Δίκτυα Ομότιμων Κόμβων

Κατανεμημένα Συστήματα

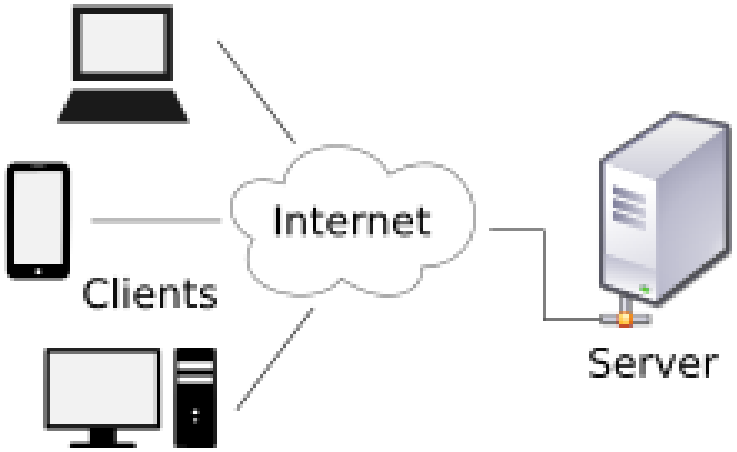
2019-2020

http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses/distrib

Κατηγορίες κατανεμημένων συστημάτων

- Πώς οργανώνουμε τους κόμβους σε ένα κατανεμημένο σύστημα;
  - Μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server model)
  - Δίκτυα ομότιμων κόμβων (Peer-to-peer networks ή απλώς P2P)
    - Αδόμητα
    - Δομημένα

Μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή



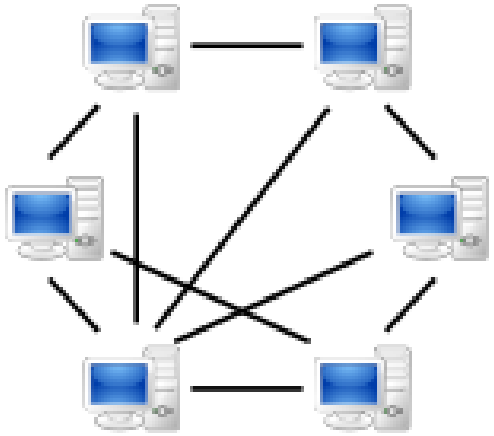
- Ο πελάτης στέλνει αιτήματα στον εξυπηρετητή
- Ο εξυπηρετητής παρέχει πόρους ή υπηρεσίες στους πελάτες
- Οι πελάτες δεν έχουν καμία μεταξύ τους επικοινωνία

+ Εύκολη υλοποίηση και διαχείριση

- Single point of failure, δεν κλιμακώνεται εύκολα

- E-mail, www, ftp, DNS, κλπ.

Το μοντέλο ομότιμων κόμβων (P2P)



- Όλοι οι κόμβοι είναι ισότιμοι (και πελάτες και εξυπηρετητές)
- Επικοινωνούν μεταξύ τους

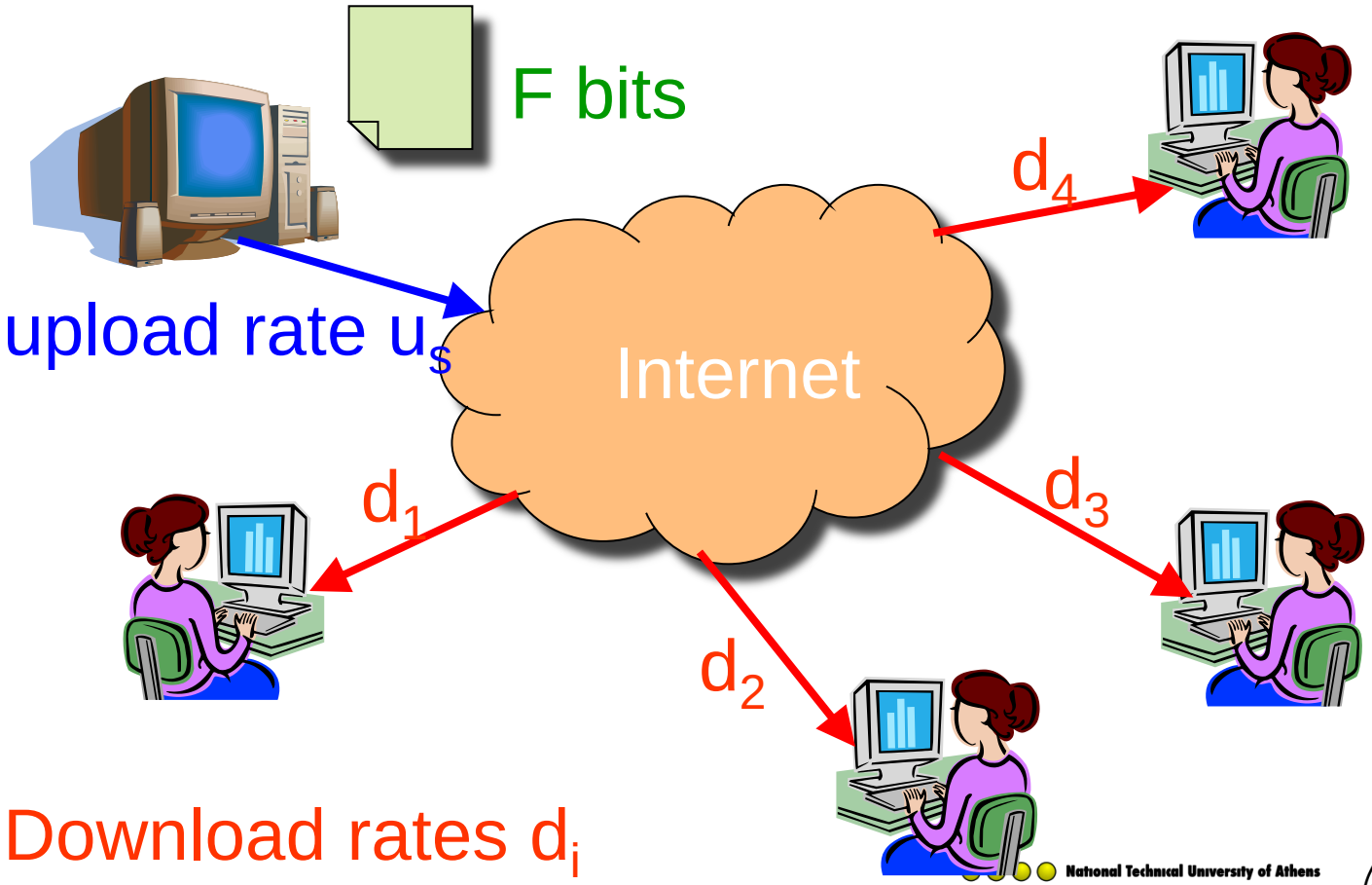
+ Robustness, scalability, αυτό-οργάνωση

- Δύσκολη διαχείριση, ασφάλεια

- BitTorrent, skype, κλπ.

Παράδειγμα: Διαμοιρασμός αρχείου

- Γίνεται και με client-server



Προβλήματα

- …όμως κάποιες φορές δεν είναι η καλύτερη λύση
  - Περιορισμένο bandwidth
  - Ένας server μπορεί να εξυπηρετήσει συγκεκριμένο αριθμό clients
- Αύξηση του upload rate από τη μεριά του server:
  - Σύνδεση με μεγαλύτερο bandwidth για έναν server
  - Πολλαπλοί servers, καθένας με δική του σύνδεση
  - Απαιτεί αλλαγή στην υποδομή
- Εναλλακτικά: Βάζουμε τους παραλήπτες να βοηθήσουν
  - Οι παραλήπτες λαμβάνουν αντίγραφο του αρχείου
  - Το αναδιανέμουν σε άλλους παραλήπτες
  - Μειώνουν τον φόρτο του server

Προκλήσεις

- Οι peers έρχονται και φεύγουν
  - Συνδέονται κατά διαστήματα
  - Οποιαδήποτε στιγμή, με γρήγορο ρυθμό
  - Μπορεί να επιστρέψουν με διαφορετικό IP
- Πώς εντοπίζουμε σχετικούς peers;
  - Peers που είναι αυτή τη στιγμή online
  - Peers που έχουν το αρχείο που ζητάμε
- Πώς παρακινώ τους peers να μείνουν συνδεδεμένοι;
  - Γιατί να μην αποχωρήσουν μόλις κατεβάσουν το αρχείο;
  - Γιατί να διαμοιράσουν περιεχόμενο σε άλλους peers;
- Πώς θα κατεβάσω ένα αρχείο αποδοτικά
  - Όσο πιο γρήγορα γίνεται

Λύση με αδόμητα P2P

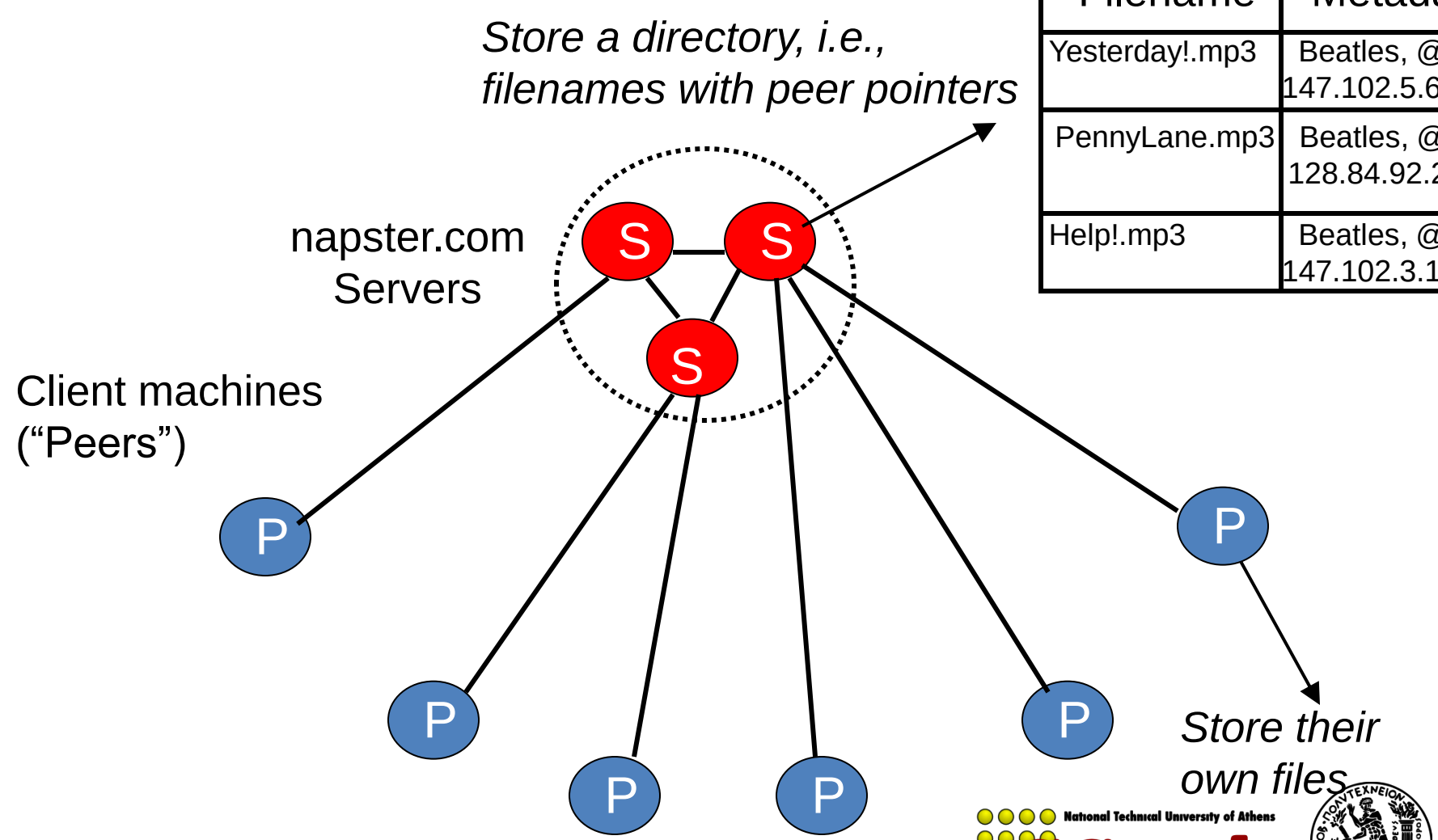
- Δεν χρησιμοποιείται κανένας αλγόριθμος για την οργάνωσή τους
- Ανάλογα με τον τρόπο εντοπισμού των κόμβων
  - Με κεντρικό κατάλογο (Napster)
  - Με πλημμύρα (Gnutella)
  - Ιεραρχικά (Kazaa, modern Gnutella)

Napster

- Ένας κόμβος (ή κάποιοι κόμβοι) λειτουργεί ως κεντρικός κατάλογος
- Για να συνδεθούν στο δίκτυο οι clients πρέπει πρώτα να συνδεθούν στον κεντρικό κατάλογο
- Ο κεντρικός κατάλογος διατηρεί
  - πίνακα με στοιχεία για εγγεγραμμένους clients (IP, bandwidth κλπ.)
  - πίνακα με αρχεία ανά client και πληροφορίες για αυτά (π.χ. όνομα αρχείου, τύπος, ημερομηνία κλπ.)
- Βασικές λειτουργίες
  - join
  - search
  - download

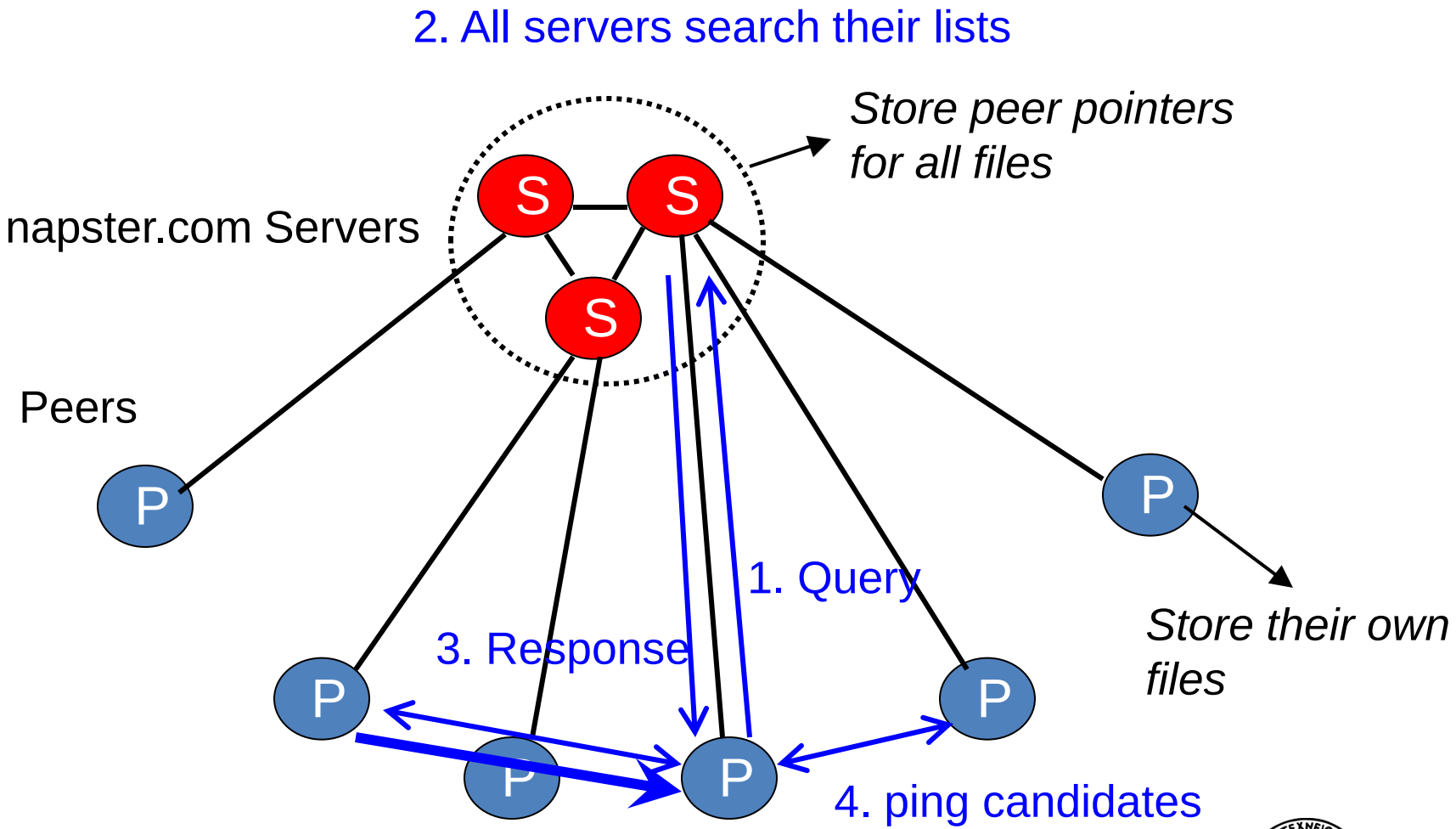
Napster

Filename	Metadata
Yesterday!.mp3	Beatles, @ 147.102.5.65:1006
PennyLane.mp3	Beatles, @ 128.84.92.23:1006
Help!.mp3	Beatles, @ 147.102.3.10:1006



