

Αρχές σχεδιασμού, λειτουργίες, τυποποίηση

Μιλτιάδης Αναγνώστου

27 Μαρτίου 2015

1/50

Σκοπός και αξία των δικτύων

Πού βρίσκεται η αξία των δικτύων;

Παίκτες - διεπαφές - τυποποίηση

Λειτουργίες, προβλήματα, τεχνικές

Τεχνικές μεταγωγής

Λειτουργίες και αλγόριθμοι

Εγωιστική δρομολόγηση

Επιδόσεις

Μοντέλα αναφοράς - τυποποίηση

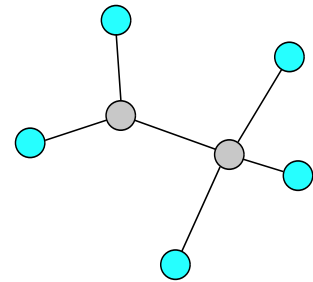
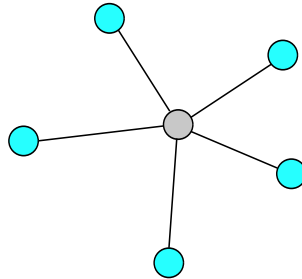
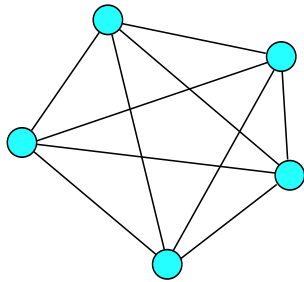
Ιεραρχίες πρωτοκόλλων

Τυποποίηση

2/50

Ποιος είναι ο σκοπός ενός δικτύου;

- ▶ Παλιότερα η απάντηση δινόταν σε σχέση με τις οικονομίες στην υποδομή (σε συνδυασμό με συμπληρωματικά κριτήρια, όπως η αξιοπιστία, η κλιμάκωση κ.λπ.).
- ▶ Δηλαδή λέγαμε ότι σκοπός του δικτύου είναι η
 - ▶ επικοινωνία,
 - ▶ με κοινή χρήση των μέσων.

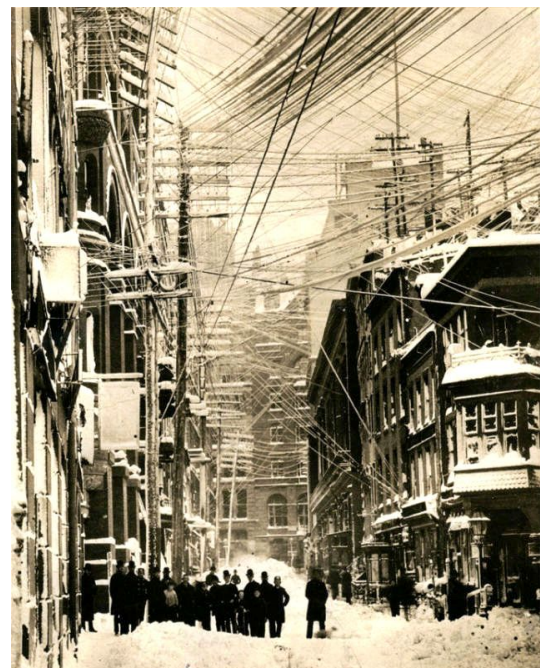


- ▶ Ο λόγος ήταν ότι τα δίκτυα προσέφεραν λίγες υπηρεσίες με πυρήνα την επικοινωνία, π.χ. μόνο τηλεφωνία.

3/50

Νέα Υόρκη 1887

- ▶ Η εφεύρεση του τηλεφώνου κατοχυρώθηκε από τον Graham Bell το 1876.
- ▶ Κάθε ζεύγος συσκευών συνδεόταν με ένα καλώδιο, το «άλλο καλώδιο» ήταν το έδαφος.
- ▶ Το πρώτο μεταγωγικό κέντρο έγινε το 1878 στο New Haven, Connecticut.
- ▶ Το 1890 υπήρχαν διπλά (συνεστραμμένα) καλώδια.



4/50

Ποιος είναι ο σκοπός ενός δικτύου;

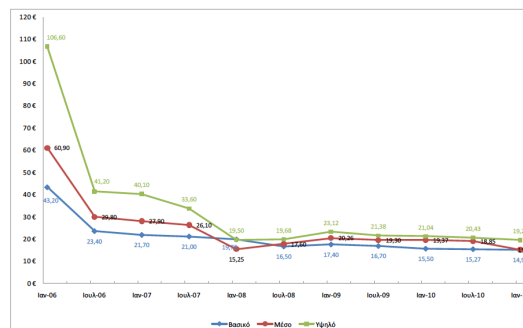
Ο σκοπός του δικτύου είναι επιτρέπει τη λειτουργία εφαρμογών και υπηρεσιών:

- ▶ Εφημερίδες, περιοδικά, βιβλία, οδηγοί χρήσης
- ▶ Ήχος, εικόνα, κινούμενη εικόνα
- ▶ Αγορές υλικών και ψηφιακών προϊόντων
- ▶ Διανομή ψηφιακών προϊόντων
- ▶ Επιταγές, ηλεκτρονικό χρήμα, πιστωτικές
- ▶ Ηλεκτρονική διακυβέρνηση
- ▶ Διεργασίες στην επιχείρηση
- ▶ Τηλεκπαίδευση, τηλε-ιατρική

5/50

Η αξία της επικοινωνίας πέφτει

- ▶ Στο σχήμα φαίνεται η αξία μιας ευρυζωνικής σύνδεσης στην Ελλάδα από τον Ιαν. 2006 ως τον Ιαν. 2011.



- ▶ Η πτώση της αξίας της μονάδας της επικοινωνίας συνδυάζεται με την αύξηση της κίνησης και την αξία των υπηρεσιών, ώστε τελικά να μην πέφτουν τα έσοδα των τηλ. εταιριών.

6/50

Τα έσοδα προέρχονται από τις υπηρεσίες

- ▶ Η αξία στα μάτια του πελάτη βρίσκεται στις υπηρεσίες & εφαρμογές.
- ▶ Ο πελάτης δεν πληρώνει για τη δικτυακή υποδομή, την οποία δεν αντιλαμβάνεται, παρά μόνο σπάνια και συνήθως αρνητικά (όταν χάνεται η επικοινωνία).
- ▶ Επίσης πληρώνει για το τερματικό (κινητό, tablet, φορητό ή σταθερό υπολογιστή κ.λπ.) και το λειτουργικό του σύστημα, επειδή
 - ▶ βλέπει να συνδέεται με τις υπηρεσίες και
 - ▶ υλοποιεί τη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής.

