm** to generate a relevance ranking of its documents and responds with a queryhit message to include a list of top-ranked documents.
- Each top-level hub (the hub that connects directly to the client node that issues the request) collects the queryhit messages and uses its **result merging algorithm** to merge the documents retrieved from multiple leaf nodes into a single, integrated ranked list and returns it to the client node.
- If the client node issues the request to more than one hub, then it also needs to merge results returned by multiple toplevel hubs.



P2P and IR: Το σύστημα PlanetP





Ομότιμα Συστήματα (P2P) και Ανάκτηση Πληροφοριών

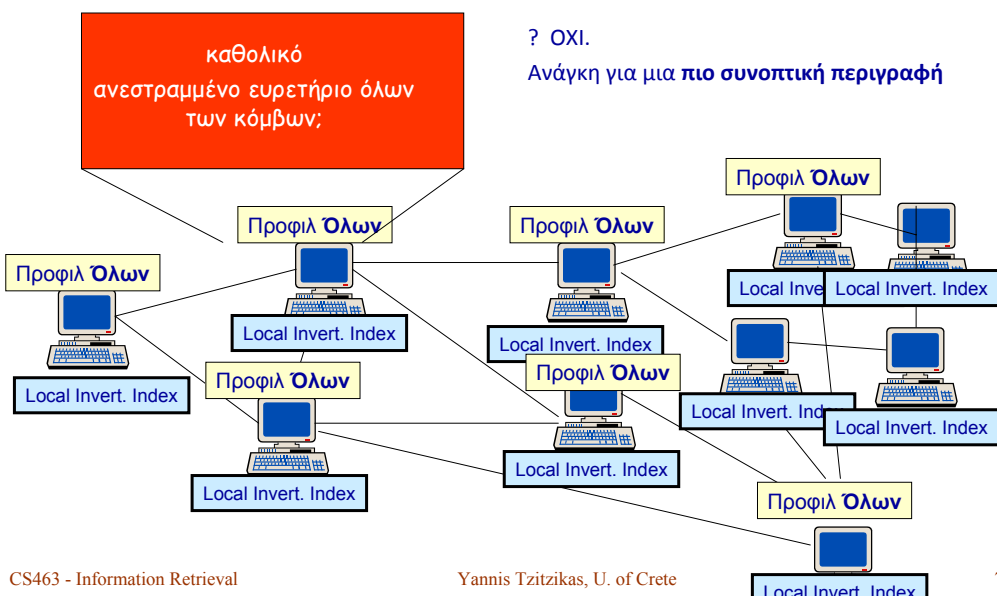
- Διαφορές με Κατανεμημένη Ανάκτηση
- Napster-style
- Gnutella-style (local inv. Index)
- Freenet-style
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES$
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES * sim(q)$
- Hierarchical
- PlanetP (Bloom filters)
- Chold-style: key=1 term, a term pair, ...
 - term partitioning
- CAN-style: key = LSI vector pSearch (LSI + CAN)
 - document partitioning
 - Result aggregation



Γενικά: P2P & IR = αντικείμενο έρευνας σήμερα



P2P and IR: Το σύστημα PlanetP





P2P and IR: Το σύστημα PlanetP Επιλογή Πηγής ?

- Στο σύστημα PlanetP το **λεξιλόγιο του κάθε κόμβου** (όχι οι λίστες των εμφανίσεων των όρων) περιγράφεται με ένα **Bloom φίλτρο**
- Τα φίλτρα Bloom ομοιάζουν με την τεχνική των αρχείων υπογραφών (signature files).



Επανάληψη: Αρχεία Υπογραφών (Signature files)

b=3 (3 words per block) **B=6** (bit masks of 6 bits)

Text

Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
This is a <u>text</u> .	A <u>text</u> has <u>many</u>	<u>words</u> .	<u>Words</u> are <u>made</u> from <u>letters</u> .

Text Signature

000101	110101	100100	101101
--------	--------	--------	--------

Signature Function

$h(\text{text})=$	000101
$h(\text{many})=$	110000
$h(\text{words})=$	100100
$h(\text{made})=$	001100
$h(\text{letters})=$	100001



Bloom filters [Burton Bloom 1970] Συμπαγής Κωδικοποίηση Συνόλων

Ένα σύνολο κωδικοποιείται σε ένα δυαδικό διάνυσμα των m-bits

k συναρτήσεις κατακερματισμού h_1, h_2, \dots, h_k , με πεδίο τιμών το $\{1, \dots, m\}$

Κωδικοποίηση στοιχείου:

$BF(\{\alpha\}) =$ διάνυσμα με άσσους στις θέσεις $h_1(\alpha), h_2(\alpha), \dots, h_k(\alpha)$

Κωδικοποίηση συνόλου:

$BF(\{\alpha_1, \alpha_2\}) = BF(\{\alpha_1\})$ **BITwiseOR** $BF(\{\alpha_2\})$

Πως βρίσκω αν ένα στοιχείο b ανήκει στο σύνολο A ?