National Technical University of Athens CSLab

Napster



Ιδιότητες

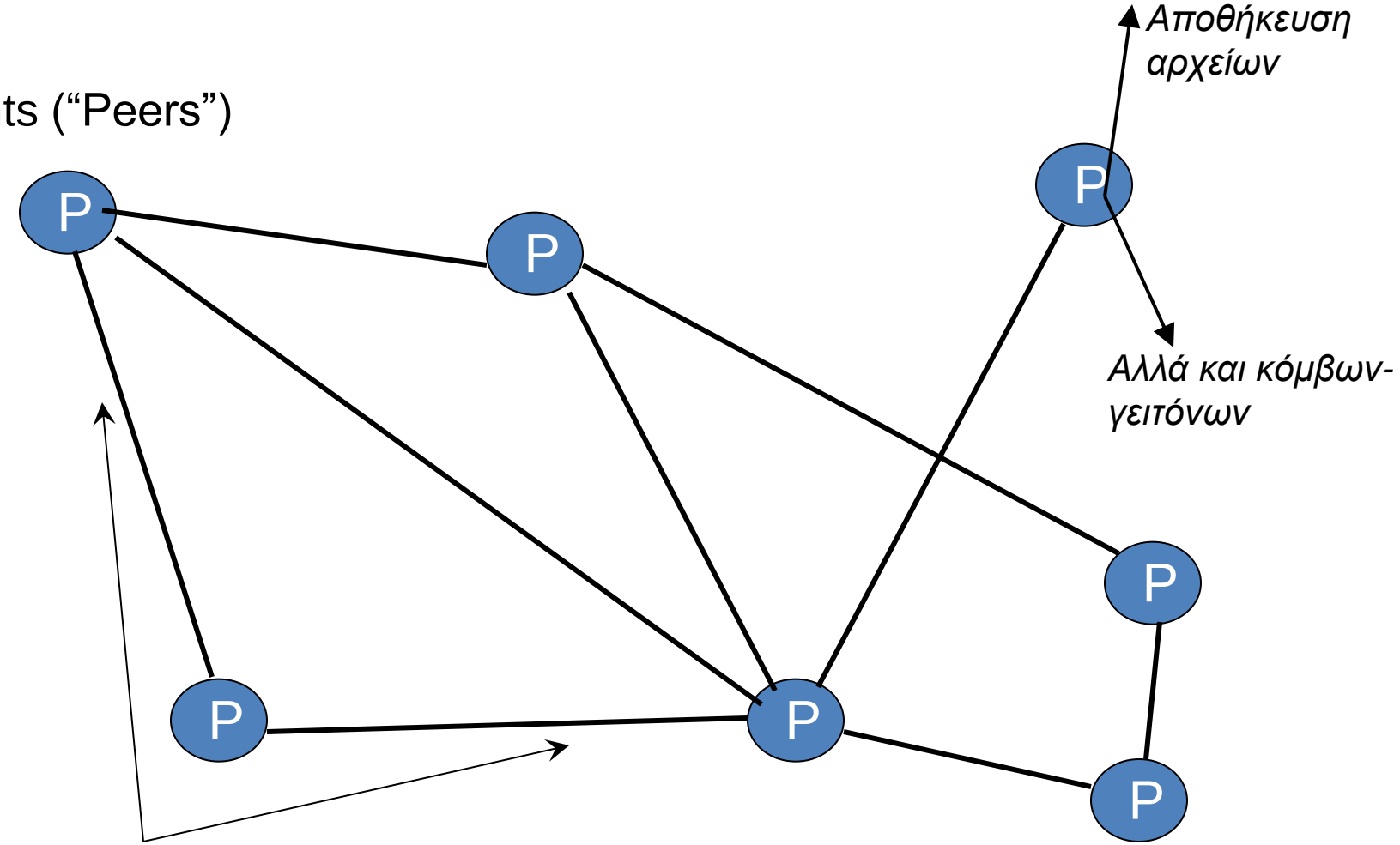
- Ο κατάλογος του server ανανεώνεται συνεχώς
  - Για να γνωρίζουμε πάντα τα διαθέσιμα αρχεία
  - Αδυναμία -> νομικές συνέπειες
- Peer-to-peer διακίνηση αρχείων
  - Ο server δεν υπερφορτώνεται
- Ειδικό πρωτόκολλο
  - Login, search, upload, download, status operations
- Θέματα bandwidth
  - Οι κόμβοι που έχουν τα αρχεία διατάσσονται με βάση το bandwidth & χρόνο απόκρισης
- Περιορισμός:
  - Κεντρικό lookup

gnutella Gnutella

- Όλοι οι κόμβοι πραγματικά ισότιμοι
  - Δεν υπάρχουν κόμβοι με ειδική λειτουργία
- Πλήρης αποκέντρωση
- Χρησιμοποιεί εικονικό δίκτυο επικάλυψης (overlay network)
  - Δικό του routing layer

Gnutella

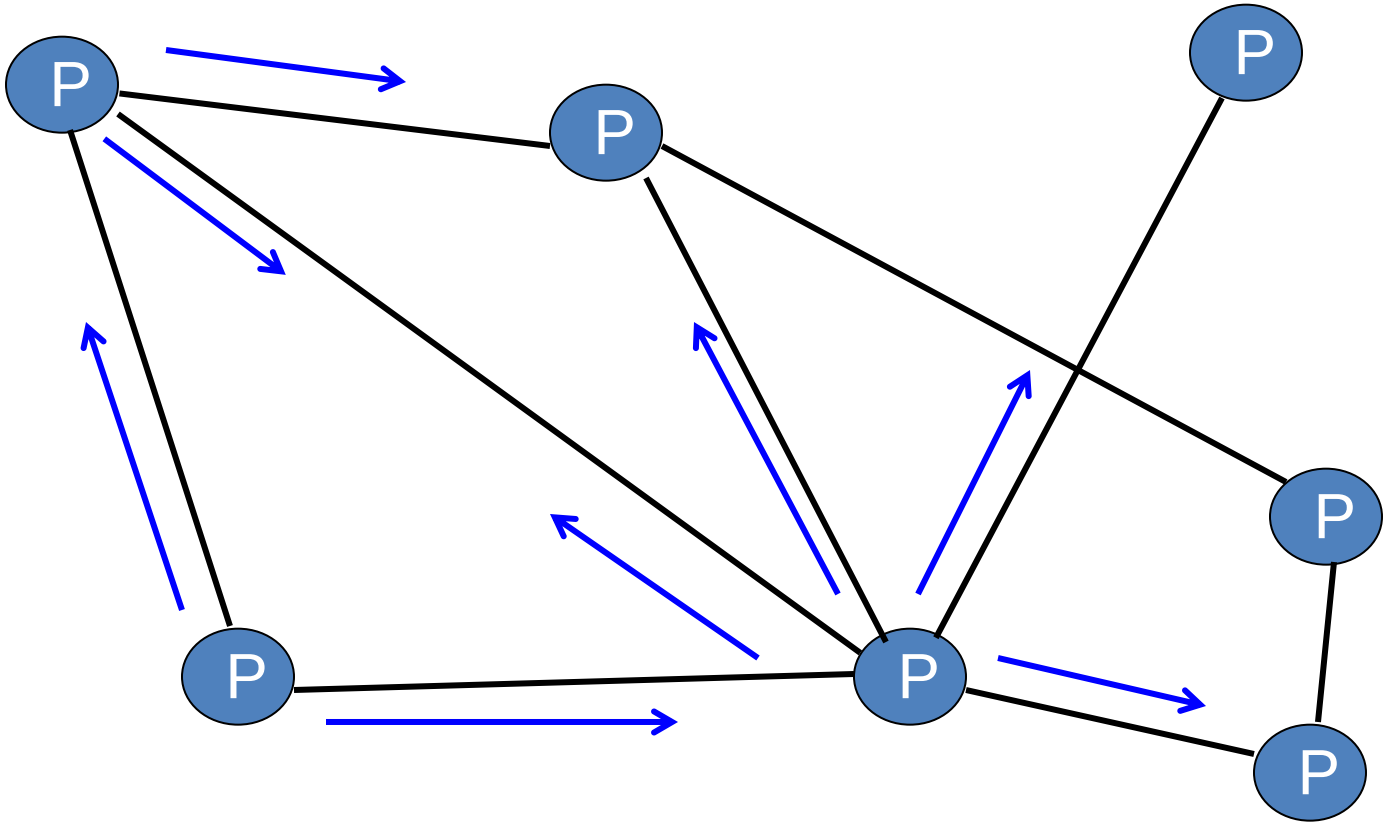
Servants (“Peers”)



Connected in an overlay graph (== each link is an implicit Internet path)

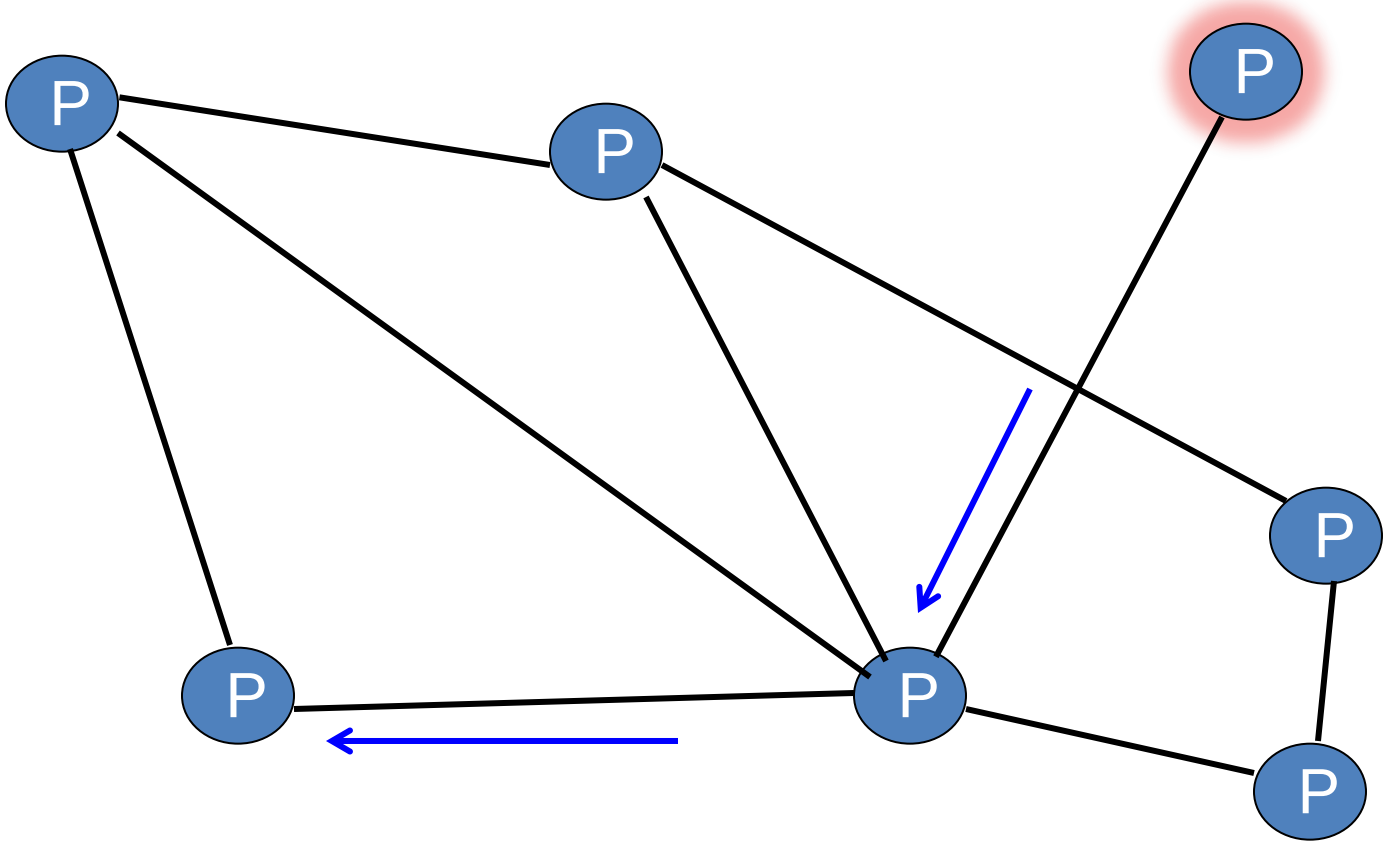
Gnutella

Query's flooded out, ttl-restricted, forwarded only once



Gnutella

Successful results routed on reverse path



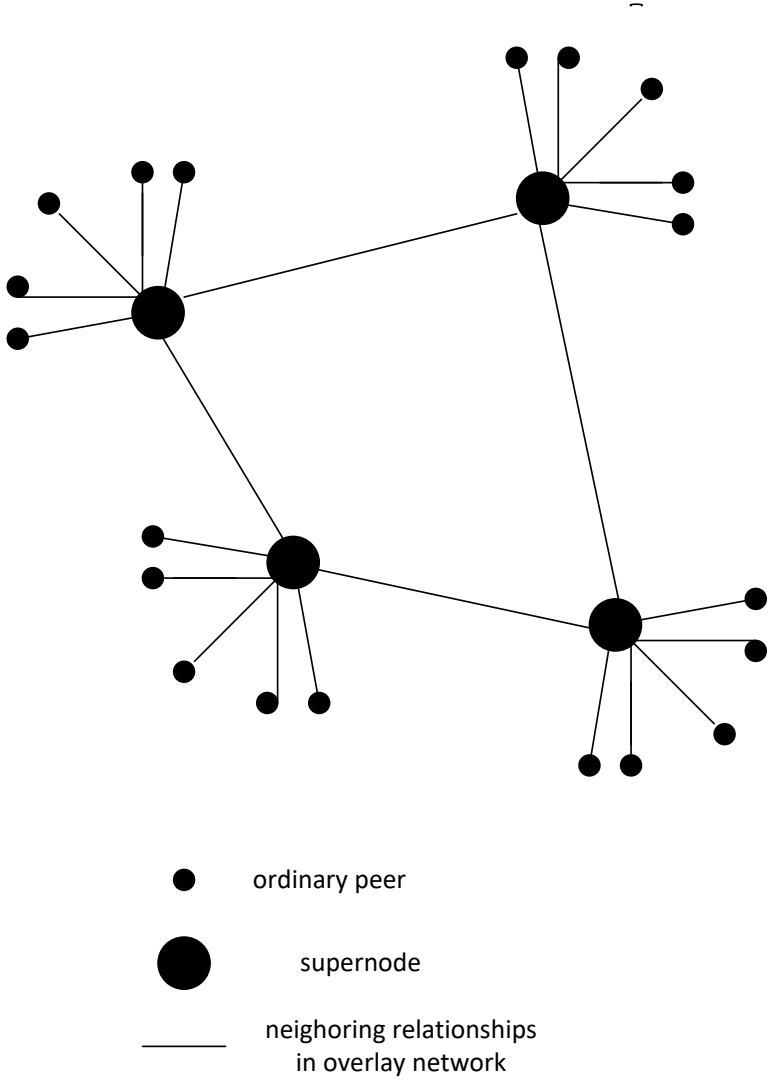
Ιδιότητες

- Πλεονεκτήματα
  - Πλήρως αποκεντρωμένο
  - Το κόστος της αναζήτησης διαμοιράζεται
  - Η επεξεργασία ανά κόμβο επιτρέπει ισχυρή σημασιολογία στην αναζήτηση
- Μειονεκτήματα
  - Η διάρκεια αναζήτησης μπορεί να είναι μεγάλη
  - Κόστος διατήρησης overlay, κόμβοι μπαινοβγαίνουν συχνά

Kazaa

- Κάτι ανάμεσα σε Napster & Gnutella
- Εισάγει την έννοια των supernodes
  - Εξυπηρετούν μικρό μέρος του δικτύου
    - Indexing
    - Caching
  - TCP ανάμεσα σε supernode και απλούς peers του υποδικτύου που εξυπηρετούν
  - TCP ανάμεσα σε supernodes
  - Επιλέγονται αυτόματα με βάση bandwidth και επεξεργαστική ισχύ
  - Όλες οι αναζητήσεις περνούν από αυτούς

Kazaa



Ιδιότητες

- Ένας supernode αποθηκεύει καταλόγους
  - <filename,peer pointer> όπως οι servers του Napster
- Οι supernodes αλλάζουν
- Οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να γίνει (και να παραμείνει) supernode αρκεί να έχει καλή φήμη (reputation)
  - Kazaalite: participation level (=φήμη) ενός χρήστη από 0 εώς 1000, επηρεάζεται από τη διάρκεια που ο χρήστης είναι συνδεδεμένος και τον αριθμό uploads
  - Υπάρχουν και πιο πολύπλοκες μέθοδοι υπολογισμού του reputation
- Ένας κόμβος αναζητά πάντα μέσω του πιο κοντινού του supernode

Ειδική περίπτωση: BitTorrent

- Κίνητρο: δημοφιλή αρχεία
  - Η δημοφιλία παρουσιάζει temporal locality (Flash Crowds)
  - Π.χ., Slashdot effect, CNN Web site την 9/11, κυκλοφορία νέας ταινίας ή παιχνιδιού
- Στοχεύει στην αποδοτική μεταφόρτωση του αρχείου παρά στην αναζήτηση
  - Κατανομή του αρχείου σε πολλούς κόμβους ταυτόχρονα
  - Ένας εκδότης, πολλοί downloaders
- Αποφυγή free-riding
  - Μόνο κατεβάζω αρχεία αλλά δεν διαμοιράζω

Βασική αρχή: Παράλληλο Downloading

- Διαίρεση αρχείου σε πολλά κομμάτια
  - Replication διαφορετικών κομματιών σε διαφορετικούς κόμβους
  - Ένας κόμβος μπορεί να ανταλλάξει τα κομμάτια που έχει με κομμάτια που δεν έχει από άλλους κόμβους
  - Οι κόμβοι μπορούν να ανακατασκευάσουν όλο το αρχείο από τα κομμάτια του
- Επιτρέπει ταυτόχρονα downloads
  - Διαφορετικά μέρη του αρχείου από διαφορετικούς κόμβους ταυτόχρονα
  - Ιδιαίτερα αποδοτικό για μεγάλα αρχεία
- System Components
  - Web server
  - Tracker
  - Peers

