



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Δίκτυα Υπολογιστών

Μαρία Παπαδοπούλη

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
 - που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
 - που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
 - που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Εισαγωγή

- Διαδικαστικά
- Ανασκόπηση
- Βασικές έννοιες

Σκοποί

- Εκμάθηση βασικών
 - Αρχών σχεδίασης
 - Φαινομένων μετάδοσης σημάτων, προβλημάτων, προκλήσεων
 - Πρωτοκόλλων
 - Εφαρμογών
 - Αρχιτεκτονικών
- Όχι μόνο “πώς” λειτουργούν τα δίκτυα υπολογιστών, αλλά και “γιατί” λειτουργούν με τον συγκεκριμένο τρόπο
- **Κατανόηση δικτύων** με πρακτικές ασκήσεις και πειράματα, προγραμματιστικές εργασίες, θεωρητικές/στατιστικές ασκήσεις, φροντιστήρια/εργαστήρια

Ύλη μαθήματος: θέματα που καλύπτονται 1

- Σήματα, μεταδόσεις σημάτων
- Δικτυακές αρχιτεκτονικές, στοίβα TCP/IP, διαστρωμάτωση
- Εφαρμογές δικτύων
- Διεπαφές προγραμματισμού δικτύων (π.χ., sockets)
- Μεταφορά δεδομένων
- Συμφόρηση δικτύων

Ύλη μαθήματος: θέματα που καλύπτονται 2

- Δρομολόγηση
- Πρωτόκολλα ξεύξης δεδομένων
- Διευθυνσιοδότηση
- Τοπικά δίκτυα
- Ασύρματα δίκτυα
- Ασφάλεια δικτύων
- Διαχείριση δικτύων

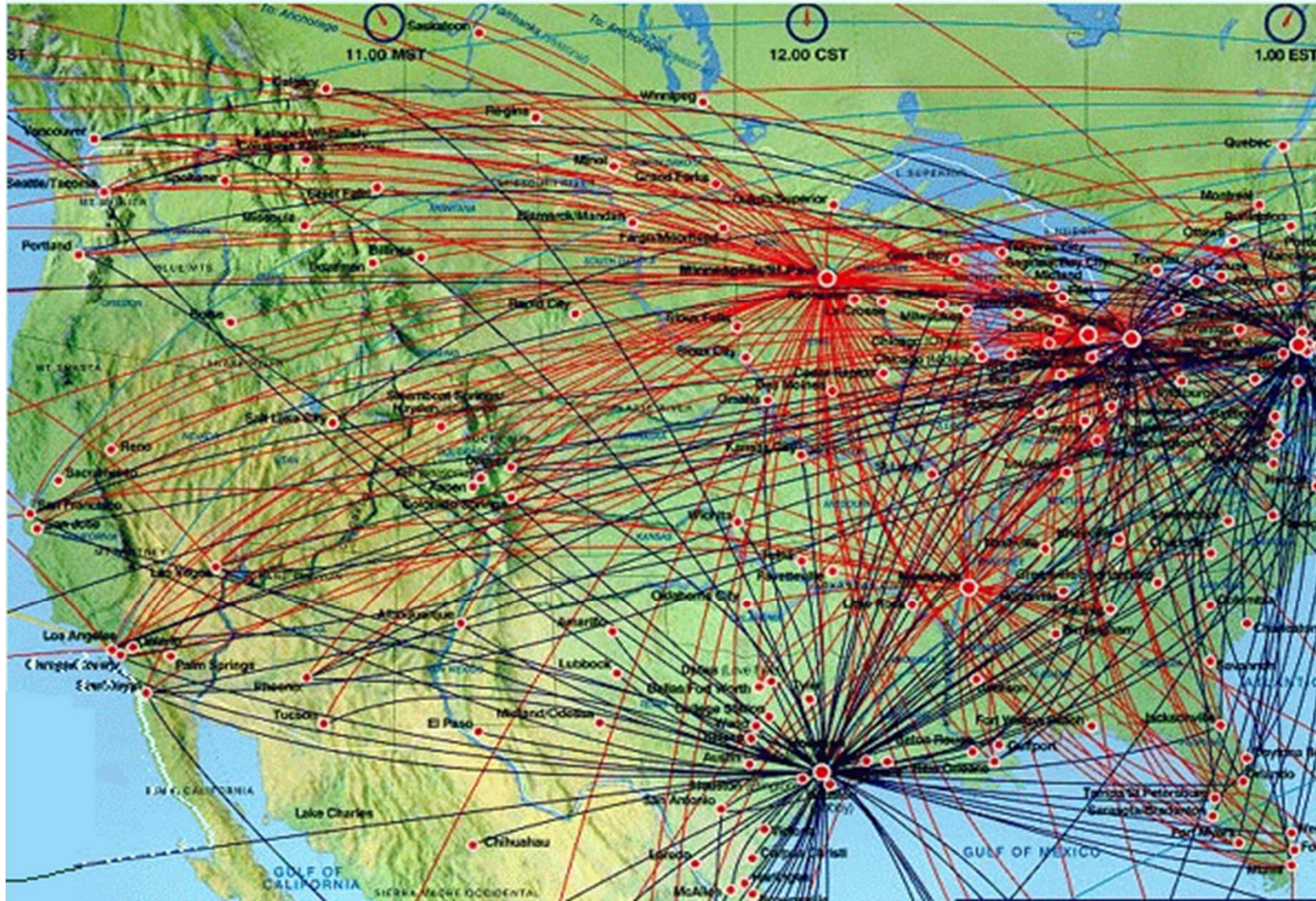
Περιεχόμενα

- Εισαγωγή στα δίκτυα επικοινωνιών και στις υπηρεσίες που παρέχουν
- Φυσικό επίπεδο
- Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων
- Τοπικά δίκτυα
- Επίπεδο δικτύου και μεταφοράς
- Υψηλότερα επίπεδα
- Νέες τάσεις και προχωρημένα θέματα

Παραδείγματα Δικτύων

- Αερομεταφορών
- Βιολογικά
- Κοινωνικά
- Ερευνητών
- Υπολογιστών

Δίκτυα αερομεταφορών



Δίκτυα Ερευνητών

“The Erdős Number Project”

<http://www.oakland.edu/enp>

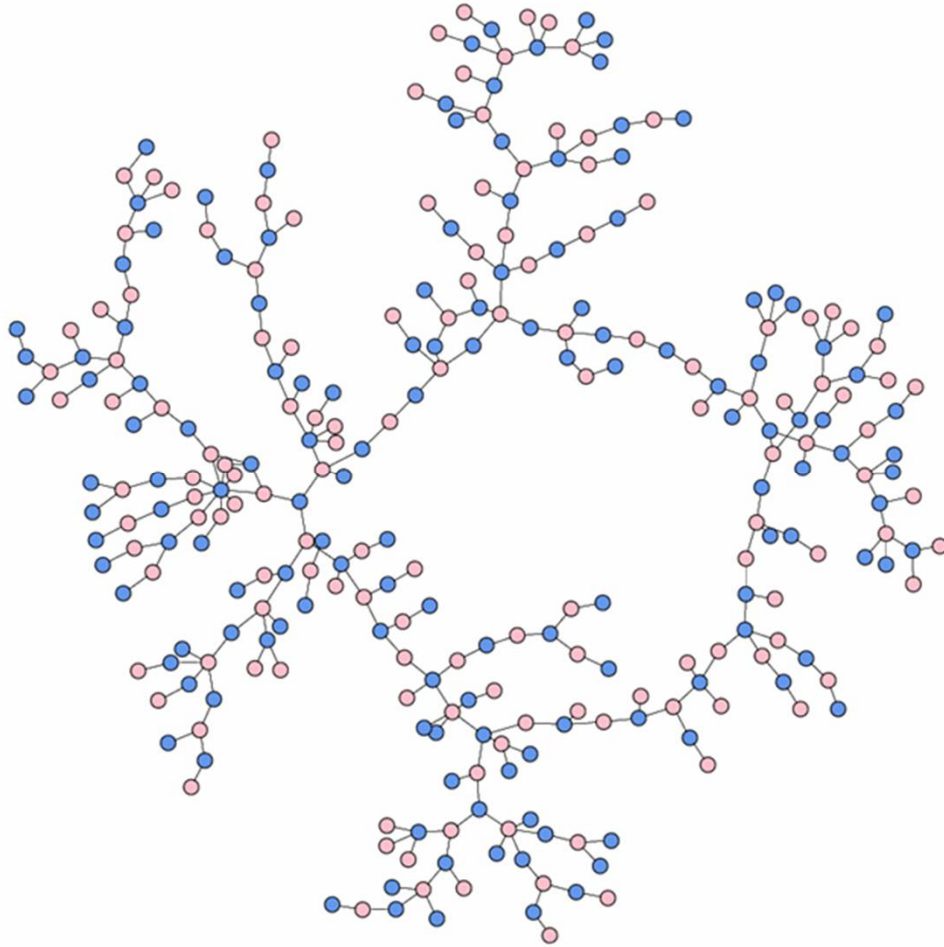


*Co-authors of Paul Erdős have number 1,
co-authors of co-authors number 2, etc.*

*Mathematicians form a highly clustered
($C = 0.14$) small world ($L = 7.64$)*

High school dating:

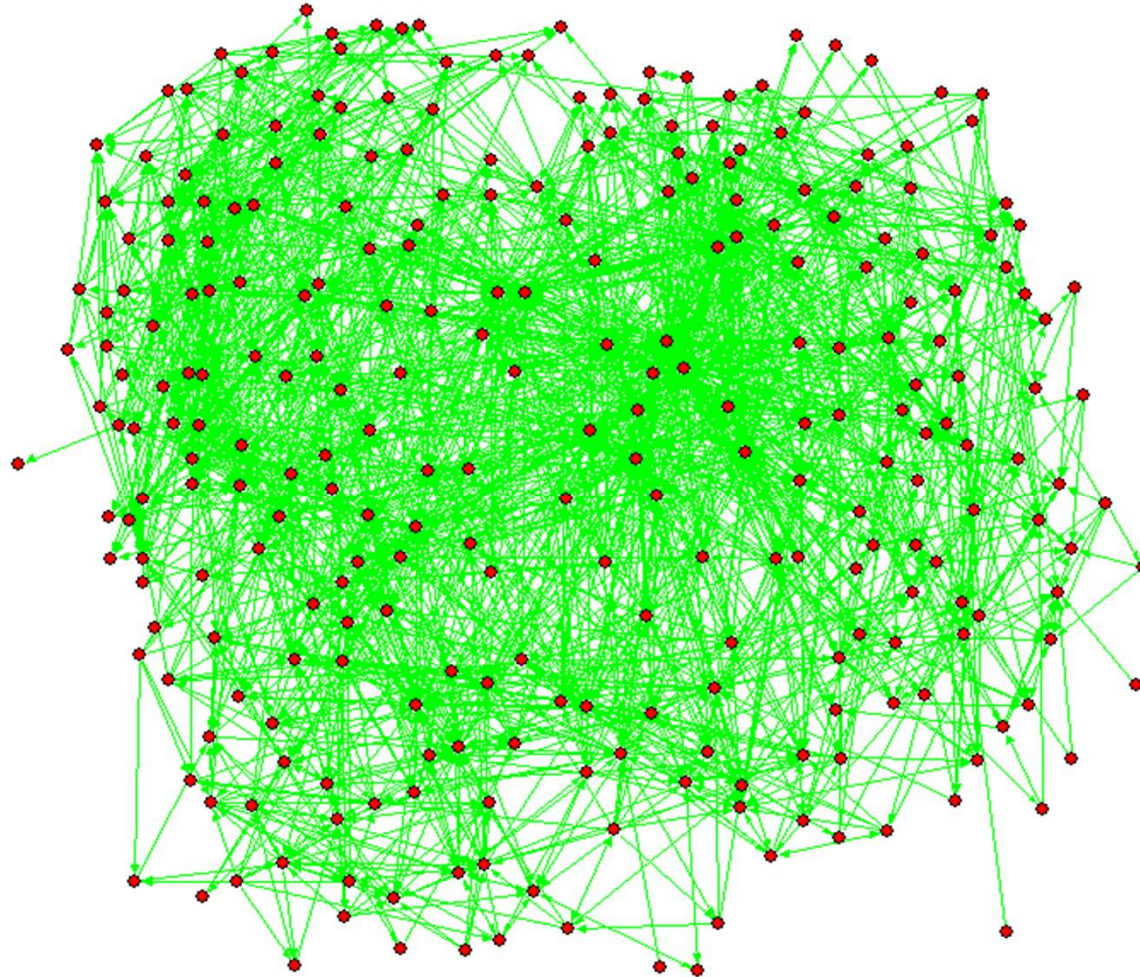
Data drawn from Peter S. Bearman, James Moody, and Katherine Stovel
visualized by Mark Newman



Slide from Constantine Dovrolis's lecture (net-science-overview)

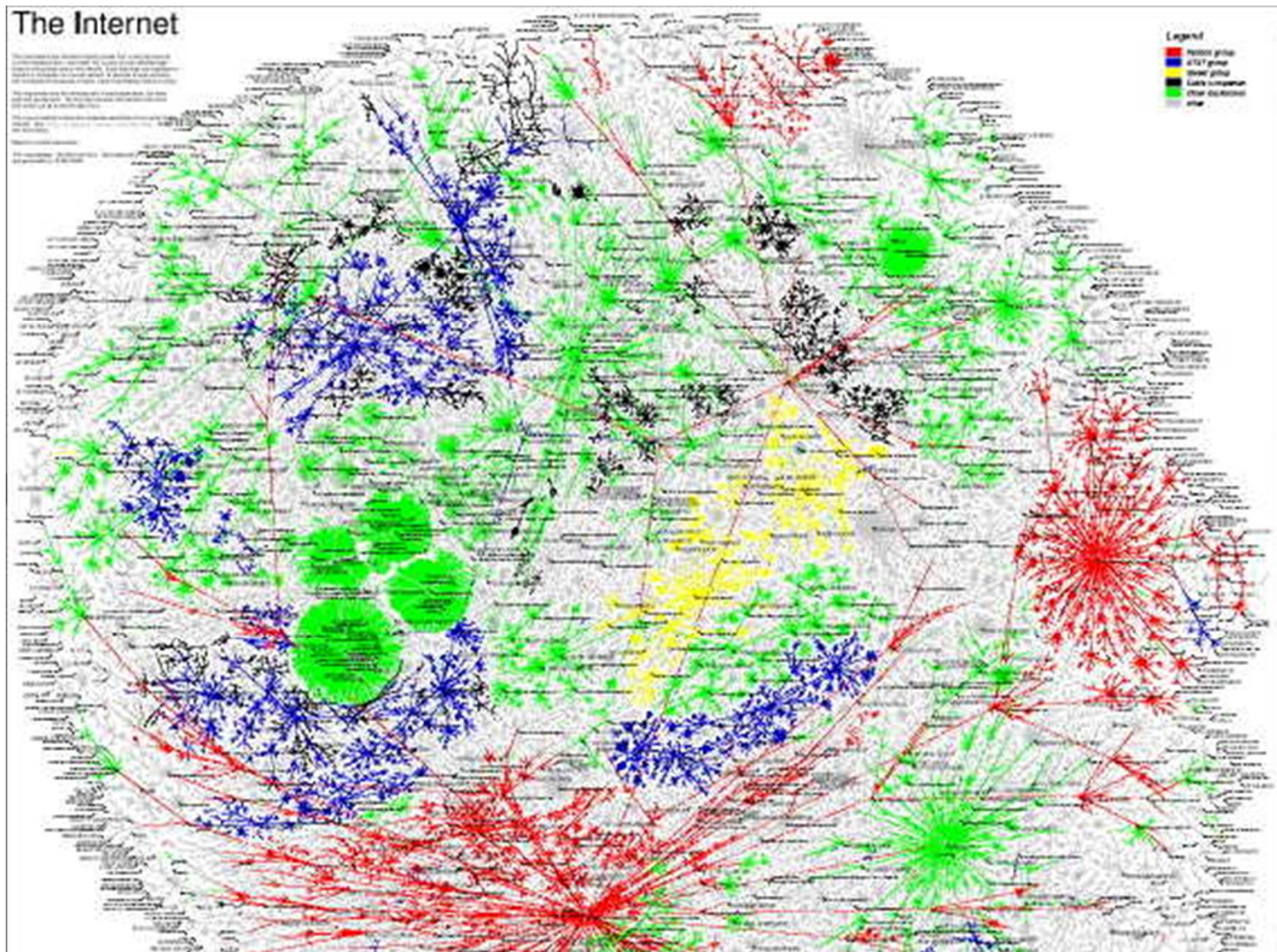


C. elegans neuronal net

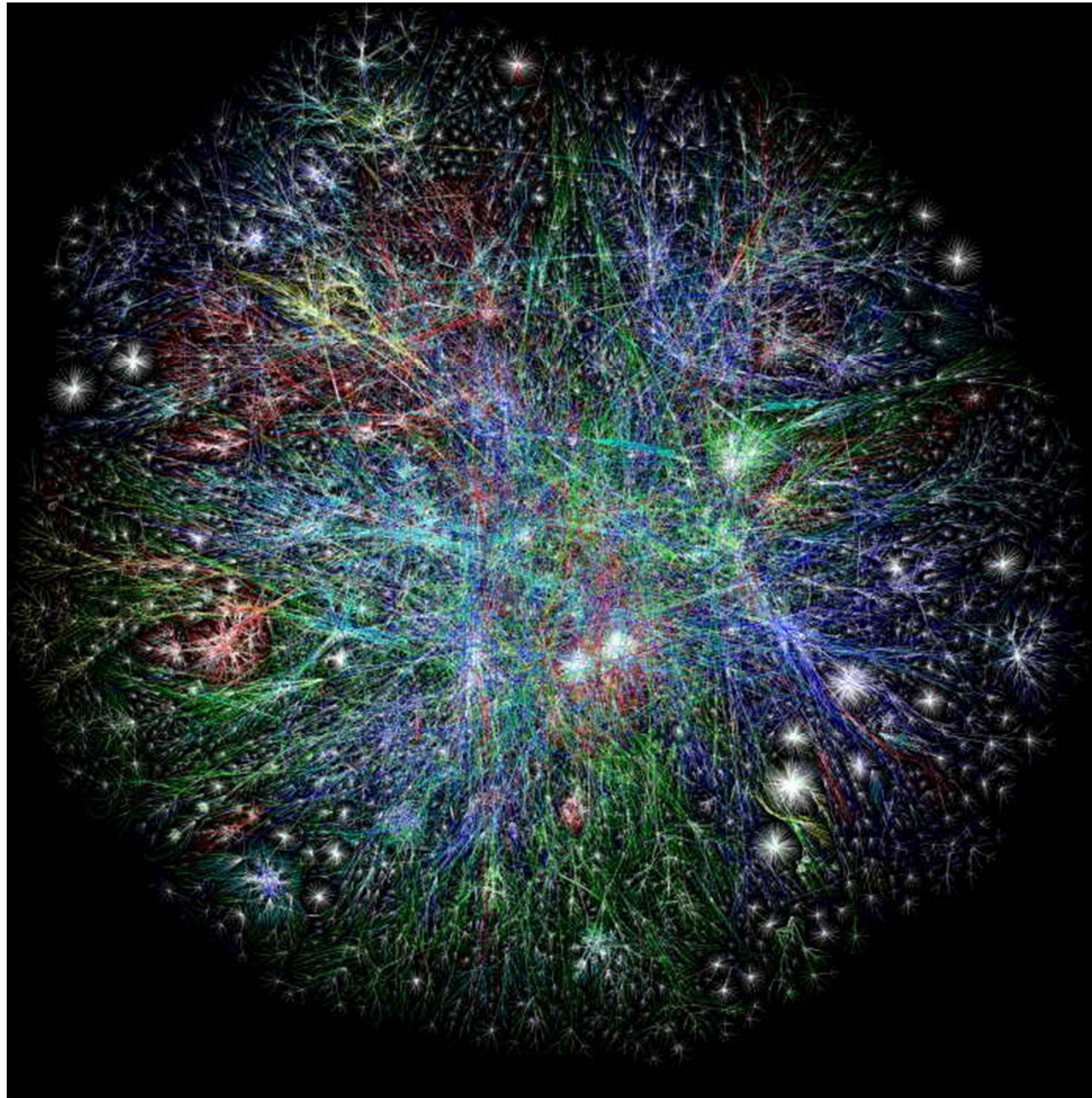


Slide from Constantine Dovrolis's lecture (net-science-overview)