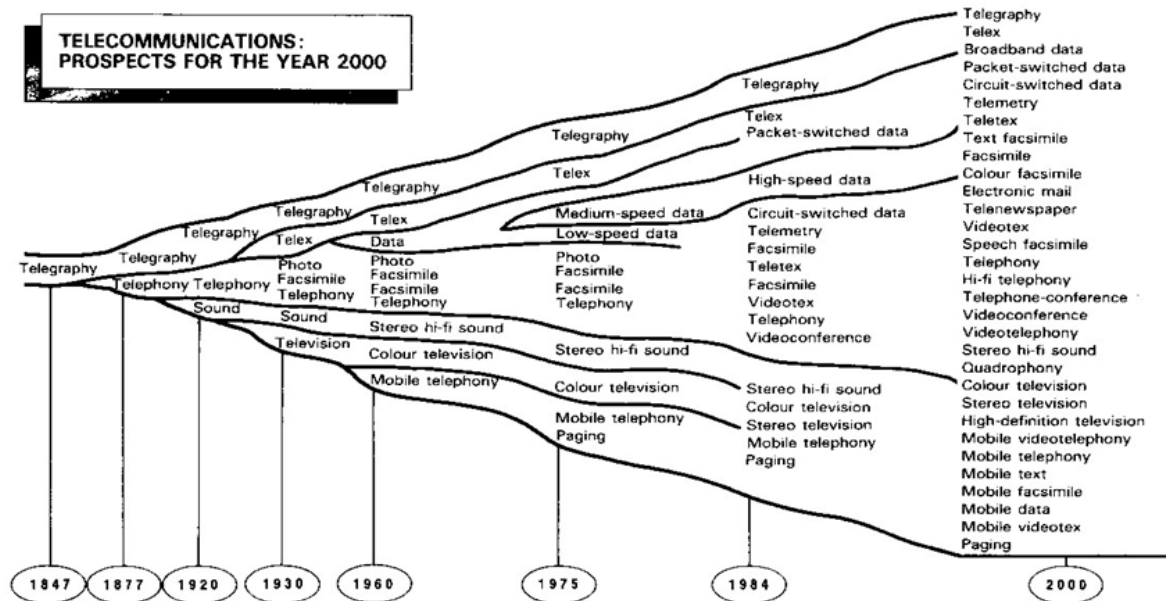
7/50

Ο ανταγωνισμός δικτύου / περιεχομένου

- ▶ Οι πάροχοι περιεχομένου
 - ▶ είναι συχνά ανεξάρτητοι από τους παρόχους δικτύου,
 - ▶ βλέπουν το δίκτυο ως ένα δίκτυο διανομής των υπηρεσιών τους και
 - ▶ ζητούν τυποποίηση ενός μεσισμικού προκειμένου να στήνουν υπηρεσίες ελεύθερα.
- ▶ Αντίθετα οι πάροχοι δικτύου
 - ▶ αρνούνται να παίζουν το ρόλο του απλού παρόχου ενός σωλήνα δεδομένων (bit pipe) και
 - ▶ προσπαθούν να γίνουν ενδιάμεσοι, δηλ. μεταπωλητές περιεχομένου.
- ▶ Όμως τελικά καταστήματα μεταπώλησης υπηρεσιών και περιεχομένου άνοιξαν πρώτοι οι πάροχοι τερματικών.

8/50

Αύξηση και «πρόβλεψη» των υπηρεσιών



[Ungerer, 1990]

9/50

Ο νόμος του Metcalfe

- ▶ Εξωτερικότητα δικτύου: Η επίδραση που έχει ένας χρήστης ενός αγαθού πάνω στους υπόλοιπους (network effect / network externality / demand-side economies of scale).
- ▶ Η αξία ενός δικτύου επικοινωνιών είναι ανάλογη με το τετράγωνο του αριθμού των χρηστών του (Robert Metcalfe, George Gilder, 1980).

Μελλοντικές υπηρεσίες

Σήμερα νομίζουμε ότι αυτό που έρχεται είναι ο «διάχυτος υπολογισμός»:

- ▶ Υπηρεσίες βασιζόμενες στη γνώση της θέσης και γενικότερα
- ▶ υπηρεσίες βασισμένες στη συναίσθηση του περιβάλλοντος και την κατανόηση της κατάστασης και των επιθυμιών του ανθρώπου (context aware)

όπως

- ▶ Έξυπνοι χώροι, έξυπνα αντικείμενα, Διαδίκτυο των πραγμάτων.
- ▶ Ενισχυμένη πραγματικότητα, μικτή πραγματικότητα, εικονική πραγματικότητα.

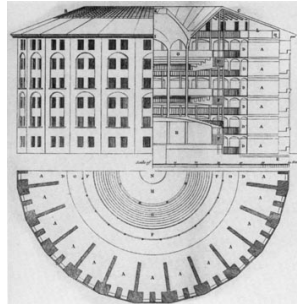
11/50

Παραδείγματα

- ▶ Έξυπνα αντικείμενα, δες π.χ. Mediacup project
- ▶ έξυπνα ενδύματα
- ▶ έξυπνες επιγραφές (smart tags),
- ▶ τα έξυπνα εγχειρίδια χρήσης και συντήρησης συστημάτων,
- ▶ έμμεση (χωρίς παρακολούθηση) ανίχνευση φυσικών καταστροφών, εγκληματικότητας (π.χ. ανιχνευτής πυροβολισμών, μοντέλο Cooltown),
- ▶ παιχνίδια.

12/50

Μερικές από τις παρενέργειες



- ▶ Jeremy Bentham, «Πανοπτικό», 1785,
- ▶ Yevgeny Zamyatin, «Εμείς», 1921,
- ▶ George Orwell, «1984», 1949.
- ▶ Σήμερα: Κάμερες, Cookies, ηλ. κάρτες/εισιτήρια/πληρωμές, κοινωνικά δίκτυα, εμπορικές και κρατικές βάσεις δεδομένων, παρακολουθήσεις επικοινωνιών.

13/50

Μερικά παραδείγματα, σελ. I

- ▶ Πού εργάζεται; Με τι ασχολείται; Πού σπούδασε; Με ποιους συνεργάζεται; Με ποιους μιλάει; Ποιοι είναι οι συγγενείς και φίλοι του; (Facebook, Linkedin, ...)
- ▶ Πού μένει; (τηλεφωνικός κατάλογος, κάρτες επιβράβευσης). Πώς είναι το σπίτι του; (Google streets)
- ▶ Πότε γεννήθηκε; Πώς λέγονται οι γονείς του; (εκλογικές πληροφορίες ΥΠΕΣ, Facebook κ.λπ.)
- ▶ Ποιους φίλους έχει; Συγγενείς; Συνεργάτες; Τι του αρέσει; (cookies, Google+, Facebook)
- ▶ Πώς θα τον αναγνωρίσουμε; Πού ταξιδεύει, συχνάζει και με ποιους; (Facebook, Google+, Foursquare, flickr, Picasa Web Albums, Panoramio.)