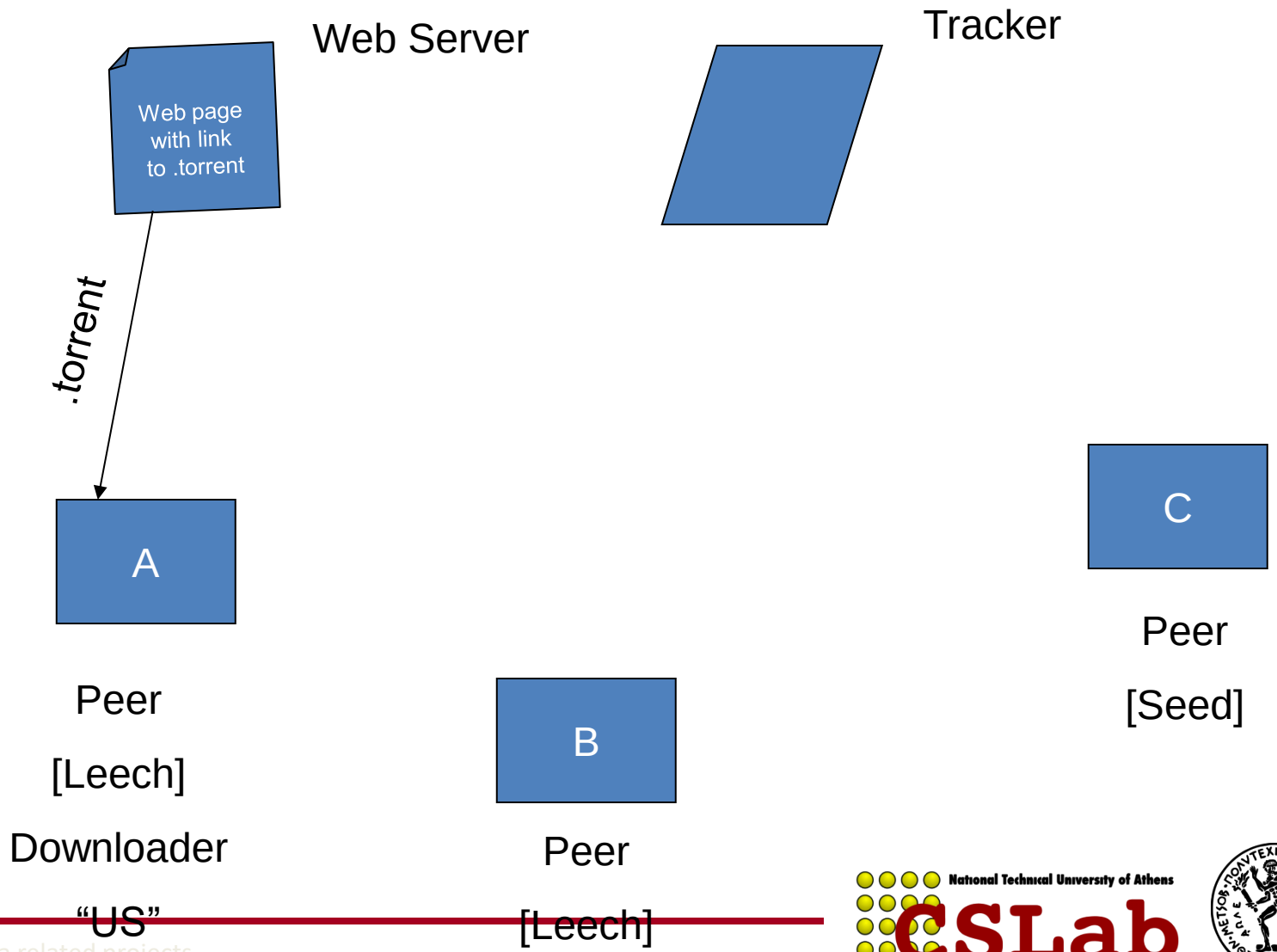
Tracker

- Κόμβος με ειδικό ρόλο
  - Καταγράφει τους κόμβους που συμμετέχουν στο δίκτυο
- Οι κόμβοι εγγράφονται στον tracker
  - Κατά την άφιξή τους
  - Περιοδικά ενημερώνουν ότι είναι ακόμα στο δίκτυο
- Ο tracker επιλέγει τους κόμβους για downloading
  - Επιστρέφει τυχαίο υποσύνολο (με IP addresses)
  - Έτσι ένας εισερχόμενος κόμβος ξέρει με ποιους άλλους να συνδεθεί για να κατεβάσει ένα αρχείο
- Αντί για κεντρικό tracker μπορεί να χρησιμοποιήσει P2P δίκτυο (DHT)

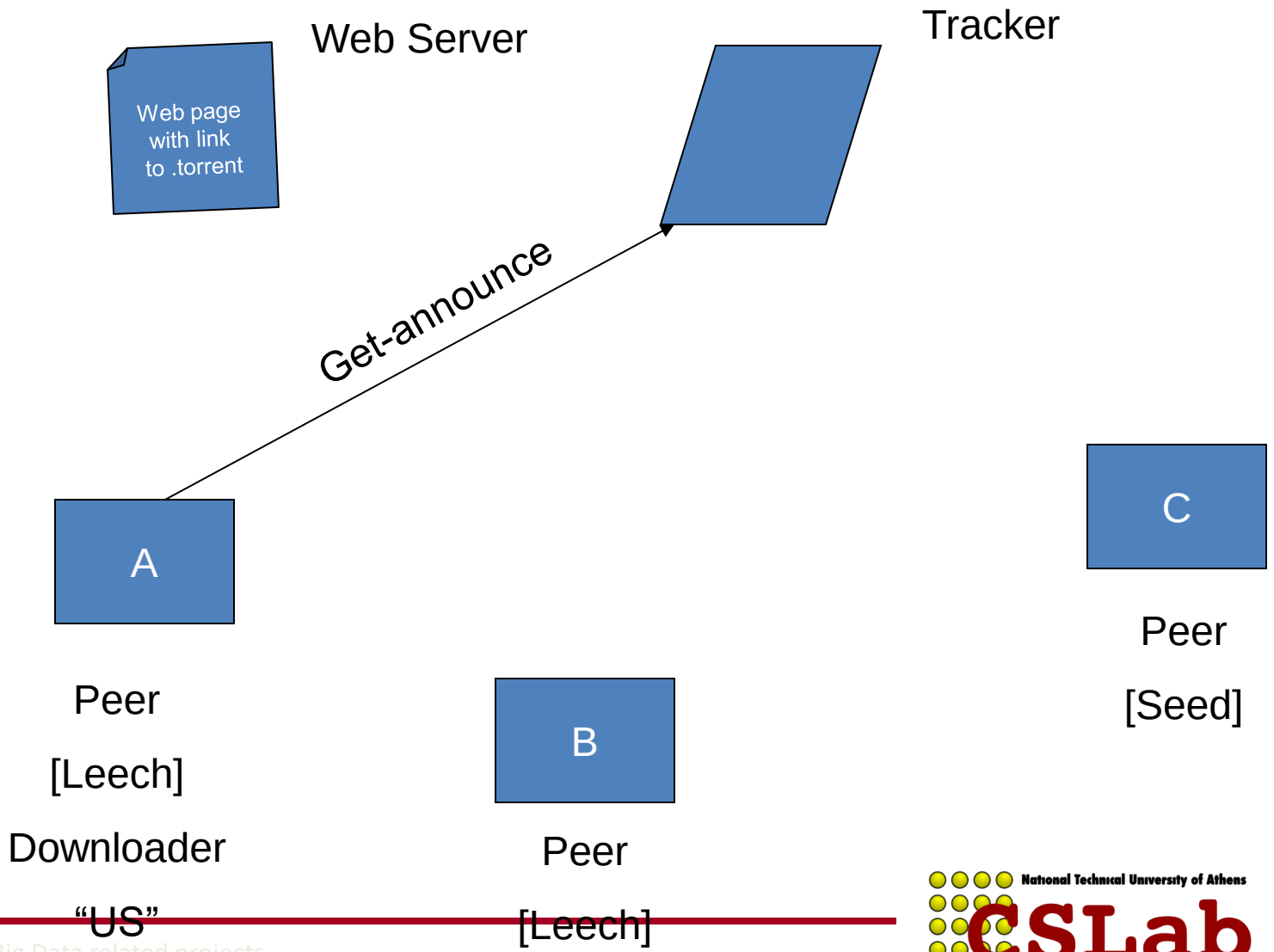
Chunks

- Τα αρχεία διαιρούνται σε μικρότερα κομμάτια
  - Σταθερού μεγέθους, συνήθως 256 Kbytes
- Επιτρέπει ταυτόχρονη μεταφορά
  - Κατέβασμα chunks από διαφορετικούς κόμβους
  - Ανέβασμα chunks σε άλλους
- Γνώση για τα chunks που έχουν οι συνδεδεμένοι κόμβοι
  - Περιοδική μεταφορά λίστας με chunks
- Η μεταφόρτωση ολοκληρώνεται όταν κατέβουν όλα τα chunks ενός αρχείου

BitTorrent

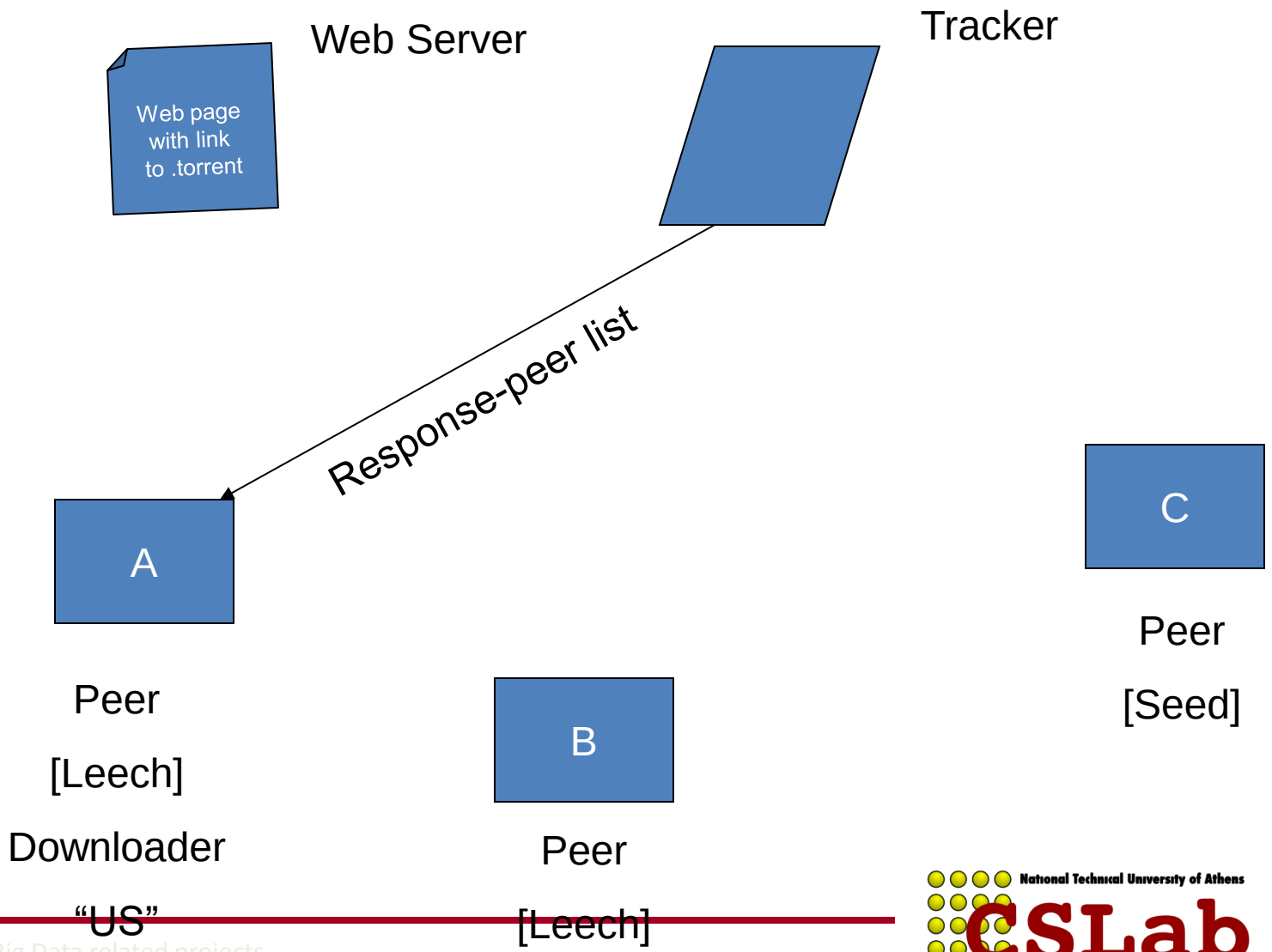

Web Server
Tracker
Web page with link to .torrent
.torrent
A
C
Peer
[Leech]
Downloader
"US"
B
Peer
[Leech]
Peer
[Seed]

BitTorrent

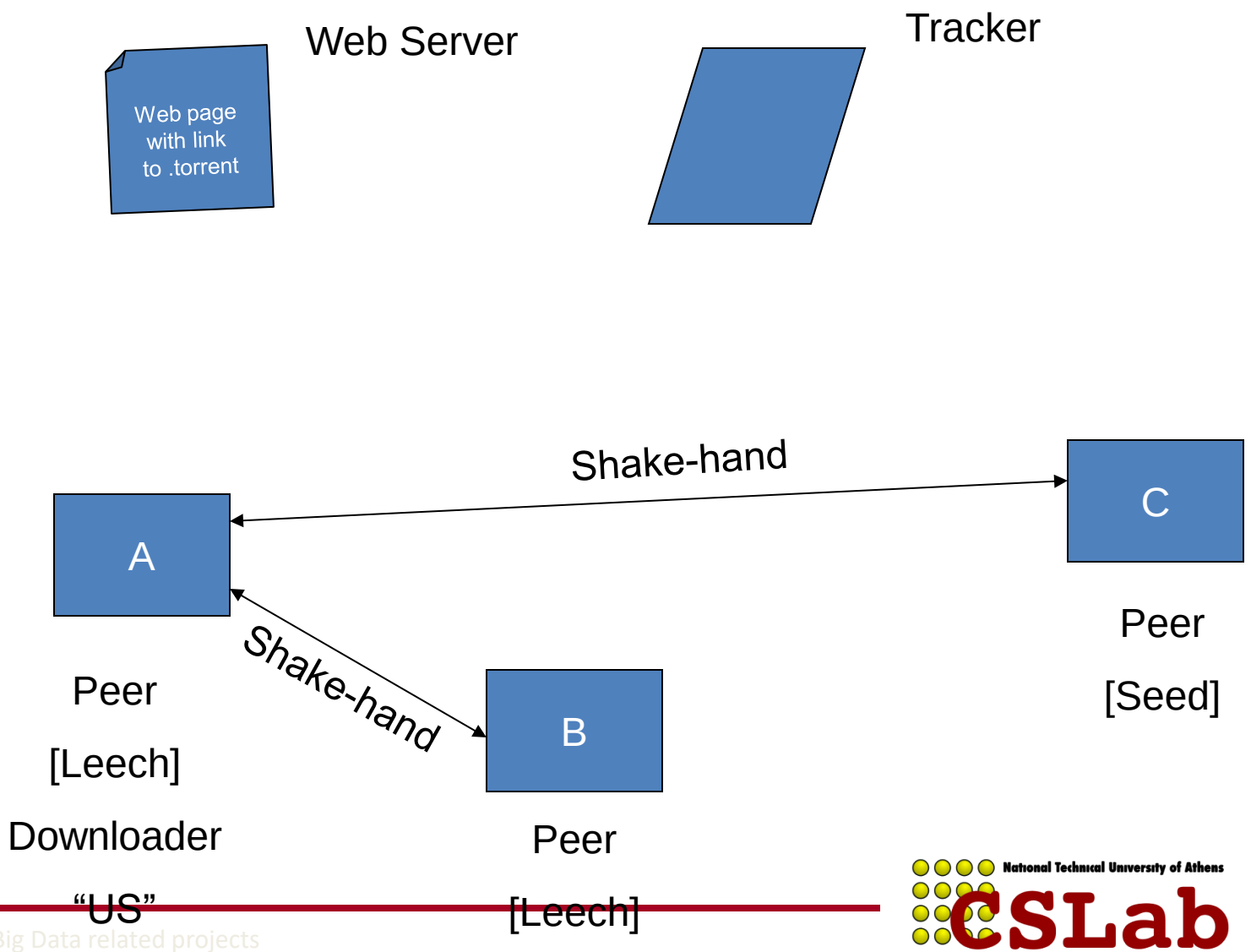


National Technical University of Athens CSLab

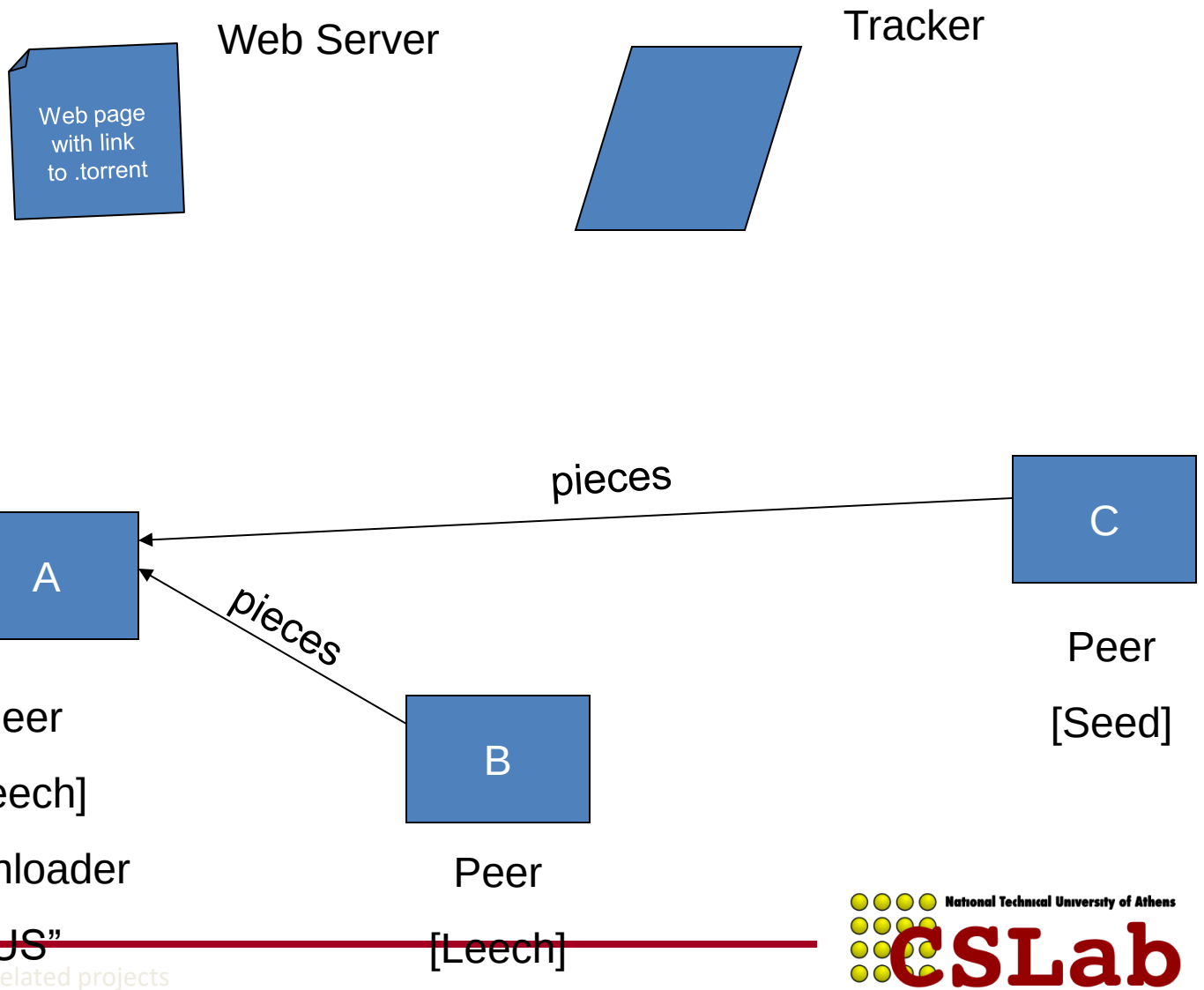
BitTorrent


Web Server
Tracker
Web page with link to .torrent
Response-peer list
A
B
C
Peer
[Leech]
Downloader
"US"
Peer
[Leech]
Peer
[Seed]