Internet



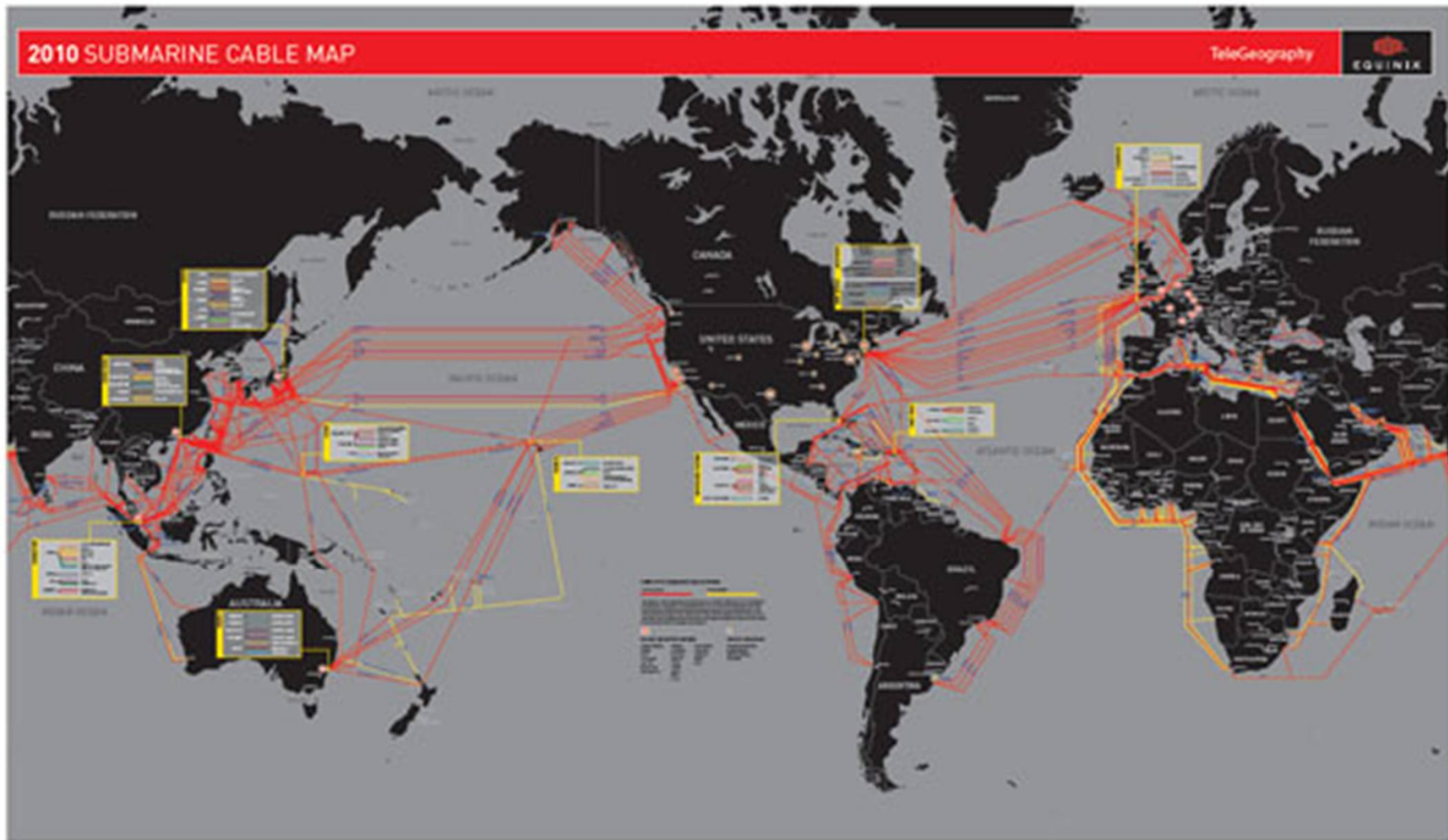
<https://www.youtube.com/watch?v=i5oe63pOhLI&list=PL46CCA2DED66B87BB&index>



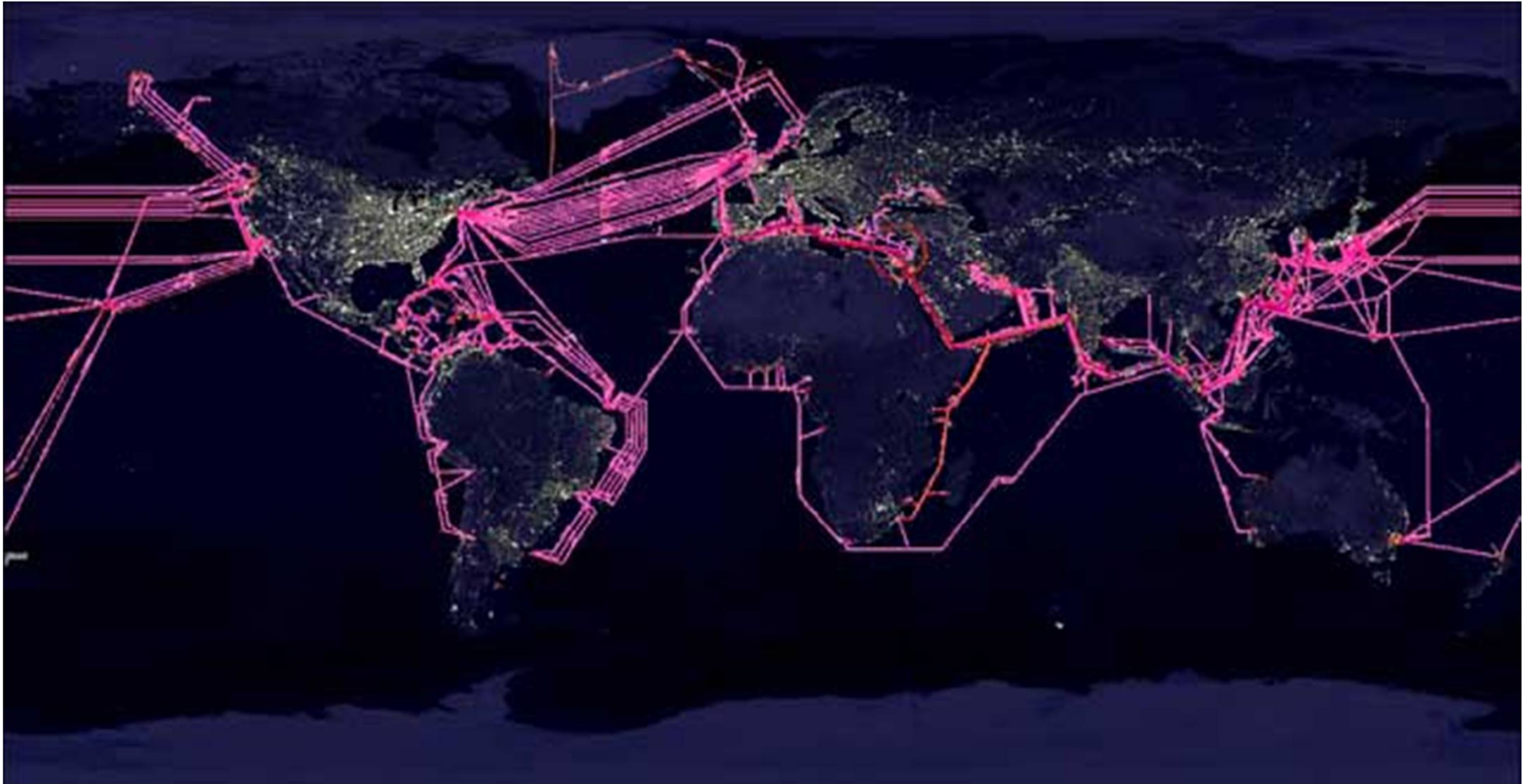
<https://www.youtube.com/watch?v=XE>
FPEFpHt4

(6.53)

Χάρτης του υποθαλάσσιου δικτύου οπτικών ινών



Χάρτης του υποθαλάσσιου δικτύου οπτικών ινών



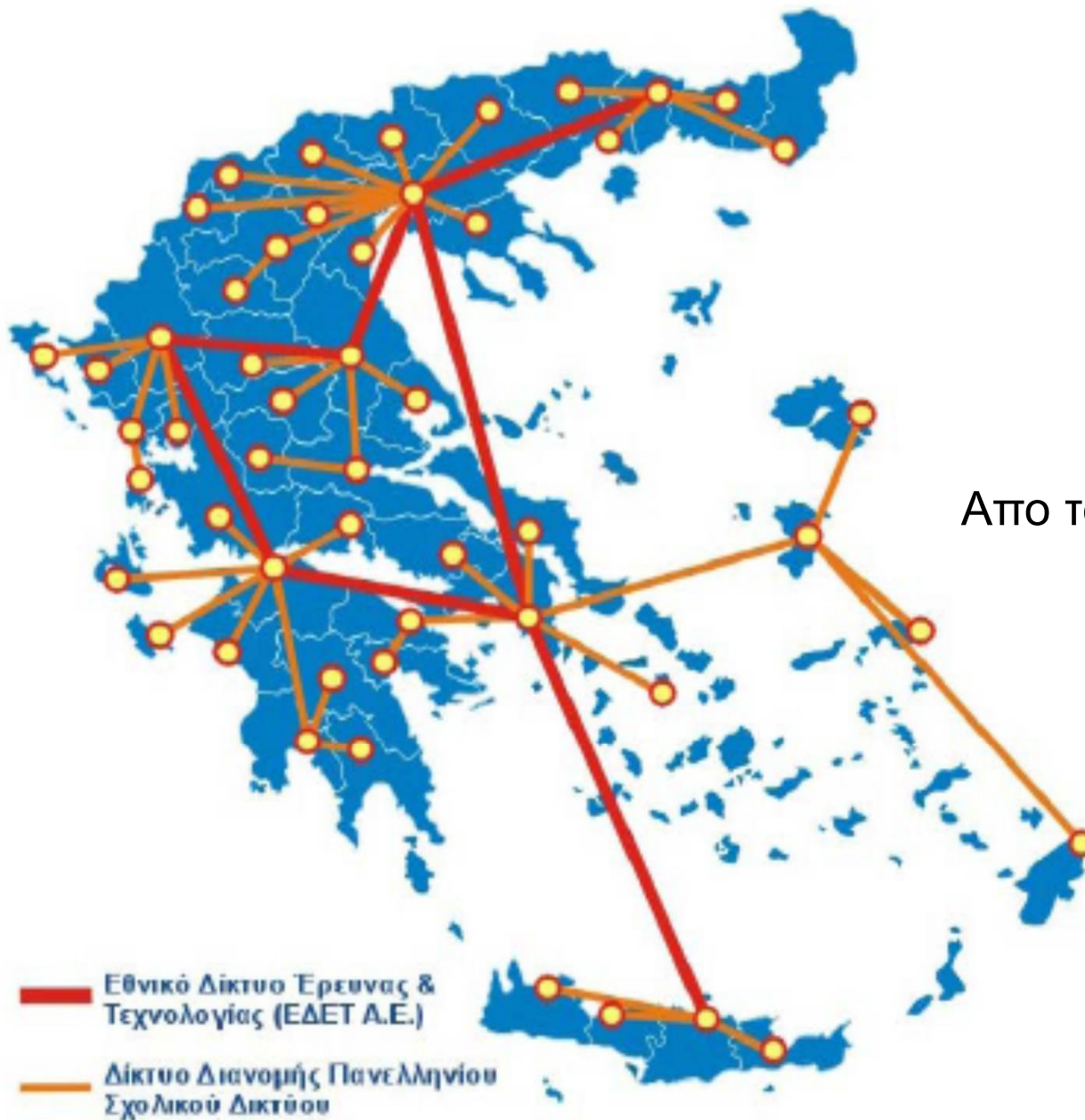
Internet Machine

<http://www.wired.com/2014/05/stunning-photos-of-the-internets-hidden-infrastructure/>

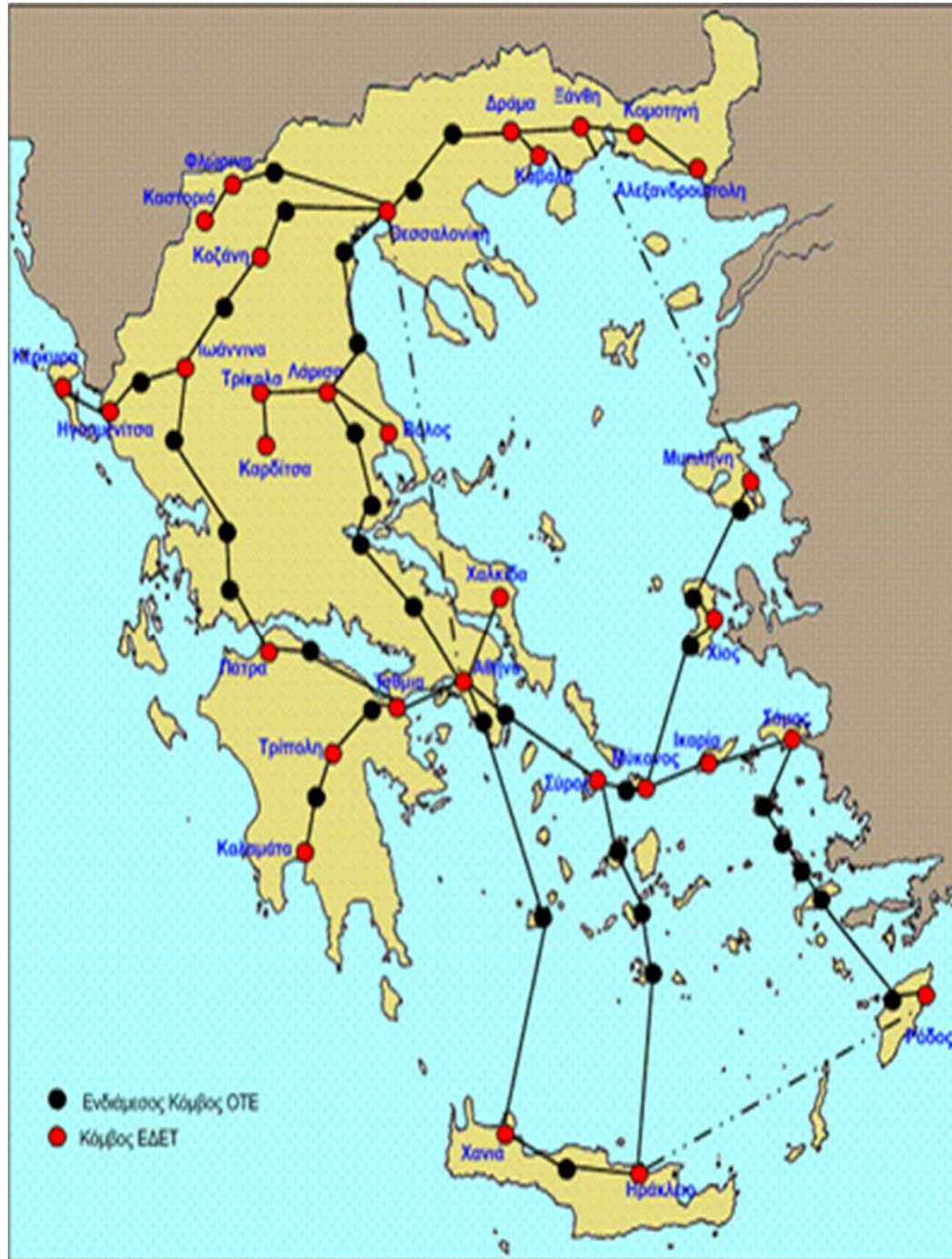
The Internet architecture grow to a global scale.

Fortunately, nobody owns the Internet, there is no centralized control, and nobody can turn it off. Its evolution depends on rough consensus about technical proposals, and on running code. Engineering feed-back from real implementations is more important than any architectural principles.

[RFC 1958](#); B. Carpenter; *Architectural Principles of the Internet*; June, 1996.



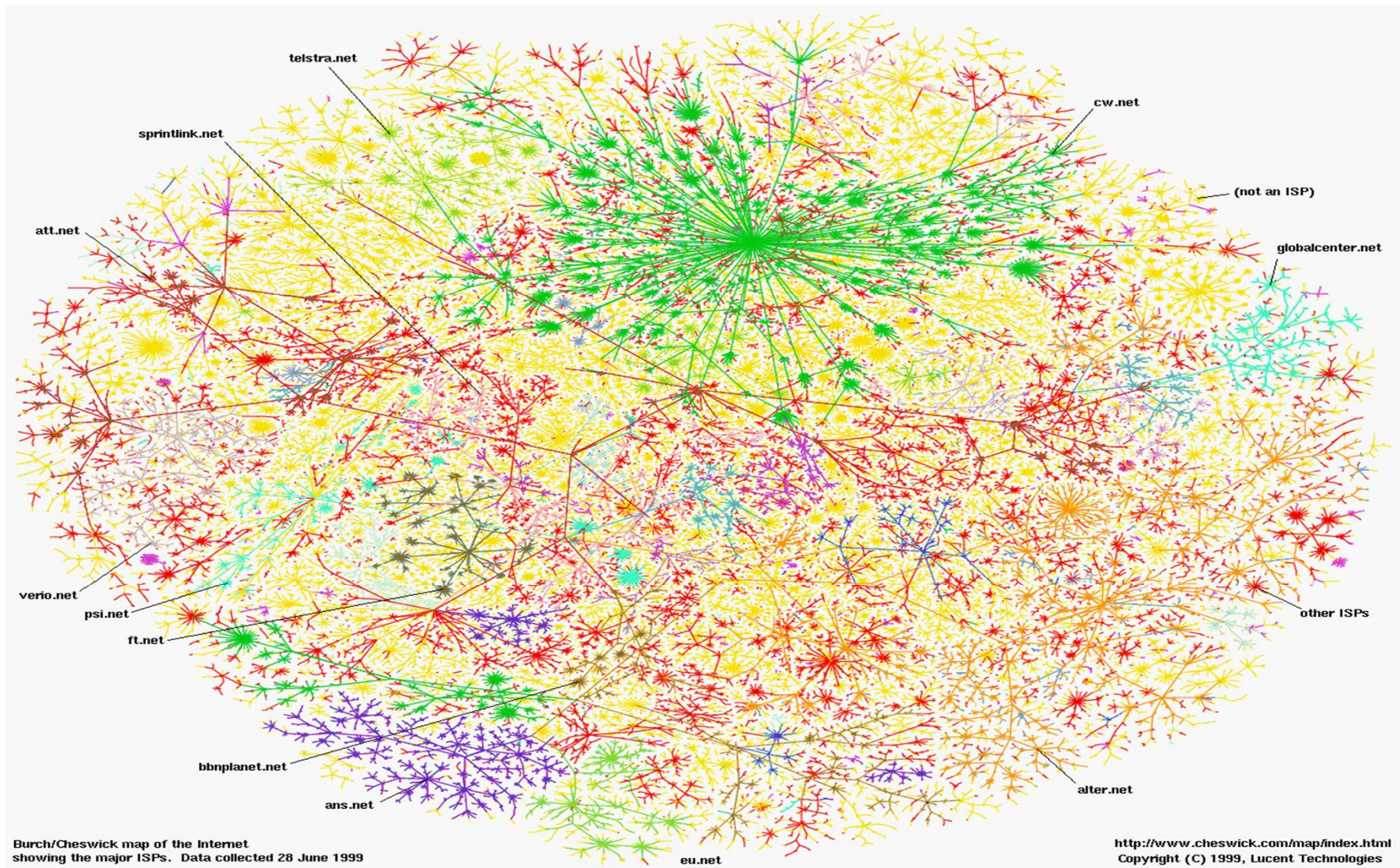
Απο το www.grnet.gr



Η διεθνής διασύνδεση του
 ΕΔΕΤ
 στο Πανευρωπαϊκό Δίκτυο
 GEANT
 αναβαθμίστηκε το 2006
 σε 2x10Gbps

Ολοι οι κόμβοι βασίζονται
 σε δρομολογητές ταχυτήτων
 Gbps και διασυνδέονται
 μεταξύ τους με ένα δίκτυο
 ταχυτήτων 2.5Gbps από τον
 ΟΤΕ

Showing the major Internet Service Providers (ISPs)





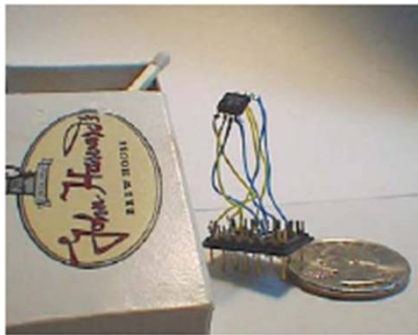
Γνωστές διαδικτυακές συσκευές



Δικτυακή κορνίζα
www.ceiva.com



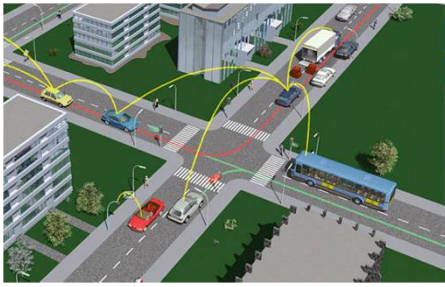
Διαδικτυακή τοστιέρα που
κάνει πρόγνωση καιρού



Ο μικρότερος εξυπηρετητής του κόσμου
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>