14/50

Μερικά παραδείγματα, σελ. II

- ▶ Τι αγορές κάνει ή θα ήθελε να κάνει; (Ηλεκτρονικά καταστήματα, μηχανές αναζήτησης).
- ▶ Πώς διασκεδάζει; (Αγορά εισιτηρίων online).
- ▶ Πόσα λεφτά έχει και πού; (Υπουργείο Οικονομικών, μυστικές υπηρεσίες).
- ▶ Τι κείμενα γράφει; Τι ιδέες έχει; (Blogs, Facebook, Twitter, online file storage, file sharing).
- ▶ Πώς είναι η υγεία του; (health apps).
- ▶ Ποιο είναι τα βιομετρικά του χαρακτηριστικά; (Βιομετρικός έλεγχος πρόσβασης).

15/50

Παίκτες στο χώρο των δικτύων

- ▶ πάροχος δικτυακής πρόσβασης
- ▶ πάροχος δικτύου
- ▶ συνδρομητής
- ▶ χρήστης υπηρεσιών
- ▶ δημιουργός υπηρεσίας/περιεχομένου
- ▶ μεσίτης υπηρεσιών/περιεχομένου
- ▶ εισπράκτορας
- ▶ κάτοχος τερματικού
- ▶ ιδιοκτήτης τερματικού
- ▶ προμηθευτής τερματικού



Cezanne: Οι χαρτοπαίκτες

16/50

Πώς επηρεάζουν οι παίκτες το σύστημα;

- ▶ Επωμίζονται μέρη του αρχικού και του λειτουργικού κόστους, απολαμβάνουν υπηρεσίες και κέρδη.
- ▶ Διατυπώνουν απαιτήσεις που εξυπηρετούν τους σκοπούς τους.
- ▶ Κλείνουν μεταξύ τους συμφωνίες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος.
- ▶ Κατέχουν, ελέγχουν και χρησιμοποιούν διαφορετικά υποσυστήματα και υποσύνολα του εξοπλισμού. Επομένως επηρεάζουν την αρχιτεκτονική του συστήματος, το διαχωρισμό του σε συνιστώσες, την θέση κάθε συνιστώσας, τις διεπαφές ανάμεσά τους και την τυποποίηση.

17/50

Τι πρέπει να κάνει ένα δίκτυο:

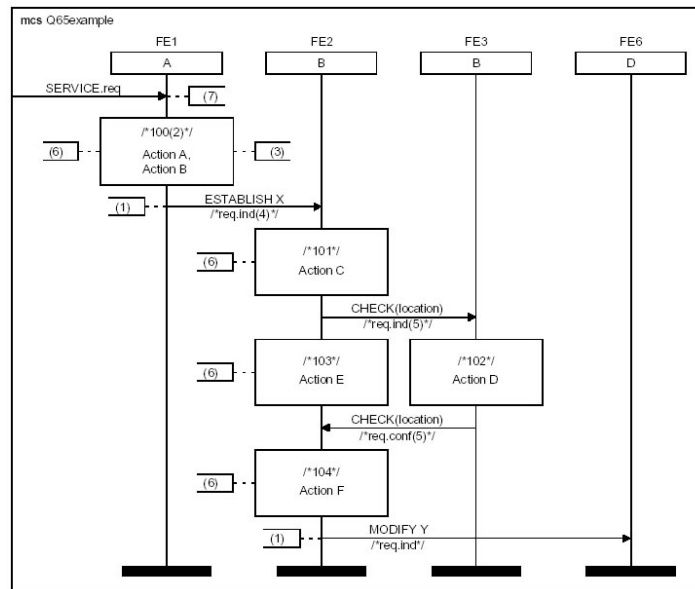
Η υπηρεσία ως κατανεμημένη αλγοριθμική διαδικασία

1. Αναμονή μέχρι να σηκωθεί το ακουστικό του τηλεφώνου.
2. Δέσμευση ενός καταχωρητή για το συγκεκριμένο τηλέφωνο.
3. Αποστολή τόνου επιλογής προς το τηλέφωνο.
4. Αποθήκευση του επιλεγέντος αριθμού στον καταχωρητή.
5. Καθορισμός της διαδρομής της κλήσης με βάση τον αριθμό κλήσης.
6. Εγκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ των δύο πλευρών.
7. Πιστοποίηση ότι ο καλούμενος είναι ελεύθερος.
8. Κουδούνισμα προς τον καλούμενο.
9. Αναμονή μέχρι να σηκωθεί το ακουστικό του καλούμενου.
10. Εκκίνηση του μετρητή χρέωσης.
11. Μεταφορά των φωνητικών σημάτων μεταξύ των δύο πλευρών.
12. Τερματισμός της κλήσης όταν κατεβεί το ακουστικό.
13. Απενεργοποίηση του μετρητή χρέωσης.
14. Αποδέσμευση των γραμμών που χρησιμοποιήθηκαν.

18/50

Συμπέρασμα: Πως υλοποιείται μια υπηρεσία

- ▶ Εκτελώντας μια σειρά δράσεων.
- ▶ Μέσα από τη συνεργασία καταναμεμένων οντοτήτων.



19/50

Προβλήματα που καλείται να επιλύσει ένα δίκτυο I

- Δρομολόγηση** Πώς οι πληροφορίες θα βρουν το δρόμο τους μέσα στο δίκτυο;
- Έλεγχος συμφόρησης** Πώς θα αποφευχθεί ο συνωστισμός σε τμήματα του δικτύου;
- Ασφάλεια** Πώς θα διαφυλαχθούν οι πληροφορίες από όσους θέλουν να τις υποκλέψουν; Πώς δε θα πάρουν τον έλεγχο των κόμβων εισβολείς;
- Τυποποίηση** Πώς θα επιτευχθεί συνεργασία συσκευών και προγραμμάτων που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές;

20/50

Προβλήματα που καλείται να επιλύσει ένα δίκτυο II

Παρουσίαση της πληροφορίας Πώς οι πληροφορίες θα εμφανίζονται με την κατάλληλη κάθε φορά μορφή ανάλογα με το είδος τους και το διαθέσιμο τερματικό;

Κινητικότητα του χρήστη Πώς αυτός θα παίρνει κάθε φορά τις κατάλληλες πληροφορίες παρά το γεγονός ότι μετακινείται;