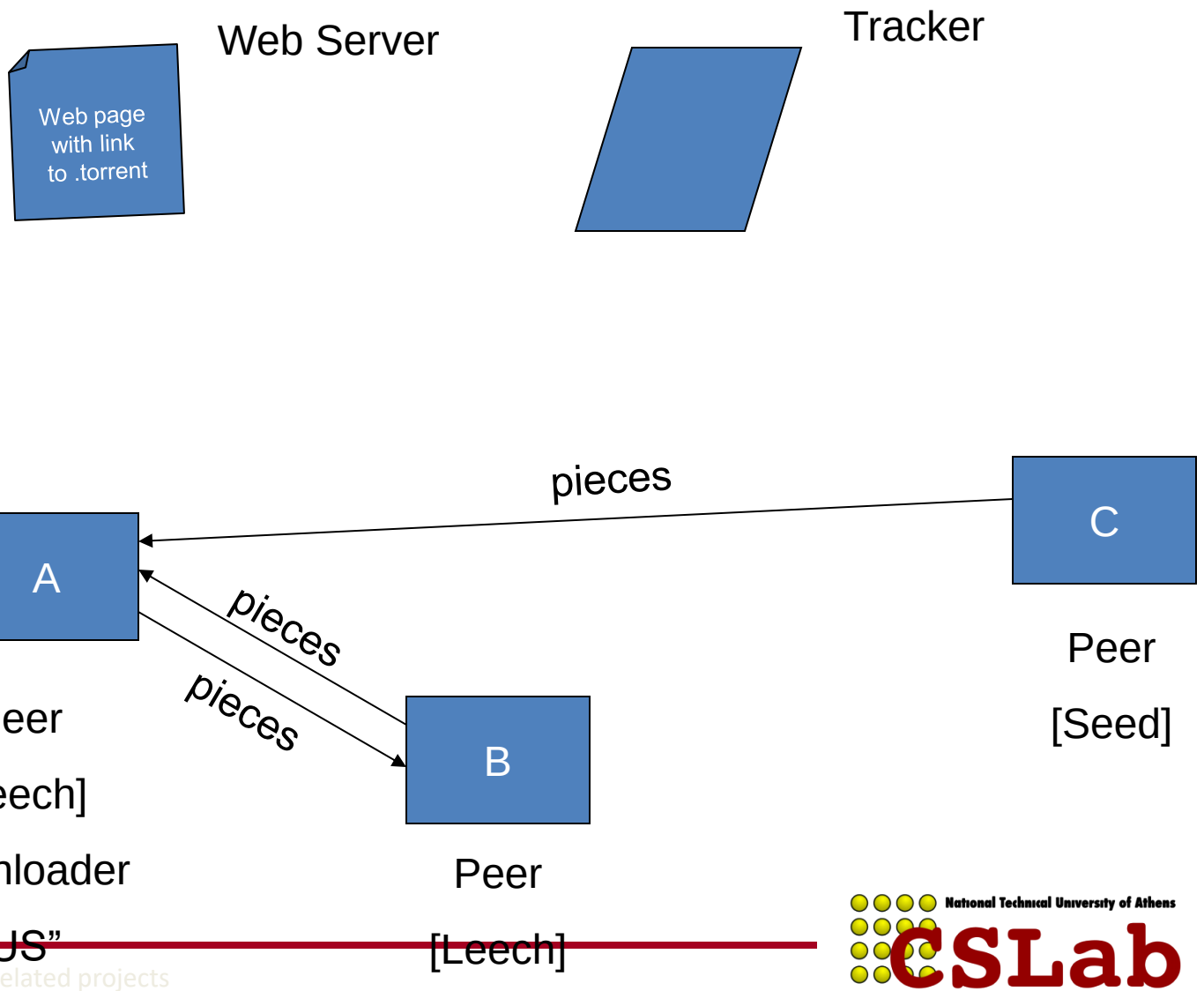
BitTorrent


Web Server
Web page with link to .torrent
Tracker
Shake-hand
A
C
Peer
[Leech]
Downloader
"US"
Shake-hand
B
Peer
[Leech]
Peer
[Seed]

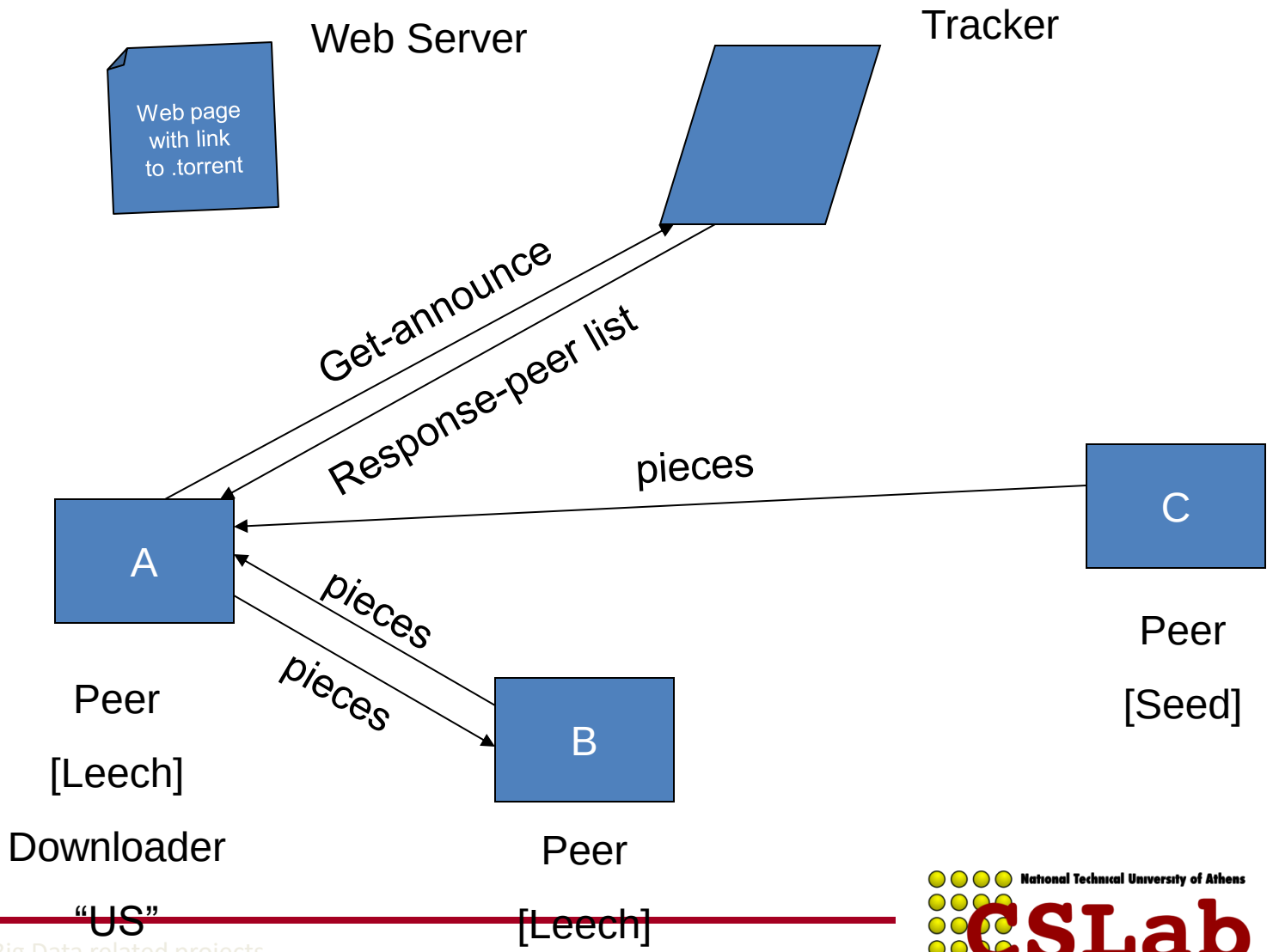
BitTorrent


Web Server
Web page with link to .torrent
Tracker
pieces
pieces
A
B
C
Peer
[Leech]
Downloader
"US"
Peer
[Leech]
Peer
[Seed]

BitTorrent

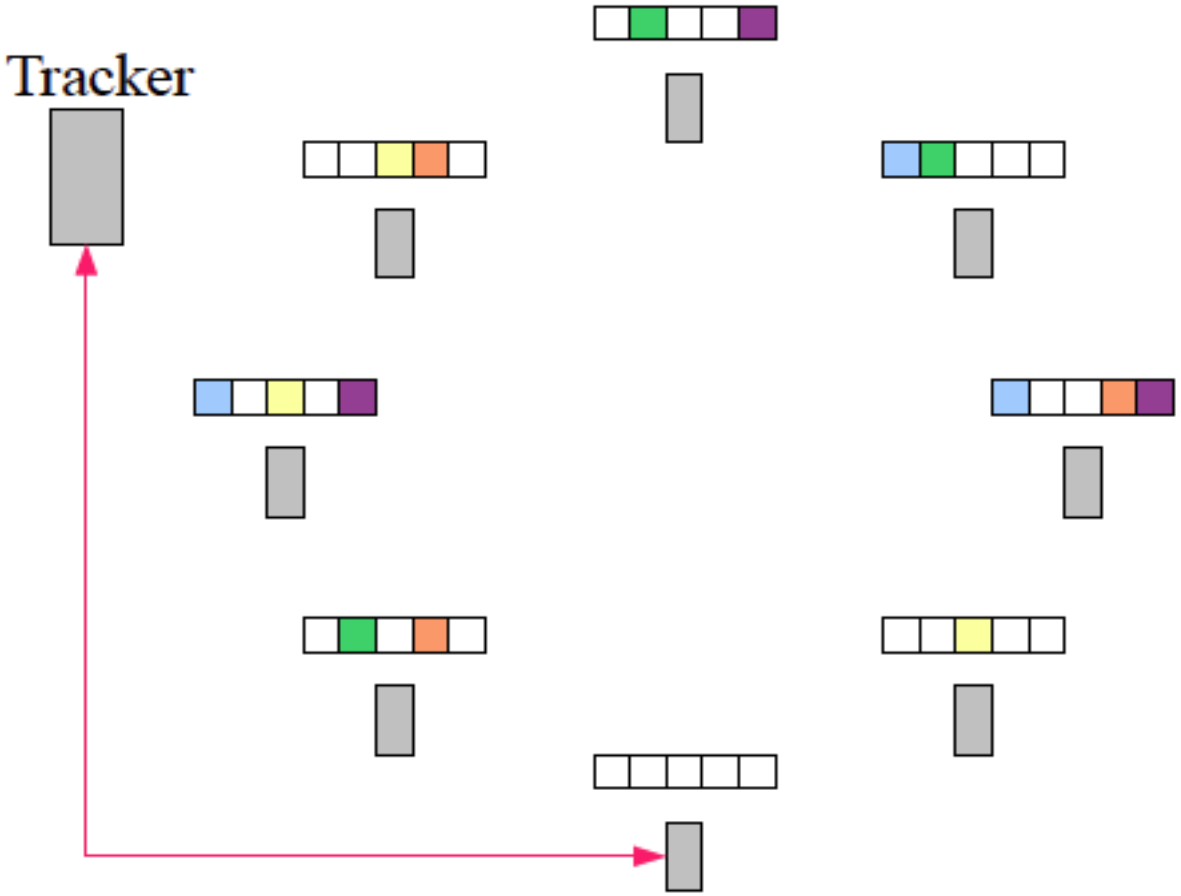

Web Server
Web page with link to .torrent
Tracker
pieces
A
C
pieces
pieces
B
Peer
[Leech]
Downloader
"US"
Peer
[Leech]
Peer
[Seed]

BitTorrent

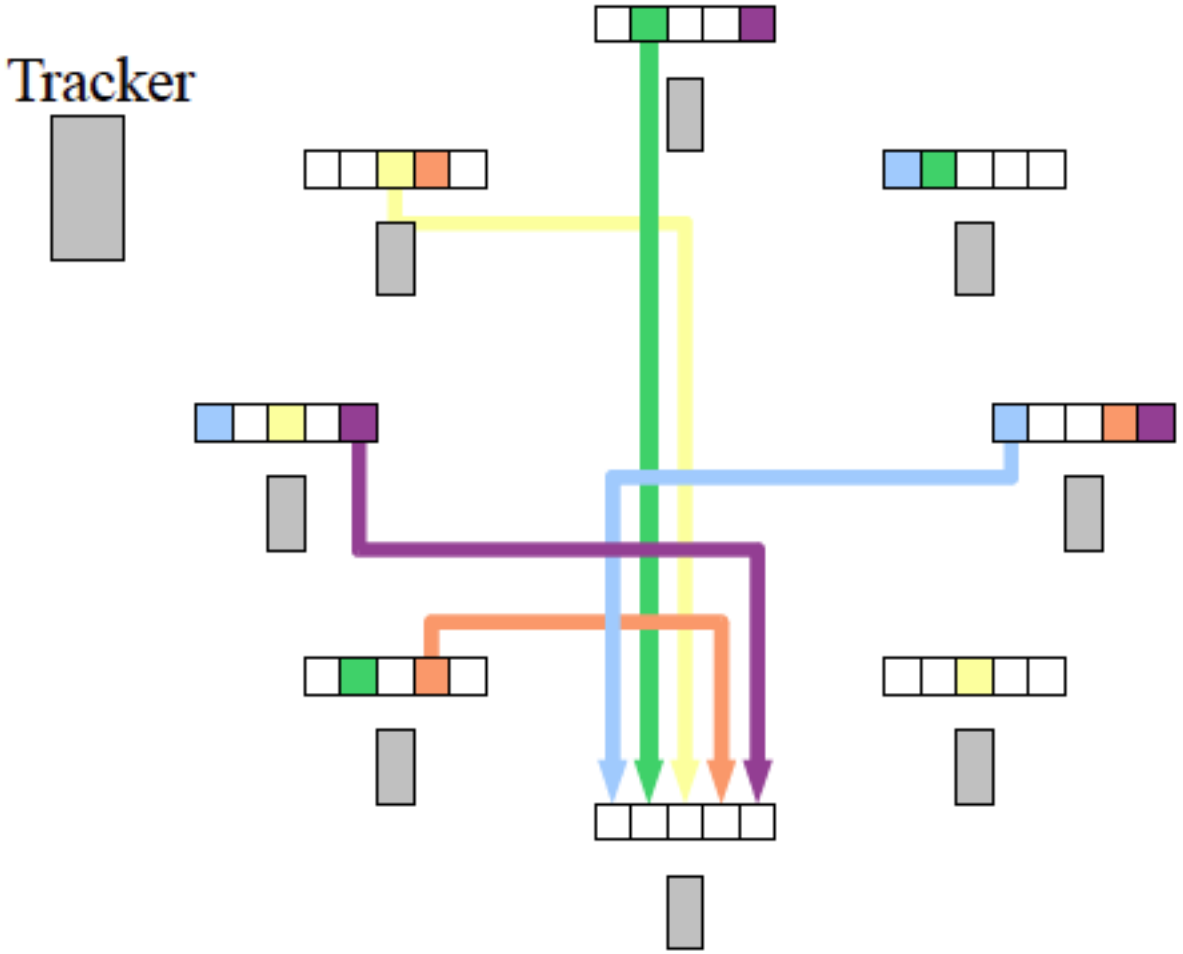


National Technical University of Athens
CSLab

Παράδειγμα



Παράδειγμα



Σειρά επιλογής chunk

- Ποια chunks να ζητήσω;
  - Μια λύση: με τη σειρά, όπως ένας HTTP client
- Πρόβλημα 1: πολλοί κόμβοι θα έχουν τα πρώτα chunks
  - Οι κόμβοι δε θα έχουν να μοιραστούν πολλά
  - Περιορίζεται η κλιμακωσιμότητα του συστήματος
- Πρόβλημα 2: Τελικά κανείς δεν έχει σπάνια chunks
  - Π.χ., τα chunks στο τέλος του αρχείου
  - Περιορίζεται η ικανότητα να κατέβει όλο το αρχείο
- Λύσεις: τυχαία επιλογή και επιλογή του σπανιότερου

Προτεραιότητα στο σπανιότερο chunk

- Ποιο είναι το σπανιότερο;
  - Το chunk με τα λιγότερα διαθέσιμα αντίγραφα
  - Αυτό ζητείται πρώτα
- Πλεονέκτημα για τον κόμβο
  - Αποφεύγεται η λιμοκτονία όταν αποχωρούν πολλοί κόμβοι
- Πλεονέκτημα για το σύστημα
  - Διασφαλίζεται ότι δε θα χαθεί κάποιο chunk
  - Εξισορροπείται το φορτίο με την εξισορρόπηση του # των αντιγράφων των chunks

Αποφυγή Free-Riding

- Η πλειονότητα των χρηστών είναι free-riders
  - Δε μοιράζονται αρχεία και δεν απαντούν σε ερωτήματα
  - Περιορίζουν τον αριθμό των συνδέσεων ή την ταχύτητα upload
- Λίγοι κόμβοι δρουν ως servers
  - Συνεισφέροντας στο «κοινό καλό»
- Το πρωτόκολλο BitTorrent σε έναν κόμβο
  - Επιτρέπει στους πιο γρήγορους κόμβους να κατεβάσουν από αυτόν
  - Κάποιες φορές επιτρέπουν σε τυχαίους κόμβους (και πιθανόν free riders) να κατεβάσουν