Διαδικτυακά τηλέφωνα



Information Services

Education Services



Entertainment Television



Information Services



Software Distribution



Interactive Games



Electronic Shopping

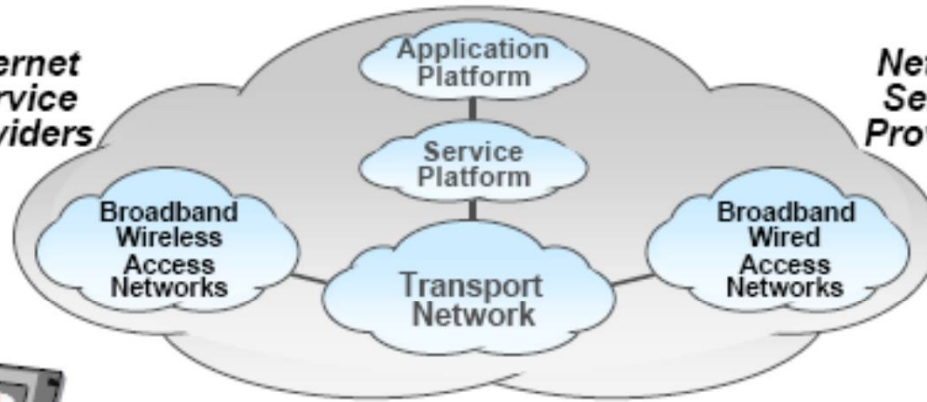


Application Service Providers

Internet Service Providers



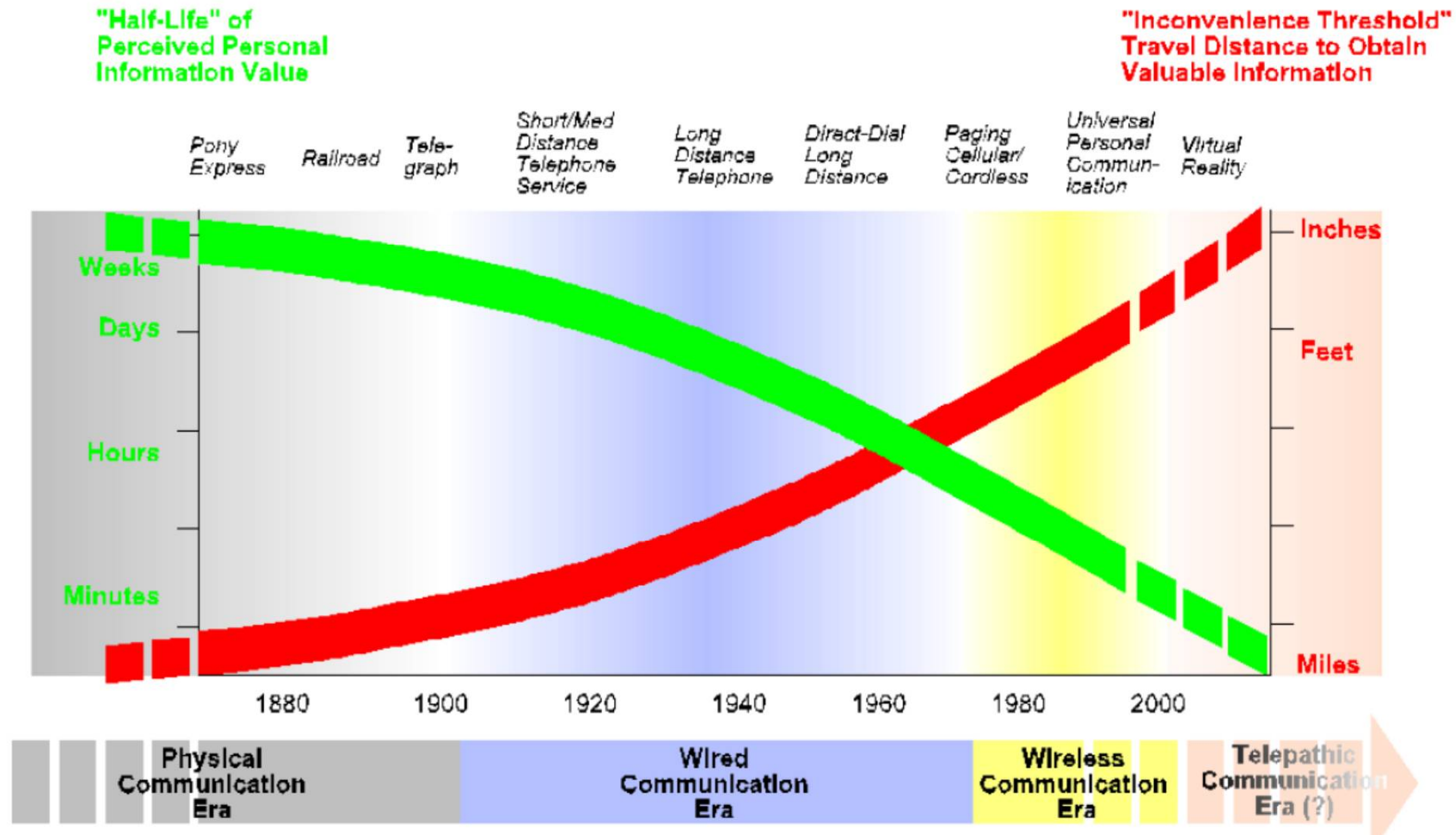
Network Service Providers



Information Appliances

Thanks to David Miller from AT&T

Info “Half-Life” & “Inconvenience Threshold”



Thanks to David Miller from AT&T

Τεχνολογίες μέσα σε περίπου 30 χρόνια

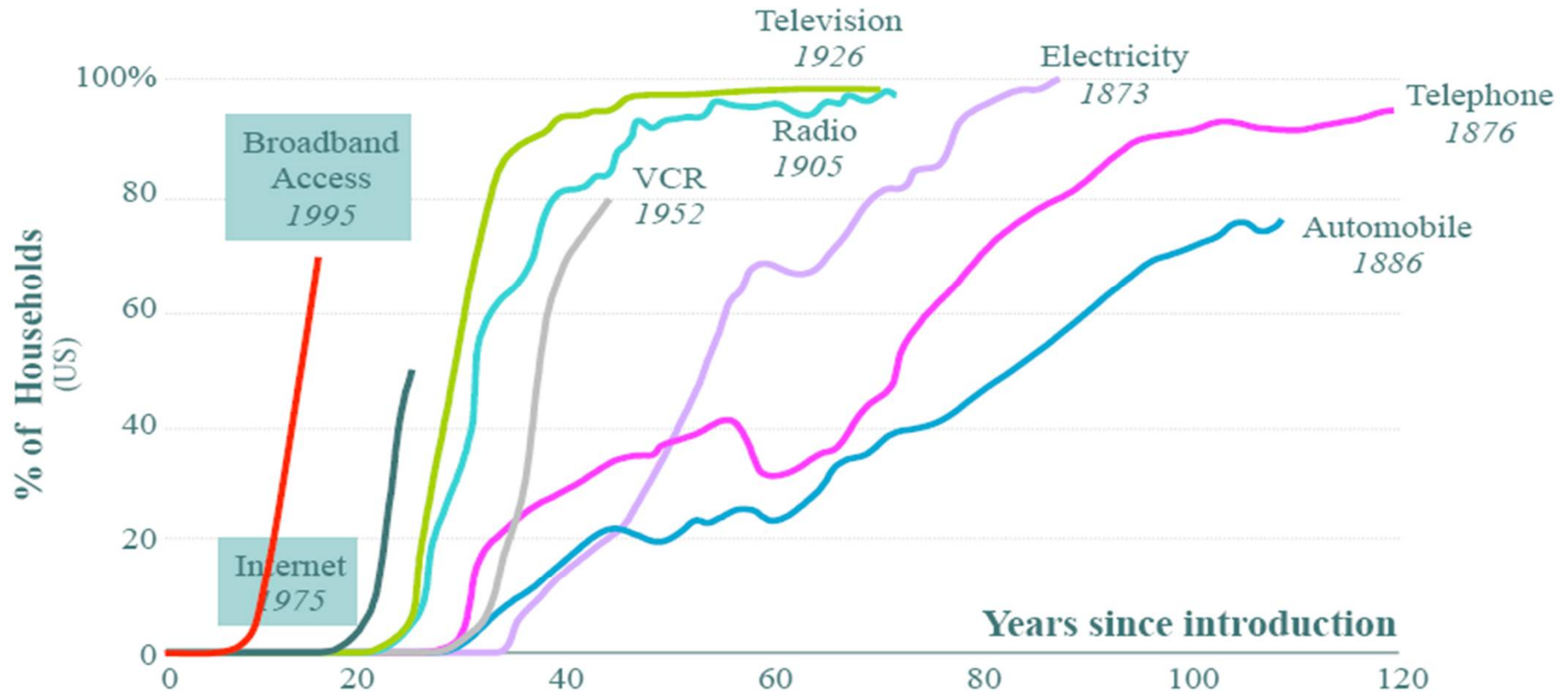
Άλλες τεχνολογίες που χρειάστηκαν περίπου ίδιο χρόνο εισαγωγής (“εισχώρησης”) στην κοινωνία:

- Αεροπλάνα: 1903-1938 (Stratoliner)
- Αυτοκίνητα: 1876-1908 (μοντέλο-T)
- Αναλογικά τηλέφωνα: 1876-1915 (διηπειρωτική τηλεφωνία)
- Σιδηρόδρομοι: 1820-1960 (διηπειρωτικοί σιδηρόδρομοι)



Διαδίκτυο/ευρυζωνικό δίκτυο (broadband)

μία από τις πιο γρήγορες εφαρμογές που εισάχθηκαν ποτέ



2005 = 30% broadband / 2010 = 70% broadband estimate.

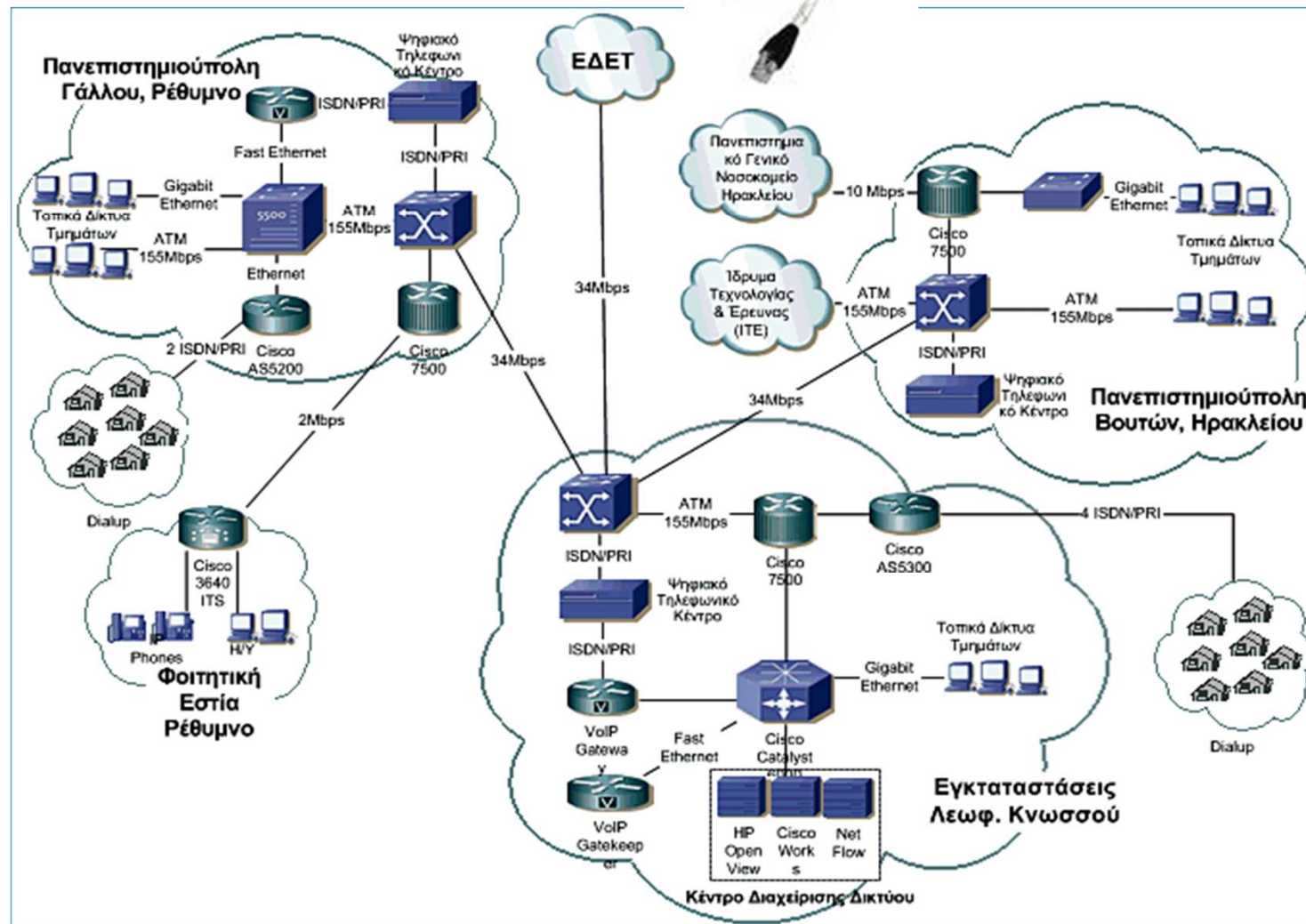
Source: Michael Fox and Forbes Magazine, Morgan Stanley

Σημαντικές τεχνολογίες

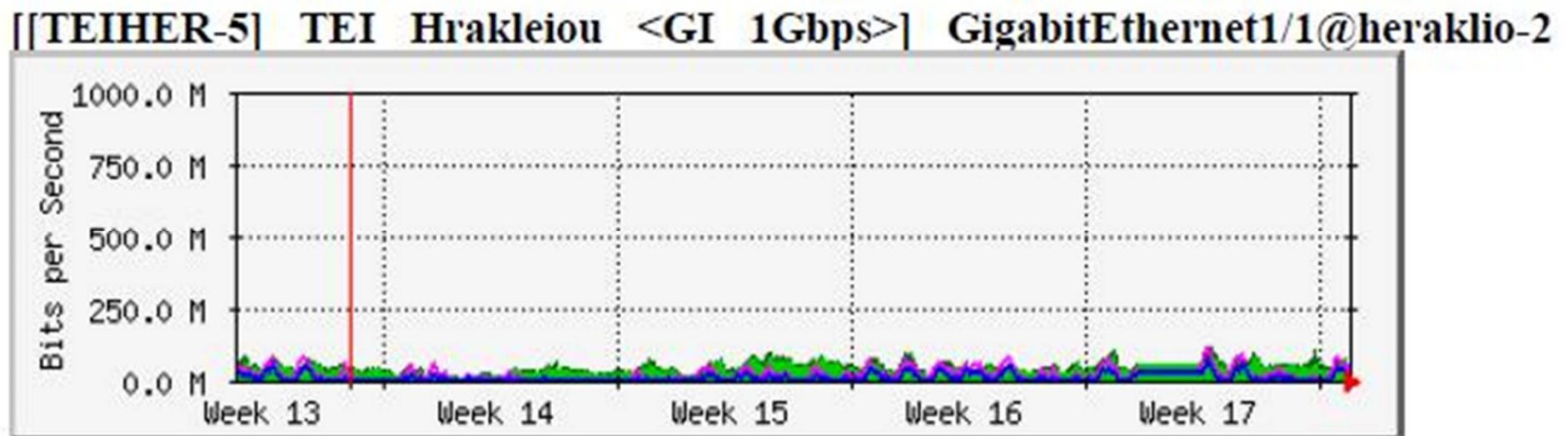
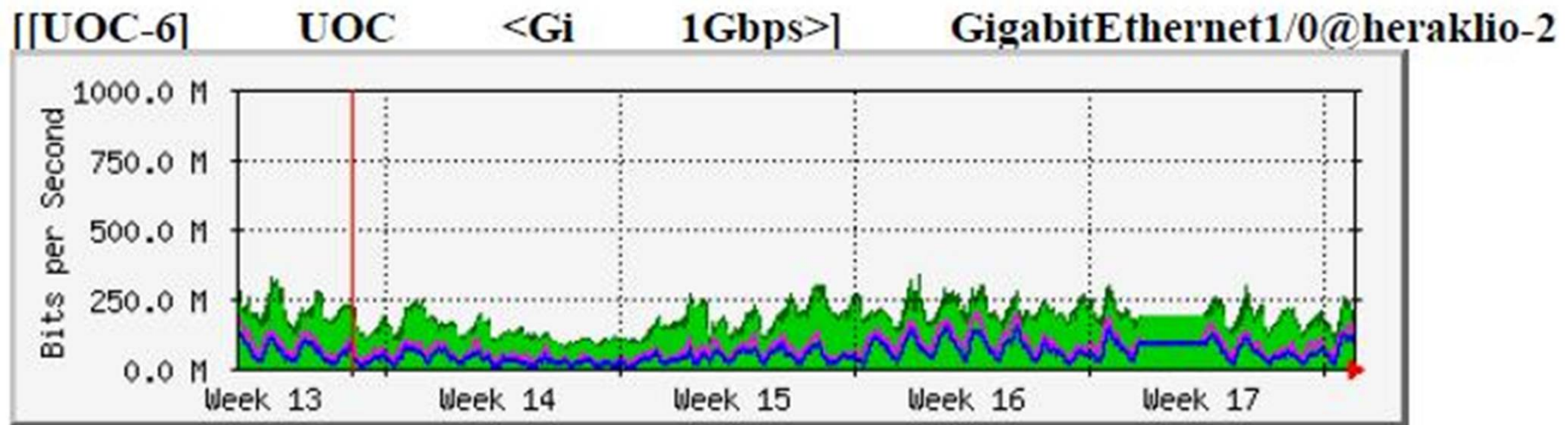
“ The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.”

Mark Weiser, 1991

Δίκτυο Πανεπιστημίου Κρήτης

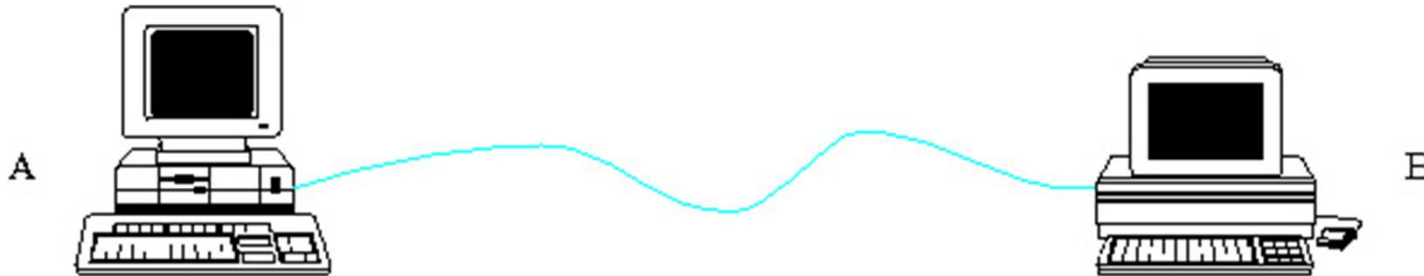


Μηνιαία στατιστικά στοιχεία (δρομολογητή)



Τι είναι ένα Δίκτυο Επικοινωνίας;

- Σύνολο κόμβων που διασυνδέονται με σκοπό
 - την ανταλλαγή πληροφορίας
 - την παροχή μιας υπηρεσίας
 - την συνεργασία μεταξύ συσκευών/χρηστών



Πώς να ζωγραφίσουμε ένα δίκτυο



Πολλές ερωτήσεις:

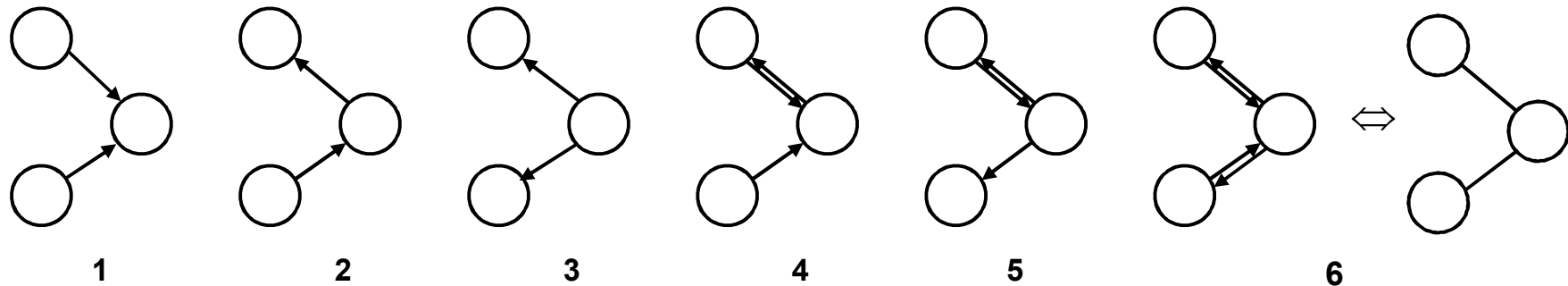
- Μέσω ποιάς τεχνολογίας πραγματοποιείται η επικοινωνία ?
- Τι ακριβώς είναι η ζεύξη?
- Πώς στέλνομε δεδομένα?
- Πότε μιλάμε? Σε τι "format" στέλνομε τα δεδομένα?