1/ Υπολογίζω το BloomFilter του b

2/ Κοιτάζω αν οι άσσοι του $BF(b)$ υπάρχουν στο $BF(A)$

Αν όχι, τότε σίγουρα το b δεν ανήκει στο A

Αν ναι, τότε ανήκει αλλά μπορεί και να μην ανήκει (false positive)

Όσο μεγαλύτερο είναι το m , τόσο μικρότερη η πιθανότητα για false positives



Bloom filters: Παράδειγμα

$m=14, k=3$



$hash_1("apples") = 3$

$hash_2("apples") = 12$

$hash_3("apples") = 11$

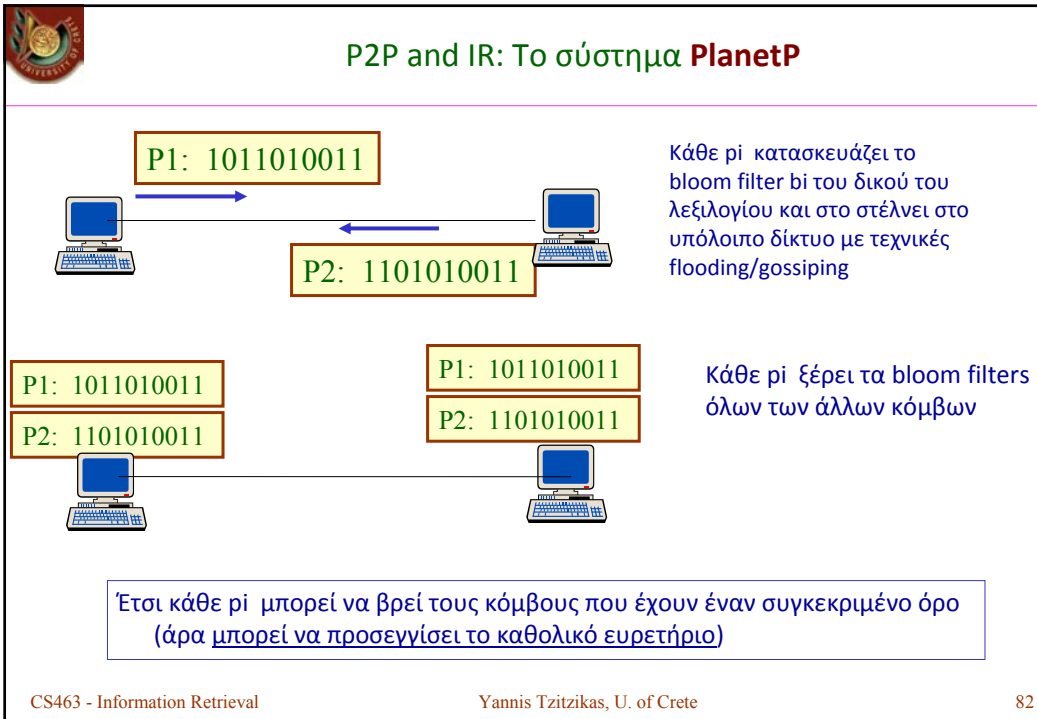
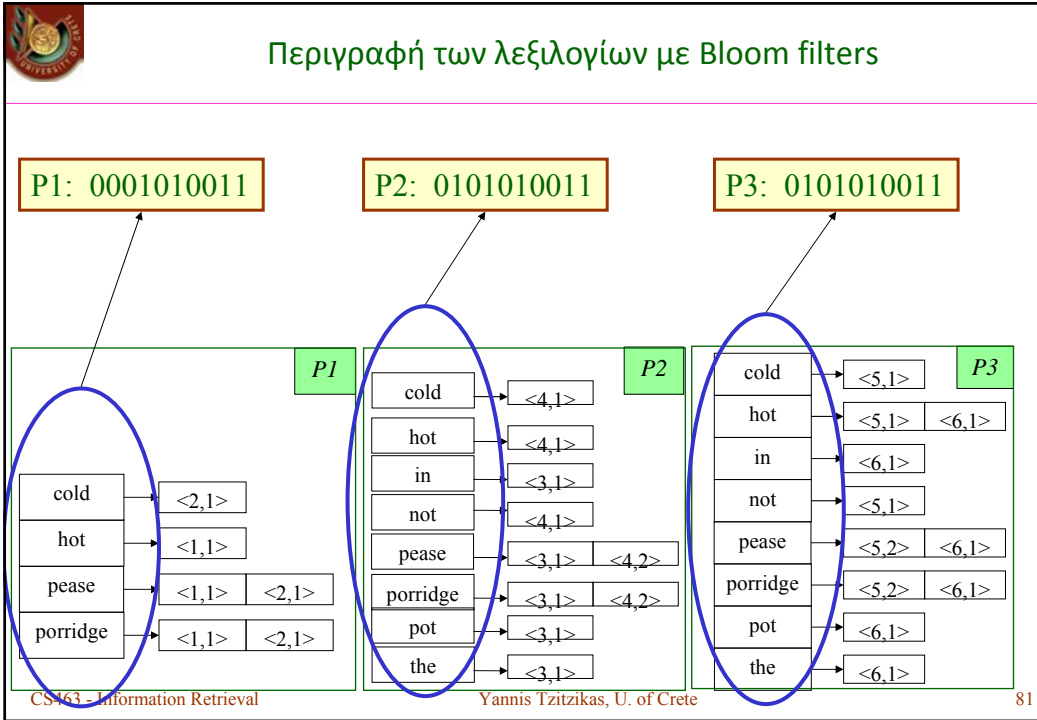
{apples}=