Αποφυγή Free-Riding

- Ένας κόμβος έχει περιορισμένο upload bandwidth
  - Και πρέπει να το μοιράζεται με πολλούς
- Tit-for-tat
  - Δίνει προτεραιότητα σε κόμβους με μεγάλο upload rate
- Επιβραβεύει τους top 4 γείτονες
  - Μετράει το download bit rate του κάθε γείτονα
  - Ανταποδίδει στέλνοντας chunks στους 4 καλύτερους
  - Επαναλαμβάνει κάθε 10 sec
- Optimistic unchoking
  - Επιλέγει τυχαίο γείτονα για upload κάθε 30 sec
  - Δίνει τη δυνατότητα και σε κάποιον άλλον να κατεβάσει chunks

Πειράζοντας το BitTorrent

- BitTorrent can be gamed, too
  - Οι κόμβοι ανεβάζουν στους top N peers με ρυθμό 1/N
  - Π.χ., αν N=4 και οι κόμβοι ανεβάζουν με ρυθμό 15, 12, 10, 9, 8, 3
  - … Τότε ο 4ος κόμβος έχει πλεονέκτημα

- Καλύτερα Nος κόμβος στη λίστα από πρώτος

BitTorrent σήμερα

- Σημαντικό μέρος της κίνησης στο Internet
  - Εκτίμηση: 30%
- Πρόβλημα για λιγότερο δημοφιλή αρχεία
  - Οι κόμβοι αποχωρούν όταν τελειώσουν το κατέβασμα
  - Κάποια αρχεία χάνονται ή δεν υπάρχουν ολόκληρα
- Παραμένουν νομικά θέματα

Εντοπισμός δεδομένων

- Θέλουμε
  - Χαμηλό κόστος
  - Κλιμακωσιμότητα
  - Εγγύηση για το lookup

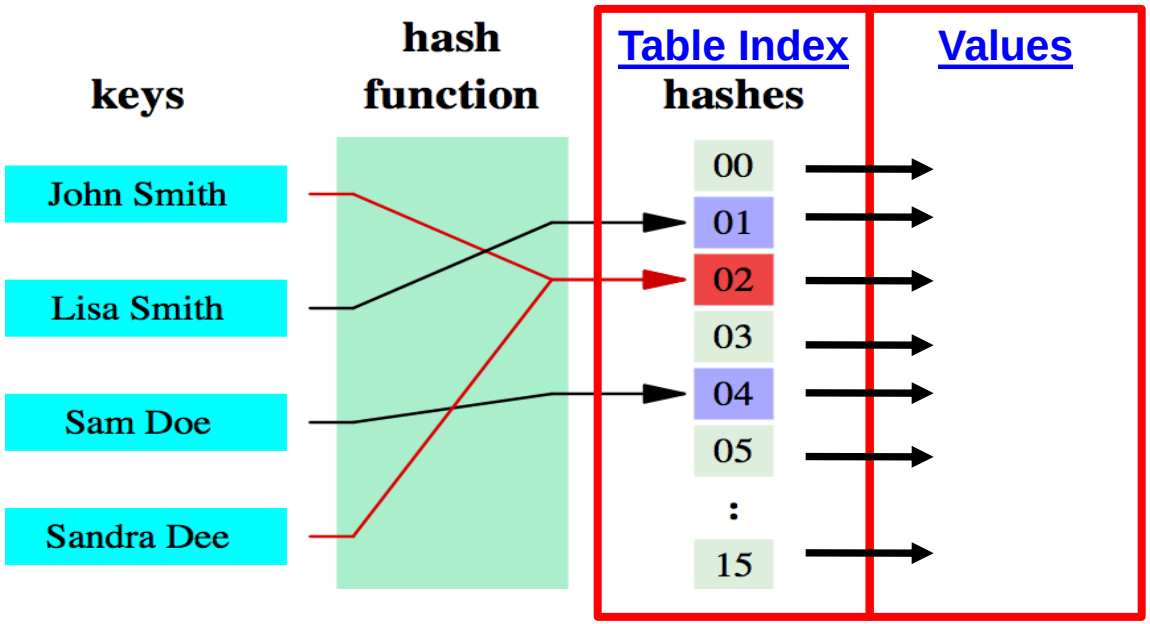
Napster	Central server
Gnutella & Kazaa	Network flooding Optimized to flood supernodes … but it's still flooding
BitTorrent	Nothing! It's somebody else's problem

Τι κακό έχει το flooding;

- Κάποιοι κόμβοι δεν είναι πάντα συνδεδεμένοι και κάποιοι είναι πιο αργοί από άλλους
  - Το Kazaa το αντιμετωπίζει κατηγοριοποιώντας τους κόμβους σαν supernodes
- Κακή χρήση των δικτυακών πόρων
- Μεγάλο latency
  - Τα αιτήματα προωθούνται από κόμβο σε κόμβο
  - Επιστροφή της απάντησης από το ίδιο μονοπάτι που πέρασε το ερώτημα στο Gnutella

Τι θα θέλαμε;

- Hash table: Δομή που συνδέει κλειδιά με τιμές
- Κόστος αναζήτησης: O(1)



- Ζεύγη (key, value)
  - (http://www.cnn.com/foo.html, Web page)
  - (Help!.mp3, 12.78.183.2)

Τι είναι hash function

- Hash function
  - Μια συνάρτηση που παίρνει είσοδο μεταβλητού μήκους (π.χ., ένα string) και παράγει ένα αποτέλεσμα (συνήθως μικρότερου) σταθερού μεγέθους (π.χ., έναν integer)
  - Παράδειγμα: hash strings σε ακέραιους 0-7:
    - *hash("Αθήνα") → 1*
    - *hash("Θεσσαλονίκη") → 6*
    - *hash("Πάτρα") → 2*
- Hash table
  - Πίνακας από *(key, value) ζεύγη*
  - Αναζήτηση κλειδιού:
    - Η hash function αντιστοιχίζει κλειδιά στο εύρος *0 … N-1*

      table of *N elements*

      i = hash(key)

      table[i] contains the item
  - Αναζήτηση σε O(1)

Τι πρέπει να προσέξω

- Επιλογή καλού hash function
  - Θέλουμε ομοιόμορφη κατανομή όλων των κλειδιών στο εύρος *0 … N-1*
- Συγκρούσεις
  - Πολλά κλειδιά μπορεί να αντιστοιχιστούν στην ίδια τιμή
    - hash(“Paterson”) → 2
    - hash(“Edison”) → 2
  - Η θέση table[i] είναι ένα bucket για όλα αυτά τα ζεύγη *(key, value)*
  - Μέσα στο table[i] χρησιμοποιούμε linked list ή άλλο ένα επίπεδο hashing
- Τι γίνεται όταν το hash table μεγαλώνει ή μικραίνει;
  - Αν προσθέσουμε ή αφαιρέσουμε buckets → πρέπει να ξαναπεράσουμε τα κλειδιά από hash function και να μετακινήσουμε αντικείμενα

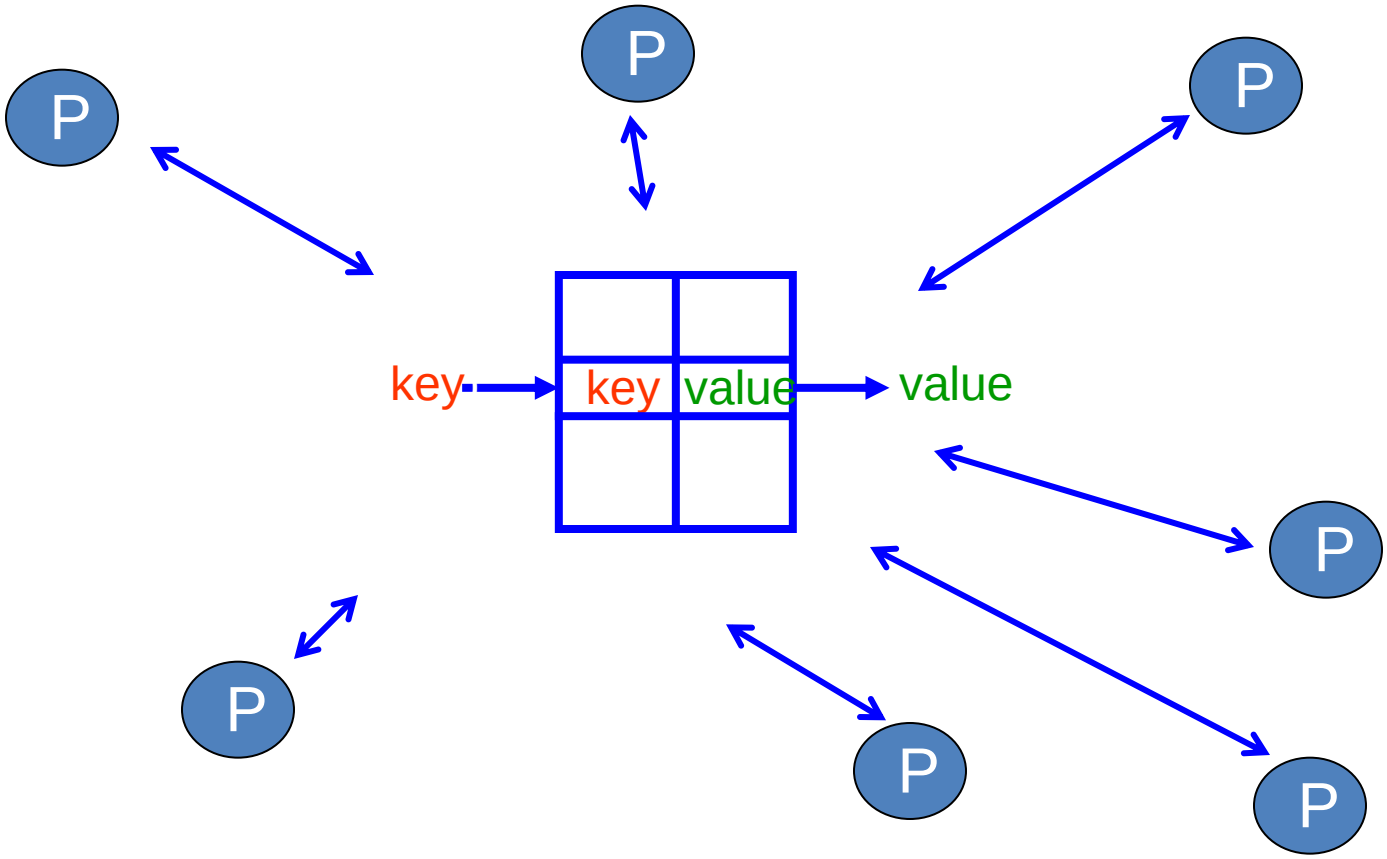
Distributed Hash Tables (DHT)

- Δημιουργία peer-to-peer εκδοχής μιας βάσης (*key, value)*

- Πώς θέλουμε να λειτουργεί
  1. Ένας κόμβος (*A) ρωτάει τη βάση με ένα κλειδί*
  2. Η βάση βρίσκει τον κόμβο (*B) που έχει την τιμή*
  3. Ο κόμβος (*B) επιστρέφει το ζεύγος (key, value) στον (A)*

- Πρέπει να γίνει αποδοτικά
  - Όχι με flooding

DHT



DHT

- Ποιες είναι οι απαιτήσεις
  - Ντετερμινιστικό lookup
  - Μικρός χρόνος lookup (δεν πρέπει να αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος του συστήματος)
  - Εξισορρόπηση φορτίου ακόμα και με εισόδους/αποχωρήσεις κόμβων

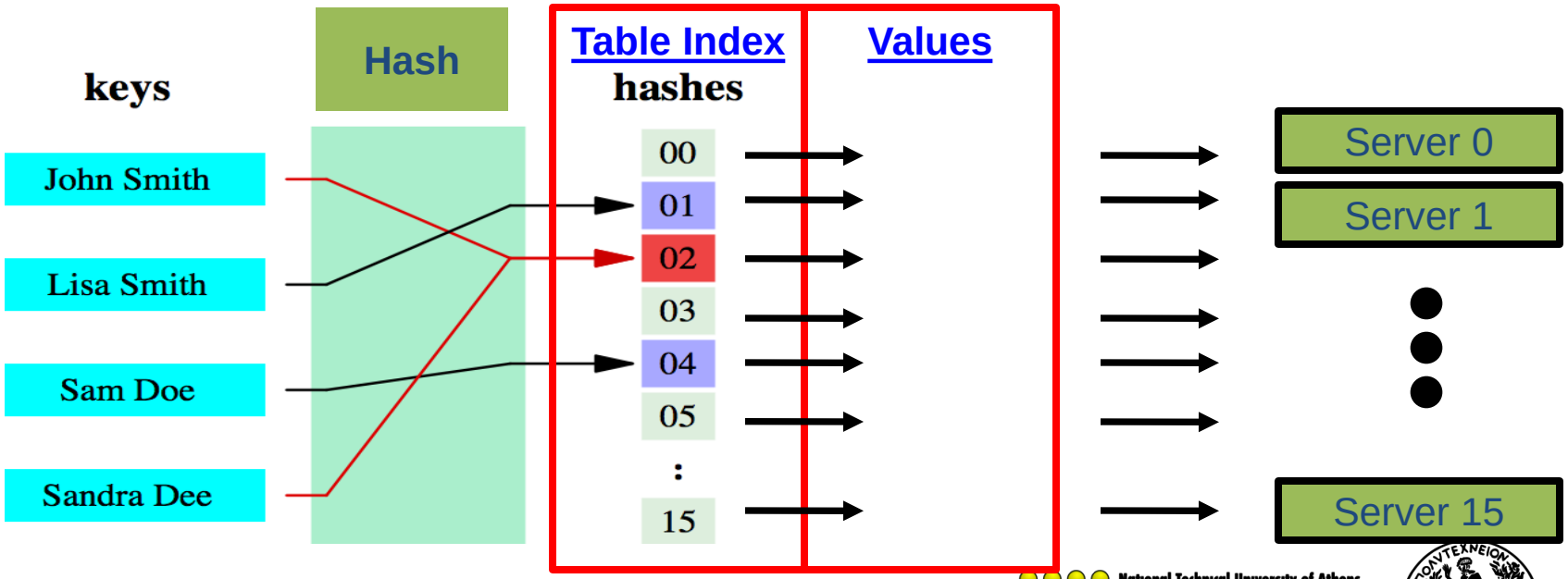
- Τι κάνουμε: διαιρούμε το hash table και το κατανέμουμε στους κόμβους του συστήματος

- Πρέπει να διαλέξουμε το σωστό hash function

- Πρέπει να χωρίσουμε τον πίνακα και να κατανείμουμε τα κομμάτια με το ελάχιστο κόστος επανατοποθέτησης σε περίπτωση εισόδου/αποχώρησης κόμβου

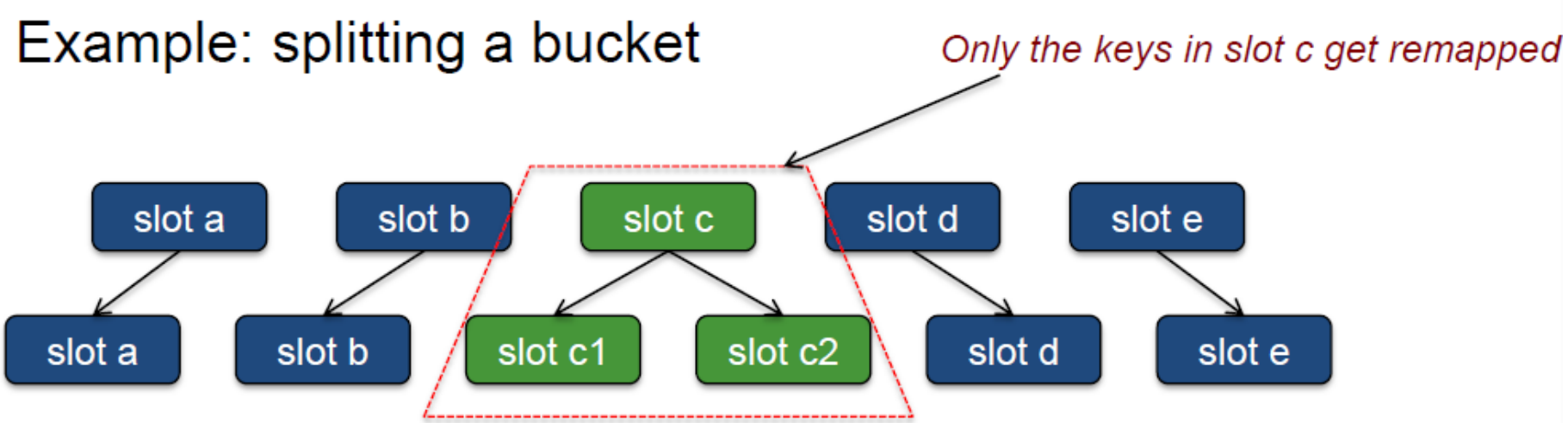
Χρήση βασικού Hashing

- Τοποθέτηση X στον server *i = hash (X) mod k*
- Πρόβλημα;
  - Τι συμβαίνει όταν ένας κόμβος πεθάνει ή μπει στο σύστημα (k → k±1)?
  - Όλες οι τιμές αντιστοιχίζονται ξανά σε νέους κόμβους!