Τι είναι ένα δίκτυο;

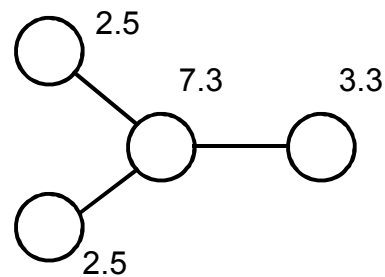
- Συλλογή από κόμβους και ζεύξεις που τους συνδέουν
- Αυτό είναι αόριστο. Γιατί; Θεωρείστε διαφορετικά δίκτυα:
 - Διαδίκτυο
 - Τηλεφωνικό δίκτυο
 - Το σπίτι σας
 - Κινητά τηλέφωνα
 - Δίκτυα αισθητήρων
- Επικεντρωνόμαστε στο διαδίκτυο λαμβάνοντας υπόψιν και τα κοινά σημεία με τα άλλα δίκτυα

Δίκτυα ως γράφοι

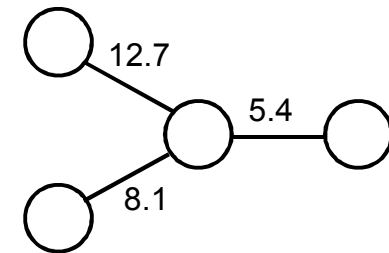
- Τα δίκτυα μπορούν να αναπαρασταθούν ως κατευθυνόμενοι ή μη-κατευθυνόμενοι γράφοι: όταν δύο κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα (δίχως τη βοήθεια κάποιου τρίτου), ενώνονται με μία ακμή



- Οι κόμβοι και οι ακμές μπορούν να αποκτήσουν ένα βάρος που θα «ποσοτικοποιήσει» μία παράμετρο που σχετίζεται με τους κόμβους ή τη μεταξύ τους επικοινωνία



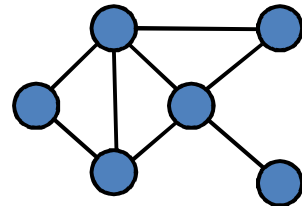
Vertex-Weighted



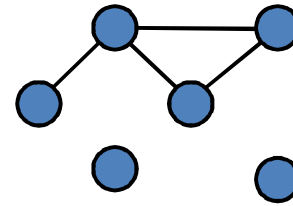
Edge-Weighted

Δίκτυα ως γράφοι (συνέχεια)

- Ένα δίκτυο μπορεί να είναι **συνδεδεμένο** (απεικονίζεται ως ένα ενιαίο τμήμα) ή **αποσυνδεδεμένο** (απεικονίζεται με αρκετά ασύνδετα τμήματα).



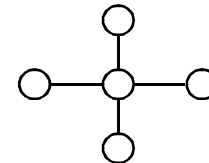
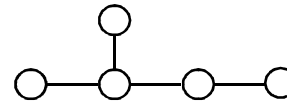
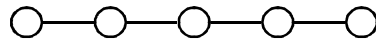
συνδεδεμένο



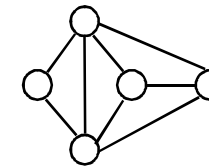
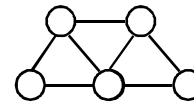
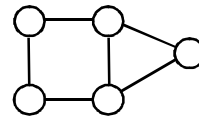
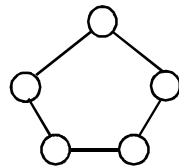
αποσυνδεδεμένο

- Δίκτυα χωρίς βρόχους αποκαλούνται δέντρα. Όσο περισσότερους βρόχους έχει κάποιο δίκτυο, τόσο πολυπλοκότερο είναι.

Δέντρα:



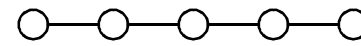
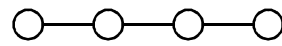
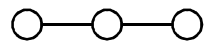
κυκλικοί γράφοι
(βρόχοι):



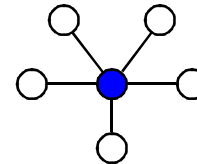
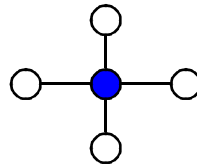
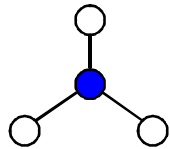
Δίκτυα ως γράφοι (συνέχεια)

Μερικοί βασικοί τύποι γράφων

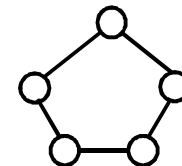
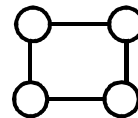
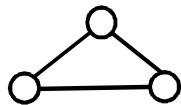
Γραμμικός



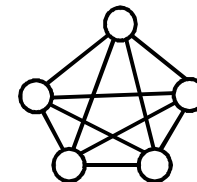
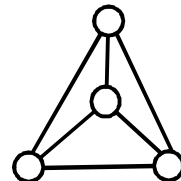
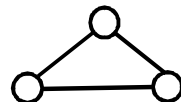
Αστέρας



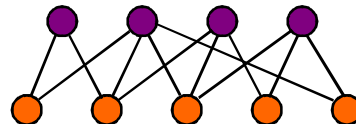
Κυκλικός



Πλήρης Γράφος



Διμερής Γράφος
(Bipartite Graph)



Bonchev

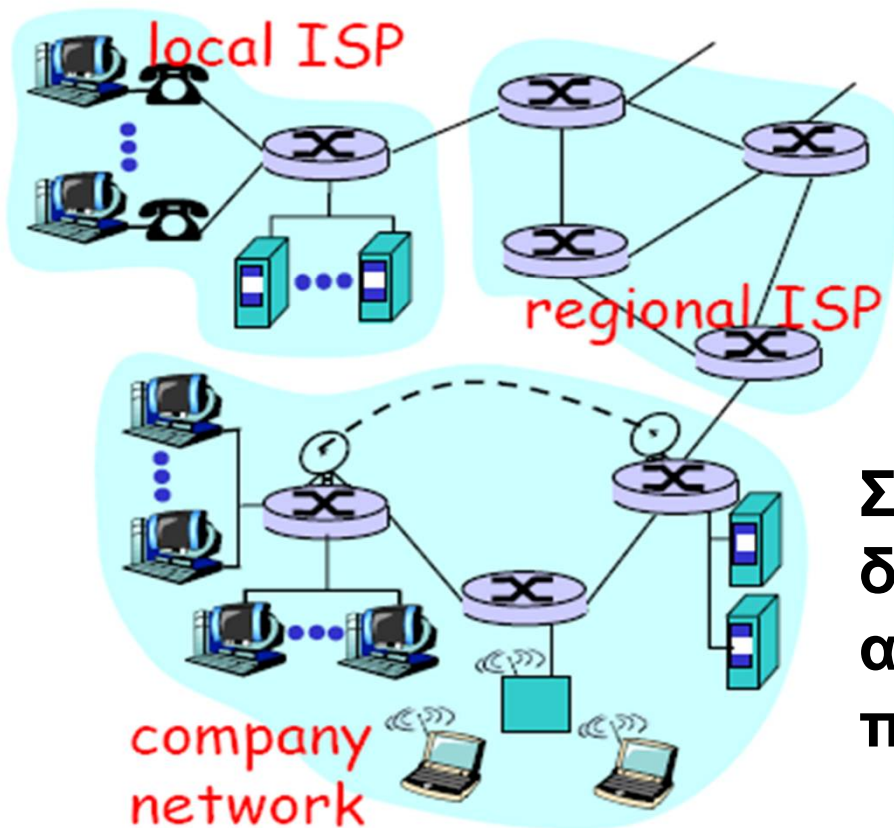
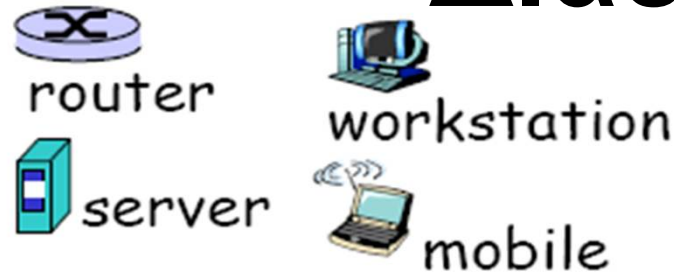
Τι είναι το Διαδίκτυο;

- Ένας τρόπος για ηλεκτρονικούς υπολογιστές με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα που βρίσκονται σε διαφορετικές ηπείρους να επικοινωνήσουν ...
- Δύο τρόποι περιγραφής του διαδικτύου:
 - Μέσω των στοιχείων που το συνθέτουν:
Ποιά είναι τα ηλεκτρομηχανολογικά και λογισμικά μέρη του;
 - Μέσω των υπηρεσιών του:
Τι υπηρεσίες παρέχει στις διάφορες εφαρμογές;

Στοιχεία που το συνθέτουν το Διαδίκτυο

- Εκατομμύρια συνδεδεμένων υπολογιστικών συσκευών τερματικά συστήματα (hosts)
π.χ. Υπολογιστές, σταθμοί εργασίας, εξυπηρετητές, PDAs, τηλέφωνα
- Τρέχουν εφαρμογές διαδικτύου
- Ζεύξεις επικοινωνίας
πχ Οπτικές, γραμμές χαλκού, ραδιοκυμματικές, δορυφορικές
 - Μεταδίδουν σε διαφορετικούς ρυθμούς (bandwidths) που μετρώνται σε bits/sec

Στοιχεία που συνθέτουν το Διαδίκτυο



Internet Service Provider (ISP)

Σύνολο από κόμβους οι οποίοι
διασυνδέονται για την
ανταλλαγή
πληροφορίας

Βασικά δομικά στοιχεία ενός δικτύου

- **Κόμβοι:** υπολογιστές, εξειδικευμένες συσκευές
...

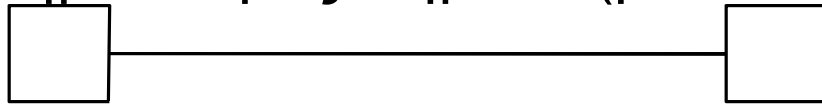
- Σταθμοί (τερματικά συστήματα)
- Δρομολογητές (μεταγωγείς)

☞ Οι κόμβοι τρέχουν **πρωτόκολλα**

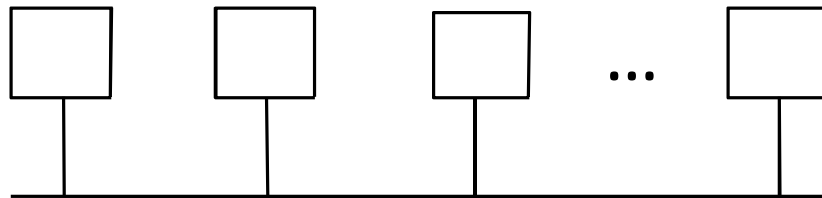
- **Πρωτόκολλα δικτύων:** ορίζουν τους κανόνες επικοινωνίας (format) και ελέγχουν την ανταλλαγή δεδομένων

Βασικά δομικά στοιχεία (συνέχεια)

- Σύνδεσμοι
 - χάλκινα καλώδια
 - ομοαξονικά καλώδια (σπάνια πλέον)
 - οπτικές ίνες
 - ασύρματες ζεύξεις
- Τρόποι σύνδεσης
 - σημείο-προς-σημείο (point-to-point)



- πολλαπλή πρόσβαση (multiple access)

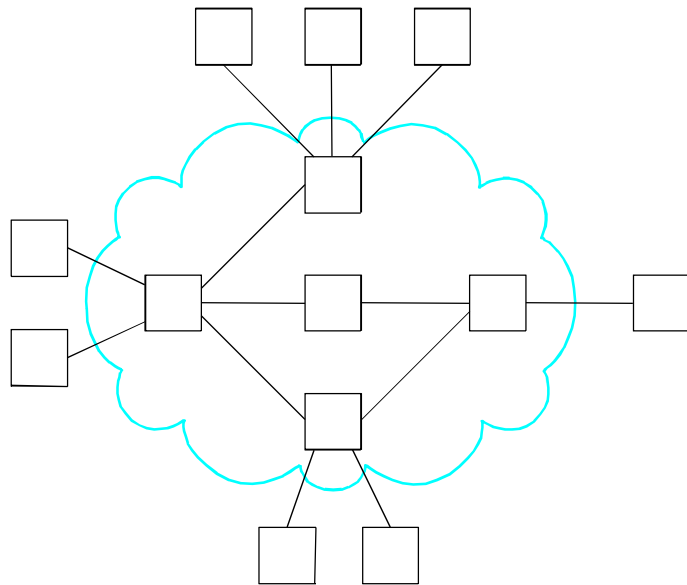


Τι είναι δίκτυο επικοινωνίας;

- Ένα δίκτυο μπορεί να οριστεί **αναδρομικά**

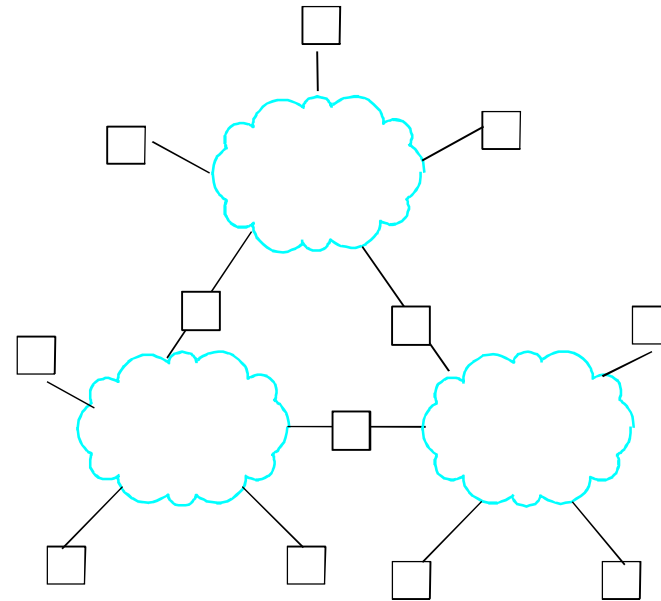
ως:

- δύο ή περισσότεροι κόμβοι που συνδέονται με συνδέσμους, ή



Ιεραρχική δομή (Hierarchical structure)

- δύο ή περισσότερα δίκτυα που συνδέονται με δύο ή περισσότερους συνδέσμους



Στοιχεία που συνθέτουν το Διαδίκτυο 1

- **Δρομολογητές:**

προωθούν πακέτα (ομάδες) από δεδομένα μέσω του δικτύου

- **Πρωτόκολλα:**

Περιγράφουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων, τρόπο επικοινωνίας

– TCP, IP, HTTP, FTP, RTSP, RTP, SIP

Στοιχεία που συνθέτουν το Διαδίκτυο 2

- **Διαδίκτυο:** “δίκτυο από δίκτυα”
 - Χαλαρά ιεραρχημένο
 - Internet Service Providers-ISPs
 - Δημόσιο Διαδίκτυο-ιδιωτικό
- Διαδικασία για δημιουργία πρότυπων Διαδικτύου:
 - RFC : Request for Comments
 - IETF : Internet Engineering Task Force

1^η σειρά ασκήσεων: Το δίκτυο ως ένας γράφος

1. Επιλέξτε ένα δίκτυο υπολογιστών
2. Με ένα μαθηματικό τρόπο αυστηρό αναπαραστήστε το ως γράφο.
3. Διακρίνετε σημαντικές ιδιότητες/στοιχεία του
4. Ποιά από αυτά παραμένουν σταθερά στο χρόνο, και στο χώρο, και τι αλλάζουν
5. Υπολογίστε τις τιμές από μερικές από αυτές τις ιδιότητες του
6. Σχολιάστε πως περιμένετε οι ιδιότητες του αυτές να επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου
7. Σκεφτείτε άλλους τύπους δικτύων.
8. Μπορείτε να επιλέξετε ένα άλλο τύπο δικτύων που να συνδυάζει τόσο εφαρμογές/υπολογιστές όσο και την κοινωνικότητα των χρηστών τους?

Παρεχόμενες υπηρεσίες στο Διαδίκτυο

- Υποδομή επικοινωνιών που καθιστά δυνατές κατακευματημένες εφαρμογές που τρέχουν στα τερματικά συστήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους
 - Web
 - Email
 - Remote login
 - Instant messaging
 - Audio & video streaming
 - ...

Τύποι υπηρεσιών που παρέχονται από το Διαδίκτυο

1. Με σύνδεση (connection-oriented)

- Εγγυάται ότι τα δεδομένα που μεταδίδονται από τον αποστολέα στον παραλήπτη θα φτάσουν τελικά

Τύποι υπηρεσιών που παρέχονται από το Διαδίκτυο

1. Χωρίς σύνδεση (connectionless)

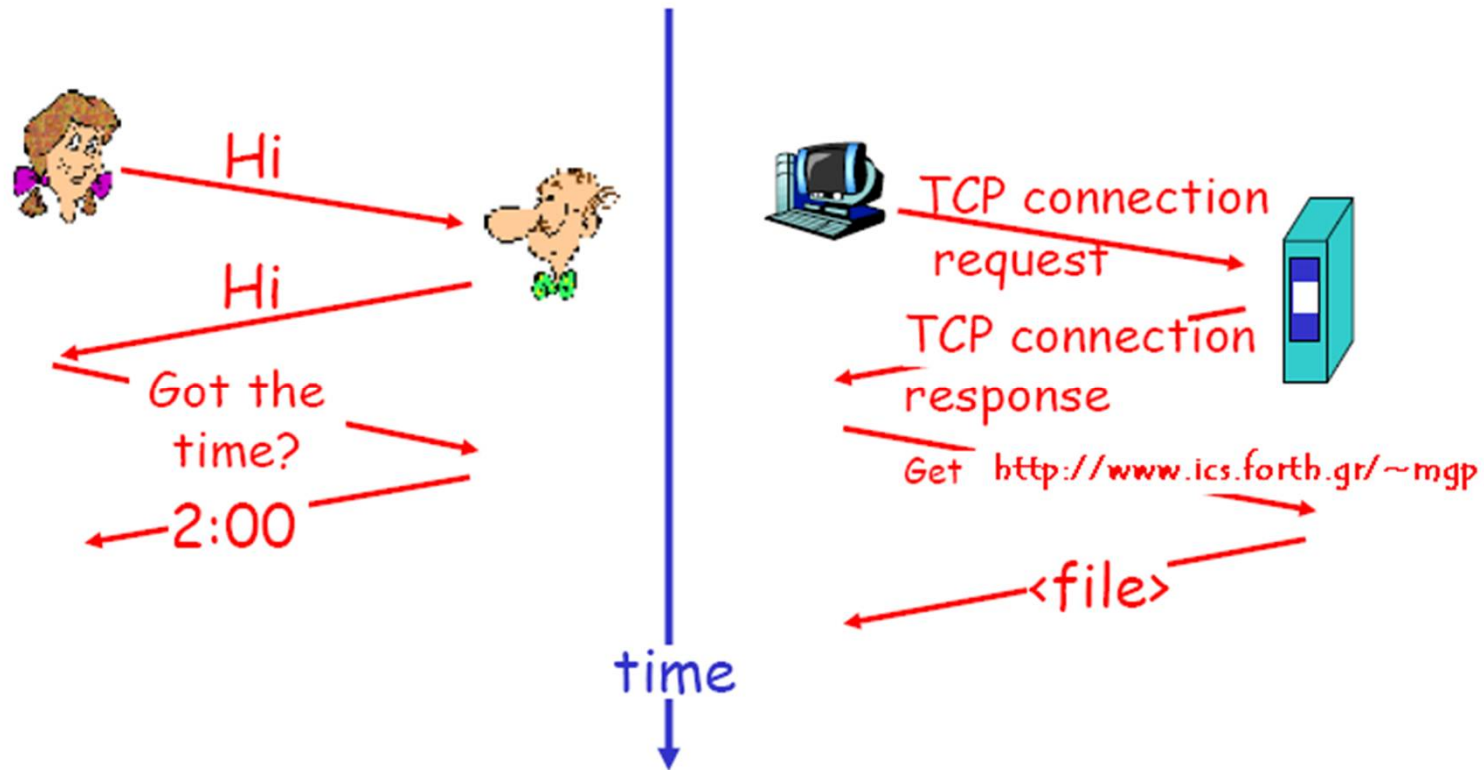
- Δεν εγγυάται ότι τα δεδομένα θα φτάσουν στον προορισμό τους
- Οι κατανεμημένες εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούν ή τη μία είτε την άλλη
- ☹ Πολύ δύσκολο για μία υπηρεσία να υποσχεθεί την **ακριβή ώρα** που θα χρειαστεί για την παράδοση των δεδομένων

Πρωτόκολλα Διαδικτύου

- Τα πρωτόκολλα στην καθημερινή ζωή αποτελούν κανόνες με τους οποίους δύο ή περισσότερα άτομα επικοινωνούν για να παρέχουν μία υπηρεσία ή να διεκπεραιώσουν μια εργασία
- Ένα πρωτόκολλο είναι ένα **σύνολο κανόνων** με τους οποίους τα ενεργά στοιχεία του δικτύου (εφαρμογές, τερματικά συστήματα, δρομολογητές) επικοινωνούν μεταξύ τους και καθορίζουν:
 - Τη **μορφή** και τη **σειρά των μηνυμάτων που θα ανταλλαχθούν**
 - Τις **ενέργειες** που θα πραγματοποιηθούν με τη λήψη ενός μηνύματος

☞ Κάθε επικοινωνία στο Διαδίκτυο καθορίζεται από πρωτόκολλα

Τι είναι το πρωτόκολλο;



Ερώτηση: Άλλα ανθρώπινα πρωτόκολλα;

Παραδείγματα πρωτοκόλλων στο διαδίκτυο

1. Τα πρωτόκολλα στους δρομολογητές καθορίζουν τη *διαδρομή των πακέτων από τον αποστολέα στον παραλήπτη*
2. Τα πρωτόκολλα *ελέγχου συμφόρησης* ελέγχουν το ρυθμό με τον οποίο τα πακέτα στέλνονται μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη
3. Τα πρωτόκολλα του «*φυσικού μέσου*» ελέγχουν τη ροή των bits στη γραμμή που ενώνει δύο φυσικά συνδεδεμένους υπολογιστές
4. Τα πρωτόκολλα στο **MAC** ενός broadcast ασύρματου μέσου καθορίζουν *πότε η συσκευή θα μεταδώσει*