$hash_1("plums") = 11$

$hash_2("plums") = 1$

$hash_3("plums") = 8$

{apples, plums}=





Bloom filters in PlanetP: Πόσο μεγάλα είναι;

AP89 Collection (Associated Press articles of 1989 from TREC):

84,678 documents, 129,603 words, collection size 266 MB

Num. Peers	Memory used (MB)	% of collection size
10	0.45	0.18%
100	1.79	0.70%
1000	4.48	1.76%

1000 Nodes: => about 4500 terms per peer

Bloom filters with less than 5% false positives =>

Bloom filter size for the vocabulary of one peer: 4.6 KB

Total size of bloom filters of peers : 4.6 MBytes

Γιατί το μέγεθος
αυξάνει με το πλήθος
των κόμβων;



PlanetP: Τρόπος ενημέρωσης των κόμβων (Gossiping algorithms)

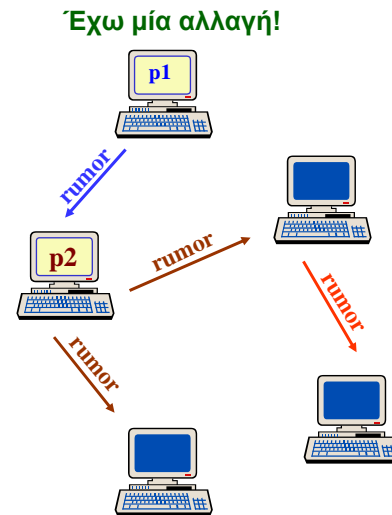
- Η μετάδοση των Bloom filters σε όλο το δίκτυο καθώς και η ενημέρωση των κόμβων (για νέα δεδομένα, είσοδο/έξοδο κόμβων) μπορεί να γίνει με ποικίλους **αλγορίθμους gossiping**:
 - rumoring algorithm
 - anti-entropy algorithm
 - partial anti-entropy algorithm
 -



(Gossiping algorithms) Rumoring (φημολογία)

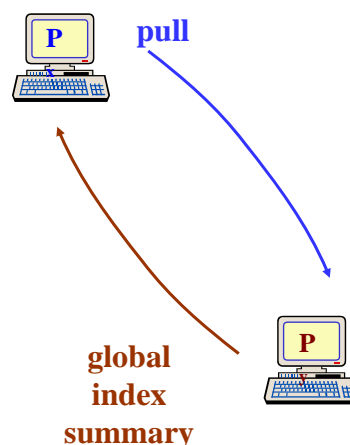
Ο p1 έχει μια αλλαγή:

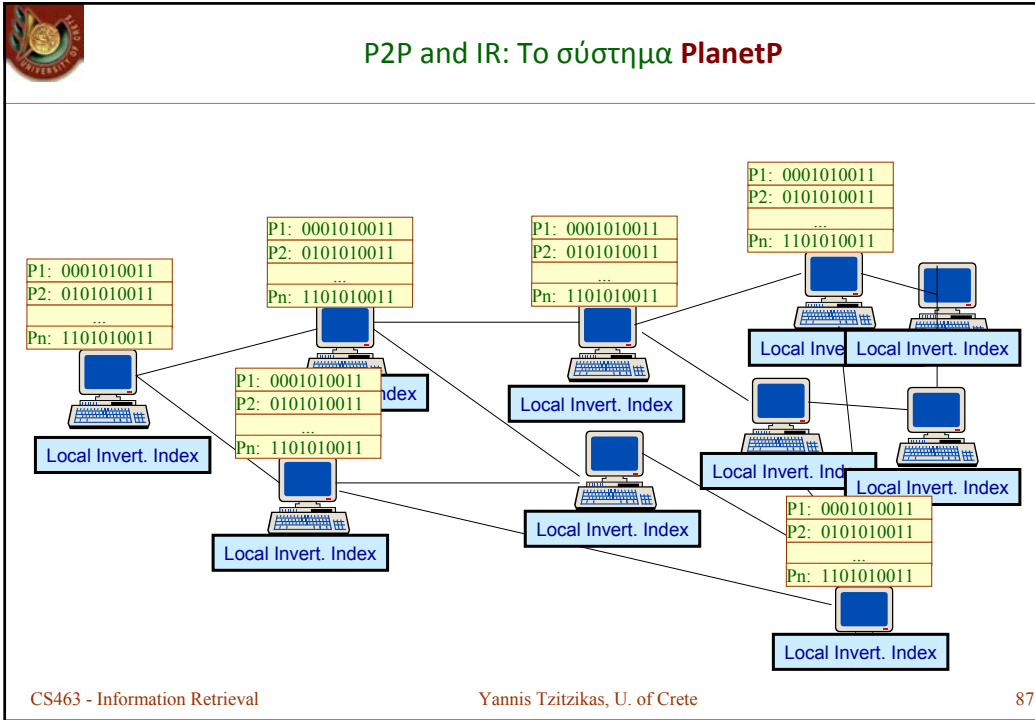
- κάθε X δευτερόλεπτα, ο p1 στέλνει ένα μήνυμα με την αλλαγή σε έναν τυχαία επιλεγμένο κόμβο p2
- Αν ο p2 δεν ήξερε αυτήν την πληροφορία, τότε αρχίζει να κάνει ό,τι και ο p1
- Ο p1 σταματάει να στέλνει μηνύματα μόνο αν η συνεχόμενοι κόμβοι του πουν ότι ήταν ήδη ενήμεροι της αλλαγής.