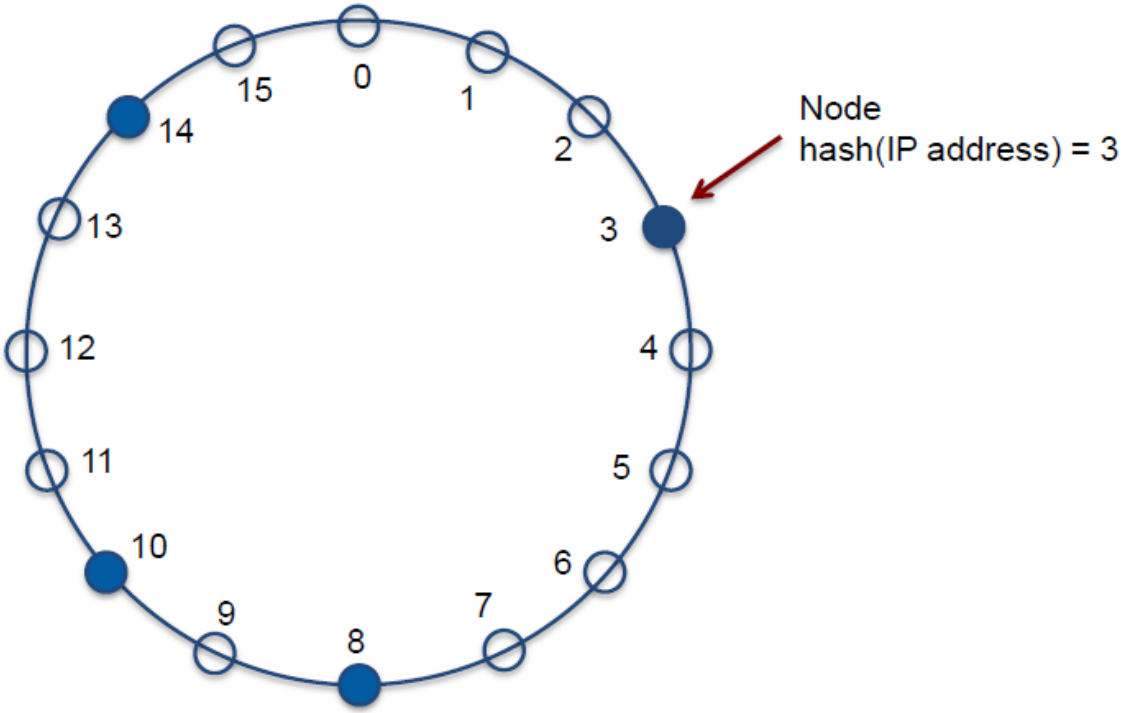
Consistent hashing

- Consistent hashing
  - Τα περισσότερα κλειδιά θα αντιστοιχιστούν στην ίδια τιμή όπως πριν
  - Κατά μέσο όρο K/n κλειδιά θα πρέπει να αντιστοιχιστούν ξανά
- K = # keys, n = # of buckets



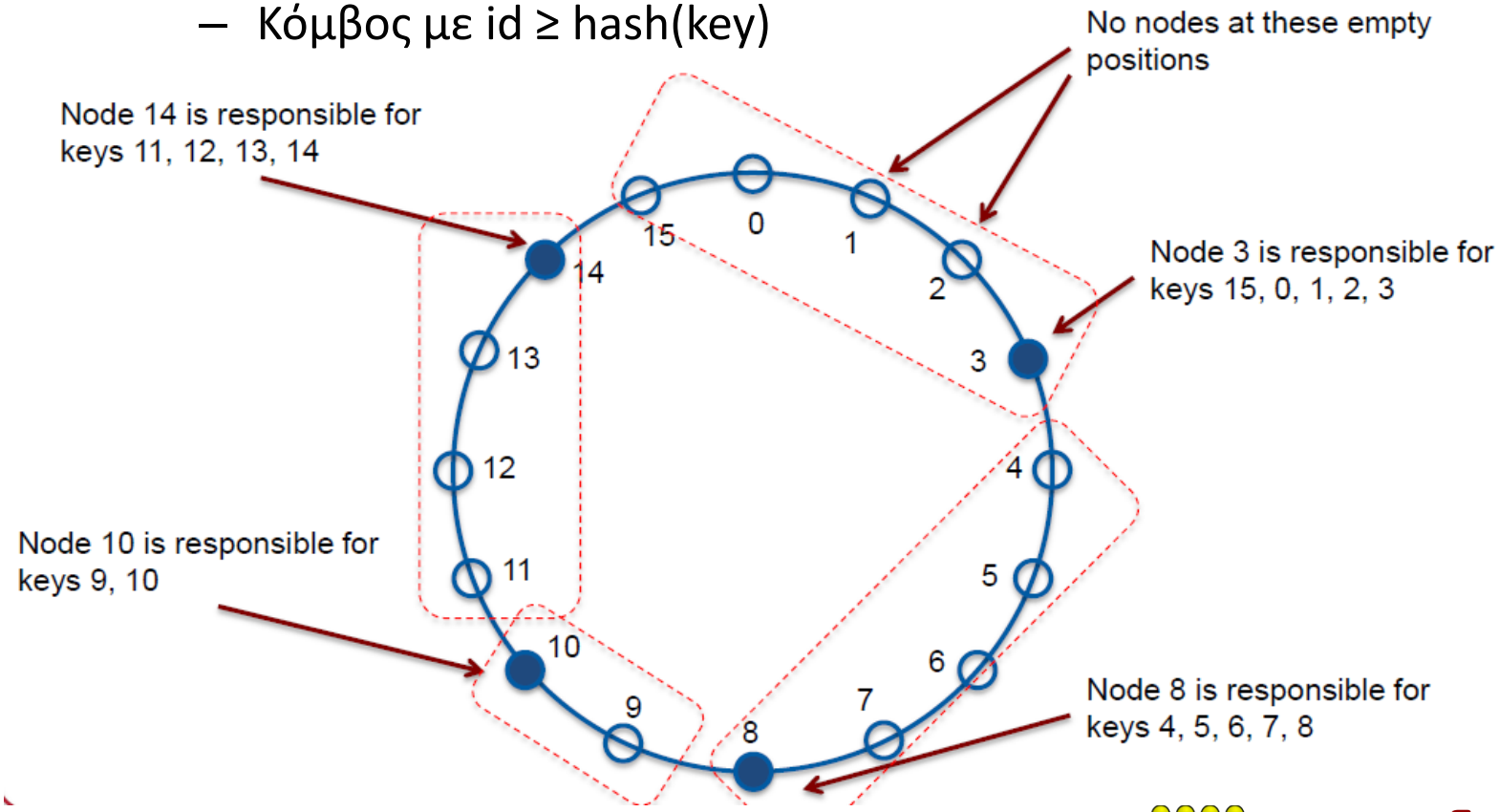
Παράδειγμα DHT: Chord

- Ένα key γίνεται hash σε μια τιμή με m-*bits : 0 … (2^m-1)*
- Κατασκευάζεται ένας λογικός δακτύλιος για τις τιμές 0 .. (2^m-1)
- Οι κόμβοι τοποθετούνται στον δακτύλιο στη θέση *hash(IP)*



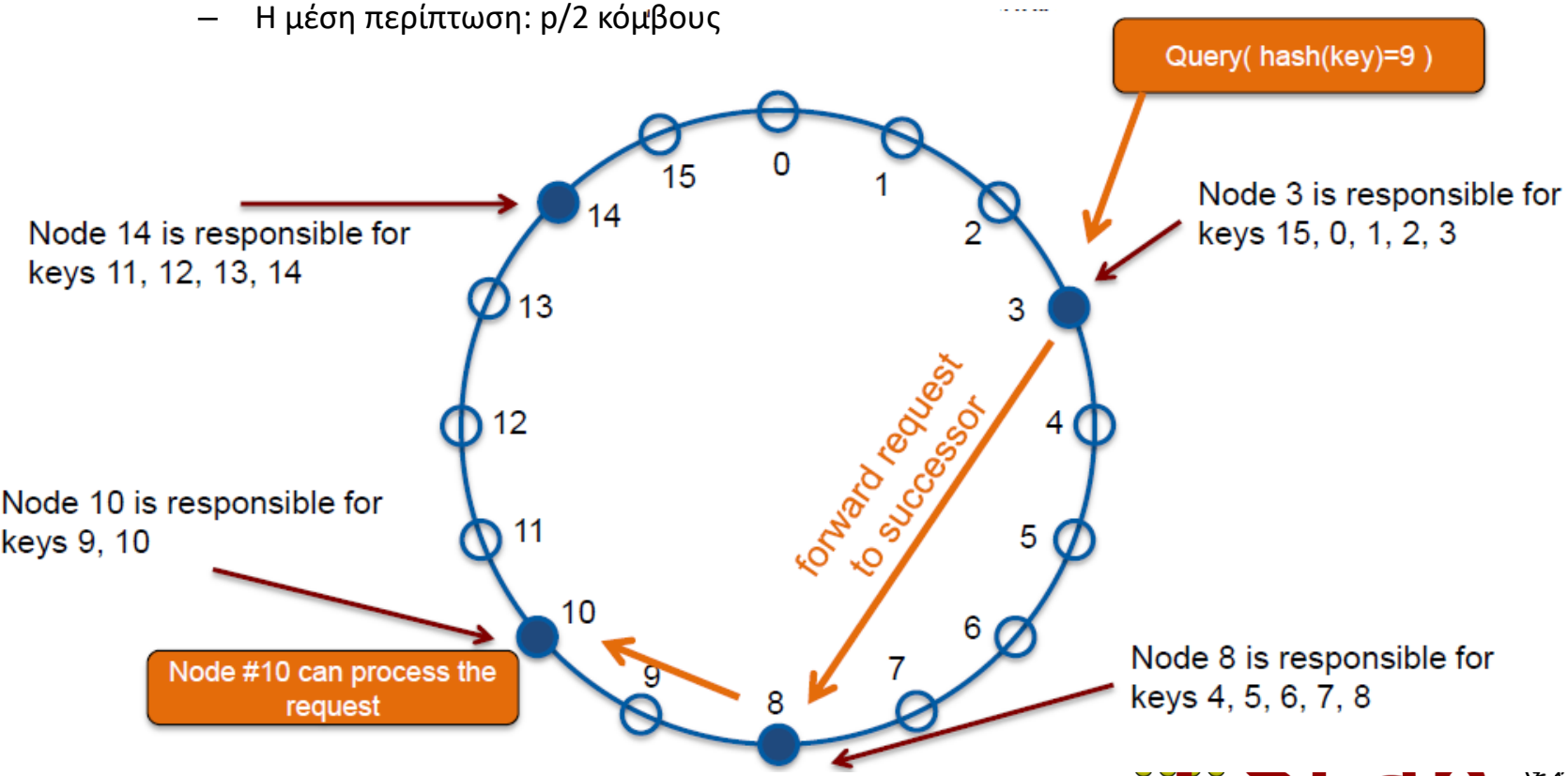
Τοποθέτηση κλειδιών

- Παράδειγμα: *n=16; Σύστημα με 4 κόμβους (μέχρι τώρα)*
- Τα δεδομένα αποθηκεύονται στον διάδοχο κόμβο (**successor)**
  - Κόμβος με id ≥ hash(key)



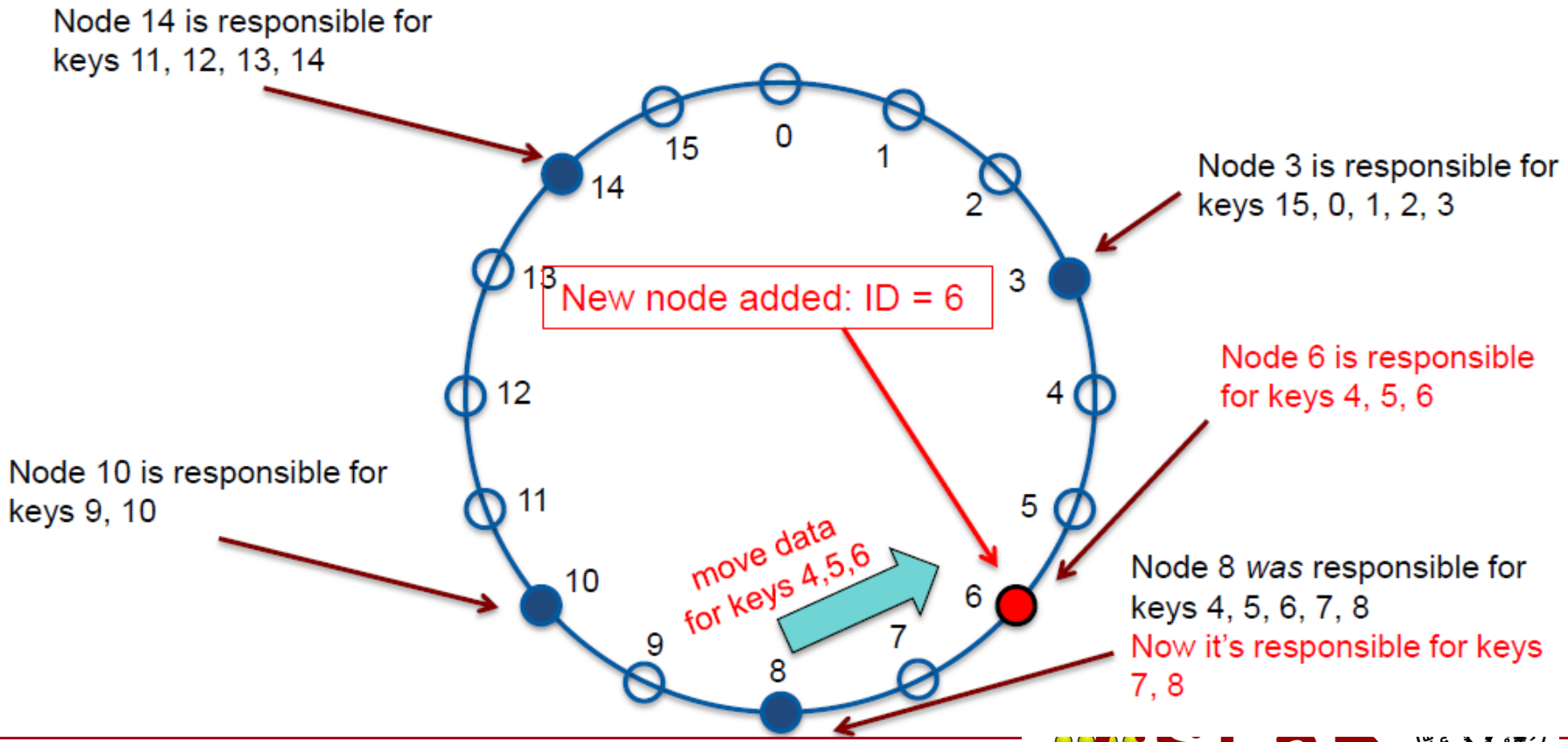
Χειρισμός ερωτημάτων

- Οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να λάβει ερώτημα για ένα key (insert ή query). Αν το hash(key) δεν ανήκει στο εύρος κλειδιών του, το προωθεί στον διάδοχο
- Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί ο υπεύθυνος κόμβος
  - Η χειρότερη περίπτωση: με p κόμβους, διασχίζει p-1 -> O(N)
  - Η μέση περίπτωση: p/2 κόμβους



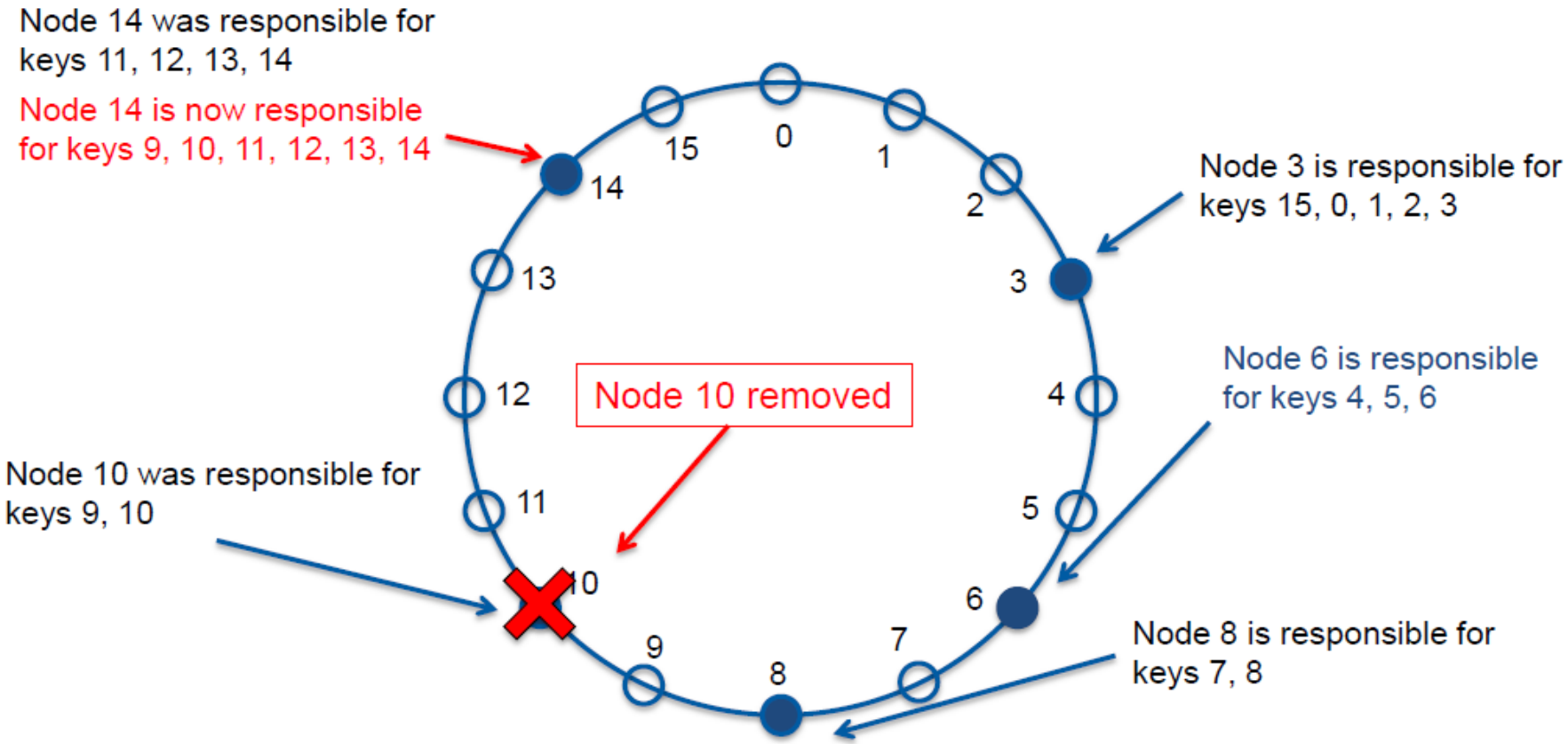
Εισαγωγή κόμβου

- Κάποια κλειδιά ανατίθενται σε νέο κόμβο
- Τα δεδομένα για αυτά τα ζεύγη (key, value) πρέπει να μεταφερθούν στον νέο κόμβο



Αποχώρηση κόμβου

- Τα κλειδιά ανατίθενται στον διάδοχο του κόμβου
- Τα δεδομένα για αυτά τα ζεύγη (key, value) πρέπει να μεταφερθούν