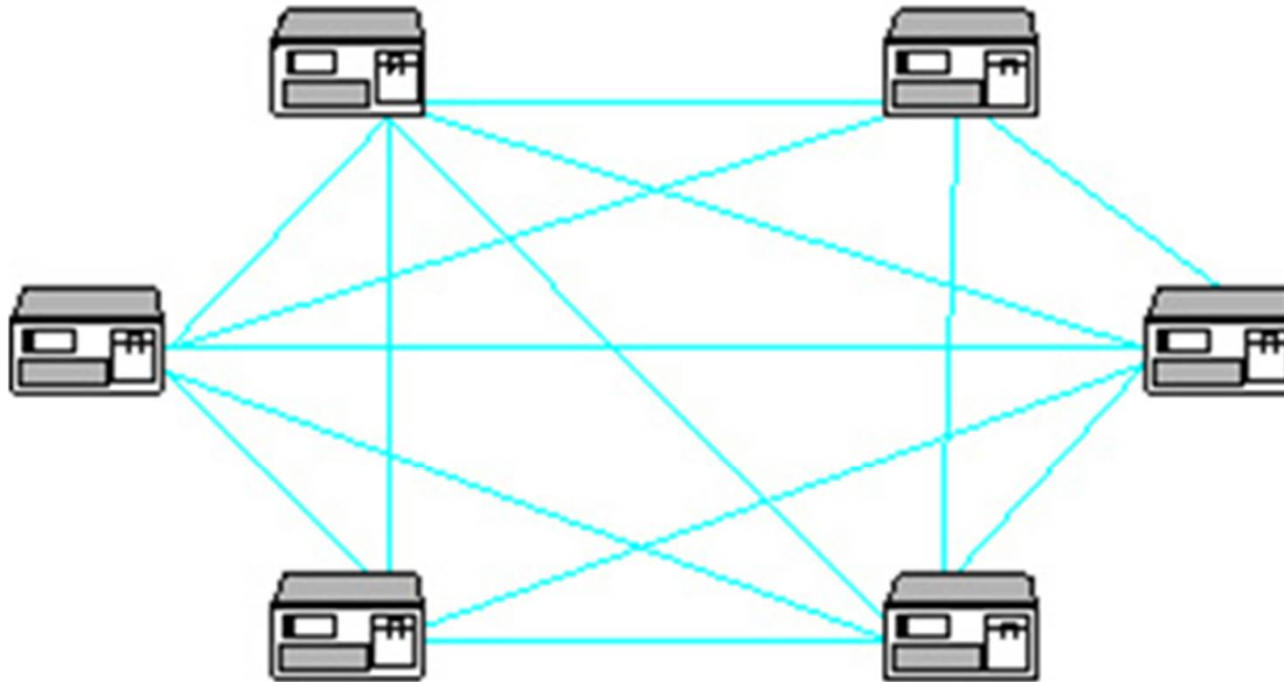
Στόχοι στο σχεδιασμό δικτύων 1

- Ασφάλεια (security)
- Ευκολία στην δημιουργία/ανάπτυξη χρήσιμων εφαρμογών/υπηρεσιών
- Δυνατότητα προσαρμογής (adaptivity)
- Δυνατότητα για «αυτοματοποιημένη» διαχείριση
- Δικαιοσύνη προς τους χρήστες του δικτύου/υπηρεσιών

Στόχοι στο σχεδιασμό δικτύων 2

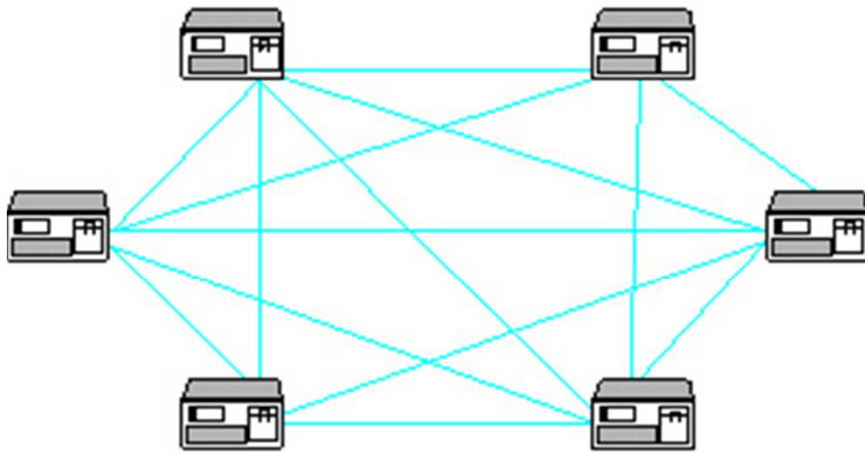
- Ασφάλεια (security)
- Ευκολία στην δημιουργία/ανάπτυξη χρήσιμων εφαρμογών/υπηρεσιών
- Δυνατότητα προσαρμογής (adaptivity)
- Δυνατότητα για «αυτοματοποιημένη» διαχείριση
- Δικαιοσύνη προς τους χρήστες του δικτύου/υπηρεσιών

Γιατί χρειαζόμαστε δίκτυα επικοινωνίας;

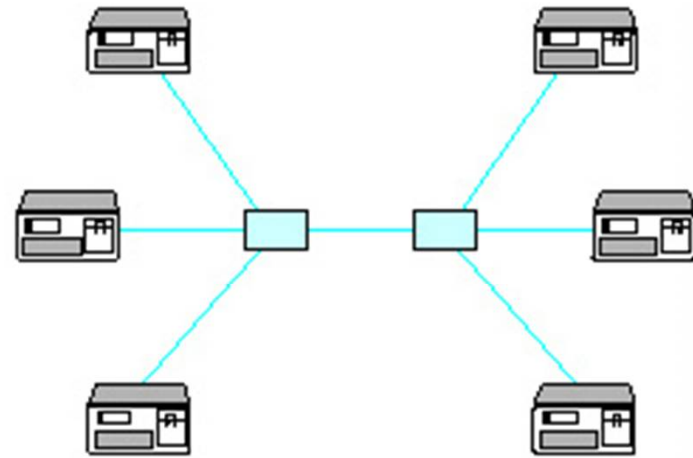


(a) Point-to-point links

Γιατί χρειαζόμαστε δίκτυα επικοινωνίας;



(a) Point-to-point links



(b) Shared links

Δίκτυα τηλεπικοινωνιών

- Τηλεφωνικό δίκτυο
- Κινητά δίκτυα
- Δίκτυο υπολογιστών (π.χ. Διαδίκτυο – Internet)
- Διαφοροποίηση ως προς:
 - **γεωγκάλυψη**
 - **ραφική ταχύτητα**
 - **φυσικό μέσο/τεχνολογία**
 - **υπηρεσίες και εφαρμογές**
- Ένα μοναδικό δίκτυο που να υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες ήταν ο στόχος για πολύ καιρό...
- ☺ ... και μετά εμφανίστηκε το Διαδίκτυο...

Τύποι δικτύων υπολογιστών με βάση το εύρος κάλυψης

- **Δίκτυα τοπικής περιοχής**
Local Area Networks (LAN)
 - ☞ Μικρή γεωγραφική κάλυψη, υψηλή ταχύτητα
- **Δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής**
Metropolitan Area Networks (MAN)
 - ☞ Αστική κάλυψη, μέτριες έως υψηλές ταχύτητες
- **Δίκτυα ευρείας περιοχής**
Wide Area Networks (WAN)
 - ☞ Ευρεία κάλυψη, μικρές έως μεσαίες ταχύτητες

Local Area Networks (LANs)

Πλεονεκτήματα της “τοπικότητας”:

- Χαμηλότερο κόστος
- Μικρή απόσταση \Rightarrow ταχύτερες ζεύξεις, χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency)
 - Λιγότερο πιεστικό στοιχείο η αποδοτικότητα
- **Ένας τομέας διαχείρισης (management domain)**
 - Λιγότερο πολύπλοκη διαχείριση, ασφάλεια & τιμολόγηση
- **Μεγαλύτερη ομοιογένεια**
Standard for LANs

● Παραδείγματα:

- Ethernet (IEEE802.3)
- Token ring, FDDI
- WiFi (IEEE802.11)

Ethernet

- Αναπτύχθηκε αρχικά στο Xerox PARC μεταξύ 1973-1975

Βασίστηκε στην ιδέα της επικοινωνίας υπολογιστών διαμέσου ενός **μεριζόμενου ομοαξονικού καλωδίου** που λειτουργεί ως **μέσο ευρυεκπομπικής μετάδοσης (broadcast transmission medium)**

Ethernet RJ45 connector



Ενσύρματα LAN

- Ο συνδυασμός τύπων Ethernet συνεστραμμένου ζεύγους για τη σύνδεση τερματικών σταθμών στο δίκτυο μαζί με τις οπτικές ίνες για τα backbones είναι η πιο δημοφιλής επιλογή για ενσύρματα LANs
- Χρησιμοποιείται από το 1980 αντικαθιστώντας το token ring, FDDI και ARCNET

Wide-Area Networks 1

Η απόσταση δυσκολεύει τα πράγματα:

- ☞ Υψηλότερες καθυστερήσεις και κόστος → Απαιτείται αποδοτικότητα
- **Μεγαλύτερο μέγεθος → Απαιτείται κλιμακοθετησιμότητα (scalability)**
- **Ετερογένεια**
 - Τύποι κίνησης
 - Ανάγκες τερματικών, απαιτήσεις εφαρμογών

Wide-Area Networks 2

- **Διοικητική ανομοιογένεια →
Δυσκολότερη διαχείριση**

Ας δούμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα:

“Το Διαδίκτυο 1”

- **Δια-δίκτυο: ένα δίκτυο δικτύων**
 - Σύνολο δικτύων που συνδέονται μεταξύ τους
 - Τα δίκτυα συνδέονται με χρήση δρομολογητών που υποστηρίζουν επικοινωνία ιεραρχικού τύπου
 - Συχνά απαιτούνται άλλες **ειδικές συσκευές στα σύνορα** για ασφάλεια, λογιστική διαχείριση,...

“Το Διαδίκτυο 2”

- Internet: το διασυνδεδεμένο σύνολο δικτύων των Παρόχων Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs) που παρέχει υπηρεσίες επικοινωνίας δεδομένων
 - Περίπου 17,000 διαφορετικά δίκτυα συγκροτούν το Διαδίκτυο
- ☞ Για να διαλειτουργούν (*inter-operate*), πρέπει όλα τα συμμετέχοντα δίκτυα να ακολουθούν ένα σύνολο κοινών κανόνων

Χαρακτηριστικά των επιπέδων

- Κάθε επίπεδο στηρίζεται στις υπηρεσίες του επιπέδου από κάτω του και εξάγει υπηρεσίες στο επίπεδο από πάνω του
- Η διεπαφή καθορίζει την αλληλεπίδραση
- **Κρύβει την υλοποίηση**
- ☞ **Τα επίπεδα μπορούν να αλλάξουν χωρίς να επηρεάσουν άλλα επίπεδα (black box)**

Μοντέλο OSI (Seven Layer Model)

- *Open Systems Interconnection Basic Reference Model*
- **Αφηρημένη περιγραφή για τις πολυεπίπεδες επικοινωνίες και τον σχεδιασμό πρωτοκόλλων δικτύων υπολογιστών**
- Διαχωρισμός της αρχιτεκτονικής δικτύου σε **7 επίπεδα** (από την κορυφή προς τα κάτω):

Εφαρμογών (Application) οτιδήποτε άλλο

Παρουσίασης (Presentation) σειρά bytes,
ασφάλεια

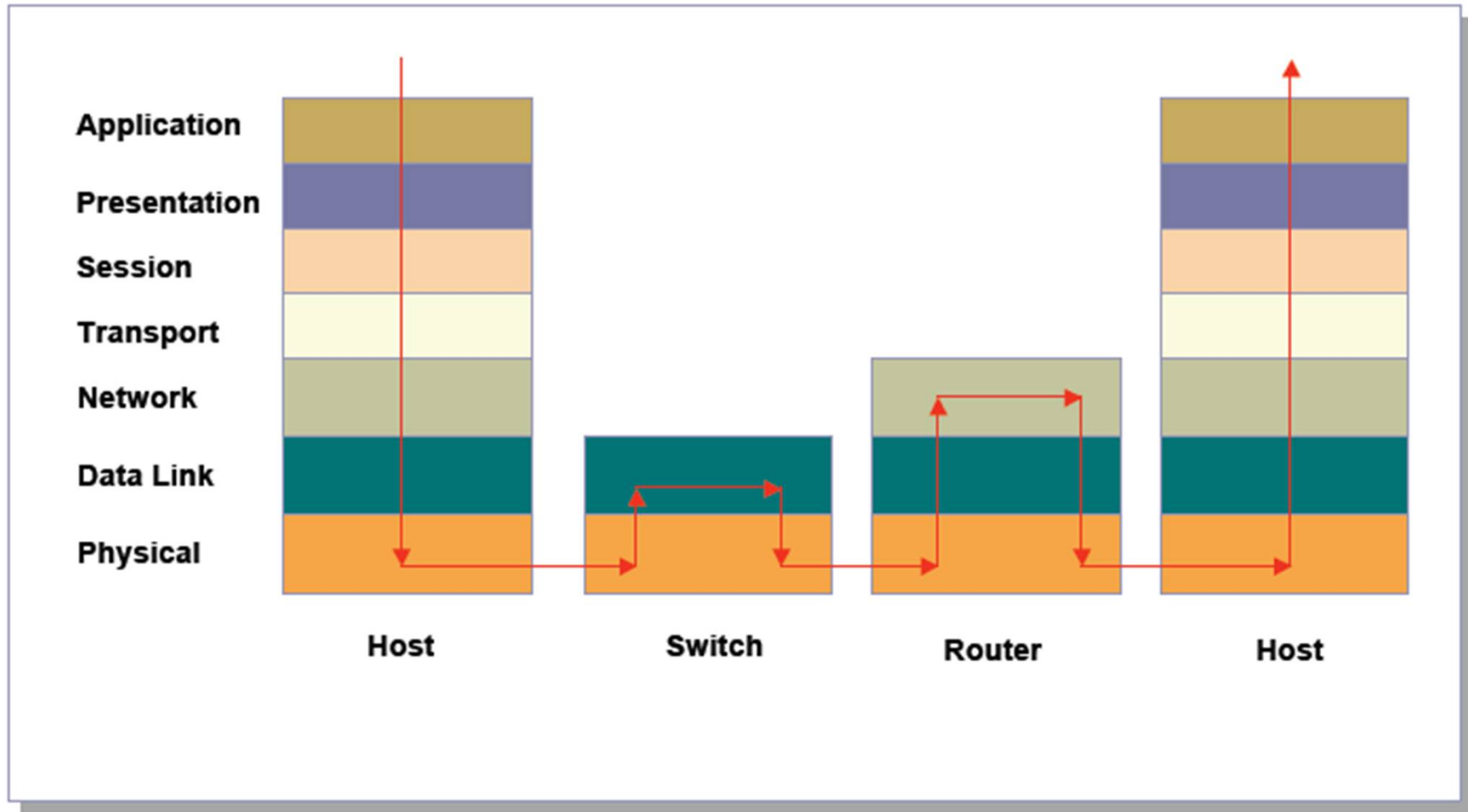
Διαχωρισμός της αρχιτεκτονικής δικτύου

- (από την κορυφή προς τα κάτω):
 - Εφαρμογών (Application)* οτιδήποτε άλλο
 - Παρουσίασης (Presentation)* σειρά bytes, ασφάλεια
 - Συνόδου (Session)* πώς να συσχετίζεις ροές
μεταξύ τους
 - Μεταφοράς (Transport)* πώς να στέλνεις πακέτα
από άκρη σε άκρη
 - Δικτύου (Network)* πώς να δρομολογείς
πακέτα
 - Ζεύξης Δεδομένων (Data-link)* πώς να μεταδίδεις frames
 - Φυσικό (Physical)* πώς να μεταδίδεις bits

OSI model (συνέχεια)

- Το OSI είναι “ιστορικό” μοντέλο
- ☞ Το Internet χρησιμοποιεί την TCP/IP στοίβα
- 👁️ Πολλοί αρχάριοι κάνουν το λάθος να προσπαθούν να κατατάξουν κάθε πρωτόκολλο που μελετούν σε ένα από τα 7 επίπεδα

Επίπεδα OSI και θέσεις



Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)

Στοίβα πρωτοκόλλων Διαδικτύου

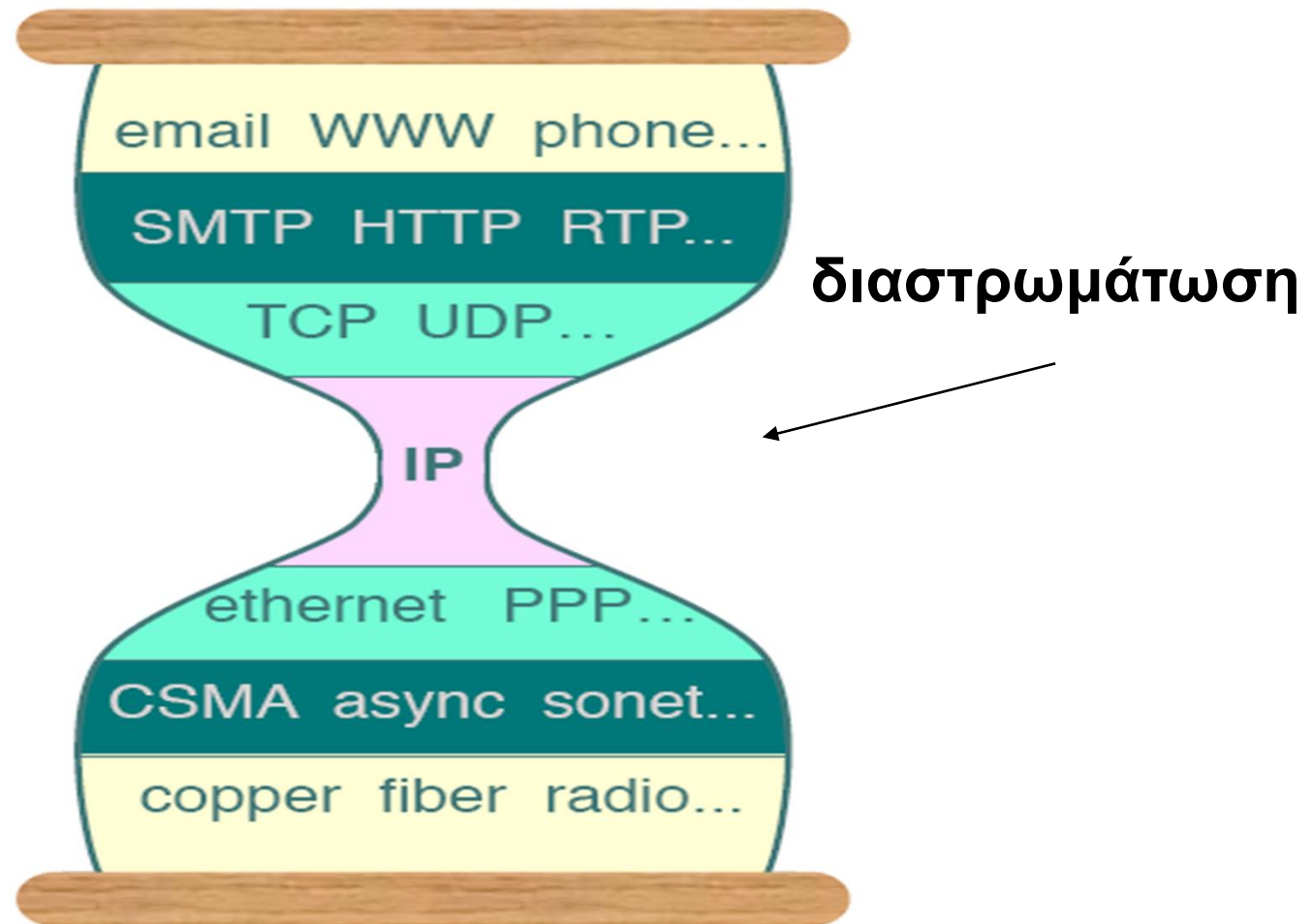
(Internet)

Επίπεδο 5
Επίπεδο 4
Επίπεδο 3
Επίπεδο 2
Επίπεδο 1

εφαρμογής
μεταφοράς
δικτύου
ζεύξης
φυσικό

- Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί τις λειτουργίες του επιπέδου από κάτω
- Κάθε επίπεδο μεταφέρει λειτουργικότητα στο επίπεδο από πάνω
- Αυτή η συμπεριφορά ονομάζεται «**Στοίβα Πρωτοκόλλων**»
κοινώς, ή «**Στοίβα TCP/IP**»