21/50

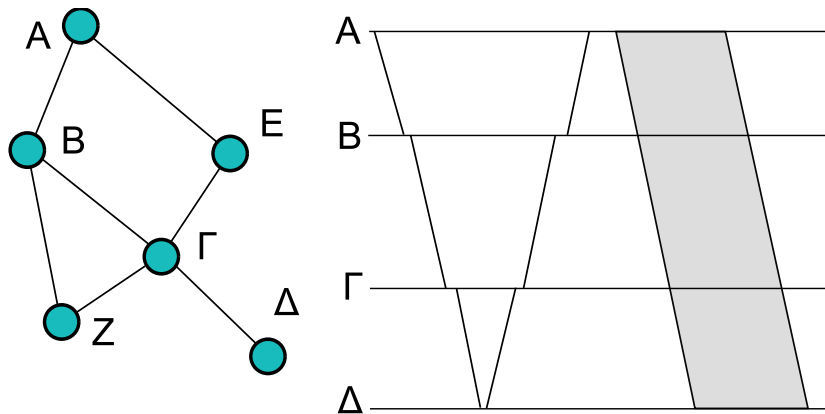
Μεταγωγή

Ιστορική προέλευση του όρου:



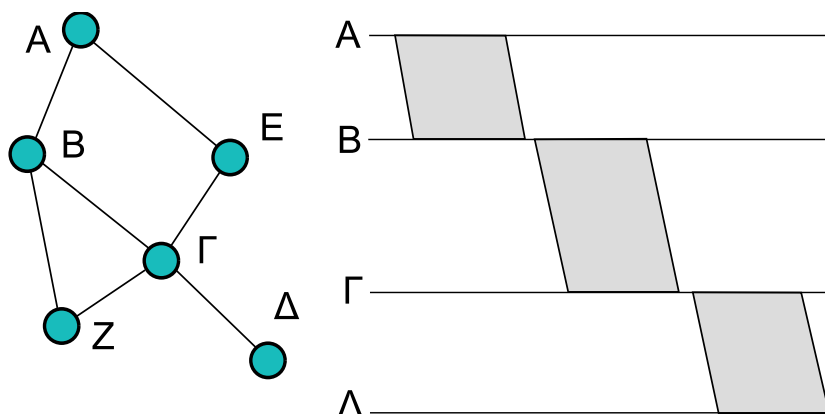
22/50

Μεταγωγή κυκλώματος



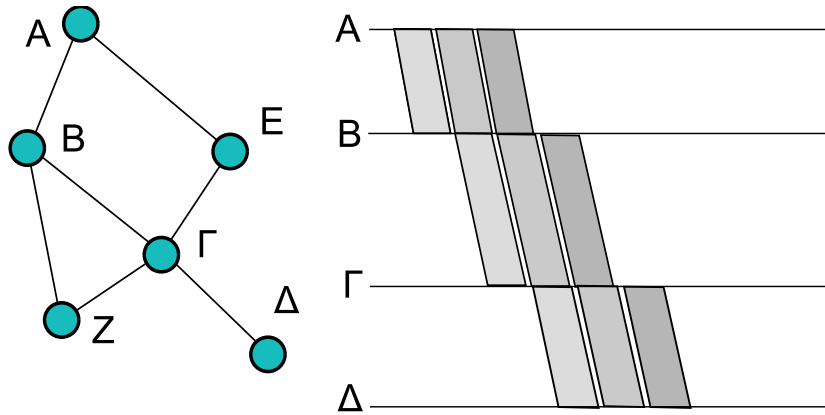
23/50

Μεταγωγή μηνύματος



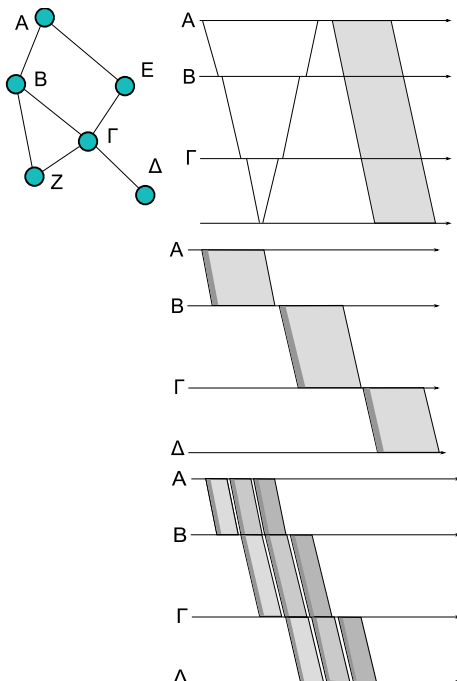
24/50

Μεταγωγή πακέτου



25/50

Σύγκριση ανάμεσα στις τρεις τεχνικές μεταγωγής

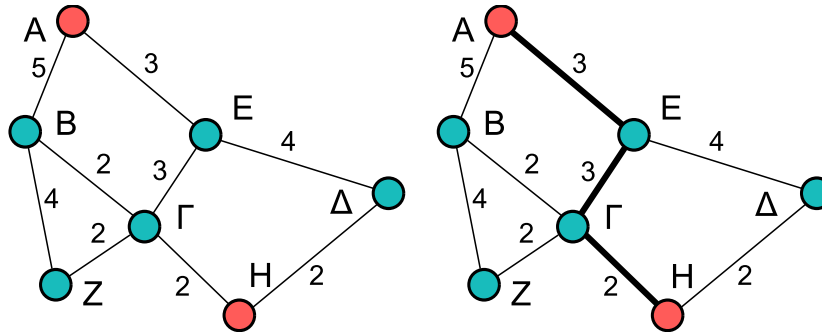


- Ποια τεχνική είναι πιο γρήγορη;
- Ποιοι παράγοντες καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα;

26/50

Ελάχιστη διαδρομή

Αν οι επιγραφές σημαίνουν αποστάσεις, ποια είναι η ελάχιστη διαδρομή A-H;

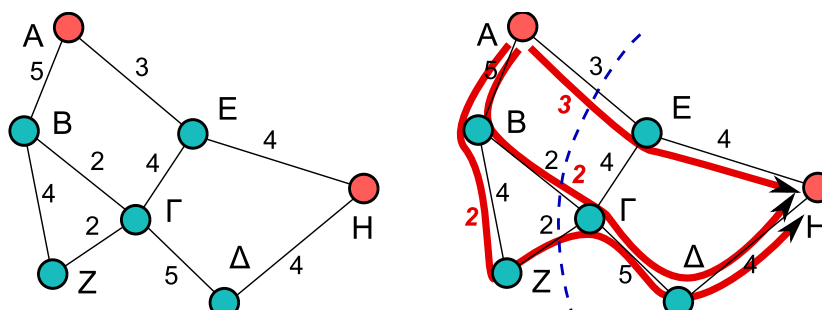


- Επιλύεται με πολυωνυμικό αλγόριθμο, π.χ. τον αλγ. του Dijkstra.
- Οι «αποστάσεις» μπορούν να παριστάνουν καθυστερήσεις, κόστη κ.λπ.