Ανοχή σε σφάλματα

- Κόμβοι μπορεί να πεθάνουν
  - (key, value) δεδομένα replicated
  - Δημιουργία R replicas που αποθηκεύονται στους R-1 διαδοχικούς κόμβους στον δακτύλιο
- Γίνεται λίγο πιο περίπλοκο
  - Κάθε κόμβος πρέπει να ξέρει και τον διάδοχο του διαδόχου του (ή και παραπάνω από έναν)
- Εύκολο αν γνωρίζει και τους R-1
  - Οποιαδήποτε αλλαγή πρέπει να εξαπλωθεί σε όλα τα replicas

Απόδοση

- Δεν μας αρέσει το O(N) κόστος του lookup
- Απλή προσέγγιση για καλή απόδοση
  - Όλοι οι κόμβοι γνωρίζονται μεταξύ τους
  - Όταν ένας κόμβος λάβει ερώτημα για key ψάχνει στον πίνακα δρομολόγησης να βρει τον κόμβο που είναι υπεύθυνος για το key
  - Απόδοση O(1)
  - Κατά την εισαγωγή/αποχώρηση κόμβων πρέπει να ενημερωθούν όλοι
  - Όχι πολύ καλή λύση για τεράστια δίκτυα (πολλοί κόμβοι -> μεγάλοι πίνακες δρομολόγησης)

Finger Tables

- Συμβιβασμός για αποφυγή μεγάλων πινάκων δρομολόγησης σε κάθε κόμβο
  - Χρήση finger tables για άνω όριο στο μέγεθος του πίνακα
- Finger table = μερική λίστα κόμβων
- Σε κάθε κόμβο το i^{th} στοιχείο είναι ο κόμβος που ακολουθεί κατά τουλάχιστον 2^i-1 στον κύκλο
  - finger_table[0]: immediate (1st) successor
  - finger_table[1]: successor after that (2nd)
  - finger_table[2]: 4th successor
  - finger_table[3]: 8th successor

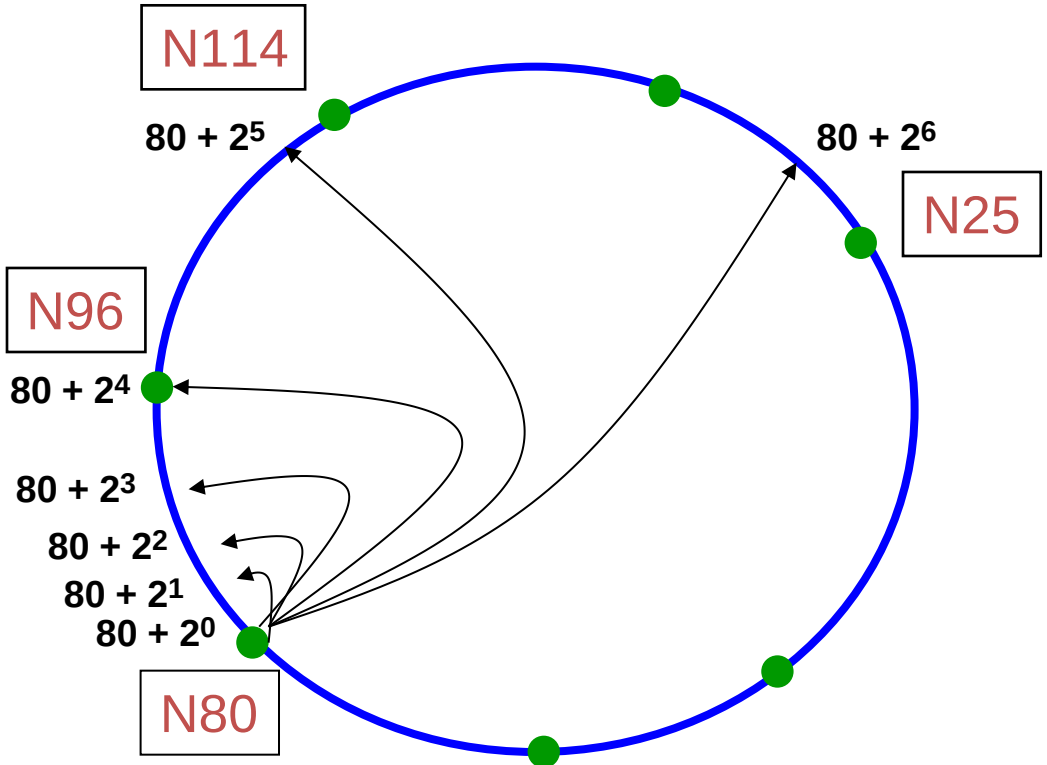
- O(log N) κόμβοι προσπελάζονται για ένα lookup

Παράδειγμα finger table

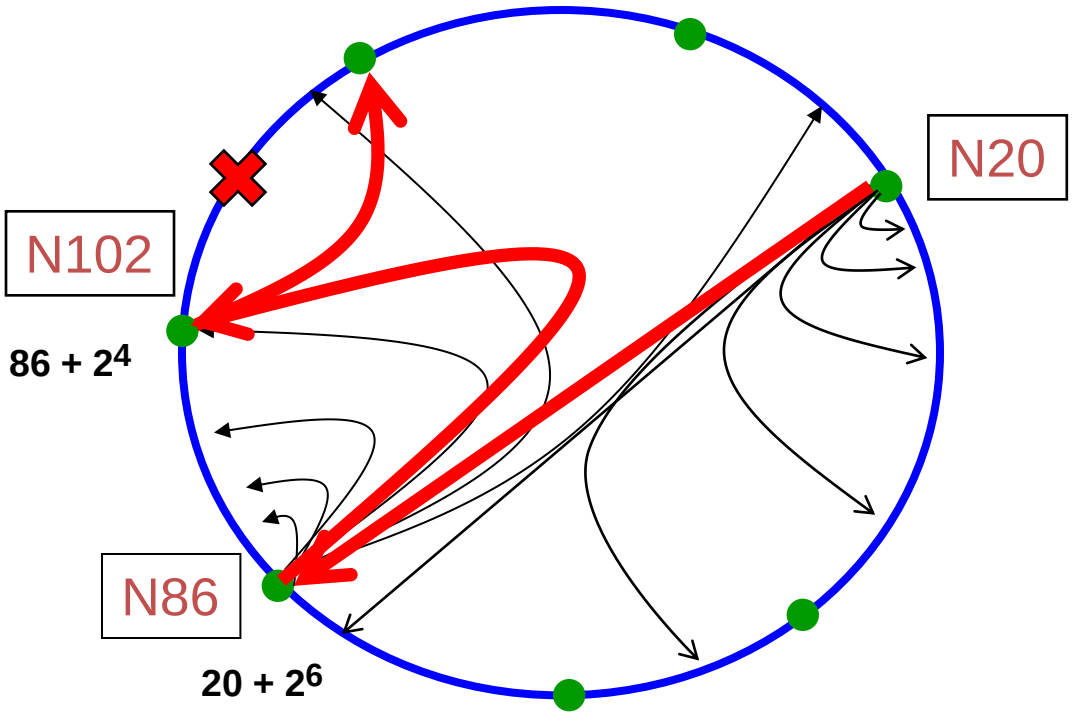
- Ids 0-120 -> 2^7 =128 > 120 οπότε 7 fingers
- $f_n(i)$ = Successor($n+2^i \bmod 120$)

Finger Table at N80

i	*ft[i]*
0	96
1	96
2	96
3	96
4	96
5	114
6	25



Εύρεση key με finger table



Δομημένα P2P

- Τα DHT συστήματα είναι δομημένα (structured) P2P συστήματα σε αντίθεση με τα αδόμητα (unstructured) P2P όπως το Napster, Gnutella, Kazaa κλπ.
- Χρησιμοποιούνται ως βάση για άλλα συστήματα, όπως “trackerless” BitTorrent, Amazon Dynamo, κατανεμημένα file systems, κατανεμημένα repositories κλπ.

Amazon Dynamo

- Κατανεμημένο key-value storage
  - Προσβάσιμο μόνο με το key
  - put(key, value) & get(key)
- Χρησιμοποιείται για πολλά Amazon services
  - Shopping cart, best seller lists, customer preferences, product catalog…
  - Δεν υπάρχει ανάγκη για περίπλοκα ερωτήματα όπως αυτά που απαντάει ένα RDBMS
    - Θα περιόριζε κλιμακωσιμότητα και διαθεσιμότητα
  - Πλέον προσφέρεται και ως AWS (DynamoDB)
- Μαζί με άλλα συστήματα της Google (GFS & Bigtable) το Dynamo είναι από τα πρωτα non-relational storage systems (a.k.a. NoSQL)

Κίνητρο

- Shopping cart service
  - 3 million checkouts κάθε μέρα
  - Εκατοντάδες χιλιάδες ταυτόχρονα sessions
- Οι εφαρμογές πρέπει να μπορούν να παραμετροποιήσουν το Dynamo για επιθυμητό latency & throughput
  - Τουλάχιστον 99.9% των read/write λειτουργιών σε λιγότερο από 1 sec
  - Ισορροπία ανάμεσα σε performance, cost, availability, durability guarantees.
- Ανάγκη για availability (θυμήσου το θεώρημα CAP)
  - Eventual consistency
  - Partition tolerance
  - Availability (“always-on” experience)

Απαιτούμενα κομμάτια

- Θέλουμε να σχεδιάσουμε μια υπηρεσία storage σε έναν cluster από servers

- Δύο λειτουργίες: **get(key)** και **put(key, data)**
  - Data μικρού μεγέθους (< 1MB)

- Τι χρειαζόμαστε;
  - Διαχείριση μελών
  - Εισαγωγή/αναζήτηση/διαγραφή δεδομένων
  - Consistency με replication
  - Partition tolerance

Σχεδιαστικές τεχνικές

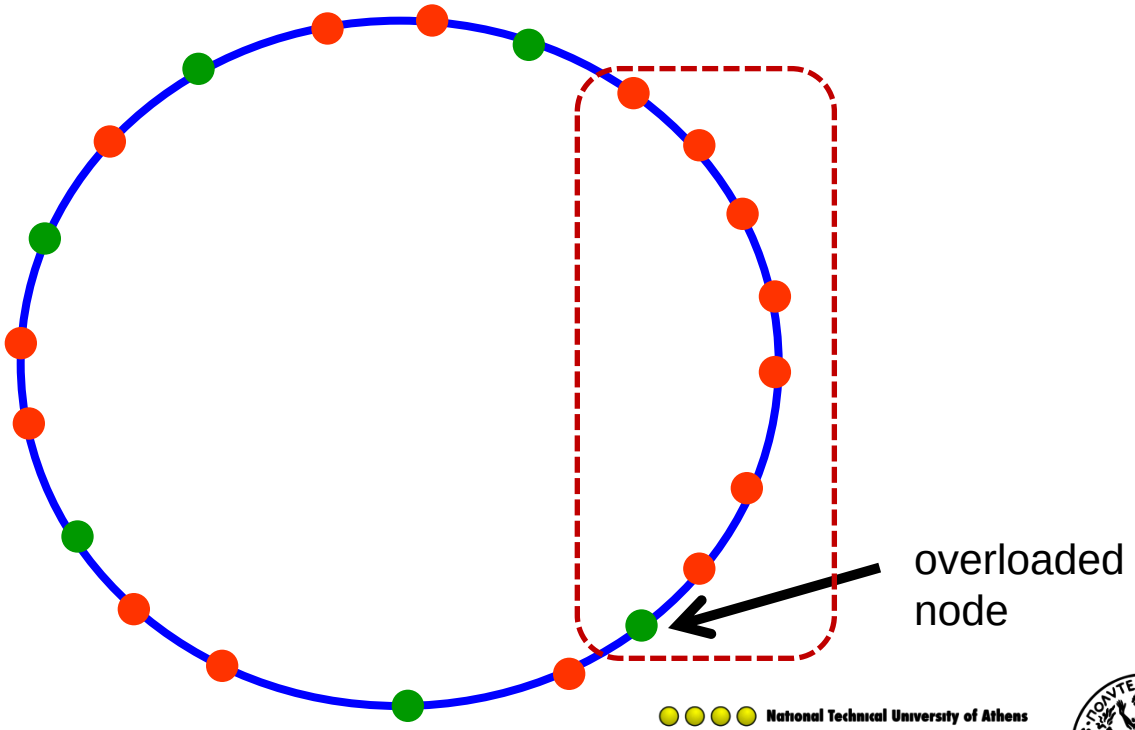
- Gossiping για διαχείριση μελών και ανίχνευση σφαλμάτων
  - Eventually-consistent membership
- Consistent hashing για κατανομή κλειδιών και κόμβων
  - Παρόμοιο με το Chord
  - Αλλά δεν υπάρχει δρομολόγηση δακτυλίου, όλοι οι κόμβοι γνωρίζονται
- Object versioning για eventually-consistent δεδομένα
  - Ένα vector clock για κάθε δεδομένο
- Quorums για partition tolerance
  - “Sloppy” quorum
- Merkle tree για συγχρονισμό των replicas μετά από σφάλματα ή partitions

Διαχείριση μελών

- Οι κόμβοι οργανώνονται σε δακτύλιο Chord με χρήση consistent hashing
  - Αλλά όλοι ξέρουν όλους
- Εισαγωγή/αποχώρηση κόμβων
  - Γίνεται χειροκίνητα
  - Κάποιος διαχειριστής χρησιμοποιεί κονσόλα για να προσθέσει ή να αφαιρέσει έναν κόμβο
  - Λόγος: η φύση των εφαρμογών που υποστηρίζει
    - Οι κόμβοι δεν αποχωρούν συχνά, μόνο λόγω σφάλματος και επανέρχονται γρήγορα
- Διάδοση της αλλαγής στα μέλη
  - Κάθε κόμβος διατηρεί δικό του group view και ιστορικό αλλαγών
  - Διάδοση μέσω gossiping (ανά δευτερόλεπτο, σε τυχαίους κόμβους)
- Eventually-consistent membership protocol

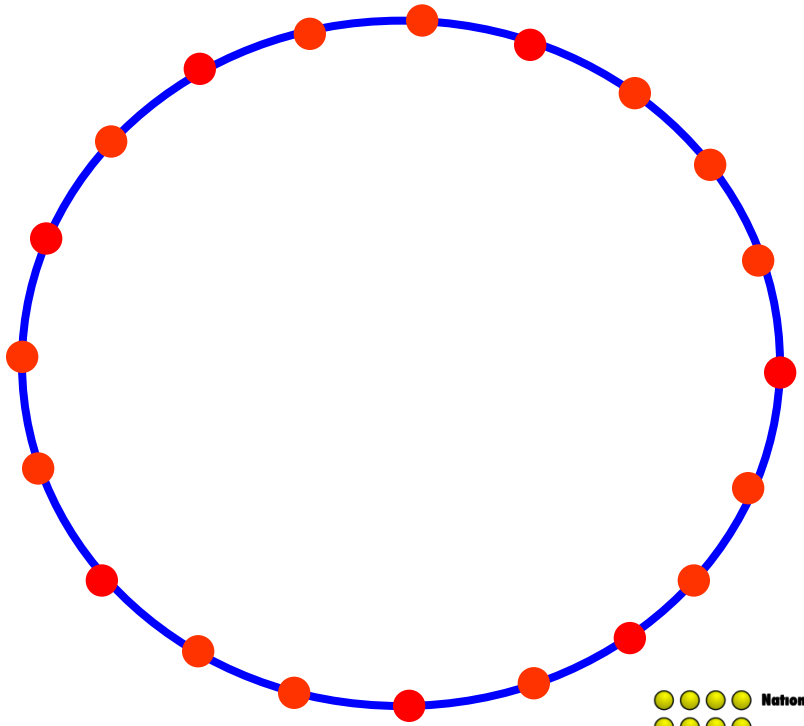
Κατανομή κόμβων και κλειδιών

- Με παραδοσιακό consistent hashing έχουμε ανισορροπία φόρτου
  - Ένας κόμβος μπορεί να έχει περισσότερα κλειδιά από άλλους
  - Κάποια κλειδιά είναι πιο δημοφιλή από άλλα



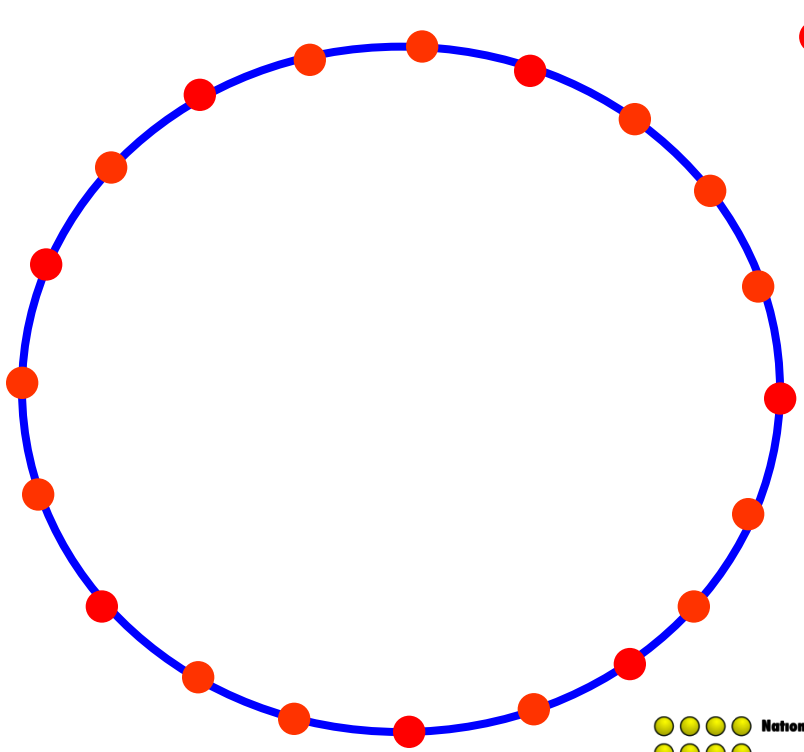
Κατανομή κόμβων και κλειδιών

- Κάθε κόμβος ανατίθεται σε πολλά σημεία στον δακτύλιο
  - Κάθε σημείο είναι ένας εικονικός κόμβος (virtual node)
- Εκκίνηση με στατικό αριθμό virtual nodes ομοιόμορφα κατανεμημένων στον δακτύλιο