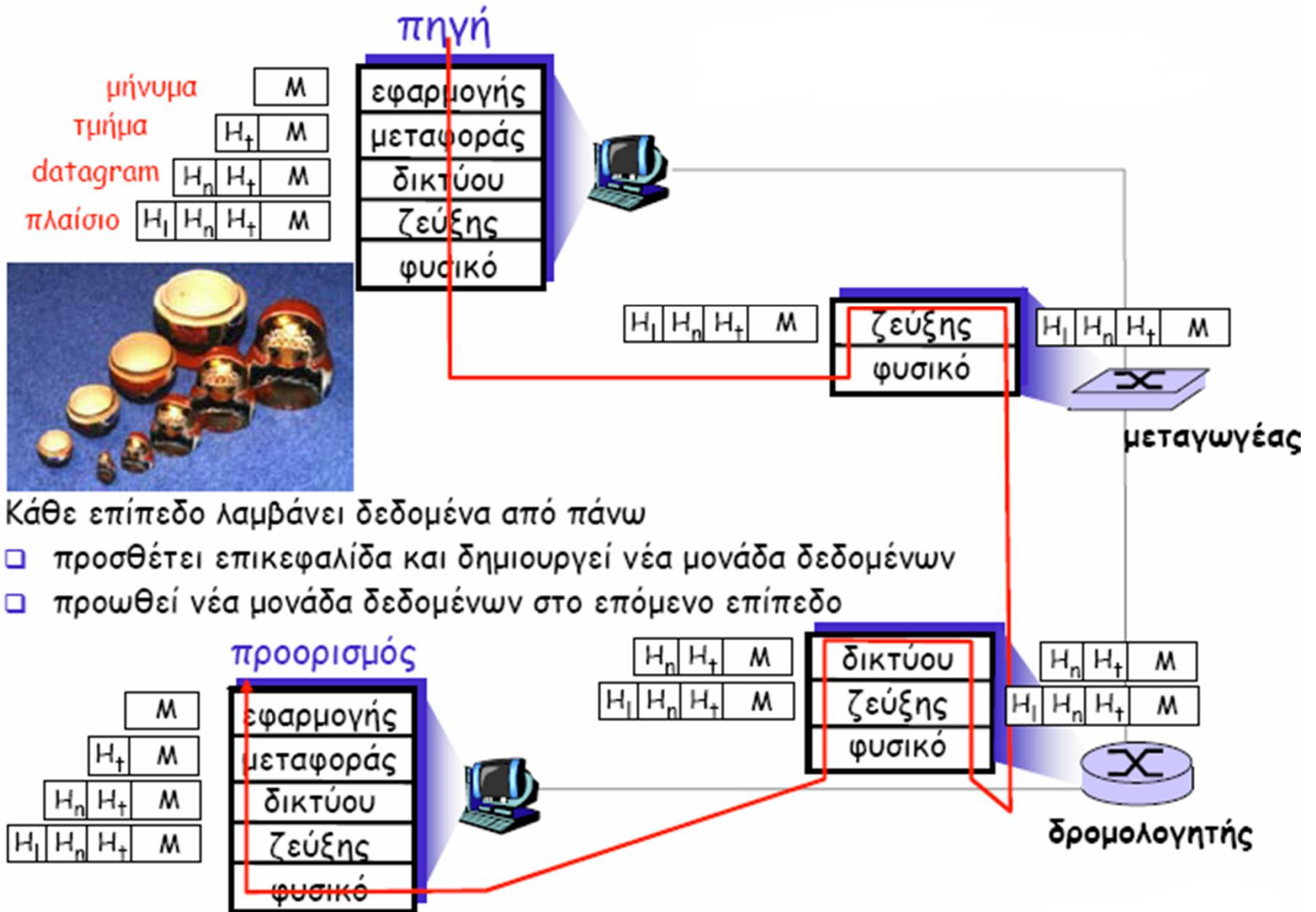
Η κλεψύδρα του πρωτοκόλλου του διαδικτύου



Γιατί η αρχιτεκτονική της κλεψύδρας;

- Γιατί χρειάζεται η διαδικτυακή διαστρωμάτωση;
 - Δημιουργία μεγαλύτερου δικτύου
 - Διεθνής διευθυνσιοδότηση
 - Δημιουργία δικτύων έτσι ώστε να απομονωθούν τα πρωτόκολλα από τις λεπτομέρειες/αλλαγές των δικτύων
- Γιατί ένα **μοναδικό** πρωτόκολλο δικτύου;
 - Μεγιστοποίηση της διαλειτουργικότητας (interoperability)
 - Ελαχιστοποίηση του αριθμού των διεπαφών υπηρεσιών
- Γιατί ένα **στενό** πρωτόκολλο δικτύου;
 - Λιγότερη κοινή λειτουργία δικτύων για την μεγιστοποίηση του αριθμού χρησιμοποιήσιμων δικτύων

Ενθυλάκωση



Επίπεδο εφαρμογής

- Υλοποιεί τις κατανεμημένες εφαρμογές
 - File Transfer Protocol (FTP)
 - Send Mail Transport Protocol (SMTP)
 - HTTP
 - ...
- Οδηγεί τις καινοτομίες σε άλλα επίπεδα

Επίπεδο μεταφοράς

- Είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων από τον ένα κόμβο στον άλλο
 - Έφτασαν τα δεδομένα εκεί;
 - Τι πρέπει να γίνει όταν τα δεδομένα φτάσουν εκεί;
- Τροφοδοτεί το επίπεδο εφαρμογής με ένα socket API (connect, send, receive)

Επίπεδο μεταφοράς 2

- Όταν τα δεδομένα φτάσουν στον προορισμό από το δίκτυο, αποφασίζει ποιά διεργασία εφαρμογής θα τα λάβουν
- Οι εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούν ένα από τα παρακάτω:
 - TCP
 - UDP

TCP: Transmission Control Protocol [RFC 793]

- Με-σύνδεση υπηρεσία του Διαδικτύου
- Handshaking: προετοιμασία για την μεταφορά δεδομένων
 - Εφάμιλλο του ανθρώπινου πρωτοκόλλου “-Γεια!, - Γεια και σε σένα!”
 - Ορισμός κατάστασης (state) στους δύο επικοινωνούντες κόμβους

TCP: Transmission Control Protocol [RFC 793]

- **Αξιόπιστο**, μεταφορά πακέτων σε σειρά
 - ☞ Χαμένα δεδομένα: επιβεβαιώσεις και επανεκπομπές
- **Έλεγχος ροής**
 - ☞ Ο αποστολέας δεν κατακλύζει τον δέκτη
- **Έλεγχος συμφόρησης**
 - ☞ Ο αποστολέας μειώνει το ρυθμό αποστολής, όταν το δίκτυο έχει συμφόρηση

UDP: User Datagram Protocol

[RFC 768]

- **Χωρίς-σύνδεση** υπηρεσία του Διαδικτύου
 - 👉 **Δεν** χρησιμοποιεί handshaking
 - 👉 **Αναξιόπιστη** μεταφορά δεδομένων
 - 👉 **Δεν** κάνει έλεγχο ροής
 - 👉 **Δεν** κάνει έλεγχο συμφόρησης
- 👉 **Λιτή και απέριτη** υπηρεσία

TCP έναντι UDP

Εφαρμογές που χρησιμοποιούν TCP:

- HTTP (WWW), FTP (μεταφορά αρχείων),
Telnet (απομακρυσμένο login), SMTP
(email)

Εφαρμογές που χρησιμοποιούν UDP:

- Streaming media, τηλεδιασκέψεις, DNS,
τηλεφωνία μέσω Διαδικτύου

Πώς θα διαλέγατε μεταξύ TCP και UDP;

Νέες εφαρμογές

- Με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth)
 - Δίκτυα βασισμένα στην πραγματικότητα
 - Κάμερες (ασφαλείας)
 - Εύρεση πληροφορίας σε 3D
 - Εύρεση/ανάκτηση contextual-based data
 - Virtual & augmented reality εφαρμογές
- Τα κατανεμημένα παιχνίδια συχνά απαιτούν μόνο μικρού εύρους ζώνης πληροφορίες ελέγχου
 - Συνδυασμός υπολογισμού, επικοινωνίας και αποθήκευσης
 - ☞ Το κόστος αποθήκευσης έχει μειωθεί πιο ραγδαία από ότι το κόστος επικοινωνίας

Επίπεδο δικτύου

- Καθορίζει τη διαδρομή που θα πάρει ένα πακέτο μέσω των δρομολογητών για να φτάσει τον προορισμό του
- Internet Protocol (IP)
- ☞ **Καμία εγγύηση εάν και πότε θα φτάσει εκεί**
 - Συμφόρηση μπορεί να προκληθεί στους δρομολογητές λόγω περιορισμένου μεγέθους buffer
 - Όταν υπάρχει συμφόρηση οι δρομολογητές «πετούν» πακέτα

Επίπεδο ζεύξης

- Χειρίζεται μεταφορές δεδομένων μεταξύ γειτονικών στοιχείων του δικτύου
- Καθορίζεται από την τεχνολογία της ζεύξης επικοινωνίας των γειτονικών στοιχείων
- Παραδείγματα:
 - Ethernet (IEEE802.3)
 - Wireless LAN (e.g., IEEE802.11)

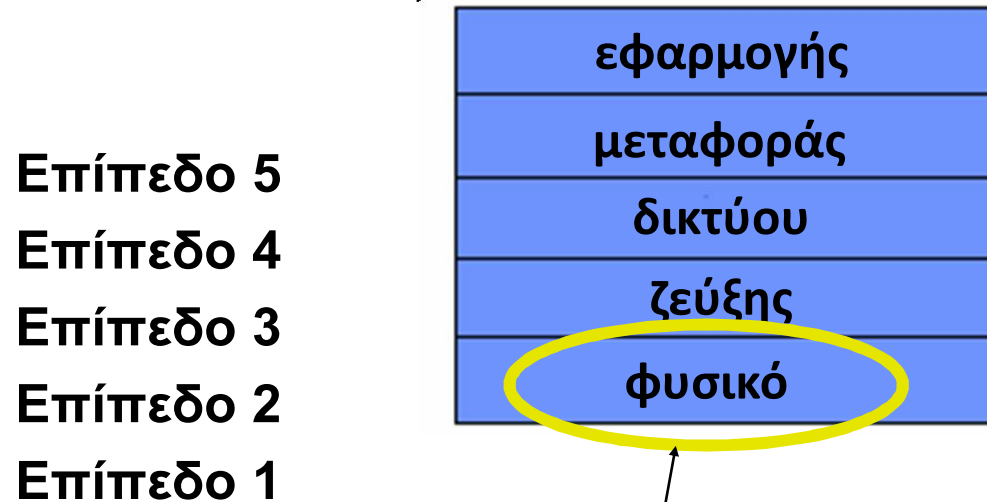
Φυσικά μέσα (γενικά)

- Bit: διαδίδεται μεταξύ ζεύγους πομπού – δέκτη
- Φυσική ζεύξη: μεταξύ πομπού και δέκτη
- **Οδηγούμενα μέσα:**
 - Σήματα διαδίδονται σε στερεά μέσα: χαλκός, οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο
- ☞ **Μη οδηγούμενα μέσα:**
 - Σήματα διαδίδονται ελεύθερα π.χ ραδιοκύματα

- Ας μιλήσουμε για τις μεταδόσεις στο φυσικό μέσο ...

Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)

Στοίβα πρωτοκόλλων Διαδικτύου



Χειρίζεται την **μεταφορά** της ακολουθίας των bits
ξεχωριστά κατά μήκος της ζεύξης

Φυσικό επίπεδο 1

- Χειρίζεται τη μεταφορά της ακολουθίας των **bits** ξεχωριστά κατά μήκος της ζεύξης

Η ζεύξη παραδίδει **bits** αφού πρώτα τα μετατρέψει σε σήματα τα οποία διαδίδονται μέσω ενός καναλιού

🔊 Σήμα καλείται η **υπέρθεση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων**

Φυσικό επίπεδο 2

- ☞ Τα bits στέλνονται **διαδίδοντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή οπτικούς παλμούς** κατα μήκος του φυσικού μέσου
 - Συνεστραμμένο χάλκινο καλώδιο (twisted pair copper wire)
 - Ομοαξονικό καλώδιο (coaxial cable)
 - Επίγειο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων
 - Δορυφορικό φάσμα ραδιοσυχνοτήτων

Μετάδοση Ήχου

- Ένα κύμα που διαδίδεται στον χώρο με τον χρόνο ...

(πολύ απλά) “Μεταβολή πίεσης στον αέρα”

- Το μικρόφωνο μετατρέπει μεταβολή πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα
- Γίνεται δειγματοληψία και μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε αριθμούς ...

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Έχουν δύο σημαντικές ιδιότητες:

1. Διαδίδονται

⚡ Μετακινούνται δηλαδή από το ένα μέρος στο άλλο,

όπως από ένα πομπό σε ένα δέκτη

2. Περιέχουν ενέργεια

η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά μηνυμάτων

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα (συνέχεια)

- Το Ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να θεωρηθεί ως μια **ροή φωτονίων**
- Φωτόνιο: **μικρή ριπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας**

Η **ενέργεια μεταφέρεται από φωτόνια**

- ⚡ Το φαινόμενο διάδοσης προκαλείται από τις **αλληλεπιδράσεις ενός ταλαντούμενου ηλεκτρικού πεδίου και ενός ταλαντούμενου μαγνητικού πεδίου τα οποία ωθούν το ένα το άλλο στο κενό ή σε ένα άλλο μέσο διάδοσης**

Βασικές αρχές

Ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο (*Faraday*)

Σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ένα μεταβαλλόμενο πεδίο επάγει ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο κ.ο.κ ... προκαλώντας έτσι τη διάδοση του κύματος (*Maxwell*)

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα (συνέχεια 1)

- Περιγράφεται από τη **συχνότητα**: αριθμός ταλαντώσεων των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στην μονάδα του χρόνου

☞ 1 Hertz αντιστοιχεί σε μια πλήρη ταλάντωση ανά δευτερόλεπτο

και το **μήκος κύματος**: λόγος ταχύτητας διάδοσης προς συχνότητα

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα (συνέχεια 2)

🔊 Τα δίκτυα επικοινωνιών μεταδίδουν πληροφορία μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Τα **ηλεκτρόνια** στα σύρματα ή στο καλώδιο μίας γραμμής χαλκού **αλληλοεπιδρούν με το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και το οδηγούν**

Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού ρεύματος

- Η ροή φορτίου ονομάζεται **ηλεκτρικό ρεύμα** και είναι ο *ρυθμός με τον οποίο τα ηλεκτρικά φορτία διέρχονται διαμέσου ενός αγωγού*
- Τα φορτισμένα σωματίδια μπορούν να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά
- Για τη ροή φορτίου, απαιτείται μία ώθηση (μία δύναμη) η οποία παρέχεται από την τάση ή **διαφορά δυναμικού**
- Το φορτίο κινείται από το υψηλό δυναμικό (περιοχή υψηλής δυναμικής ενέργειας) προς το χαμηλό δυναμικό (περιοχή χαμηλής δυναμικής ενέργειας)
 - ☞ Αν υπάρχει **διαφορά δυναμικού** μεταξύ δύο περιοχών και εμείς τις συνδέσουμε (αγωγή), **θα υπάρξει ροή φορτίου**
 - ☞ Το **φορτίο συνεχίζει να κινείται** μέχρι η δύναμη που ασκείται πάνω του να **μειωθεί σε κάποια ελάχιστη τιμή ή έως ότου το δυναμικό εξισωθεί**


Βασικά στοιχεία ηλεκτρικής τάσης 1

- Η τάση θα έπρεπε να καλείται ορθότερα «διαφορά δυναμικού»
- Είναι στην πραγματικότητα η ηλεκτρεγερτική δύναμη (emf) (η κινητήριος δύναμη των ηλεκτρονίων στον ηλεκτρισμό)
- ☞ Η **διαφορά δυναμικού** είναι υπεύθυνη για την άπωση και την έλξη των ηλεκτρονίων ή για το ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου ενός κυκλώματος

Βασικά στοιχεία ηλεκτρικής τάσης 2

- Μία κινητήριος δύναμη ηλεκτρονίων επίσης υπάρχει μεταξύ δύο αντικειμένων όποτε υπάρχει μία διαφορά στον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων ανά μονάδα όγκου του αντικειμένου.
- Όταν δύο αντικείμενα, που είναι αρνητικά φορτισμένα, συνδεθούν αγώγιμα μεταξύ τους, το ηλεκτρικό ρεύμα θα έχει φορά από το περισσότερο αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο προς το λιγότερο αρνητικά φορτισμένο
- Ροή ηλεκτρικού ρεύματος θα υπάρξει επίσης από ένα λιγότερο θετικά φορτισμένο αντικείμενο προς ένα περισσότερο θετικά φορτισμένο αντικείμενο, εφόσον τα δύο αντικείμενα συνδεθούν αγώγιμα μεταξύ τους

Βασικά στοιχεία ηλεκτρικής τάσης 3

 Το ηλεκτροστατικό πεδίο, δηλαδή η τάση των ηλεκτρονίων να προσπαθούν να φτάσουν ένα θετικό φορτίο ή να προέρχονται από πιο υψηλό αρνητικό φορτίο είναι η κινητήριος δύναμη των ηλεκτρονίων ή αλλιώς τάση

- Εκφράζεται σε μονάδες που ονομάζονται **volts**, σύντμηση του voltage

 Ως ένα **volt** ορίζεται η **πίεση** που απαιτείται για τη διέλευση ρεύματος ενός **ampere** διαμέσου μίας αντίστασης ενός **ohm**

Έννοιες πεδίου χρόνου: Αναλογικά & ψηφιακά σήματα

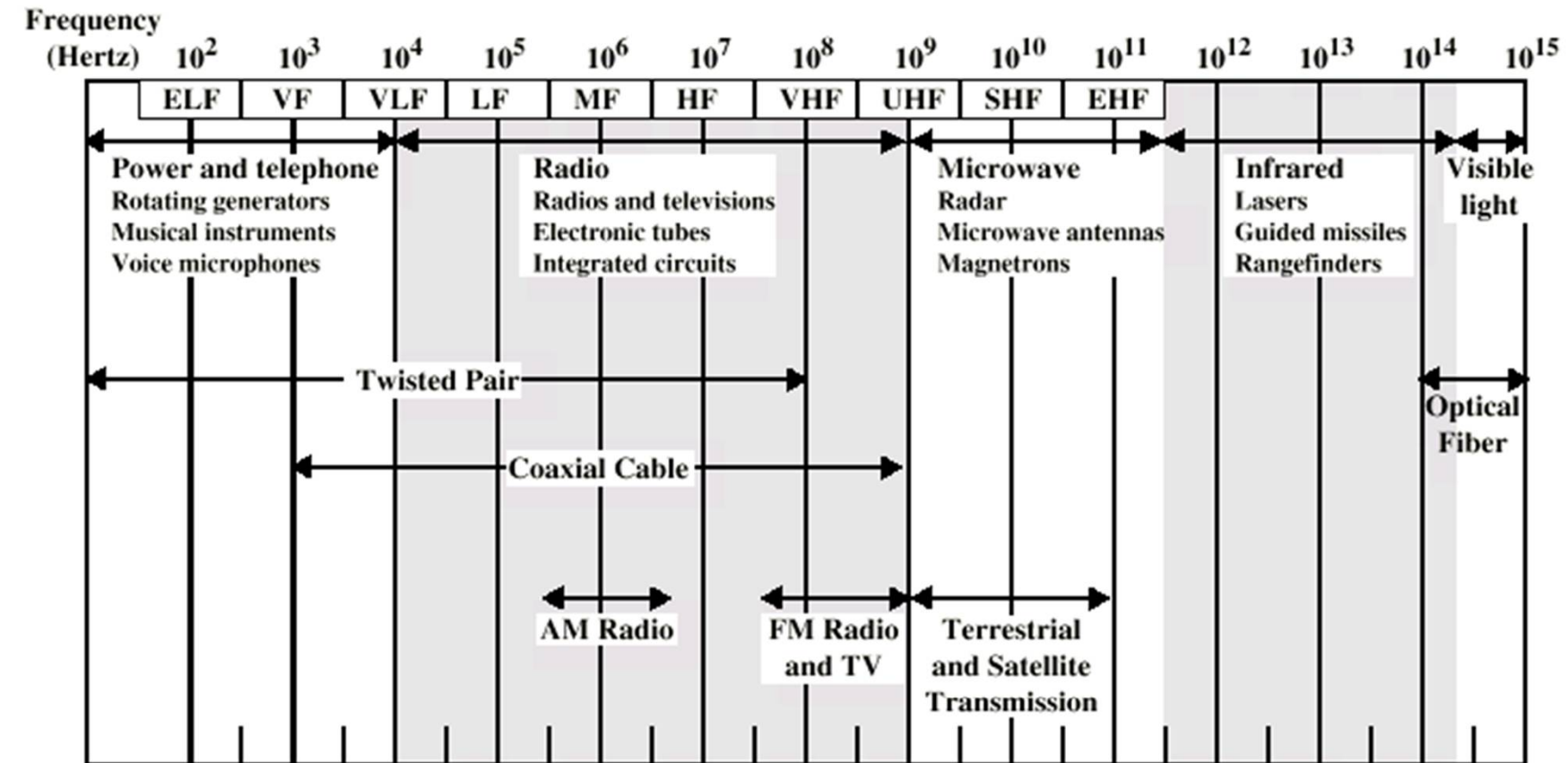
- **Μέγιστο εύρος (A)** - Μέγιστη τιμή ή δύναμη του σήματος με την πάροδο του χρόνου. Συνήθως μετριέται σε volts
- **Συχνότητα (f)**: Ρυθμός (rate), σε cycles/sec ή Hertz (Hz) στους οποίους το σήμα επαναλαμβάνεται
- **Φάση (φ)** – Μέτρο της σχετικής θέσης στο χρόνο εντός μίας περιόδου του σήματος