27/50

Μεταφορική ικανότητα: Μέγιστη ροή - ελάχιστη τομή

Στο σχήμα οι επιγραφές υποδηλώνουν χωρητικότητες. Πόση κίνηση μπορούμε να μεταφέρουμε απ' το A στο H;

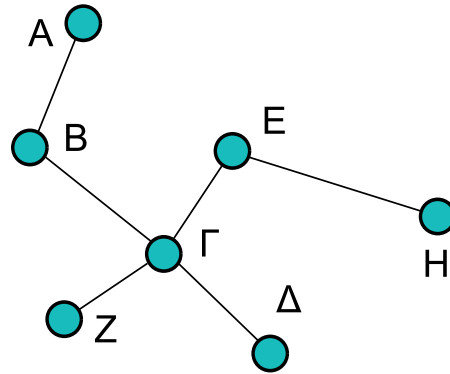
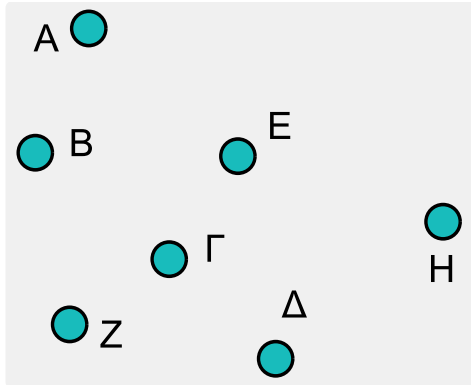


- Η μέγιστη ροή περιορίζεται απ' την ελάχιστη τομή.
- Η μέγιστη ροή υπολογίζεται με αλγόριθμο βαθμιαίας αύξησης της ροής (πολυωνυμικής πολυπλοκότητας).

28/50

Δίκτυο ελάχιστου μήκους: Ελάχ. διατρέχον δέντρο

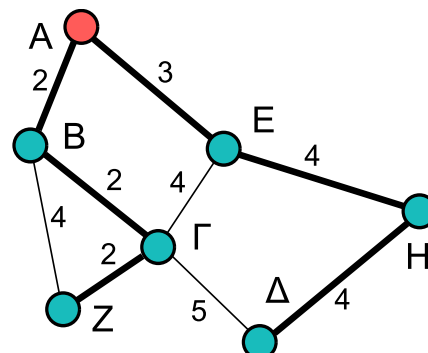
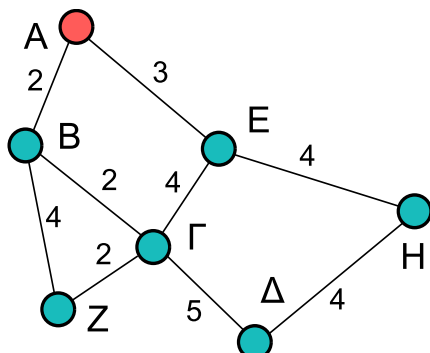
Δίνονται κόμβοι με γνωστές αποστάσεις. Ποιο είναι το ελάχιστου συνολικού μήκους δίκτυο;



29/50

Εκπομπή: Ελάχιστου κόστους δέντρο διανομής

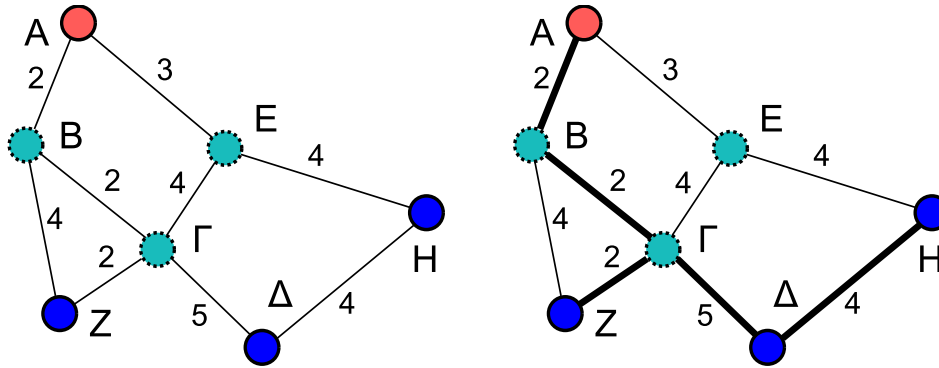
- ▶ Δίνεται δίκτυο με κόστος χρήσης ανά ζεύξη. Ποιο είναι το ελάχιστου συνολικού κόστους δίκτυο εκπομπής προερχόμενης από τον κόμβο Α;
- ▶ Αλγόριθμος του Prim (greedy)



30/50

Πολυδιανομή: Ελάχιστου κόστους δέντρο διανομής

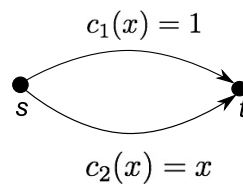
Δίνεται δίκτυο με κόστος χρήσης ανά ζεύξη. Ποιο είναι το ελάχιστου συνολικού κόστους δίκτυο διανομής από τον κόμβο Α προς τους κόμβους Ζ, Δ, Η;



- ▶ Το βέλτιστο δέντρο είναι γνωστό ως δέντρο Steiner.
- ▶ Πρόκειται για δύσκολο (NP-πλήρες) πρόβλημα.

31/50

Εγχειριστική δρομολόγηση (Pigou, 1920)



- ▶ Δύο δρόμοι ενώνουν τις πόλεις s , t .
- ▶ Η καθυστέρηση (ή κόστος κ.λπ.) $c_1(x)$ στον πάνω δρόμο είναι σταθερή: $c_1(x) = 1$
- ▶ Η καθυστέρηση $c_2(x)$ στον κάτω δρόμο είναι ανάλογη της κίνησης: $c_2(x) = x$
- ▶ Η συνολικά διαθέσιμη κίνηση είναι ίση με 1, οπότε ποια κατανομή της ελαχιστοποιεί τη μέση καθυστέρηση;
- ▶ Τι θα συμβεί αν κάθε οδηγός αποφασίσει μόνος του «εγχειριστικά»;