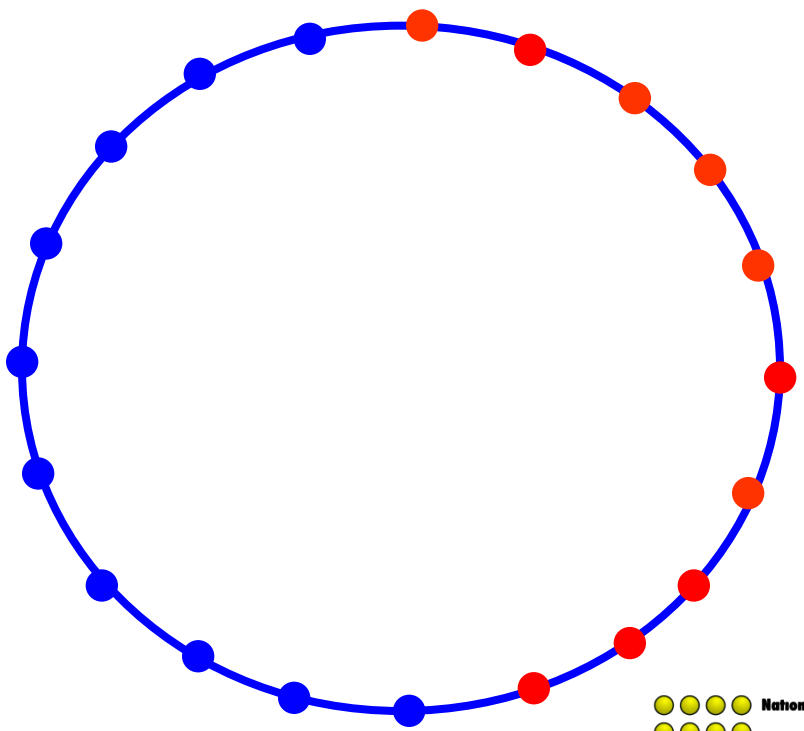
Κατανομή κόμβων και κλειδιών

- Ο πρώτος φυσικός κόμβος που εισέρχεται αναλαμβάνει όλους τους virtual nodes



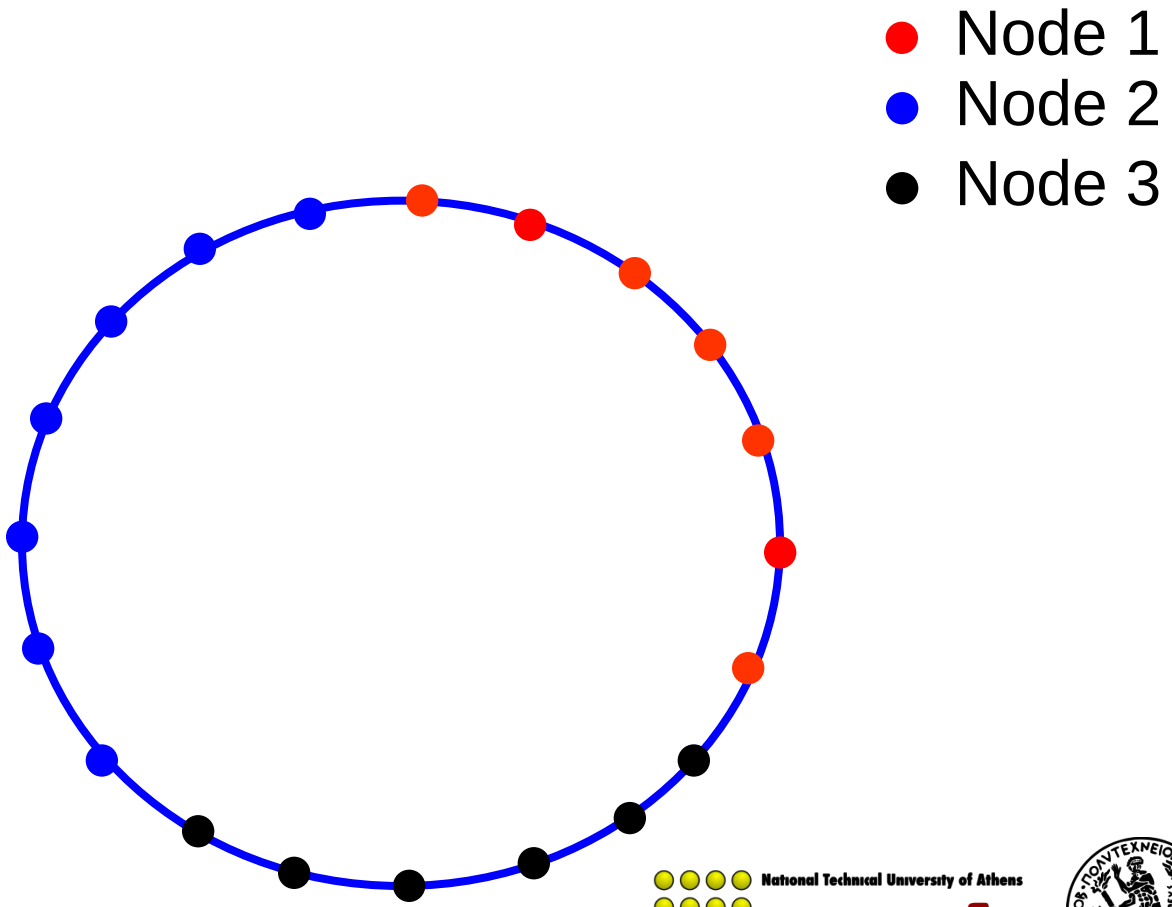
Κατανομή κόμβων και κλειδιών

- Ο δεύτερος παίρνει το 1/2



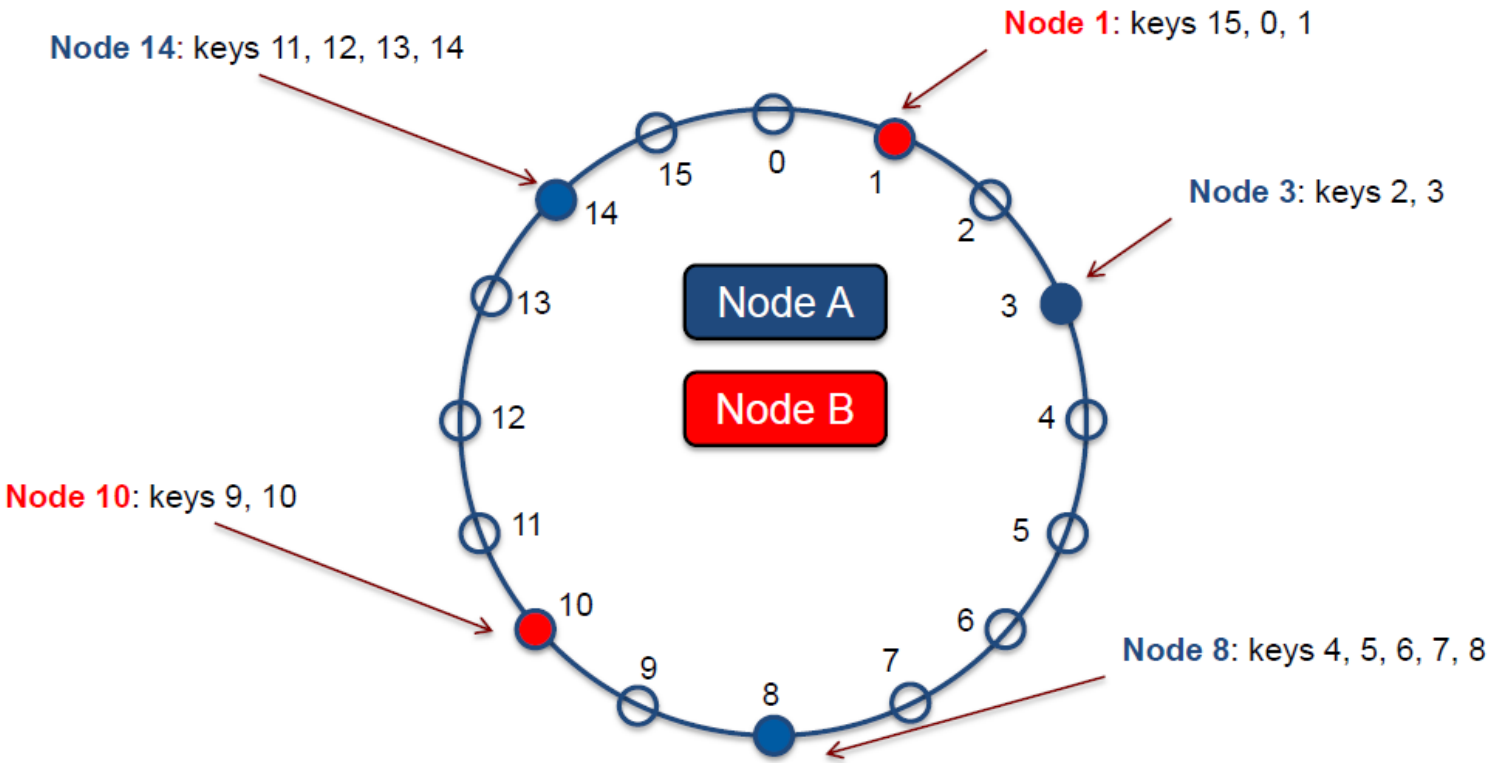
Κατανομή κόμβων και κλειδιών

- Ο τρίτος περίπου το 1/3



Παράδειγμα

- 2 physical nodes, 5 virtual nodes

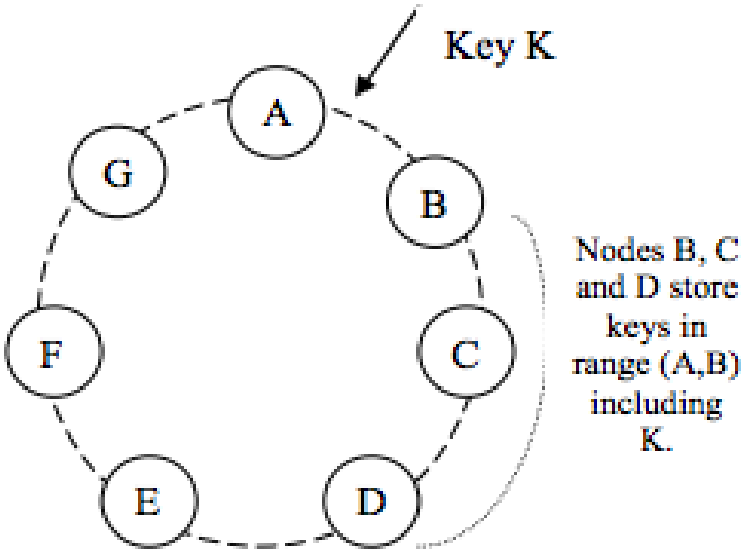


Πλεονεκτήματα

- Εξισορρόπηση φόρτου
  - Αν ένας κόμβος αποχωρήσει, ο φόρτος του κατανέμεται στους εναπομείναντες κόμβους
  - Αν ένας κόμβος προστεθεί, δέχεται παρόμοιο φορτίο από τους υπόλοιπους κόμβους
- Ο αριθμός από virtual nodes ανά κόμβο καθορίζεται από τις δυνατότητες του κόμβου

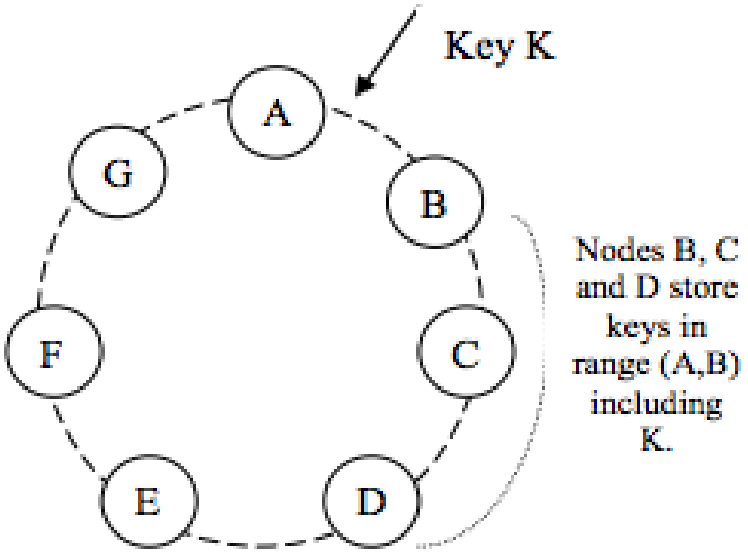
Replication

- N: # of replicas
- Το πρώτο αποθηκεύεται με βάση το consistent hashing
- Τα υπόλοιπα N-1 αποθηκεύονται στους επόμενους N-1 (φυσικούς) διάδοχους κόμβους (preference list)



Replication

- Lazy replication (eventual consistency)
  - Ένα αίτημα put() επιστρέφει αμέσως (high write throughput)
    - Δεν περιμένει να διαδοθεί το update σε όλα τα replicas
- Οδηγεί σε inconsistency, που λύνεται με object versioning



Object Versioning

- Τα writes πρέπει πάντα να επιτυγχάνουν
  - π.χ.,“Add to Cart”
- Χρησιμοποιούνται versions για επίλυση ασυνεπειών μεταξύ replicas
- Κάθε αντικείμενο έχει ένα vector clock
  - π.χ, D_1 ($[S_x, 1]$, $[S_y, 1]$): Το D_1 ενημερώθηκε μια φορά από τον S_x και μια από τον S_y
  - Κάθε κόμβος διατηρεί όλα τα versions μέχρι τα δεδομένα να γίνουν συνεπή
- Ασυνέπεια έχουμε όταν εμφανίζονται ταυτόχρονες versions
- Αν υπάρχει ασυνέπεια γίνεται επίλυση αργότερα
  - Π.χ. μπορεί να εμφανιστούν πάλι προϊόντα που έχουν σβηστεί από το shopping cart

Στατιστικά για object Versioning

- Over a 24-hour period
- 99.94% of requests saw exactly one version
- 0.00057% saw 2 versions
- 0.00047% saw 3 versions
- 0.00009% saw 4 versions
- Usually triggered by many concurrent requests issued by robots, not human clients

Quorums

- Παράμετροι
  - N replicas
  - R readers
  - W writers
- Στατικό quorum: R + W > N
- Τυπικές τιμές για Dynamo: (N, R, W) == (3, 2, 2)

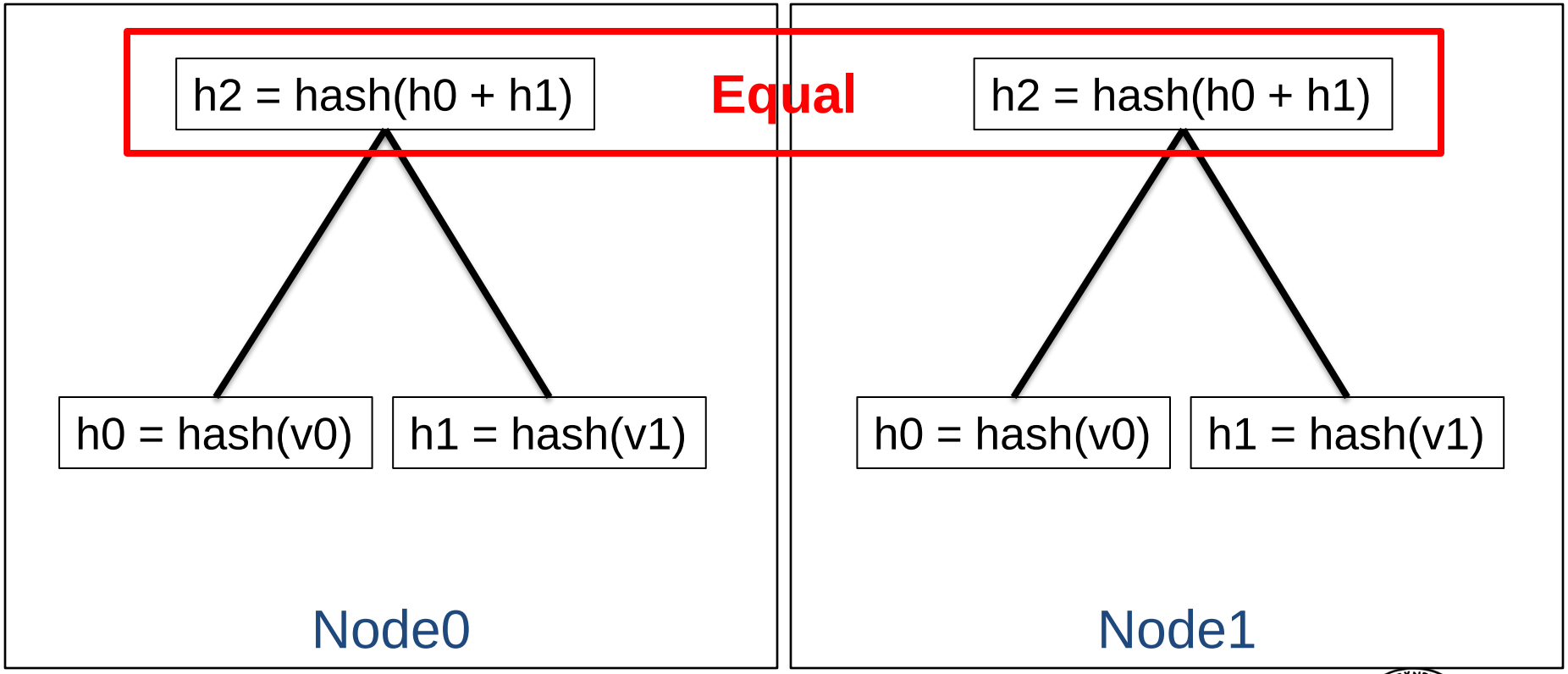
Συγχρονισμός replicas

- Αν ένας κόμβος πεθάνει και ανανήψει, πρέπει να μπορεί γρήγορα να καταλάβει αν πρέπει να συγχρονίσει τα αντίγραφά του ή όχι
  - Η μεταφορά όλων των ζευγών (key, value) για σύγκριση δε συμφέρει

- Merkle trees
  - Τα φύλλα είναι hashes των τιμών του κάθε κλειδιού
  - Οι γονείς είναι hashes των παιδιών τους
  - Η σύγκριση γονέων στο ίδιο επίπεδο δείχνει διαφορά στα παιδιά
  - Μεταφορά μόνο των (key, value) που έχουν αλλάξει

Συγχρονισμός replicas

- Σύγκριση 2 κόμβων που είναι συγχρονισμένοι
  - Two (key, value) pairs: (k0, v0) & (k1, v1)



Συγχρονισμός replicas

- Σύγκριση 2 κόμβων που δεν είναι συγχρονισμένοι
  - One: (k0, v2) & (k1, v1)
  - The other: (k0, v0) & (k1, v1)