(Gossiping algorithms) anti-entropy

- Κάθε X δευτερόλεπτα, κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία έναν άλλο κόμβο (από το καθολικό του ευρετήριο) και του ζητάει να του στείλει μια περίληψη το δικού του καθολικού ευρετηρίου.
- Αν διαπιστώσει ότι δεν είναι ενημερωμένος, του ζητάει ό,τι χρειάζεται.
- Purpose: The algorithm allows to avoid the possibility of rumors dying out before reaching everyone





PlanetP: Επιλογή Κόμβου

q

P1: 0001010011
P2: 0101010011
Pn: 1101010011

Local Invert. Index

1/ **Βαθμολόγηση κόμβων** βάσει της πιθανότητας να έχουν έγγραφα συναφή με την q

2/ **Επιλογή** των κόμβων που θα επερωτηθούν και ενοποίηση των αποτελεσμάτων που θα επιστρέψουν

Inverse Peer Frequency (IPF) of a term t =

$$IPF(t) := |\text{total number of peers}| / |\text{peers that contain the term } t|$$

$$\text{Score}(p_j, q) = \sum \{ IPF(t) \mid t \in q, t \in Bfilter(p_j) \}$$

CS463 - Information Retrieval Yannis Tzitzikas, U. of Crete 88



PlanetP: Αποτελεσματικότητα & Επιδόσεις

- Η αποτελεσματικότητα προσεγγίζει αυτήν που θα είχαμε αν κάθε κόμβος είχε ολόκληρο το ευρετήριο
- Τα μηνύματα φτάνουν σε 20%-40% περισσότερους κόμβους σε σχέση με την περίπτωση όπου κάθε κόμβος γνώριζε ακριβώς το καθολικό ευρετήριο
- Gossiping rate 1/second => PlanetP can propagate a Bloom filter containing 1000 terms in less than 40 secs for a community of 1000 peers. This requires an average of 24KB/s per peer.



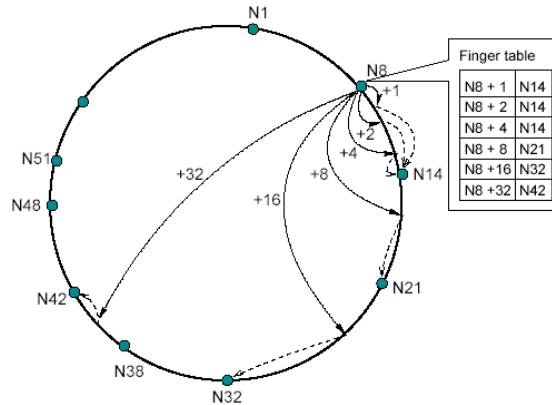
Ομότιμα Συστήματα (P2P) και Ανάκτηση Πληροφοριών

- Διαφορές με Κατανεμημένη Ανάκτηση
 - Napster-style
 - Gnutella-style (local inv. Index)
 - Freenet-style
 - $(p,q, |ans(q)|), >RES$
 - $(p,q, |ans(q)|), >RES * sim(q)$
 - Hierarchical
 - PlanetP (Bloom filters)
 - Chold-style: key=1 term, a term pair, ...
 - term partitioning
 - CAN-style: key = LSI vector pSearch (LSI + CAN)
 - document partitioning
 - Result aggregation
- Γενικά: P2P & IR = αντικείμενο έρευνας σήμερα





Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (Chord-style)



Ποια είναι εδώ τα κλειδιά ?



Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (Chord-style)

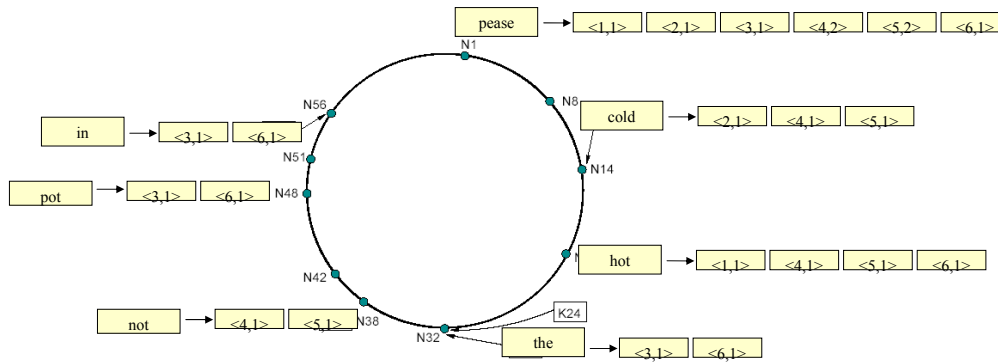
Περίπτωση (I): Κάθε όρος είναι ένα κλειδί

- Το ευρετήριο κατανέμεται βάσει των όρων
 - (άρα έχουμε term-partitioning: θυμηθείτε την παράλληλη Α.Π.)
- Αδυναμία: Η ενημέρωση των ευρετηρίων είναι ακριβή:
 - Εισαγωγή ενός νέου εγγράφου:
 - Για κάθε λέξη του εγγράφου, πρέπει να βρούμε τον κόμβο που είναι υπεύθυνος για αυτήν την λέξη και να του στείλουμε την αναστραμμένη λίστα