32/50

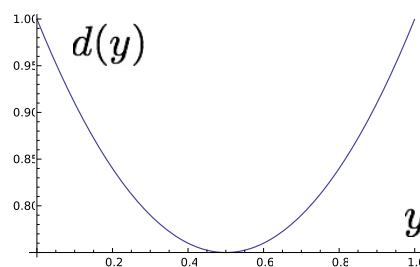
Συγκεντρωτική βέλτιστη λύση

- ▶ Αν στον πάνω δρόμο η κίνηση είναι $1 - y$, στον κάτω θα είναι y , οπότε η μέση καθυστέρηση είναι

$$d(y) = 1 - y \times 1 + y \times y = 1 - y + y^2$$

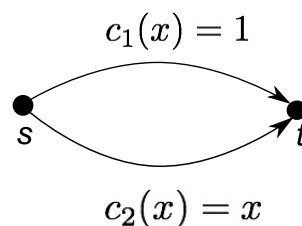
- ▶ Επειδή $d'(y) = -1 + 2y$, η παράγωγος μηδενίζεται για $y = 1/2$, άρα το βέλτιστο είναι

$$d(1/2) = 1 - 1/2 + (1/2)^2 = 3/4$$



33/50

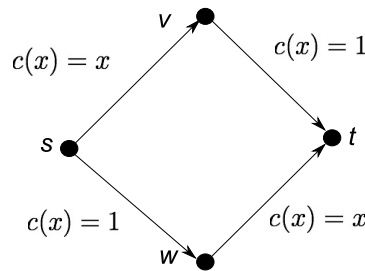
Εγχειριστική λύση - Price of Anarchy



- ▶ Όλοι θα επιλέξουν τον κάτω δρόμο, σκεπτόμενοι ότι ακόμη κι αν ελάχιστοι άλλοι επιλέξουν τον πάνω δρόμο θα έχουν κέρδος.
- ▶ Το αποτέλεσμα είναι ότι κανείς δεν έχει κέρδος.
- ▶ Price of Anarchy = $4/3$. Βλ. και [Roughgarden, 2005]

34/50

Το παράδοξο του Braess (1968)



- ▶ Δύο δρόμοι ενώνουν τις πόλεις s , t .
- ▶ Η καθυστέρηση και στους δύο δρόμους είναι ίδια, ίση με $1 + x$.
- ▶ Αν στον πάνω δρόμο η κίνηση είναι z , στον κάτω θα είναι $1 - z$, οπότε η μέση καθυστέρηση είναι

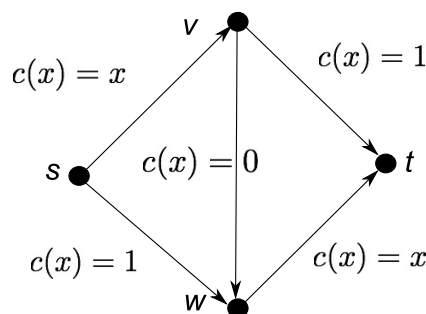
$$d(y) = z \times (z + 1) + (1 - z) \times (1 - z + 1)$$

και ελαχιστοποιείται σε $3/2$ για $z = 1/2$.

- ▶ Το ίδιο αποτέλεσμα δίνει η εγωιστική δρομολόγηση.

35/50

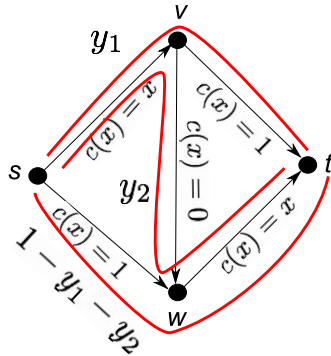
Το παράδοξο του Braess: Βελτίωση του δικτύου



- ▶ Κατασκευάζουμε ένα δρόμο μηδενικής καθυστέρησης μεταξύ v , w .
- ▶ Το ερώτημα είναι τι αλλάζει στη βέλτιστη λύση και τι στην εγωιστική λύση.

36/50

Το παράδοξο του Braess: Βέλτιστη λύση



y_1 στη διαδρομή
 $s - v - t$.

y_2 στη διαδρομή
 $s - v - w - t$.

$1 - y_1 - y_2$ στη διαδρομή
 $s - w - t$.

- ▶ Το κόστος σε κάθε ακμή ξεχωριστά είναι:

- ▶ Στο (s, v) : $(y_1 + y_2)^2$
- ▶ Στο (v, t) : y_1
- ▶ Στο (s, w) : $1 - y_1 - y_2$
- ▶ Στο (w, t) : $[(1 - y_1 - y_2) + y_2]^2 = (1 - y_1)^2$
- ▶ Στο (v, w) : 0

- ▶ Άρα το συνολικό κόστος είναι

$$f(y_1, y_2) = (y_1 + y_2)^2 + 1 - y_2 + (1 - y_1)^2$$

37/50

Βέλτιστη λύση

- ▶ Η συνάρτηση

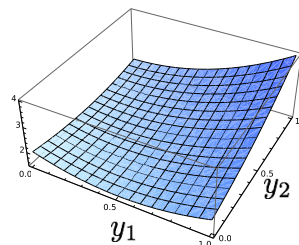
$$f(y_1, y_2) = (y_1 + y_2)^2 + 1 - y_2 + (1 - y_1)^2$$

με τους περιορισμούς $y_1 \geq 0, y_2 \geq 0$ ελαχιστοποιείται για

$$y_1 = 1/2, \quad y_2 = 0$$

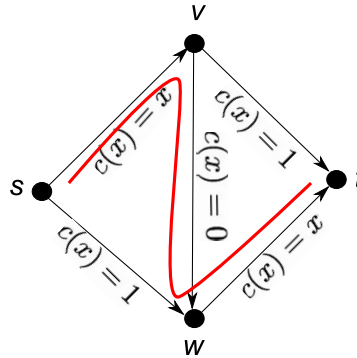
και

$$\min_{y_1, y_2} f(y_1, y_2) = f(1/2, 0) = 3/2$$



38/50

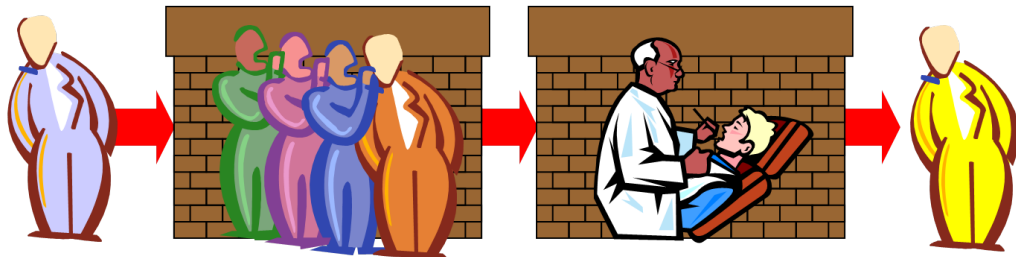
Το παράδοξο του Braess: Εγχειριστική λύση



- ▶ Στην εγχειριστική δρομολόγηση όλοι θα προτιμήσουν προφανώς τη διαδρομή $s - v - w - t$.
- ▶ Επομένως όλοι ($x = 1$) θα υποφέρουν καθυστέρηση ίση με $2x = 2$
- ▶ Άρα η βελτίωση στο δίκτυο δίνει υποβάθμιση στην περίπτωση της εγχειριστικής δρομολόγησης.