 γενικό κύμα ημιτόνου $s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi)$

- ☞ **Οποιοδήποτε** ηλεκτρομαγνητικό σήμα μπορεί να αποδειχθεί ότι αποτελείται από μια συλλογή περιοδικών αναλογικών σημάτων (κύματα ημιτόνου) σε διαφορετικά εύρη, συχνότητες και φάσεις

$$x(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(\omega_0 t + \phi_k)$$

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Wavelength in space (meters) λ (meters) = $300 / \text{freq in MHz}$

ELF = Extremely low frequency
 VF = Voice frequency
 VLF = Very low frequency
 LF = Low frequency

MF = Medium frequency
 HF = High frequency
 VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency
 SHF = Superhigh frequency
 EHF = Extremely high frequency

Προτυποποίηση διαδικτύου 1

- ☞ **International Telecommunications Union (ITU)**
 - Οργάνωση συνθήκης Ηνωμένων Εθνών
 - Πρότυπα μετάδοσης (π.χ. modem: V.90)
 - Παραδοσιακές τηλεφωνικές υπηρεσίες, fax

Προτυποποίηση διαδικτύου 2

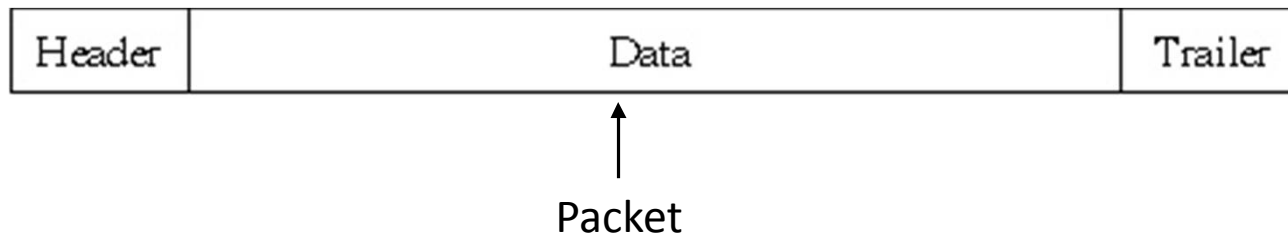
- ☞ **Internet Engineering Task Force (IETF)**
 - Πυρήνας: πρωτόκολλο διαδικτύου, μεταφοράς (TCP)
 - Εφαρμογές: email, HTTP, FTP, SSH, NFS, VoIP
 - Όχι: HTML, APIs
- W3C
 - HTML, XML, schema, SOAP, semantic web,...
- OASIS
 - Χρήση XML για ειδικές εφαρμογές
- Πολλοί άλλοι οργανισμοί

Θεμελιώδεις τεχνικές μετάδοσης

- Μεταγωγή κυκλωμάτων (*circuit switching*)
μεταφορά (συνεχής) ακολουθίας από bits

☎ παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο

- Μεταγωγή πακέτων (*packet switching*)
☰ αποθήκευση-και-προώθηση (store-and-forward
μηνυμάτων
– Διαδίκτυο (Internet)



Μεταγωγή κυκλωμάτων

- Δέσμευση (reservation) των πόρων του «μονοπατιού» που συνδέει τα δύο συστήματα που επικοινωνούν (end systems)
- Δεσμεύονται πόροι (πχ buffers, link bandwidth), ώστε το δίκτυο να μπορεί να δώσει εγγυήσεις για την ποιότητα υπηρεσίας
- Η δέσμευση γίνεται πριν ξεκινήσει η επικοινωνία των δυό συστημάτων και υφίσταται για όλη τη διάρκεια της

Δίκτυα μεταγωγής κυκλωμάτων (circuit switched)

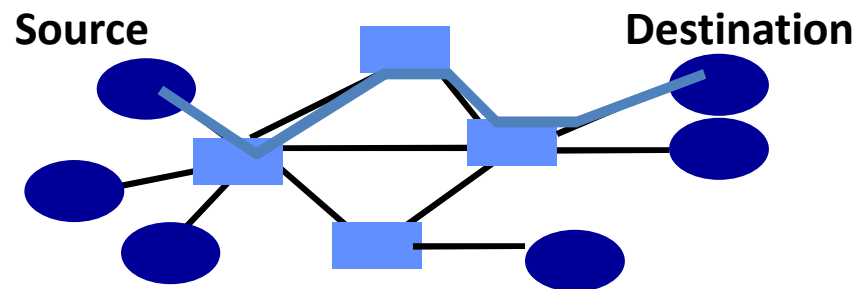
Δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο

Public Switched Telephone Network
(PSTN)

- **επικοινωνία με σύνδεση** (connection-oriented)
- **αξιόπιστο** (reliable)
- ένας-προς-έναν (one-to-one) ή περιορισμένη επικοινωνία
ένας-προς-πολλούς (one-to-many)
- η **διαδρομή** (route) καθορίζεται στη **φάση δημιουργίας της κλήσης** (call setup time)

Δίκτυα μεταγωγής κυκλωμάτων (circuit switched)

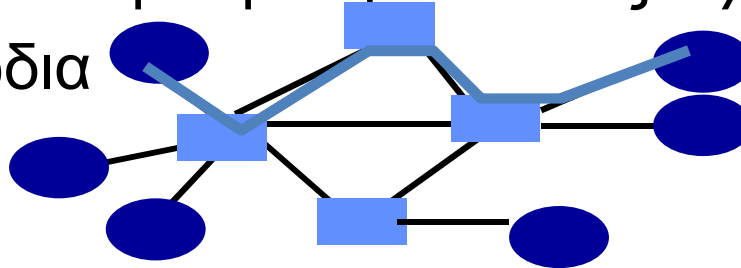
- ☞ Η πηγή αρχικά δημιουργεί μία σύνδεση προς τον προορισμό (κύκλωμα)
- Κάθε δρομολογητής ή μεταγωγέας κατά μήκος της διαδρομής μπορεί να δεσμεύσει κάποιο εύρος ζώνης για τη ροή δεδομένων
- Η πηγή στέλνει τα δεδομένα διαμέσου του κυκλώματος
- Δεν υπάρχει λόγος να συμπεριλαμβάνεται στα δεδομένα η διεύθυνσης προορισμού, αφού οι δρομολογητές γνωρίζουν τη διαδρομή
- Η σύνδεση «καταστρέφεται»



Με κόκκινο συμβολίζουμε την σύνδεση (circuit)

Δίκτυα μεταγωγής κυκλωμάτων (συνέχεια)

- Τι συμβαίνει στην περίπτωση πολλών συνδέσεων?
 - Πολλά καλώδια (π.χ., τα καλώδια 200-ζευγών)
- Μία πρακτικότερη προσέγγιση είναι να **πολυπλέξουμε πολλαπλά κυκλώματα επί ενός “γρήγορου” καλωδίου**
 - Μπορούμε να επωφεληθούμε από τις τεχνολογικές εξελίξεις
 - Λιγότερα καλώδια
 - Πολυπλεξία



Δίκτυα μεταγωγής κυκλωμάτων (συνέχεια)

- 👍 Τα κυκλώματα έχουν μερικές πολύ ελκυστικές ιδιότητες
 - Γρήγορη και απλή μεταφορά δεδομένων
 - 👉 άπασ και δημιουργηθεί το κύκλωμα
 - Προβλέψιμες επιδόσεις (π.χ. εγγυημένο εύρος ζώνης)
εφόσον το κύκλωμα παρέχει απομόνωση από άλλους χρήστες
- 👎 Αλλά έχουν και κάποια «κουσούρια»
 - Τι συμβαίνει με τη **ριπαία κίνηση (bursty traffic)**?
 - 👉 Το κύκλωμα είναι ανενεργό για σημαντικές χρονικές περιόδους
 - Τι συμβαίνει με τους **χρήστες που έχουν διαφορετικές ανάγκες σε εύρος ζώνης**?
 - Πρέπει να χρησιμοποιήσουν πολλαπλά κυκλώματα?
- Εναλλακτική λύση: Μεταγωγή πακέτων....

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων (packet switching)

☞ Οι διαδρομές επιλέγονται δυναμικά

– μεταφορά πακέτων (packets–datagrams)

– αξιόπιστη ή μη αξιόπιστη επικοινωνία

με σύνδεση (connection-oriented) ή χωρίς σύνδεση
(connectionless)

☹ Είναι **best-effort** προσέγγιση:

δεν δίνει εγγύηση για την ποιότητα υπηρεσίας

Η AT&T είχε πει ότι δεν μπορούν να χτιστούν ...

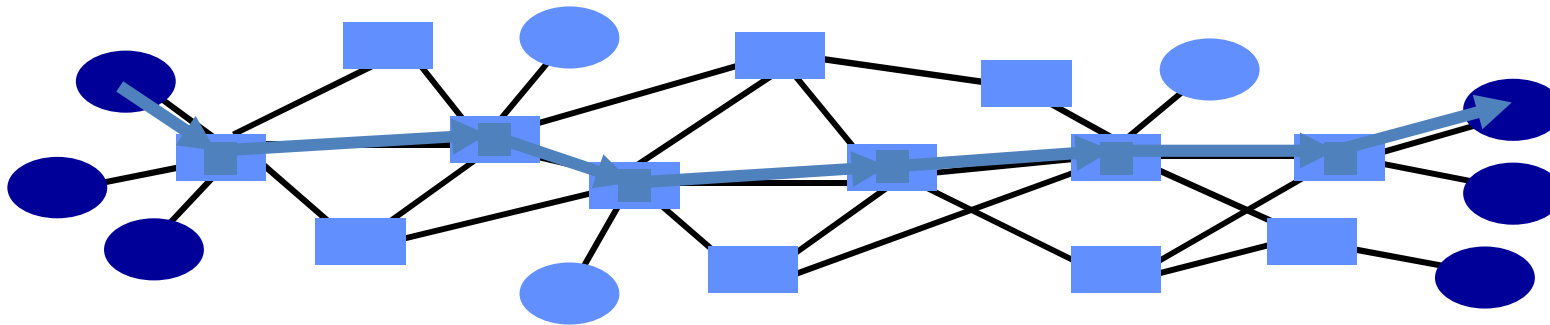
Δίκτυα μεταγωγής πακέτων (packet switching) 1

- Η πηγή στέλνει την πληροφορία ως **αυτοδύναμα (self-contained) πακέτα** που έχουν διεύθυνση
 - Η πηγή ίσως πρέπει να διασπάσει ένα μήνυμα σε πολλά

Analogy: a letter in surface mail

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων (packet switching) 2

- Κάθε πακέτο ταξιδεύει **ανεξάρτητα** προς τον προορισμό
 - Οι δρομολογητές και οι μεταγωγείς χρησιμοποιούν τη διεύθυνση στα πακέτα για να καθορίσουν πώς αυτά θα προωθηθούν



Analogy: a letter in surface mail

Πως φτάνει ένα πακέτο στον τελικό προορισμό;

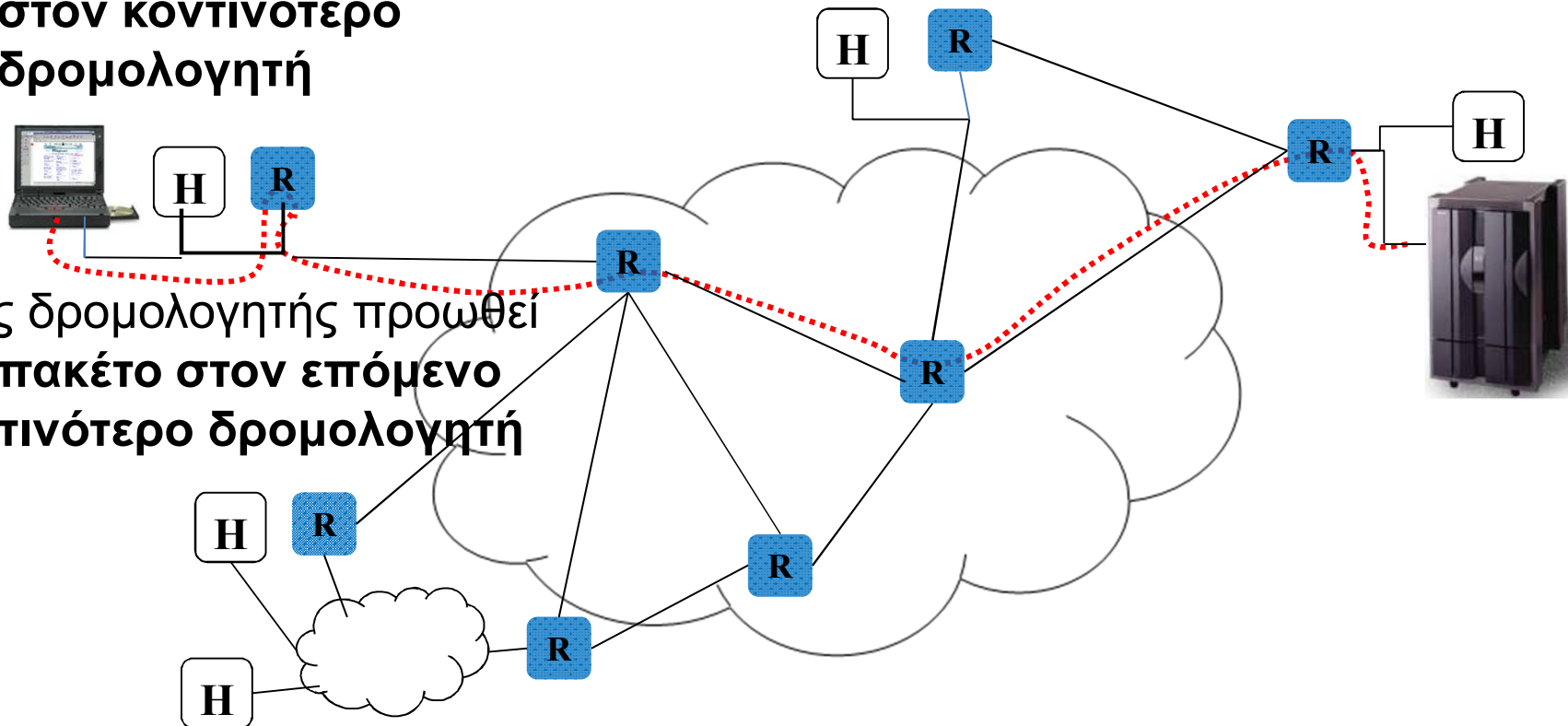
Μεταγωγή αυτοδύναμων πακέτων

H: Σταθμοί (Hosts)

R: Δρομολογητές (Routers)

Ο σταθμός στέλνει το πακέτο στον κοντινότερο δρομολογητή

Ένας δρομολογητής προωθεί το πακέτο στον επόμενο κοντινότερο δρομολογητή



Δίκτυα μεταγωγής πακέτων 1

- Σημαντικές δομές:
 1. Πακέτα
 2. Σταθμοί (end stations/systems)
 3. Δρομολογητές
- ☞ Οι περισσότεροι δρομολογητές χρησιμοποιούν τη μετάδοση με αποθήκευση & προώθηση (store-and-forward)

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων 2

☞ Μετάδοση με αποθήκευση & προώθηση
(ορισμός) ο δρομολογητής θα πρέπει να λάβει
ολόκληρο το
πακέτο πριν ξεκινήσει τη μετάδοση του πρώτου
bit του πακέτου
στο outbound link

Μετάδοση με αποθήκευση & προώθηση (store-and-forward)


- Μια μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση από τον Α στον Γ μέσω του Β είναι αποδοτικότερη εάν η μεταδοση από τον Β στο Γ μπορεί να ξεκινήσει πριν ολοκληρωθεί αυτήν από τον Α στον Β
- ☞ Τα μηνύματα πρέπει να **κατατμηθούν σε σχετικά μικρά πακέτα**
- Πλεονεκτήματα ?**

Παράδειγμα

Έστω ότι

- Για την μετάδοση ενός μεγάλου μηνύματος μέσω μιας άμεσης ζεύξης χρειάζεται D ms
- Για την μετάδοση ενός μικρού πακέτου μέσω μιας άμεσης ζεύξης χρειάζεται d ms
- Υπάρχουν N ενδιάμεσοι κόμβοι

Παράδειγμα (συνέχεια)

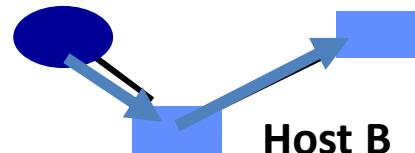
 Υπολογίσετε τον χρόνο που χρειάζεται η μετάδοση του μεγάλου μηνύματος, εάν χρησιμοποιηθεί μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση.

Έστω ότι χωρίζουμε το μεγάλο μήνυμα σε K μικρά
...

Μετάδοση με store-and-forward (συνέχεια)

- ☞ Η μείωση του χρόνου παράδοσης που επιτυγχάνεται με την μεταγωγή πακέτων με αποθήκευση και προώθηση καλείται κέρδος σωληναγωγής (**pipelining gain**)
- Το κέρδος μεγαλώνει όσο αυξάνεται ο αριθμός των ενδιάμεσων κόμβων στο μονοπάτι (route)
Host Γ

Host A



Δρομολόγηση (Routing)

- Ποιος επιλέγει τις διαδρομές?
 - Ένας άνθρωπος: Στατική δρομολόγηση
 - Συγκεντρωτική (centralized) δρομολόγηση (telenet, περίπου στα 1980)
 - Κατανεμημένη (distributed) δρομολόγηση (Internet, ad hoc networks)
- Στην κατανεμημένη δρομολόγηση Δίκτυα χωρίς υποδομή
χρησιμοποιείται κάποιο *Πρωτόκολλο Δρομολόγησης*
 - Χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα
 - Εντός οργανισμών: RIP, OSPF
 - Μεταξύ οργανισμών: BGP

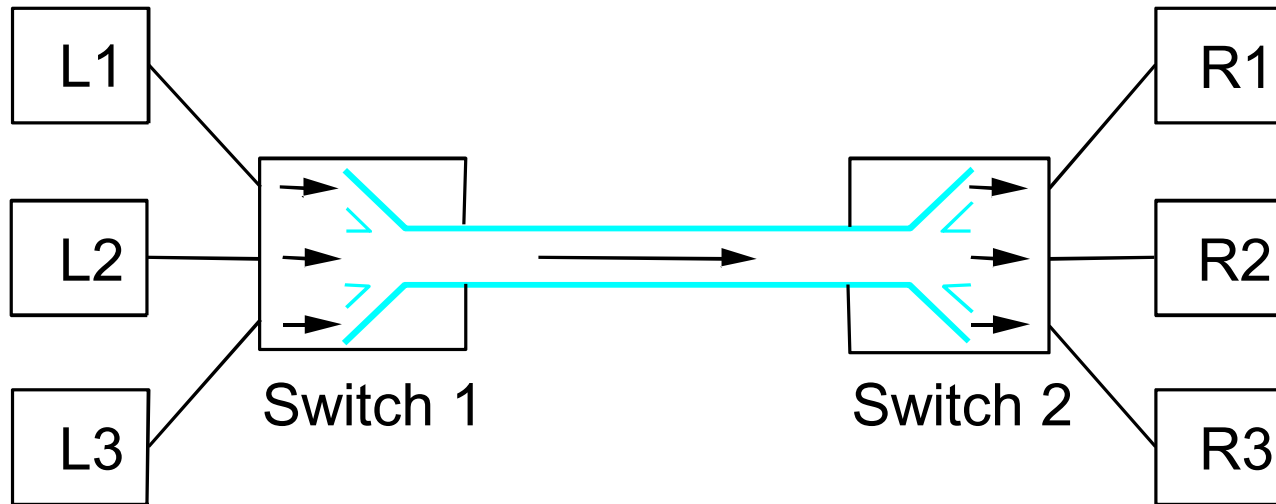
Και μερικά ακόμα ζητήματα ...