P1	cold	→	<2,1>	<4,1>	<5,1>			
	hot	→	<1,1>	<4,1>	<5,1>	<6,1>		
	in	→	<3,1>	<6,1>				
P2	not	→	<4,1>	<5,1>				
	pease	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
	porridge	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
P3	pot	→	<3,1>	<6,1>				
	the	→	<3,1>	<6,1>				



Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (Chord-style): Κάθε όρος είναι ένα κλειδί



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

93



Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (Chord-style)

- Αποτίμηση επερώτησης q
 - βρίσκουμε κάθε κόμβο που έχει τουλάχιστον έναν όρο του q (χρησιμοποιώντας τους πίνακες δρομολόγησης)
 - Σενάριο 1: κάθε ένας από αυτούς τους κόμβους υπολογίζει τα μερικά σκορ και τα στέλνει στον ερωτώντα (αφού του στείλουμε και την επερώτηση)
 - Σενάριο 2: κάθε ένας από αυτούς τους κόμβους επιστρέφει τις ανεστραμμένες λίστες
- [-] Ανταλλαγή πολλών μηνυμάτων για επερωτήσεις με πολλούς όρους

P1	cold	→	<2,1>	<4,1>	<5,1>			
	hot	→	<1,1>	<4,1>	<5,1>	<6,1>		
	in	→	<3,1>	<6,1>				
P2	not	→	<4,1>	<5,1>				
	pease	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
	porridge	→	<1,1>	<2,1>	<3,1>	<4,2>	<5,2>	<6,1>
P3	pot	→	<3,1>	<6,1>				
	the	→	<3,1>	<6,1>				

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

94



Ανάκτηση Πληροφοριών σε **Δομημένα Ομ. Συσ/τα** (Chord-style)

Υπόθεση: Έστω ότι το σύστημα λαμβάνει πολύ συχνά επερωτήσεις με 2 όρους

Περίπτωση (II): Θεωρούμε ως κλειδί κάθε ζευγάρι όρων

- Αν η επερώτηση έχει 2 όρους, τότε ένας μόνο κόμβος θα έχει όλο το κομμάτι του ευρετηρίου που χρειαζόμαστε
- Άρα έτσι έχουμε λίγα μηνύματα
- Π.χ. Q = Hotels Crete
 - Ξέρω ότι υπάρχει ένας κόμβος που έχει τις ανεστραμμένες λίστες και των δυο όρων, άρα ο κόμβος αυτός μπορεί να αποτιμήσει πλήρως την επερώτηση
- Αδυναμία: $|V| * (|V|-1)$ κλειδιά, άρα η ανεστραμμένη λίστα κάθε λέξης είναι αποθηκευμένη $|V|-1$ φορές

P1	Hotels [...inverted list for Hotels ...] Crete [...inverted list for Crete ...]
P1	Hotels [...inverted list for Hotels ...] Cefalonia [...inverted list for Cefalonia ...]
P3	Crete [...inverted list for Crete ...] Cefalonia [...inverted list for Cefalonia ...]

Η είσοδος ενός νέου εγγράφου είναι ακόμα πιο ακριβή

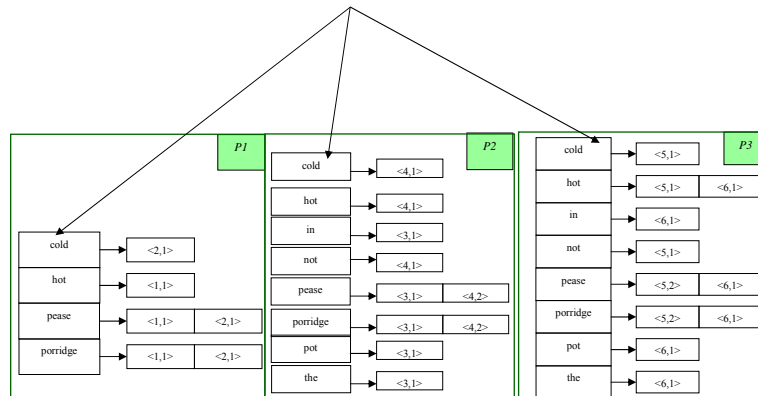


Ανάκτηση Πληροφοριών σε **Δομημένα Ομ. Συσ/τα**

- Περίπτωση (III): Θεωρούμε ως κλειδιά τα διανύσματα των εγγράφων
 - **Ερ:** Ποια προσέγγιση δομημένων συστημάτων είναι κατάλληλη για την παράσταση διανυσμάτων (Chord ή CAN) ;
 - **Απ:** Η προσέγγιση του CAN διότι βλέπει τον χώρο των κλειδιών ως ένα κ-διάστατο χώρο
 - Άρα διαμερίζουμε τα έγγραφα στους κόμβους βάσει των διανυσμάτων τους.
 - (άρα document-partitioning (θυμηθείτε την Παράλληλη Α.Π.))
 - **Ερ:** Τι κερδίζουμε διαμερίζοντας τα έγγραφα όπως το CAN ?
 - **Απ:** Τα κοντινά (ως προς το μέτρο συνημίτονου) έγγραφα τοποθετούνται στον ίδιο ή σε κοντινούς κόμβους.