39/50

Σύστημα αναμονής $A/B/n$



A : Στατιστική περιγραφή αφίξεων

B : Στατιστική περιγραφή χρόνου εξυπηρέτησης
 n : Αριθμός εξυπηρετούντων



25

40/50

Το σύστημα αναμονής $M/M/1$

- ▶ $A = M$ = αφίξεις Poisson (memoryless): Η πιθανότητα να εμφανισθούν N αφίξεις σε διάστημα t είναι

$$\Pr\{N(t) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

όπου λ είναι ο ρυθμός αφίξεων (δηλ. $E\{N(t)\} = \lambda t$).

- ▶ $A = M$ = ο χρόνος εξυπηρέτησης T του πελάτη είναι εκθετικά κατανεμημένος, ήτοι

$$\Pr\{T \leq \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau}$$

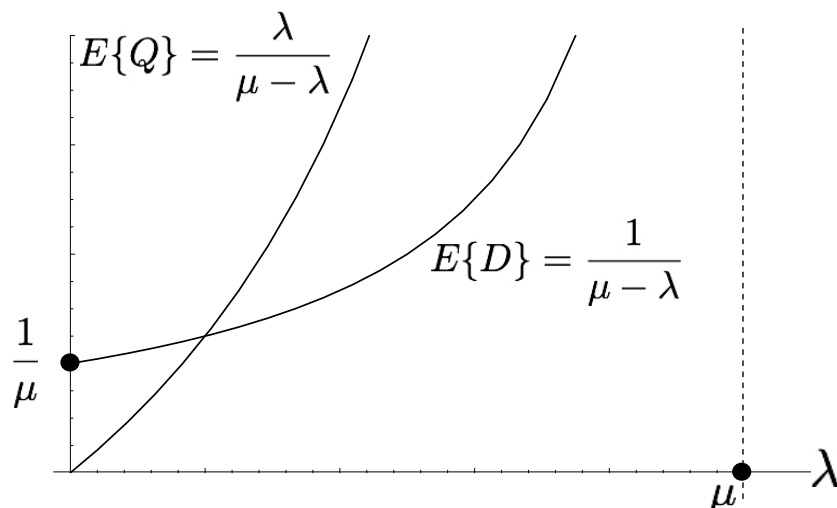
- ▶ Τότε η μέση καθυστέρηση είναι

$$E\{D\} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

- ▶ Ο νόμος του Little: $E\{Q\} = \lambda E\{D\}$

41/50

Μέση ουρά και καθυστέρηση στο $M/M/1$



42/50

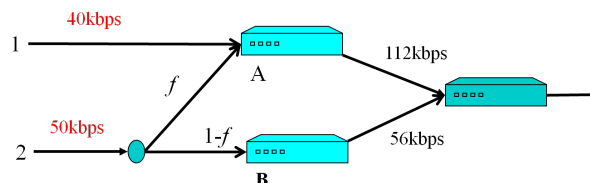
Επιπρόσθετα εργαλεία

- ▶ Η προσέγγιση του Kleinrock: Όταν οι αφίξεις σ' ένα δίκτυο είναι Poisson και η κίνηση είναι πυκνή μπορούμε κατά προσέγγιση να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο M/M/1 για τον υπολογισμό ουρών και καθυστερήσεων.
- ▶ Το θεώρημα του Burke: Η έξοδος του M/M/1 είναι Poisson.
- ▶ Δύο ρεύματα αφίξεων Poisson με ρυθμούς λ_1 και λ_2 εφόσον συντεθούν σχηματίζουν ρεύμα Poisson με ρυθμό $\lambda_1 + \lambda_2$.

43/50

Παράδειγμα 1: Δίκαιη δρομολόγηση

Θέλουμε ίση καθυστέρηση ανάμεσα στα δύο ρεύματα 1 και 2.



Για πακέτα μήκους 1000 bits.

$$E\{D_A\} = \frac{1}{\mu_A - \lambda_A} = \frac{1}{112 - (40 + f \times 50)}$$

$$E\{D_B\} = \frac{1}{\mu_B - \lambda_B} = \frac{1}{56 - (1 - f)50}$$

$$E\{D_1\} = E\{D_A\}$$

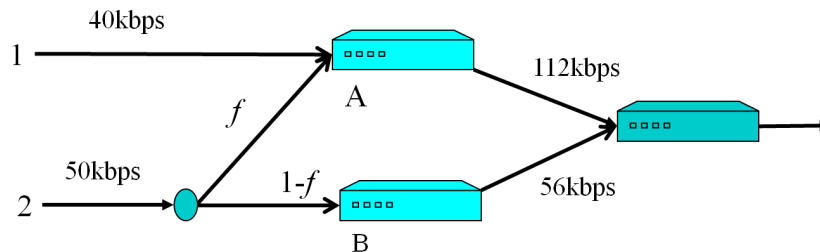
$$E\{D_1\} = f E\{D_A\} + (1 - f)E\{D_B\}$$

$$E\{D_1\} = E\{D_2\} \Leftrightarrow f = 0,66$$

44/50

Παράδειγμα 2: Δρομολόγηση ελάχιστης καθυστέρησης

Θέλουμε ελάχιστη καθυστέρηση κατά μέσο όρο στο σύνολο των εισερχομένων πακέτων.



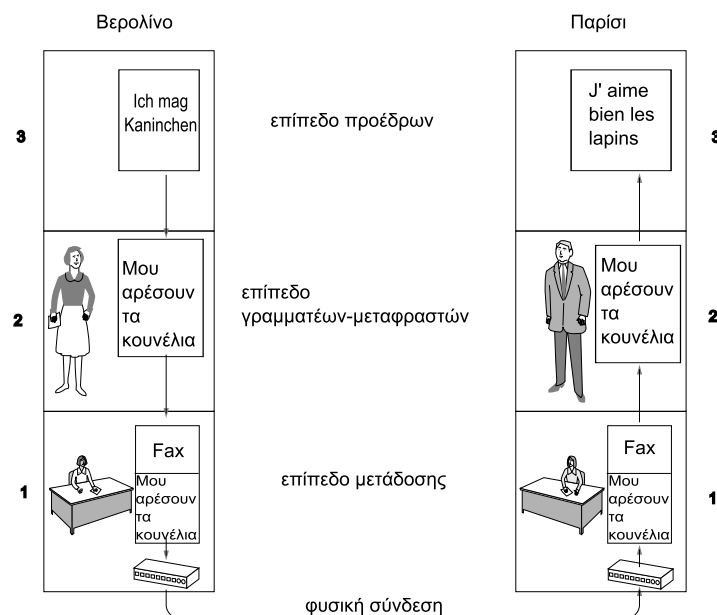
Η συνολική μέση καθυστέρηση είναι

$$E\{D\} = \frac{40}{90}E\{D_1\} + \frac{50}{90}E\{D_2\}$$

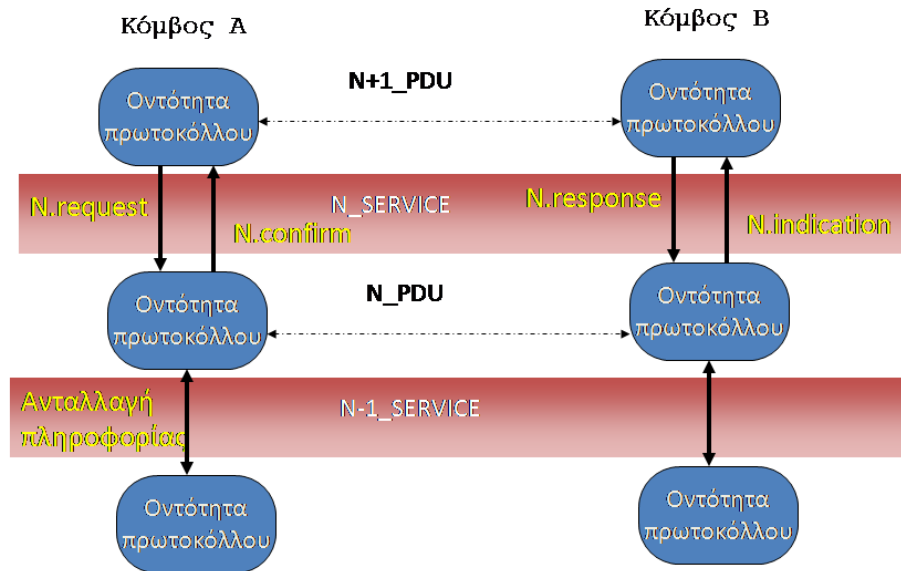
όπου $E\{D_1\}$, $E\{D_2\}$, $E\{D_A\}$, $E\{D_B\}$ όπως στο προηγ. παράδ.
Η $E\{D\}$ ελαχιστοποιείται όταν $f = 0,46$.

45/50

Ιεραρχίες πρωτοκόλλων: Ένα παράδειγμα

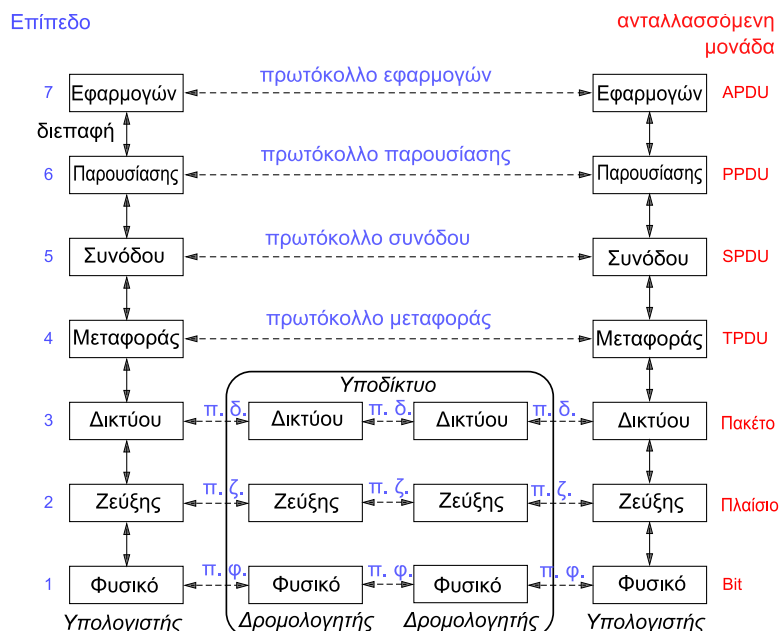


Ιεραρχίες πρωτοκόλλων: Το γενικό μοντέλο

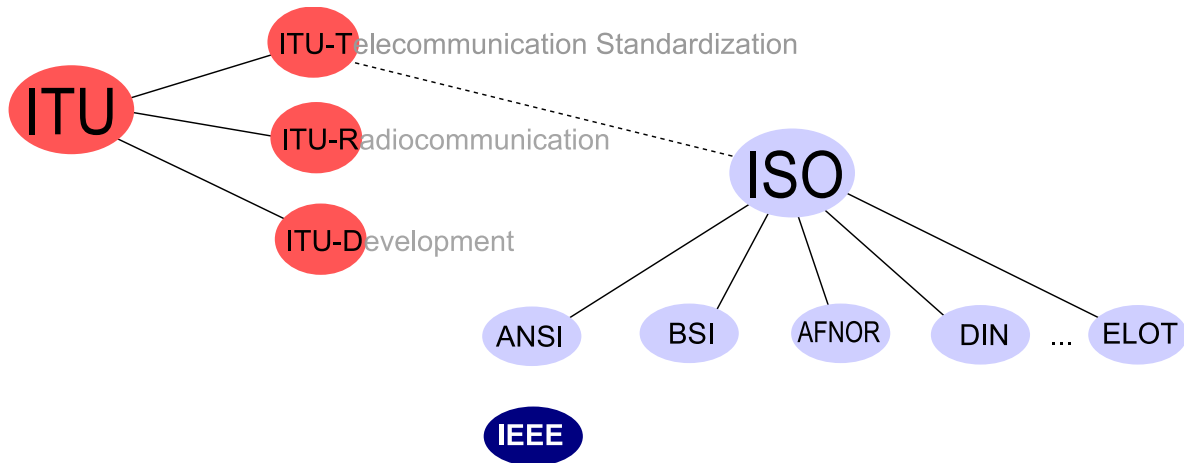


47/50

Ιεραρχίες πρωτοκόλλων: Το μοντέλο αναφοράς OSI



Οργανισμοί τυποποίησης



49/50

Βιβλιογραφία

-  Andrew. S. Tanenbaum, David J. Weatherall, *Computer Networks*, 5th Edition, Prentice Hall, 2011.
-  H. Ungerer, N. Costello, *Telecommunications in Europe*, Commission of the European Communities, Brussels, 1990.
-  Mark Weiser, "Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, Vol. 26, Issue 10, pp. 71-72, Oct. 1993.
-  «12η Εξαμηνιαία αναφορά για την Ευρυζωνικότητα», *Παρατηρητήριο για την Κοινωνία της Πληροφορίας*, 2011.
-  Tim Roughgarden. "Selfish Routing and the Price of Anarchy," MIT Press, 2005.