Document Partitioning: Ο υπολογισμός των καθολικών στατιστικών (IDF) απαιτεί επικοινωνία



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

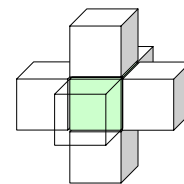
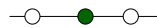
97



Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (CAN-style)

- **Ερ:** Πόσες διαστάσεις έχουν τα διανύσματα των εγγράφων;
- **Απ:** Συνήθως πολλές (π.χ. 10.000)

- **Ερ:** Πόσους γείτονες έχει μια περιοχή k-διάστατου χώρου;
- **Απ:** κατά μέσο όρο $2k$
 - Για $k=1$ έχω 2
 - Για $k=2$ έχω 4
 - Για $k=3$ έχω 6
 - Για $k=10.000$ έχω 20.000 !



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

98



Επανάληψη LSI: Paper example

Index terms in italics

Titles:

- c1: *Human machine interface* for Lab ABC *computer* applications
 c2: *A survey* of *user* opinion of *computer system response time*
 c3: The *EPS user interface* management *system*
 c4: *System* and *human system* engineering testing of *EPS*
 c5: Relation of *user-perceived response time* to error measurement
- m1: The generation of random, binary, unordered *trees*
 m2: The intersection *graph* of paths in *trees*
 m3: *Graph minors* IV: Widths of *trees* and well-quasi-ordering
 m4: *Graph minors: A survey*



Επανάληψη LSI: term-document Matrix

Terms	Documents								
	c1	c2	c3	c4	c5	m1	m2	m3	m4
<i>human</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>interface</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>computer</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>user</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>system</i>	0	1	1	2	0	0	0	0	0
<i>response</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>time</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>EPS</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>survey</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>trees</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	0
<i>graph</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>minors</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1



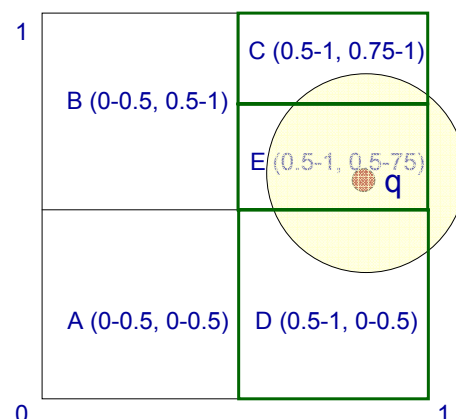
Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (CAN-style). Το σύστημα pSearch

- Διάσταση διανυσμάτων μετά την εφαρμογή LSI: **50-350**
- Φτιάχνουμε ένα CAN με διαστάσεις όσες των διανυσμάτων (μετά το LSI).
- Εισαγωγή ενός νέου εγγράφου:
 - Φτιάχνεται το «semantic διάνυσμα» του εγγράφου (βάσει των διαστάσεων που προέκυψαν από την εφαρμογή του LSI) και εισάγεται στον κατάλληλο κόμβο
- Είσοδος μιας νέας επερώτησης
 - Φτιάχνεται το semantic διάνυσμα της επερώτησης και δρομολογείται στον κατάλληλο κόμβο
 - Μόλις φτάσει στον κόμβο, διαδίδεται στους γείτονες σε απόσταση ρ
 - Το ρ μπορεί να δίδεται μαζί με την αρχική επερώτηση



Ανάκτηση Πληροφοριών σε Δομημένα Ομ. Συσ/τα (CAN-style). Το σύστημα pSearch

• Επερώτηση





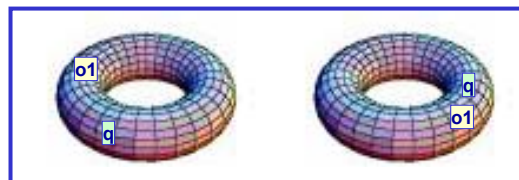
Ανάκτηση Πληροφοριών σε **Δομημένα Ομ. Συσ/τα** (CAN-style). Το σύστημα **pSearch**

- Ο υπολογισμός του LSI απαιτεί Καθολικά στατιστικά (IDF)
- Επίσης όλοι οι κόμβοι πρέπει να γνωρίζουν την βάση του σημασιολογικού χώρου (για να υπολογίζουμε τα σημασιολογικά διανύσματα των νέων εγγράφων).
- Τα παραπάνω πρέπει να διαδοθούν σε όλους τους κόμβους.
- Το πρόβλημα των διαστάσεων
 - 300 LSI διαστάσεις. Αν έχω λίγους κόμβους τότε η πραγματική διάσταση του CAN είναι μικρότερη γιατί δεν υπάρχουν αρκετοί κόμβοι. Έτσι πολλές διαστάσεις παραμένουν αδιαμέριστες, μεγαλώνοντας έτσι το μήκος του μονοπατιού αναζήτησης.



CAN & Multiple Realities

- Ένας τρόπος αύξησης της ευρωστίας / ανθεκτικότητας είναι να θεωρήσουμε Πολλαπλές Πραγματικότητες (Multiple Realities)
 - Δεν έχουμε 1 αλλά m διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων
 - Κάθε κόμβος έχει μια ζώνη για κάθε σύστημα συντεταγμένων
 - Έτσι έχουμε m αντίγραφα ευρετηρίου
 - Μείωση του μήκους του μονοπατιού αναζήτησης (επιλέγεται το σύστημα συντεταγμένων βάσει του οποίου η αναζητούμενη ζώνη είναι εγγύτερα)





Ανάκτηση Πληροφοριών σε **Δομημένα Ομ. Συσ/τα**
(CAN-style). Το σύστημα **pSearch**

- Διαμερισμός των διανυσμάτων σε πολλά διανύσματα μικρότερης διάστασης
 - $(x_1, \dots, x_n) \Rightarrow (x_1, \dots, x_{n_1}), (x_{n_1+1}, \dots, x_{n_2}), (x_{n_2+1}, \dots, x_n)$
 - Τα πρώτα διανύσματα αποθηκεύονται σε ένα CAN1
 - Τα δεύτερα σε ένα CAN2, κ.ο.κ
 - Το διάνυσμα μιας επερώτησης επίσης διαμερίζεται σε διανύσματα μικρότερης διάστασης
 - :

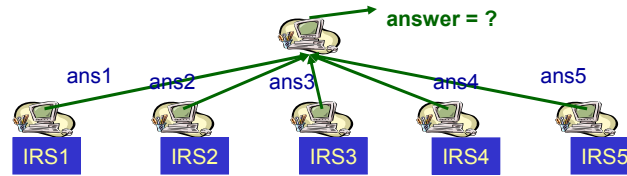


Ανάκτηση Πληροφοριών σε **Δομημένα Ομ. Συσ/τα**
(CAN-style). Το σύστημα **pSearch**: Σύνοψη

- Φτιάχνουμε ένα ευρετήριο όπου κάθε έγγραφο δεν περιγράφεται από το διάνυσμα του, αλλά από το διάνυσμα που προκύπτει αν πρώτα εφαρμόσουμε **Latent Semantic Indexing**
 - διανύσματα μικρότερης διάστασης, ομαδοποίηση εγγράφων
- Τα ευρετήριο αυτό διανέμεται στους κόμβους. Το κλειδί του κάθε εγγράφου είναι το διάνυσμα του (μετά την εφαρμογή του LSI). // Αυτό θα τοποθετήσει στον ίδιο κόμβο εννοιολογικά συναφή έγγραφα
- Ο υπολογισμός των διανυσμάτων απαιτεί καθολικά στατιστικά (άρα υπάρχει ανάγκη επικοινωνίας). Επίσης πρέπει να συμφωνηθεί η βάση των διανυσμάτων.



Ενοποίηση Αποτελεσμάτων & Ομότιμα Συστήματα

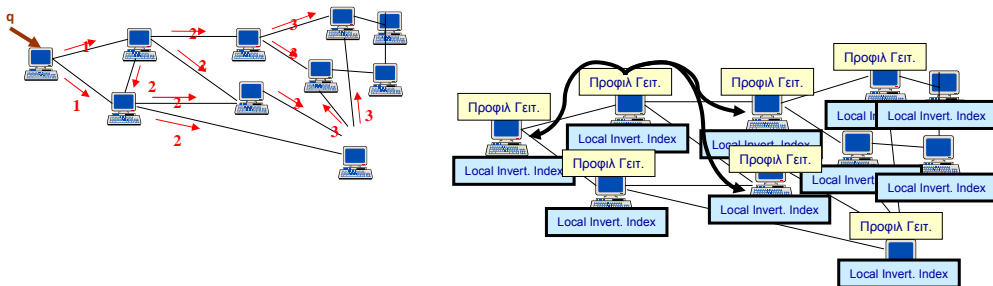


Τεχνικές Ενοποίησης Αποτελεσμάτων

- **Round Robin Inter-leaving**
- **Score-based** (~ merge sort)
 - καλή αν τα σκορ υπολογίζονται βάσει των καθολικών στατιστικών
- **Weighted-score based**
 - Έστω d_i προερχόμενο από μια πηγή S_j
 - $score(d_i) = score(S_j, d_i) * score(S_j)$
- Λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις διατάξεις και όχι τα σκορ (ενοποίηση διατάξεων)
 - **Borda, Condorcet, Kemeny, Arrow's Impossibility Theorem**



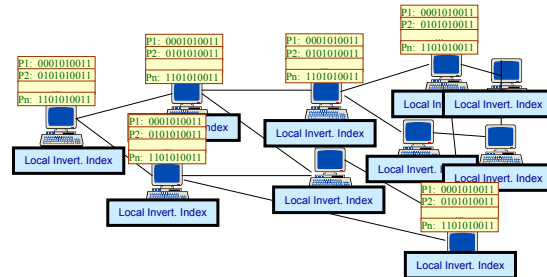
Ενοποίηση Αποτελεσμάτων σε Ομότιμα Συστήματα (I): Οι κόμβοι δεν έχουν στη διάθεση τους **καθολικά** στατιστικά



- **Gnutella-like systems** (document-partitioning):
 - Ενοποίηση: Round-robin interleaving, Score-based, Rank-Aggregation
- Συστήματα βασισμένα σε **προφίλ γειτόνων και >RES**
 - Ενοποίηση: Weighted score-based



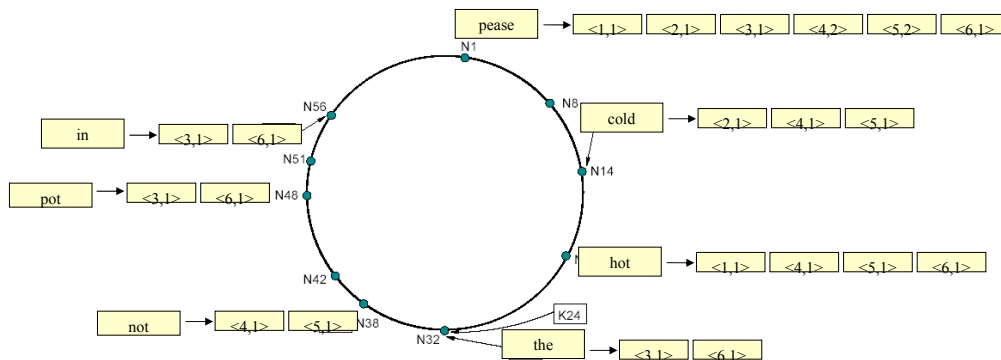
Ενοποίηση Αποτελεσμάτων σε Ομότιμα Συστήματα (II): Οι κόμβοι μπορούν να προσεγγίσουν τα καθολικά στατιστικά



- Π.χ. PlanetP (κάθε κόμβος μπορεί να προσεγγίσει το καθολικό ευρετήριο)
 - Ενοποίηση: **Weighted score-based**
 - (καλύτερο από το προφίλ γειτόνων, λιγότερα μηνύματα)



Ενοποίηση Αποτελεσμάτων σε Ομότιμα Συστήματα (III): Οι κόμβοι έχουν στη διάθεση τους τα καθολικά στατιστικά



- Π.χ. Chord-like (term-partitioning)
 - ο κόμβος που είναι υπεύθυνος για έναν όρο γνωρίζει τις συχνότητες εμφάνισης του καθώς και το πλήθος των κόμβων που έχουν έγγραφα που περιέχουν αυτόν τον όρο
 - Ενοποίηση: απλό **Score-based** είναι μια χαρά
 - κάθε κόμβος υπολογίζει **partial scores**, ο ερωτών τα αθροίζει και παράγει την τελική διάταξη



Ενοποίηση Αποτελεσμάτων σε Ομότιμα Συστήματα (III): Οι κόμβοι έχουν στη διάθεση τους τα **καθολικά** στατιστικά

- Έστω σύστημα όπως το Chord, στο οποίο τα κλειδιά είναι οι όροι και το οποίο συνολικά έχει 100.000 έγγραφα
- Η ανεστραμμένη λίστα ενός όρου έχει το πολύ 100.000 αναφορές σε έγγραφα (έστω ότι κατά μέσο όρο έχει 10.000 αναφορές)
- Έστω ότι ο p λαμβάνει επερώτηση q με 5 όρους. Κάθε όρος της q (μαζί με βάρος του στο q) θα προωθηθεί στον υπεύθυνο κόμβο για τον όρο αυτό
- Κάθε ένας από τους 5 κόμβους θα διατάξει τα έγγραφα βάσει του όρου αυτού και θα επιστρέψει μια λίστα μερικών αποτελεσμάτων
 - το πολύ 100.000 τριάδες (p , docId, score) κατά μέσο όρο 10.000
- Ο p θα λάβει αυτές τις 5 λίστες και θα αθροίσει τα μερικά σκορ
 - $score(doc_i) = score1(doc_i) + \dots + score5(doc_i)$
- Άρα $5 * 10.000$ τριάδες ακεραίων πρέπει να μεταφερθούν στο δίκτυο
 - $TotalBytes = 50K * 3 * 4 = 600 KB$
- Ερώτηση: **Αν ο p θέλει να βρει μόνο τα κορυφαία k (π.χ. $k=10$) έγγραφα. Πως μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε την πληροφορία που πρέπει να μεταφέρουμε;**

CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

115



Ομότιμα Συστήματα (P2P) και Ανάκτηση Πληροφοριών

- Διαφορές με Κατανεμημένη Ανάκτηση
 - Napster-style
 - Gnutella-style (local inv. Index)
 - Freenet-style
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES$
 - $(p, q, |ans(q)|), >RES * sim(q)$
 - Hierarchical
 - PlanetP (Bloom filters)
 - Chord-style: key=1 term, a term pair, ...
 - term partitioning
 - CAN-style: key = LSI vector $pSearch$ (LSI + CAN)
 - document partitioning
 - Result aggregation
- Γενικά: P2P & IR = αντικείμενο έρευνας σήμερα



CS463 - Information Retrieval

Yannis Tzitzikas, U. of Crete

116



Αναφορές

1. D. Zeinalipour-Yazti, Vana Kalogeraki, Dimitrios Gunopulos, Information Retrieval in P2P Networks
2. Text-Based Content Search and Retrieval in *ad hoc* P2P Communities, Francisco Matias Cuenca-Acuna and Thu D. Nguyen
3. Jie Lu, Jamie Callan, «Federated Search of Text-Based Digital Libraries in Hierarchical Peer-to-Peer Networks», SIGMOD'04 workshop
4. Fagin, Lotem, and Naor, Optimal Aggregation Algorithms for Middleware (PODS 2001)