- Πώς ξέρει ένας δρομολογητής ποιος είναι ο επόμενος κοντινότερος στο τελικό προορισμό;
- Προβλήματα κατά την μετάδοση:
 - μπορεί να συμβεί **λάθος σε ένα πακέτο**
πχ εξαιτίας παρεμβολών στη μετάδοση ή θορύβου
 - μπορεί να **χαθεί ένα πακέτο**
 - τα πακέτα μπορεί να φτάσουν με **διαφορετική σειρά**
 - μερικοί σύνδεσμοι/κόμβοι μπορεί να είναι αργοί
(συμφόρηση)

Είδη πολυπλεξίας

Πολυπλεξία με

- **διαίρεση χρόνου** - Time Division Multiplexing (TDM)
- **διαίρεση συχνότητας** - Frequency Division Multiplexing (FDM)
- **στατιστική πολυπλεξία** - Statistical Multiplexing



- **διαίρεση κωδίκων** - Code Division Multiple Access (CDMA)

Πολυπλεξία σε Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

Ένα κύκλωμα σε μία ζεύξη μπορεί να υλοποιηθεί με frequency-division multiplexing (FDM) ή time-division multiplexing (TDM)

Frequency Division Multiple Access:

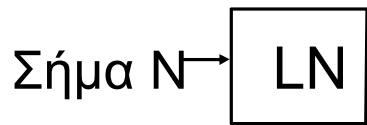
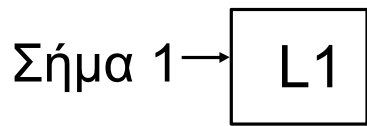
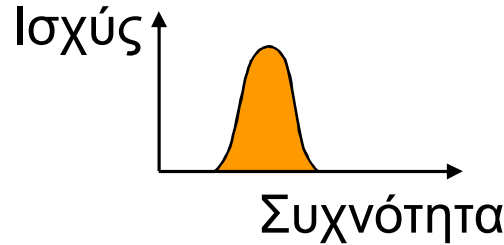
- Κάθε κύκλωμα δεσμεύει μια **συγκεκριμένη συχνότητα** που παραμένει σταθερή
- Πολλαπλά κυκλώματα μοιράζονται τη μπάντα με το να χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες η κάθε μία

Time Division Multiple Access:

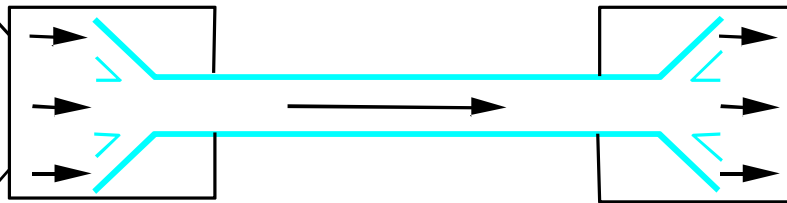
- Κάθε κύκλωμα δεσμεύει όλο το bandwidth **περιοδικά** με διάρκεια μικρών χρονικών περιόδων

Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας

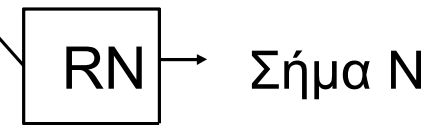
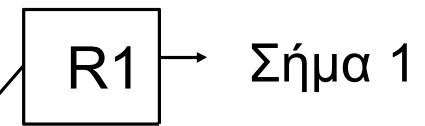
Διαμόρφωση στο κανάλι 1



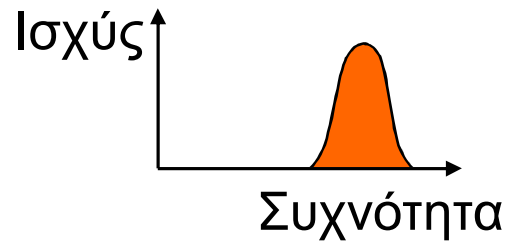
Διαμόρφωση στο κανάλι N



Συντονισμένο στο κανάλι 1



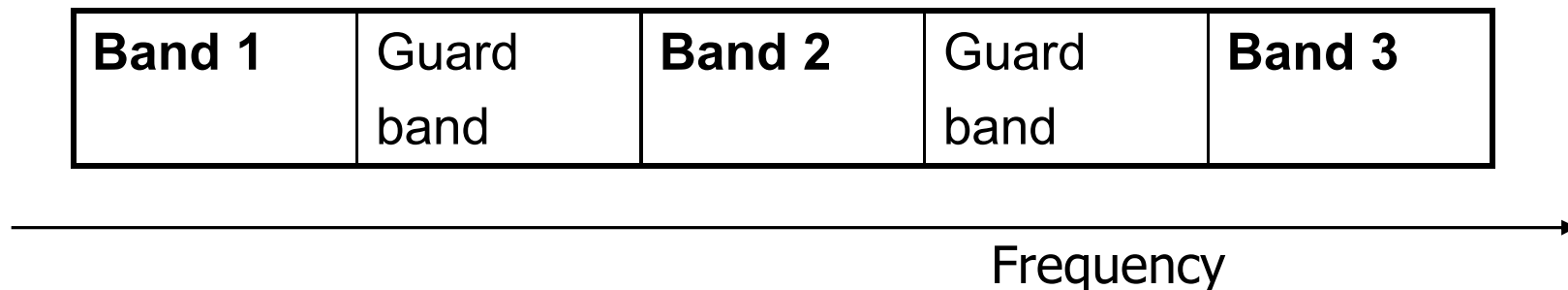
Συντονισμένο στο κανάλι N



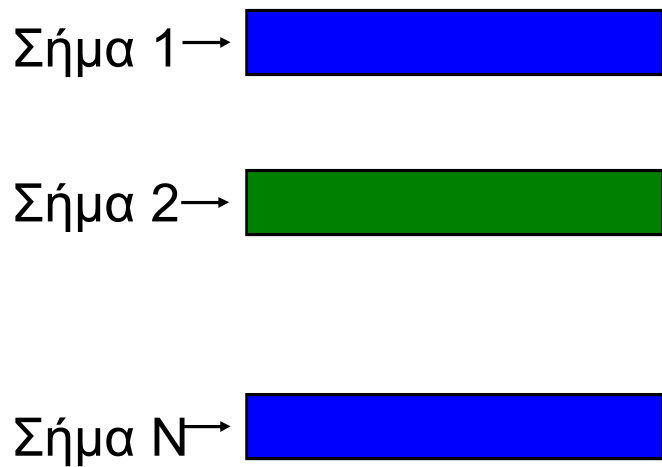
Πολυπλεξία σε Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας
(Frequency division multiple access)

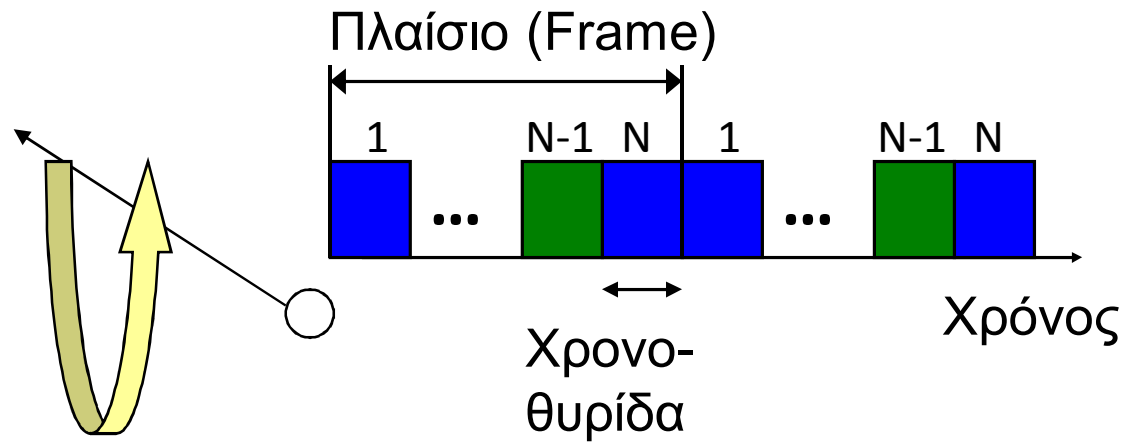
- Τα κινητά τηλέφωνα πρώτης γενιάς τη χρησιμοποιούσαν για την κατανομή των ασύρματων καναλιών
- **Κάθε χρήστης χρησιμοποιούσε κατά αποκλειστικότητα ένα κανάλι**
- Χρησιμοποιούνταν ζώνες φύλαξης (guard bands) για να διασφαλιστεί ότι η «**διαρροή φάσματος**» (**spectral leakage**) από κάποιον χρήστη δε θα προκαλούσε προβλήματα σε χρήστες των διπλανών καναλιών



Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου



Διαμόρφωση ισχύς
η στο κανάλι
N



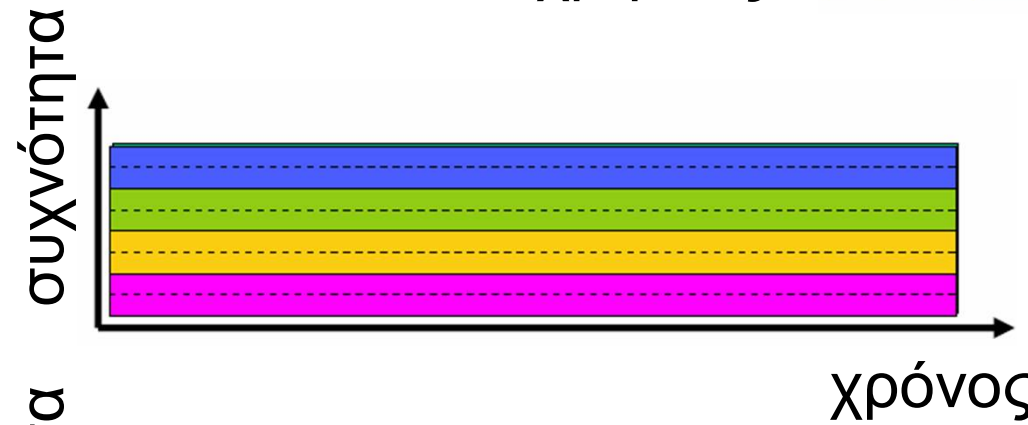
Πολυπλεξία σε Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

Παράδειγμα:

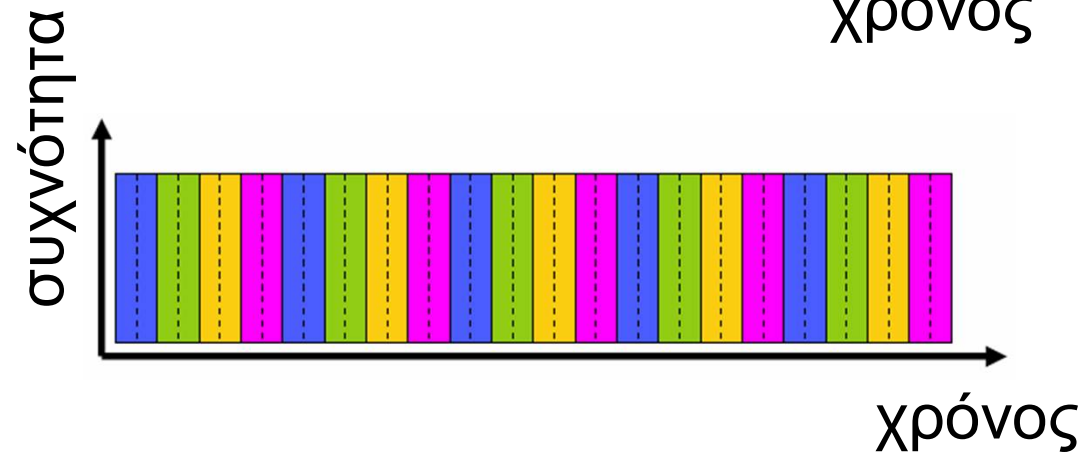
4 χρήστες



FDM



TDM



Πολυπλεξία σε Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

Παραδείγματα:

- το FM ραδιόφωνο χρησιμοποιεί το FDM για να μοιραστούν οι σταθμοί της microwave μπάντας συχνοτήτων
- το τηλέφωνο, η μπάντα συχνοτήτων έχει πλάτος 4kHz (4,000 κύκλοι το δευτερόλεπτο)

Το πλάτος της μπάντας λέγεται bandwidth

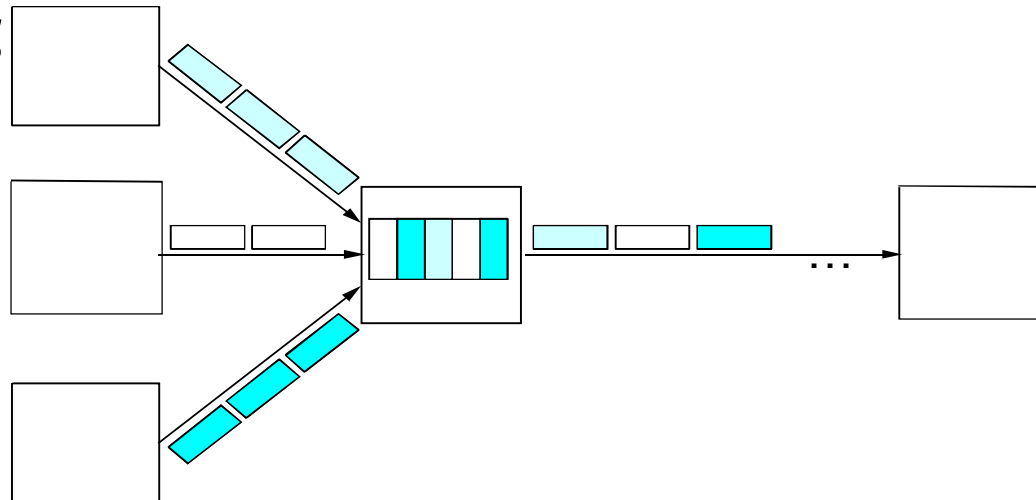
Στην τηλεφωνία έχουμε κυρίως TDM

Πολυπλεξία σε Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος

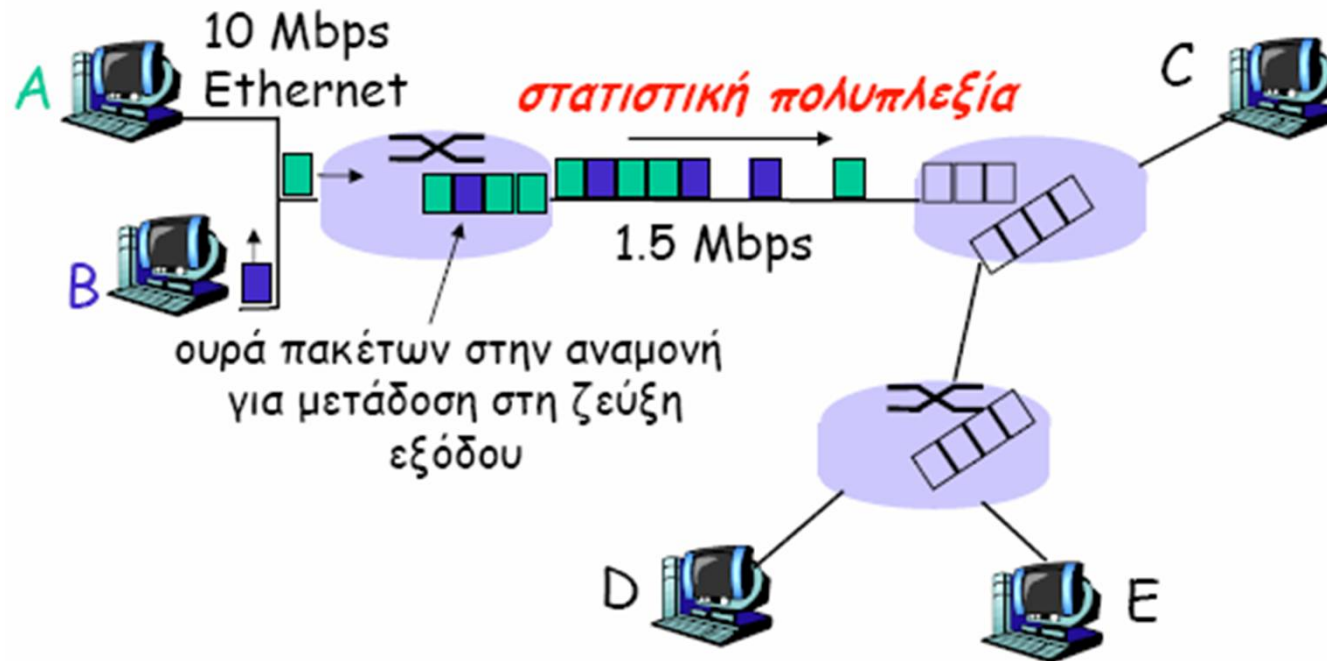
- **FDM:**
 - προσαρμόζει το σήμα στα χαρακτηριστικά του μέσου
 - παράδειγμα: μετάδοση τηλεόρασης
- **TDM:**
 - κατάλληλο για σύγχρονη επικοινωνία
 - παράδειγμα: σταθερή τηλεφωνία, κινητή τηλεφωνία (GSM)
- Κι οι δύο τεχνικές **δεσμεύουν πόρους** (συχνότητα ή χρονοθυρίδες) με στατικό τρόπο
- Λόγω της **στατικής** δέσμευσης **δεν είναι αποδοτικές** για **εκρηκτική κίνηση** (bursty traffic)

Στατιστική πολυπλεξία (statistical multiplexing)

- Διαίρεση χρόνου «κατ' αίτηση»
- Χρονοπρογραμματισμός συνδέσμου ανά πακέτο
- Πακέτα από **διαφορετικές πηγές** εναλλάσσονται στον σύνδεσμο
- Ζητήματα:
 - Τα πακέτα χρειάζονται ετικέτες (labels) ή διευθύνσεις (addresses)
 - ☞ Απαιτείται η ενταμίευση πακέτων
- ☞ Μπορεί να συμβεί **υπερχείλιση ενταμιευτών σε καταστάσεις συμφόρησης**



Μεταγωγή Πακέτων: Στατιστική Πολυπλεξία



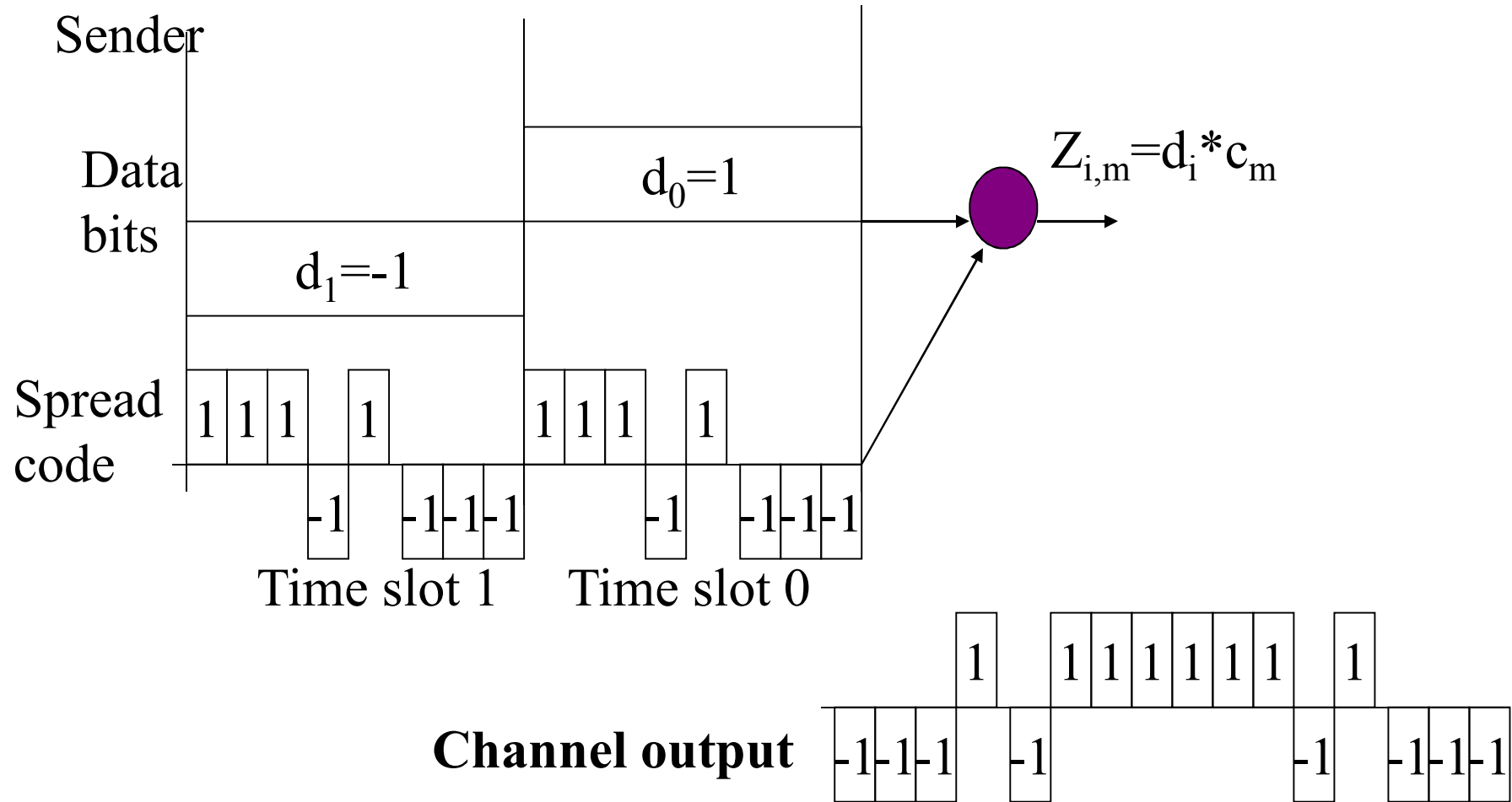
Η ακολουθία πακέτων παραγεται απο τις πηγες A και B με τυχαίο τρόπο → **στατιστική πολυπλεξία**

Στο TDM δίνεται σε κάθε κόμβο η ίδια χρονοθυρίδα (slot) στο περιστρεφόμενο πλαίσιο TDM

Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα (CDMA)

- Στο CDMA ορίζεται σε κάθε κόμβο ένας διαφορετικός κώδικας
- Οι κώδικες είναι **ορθογώνιοι μεταξύ τους** (δηλ. το εσωτερικό γινόμενο μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κωδίκων είναι 0)
- Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί το δικό του μοναδικό κώδικα για να κωδικοποιήσει τα bits των δεδομένων που στέλνει
- Οι κόμβοι **μπορούν να εκπέμπουν ταυτόχρονα**
- **Πολλαπλοί κόμβοι σε κάθε κανάλι**
- Οι αντίστοιχοι προς αυτούς δέκτες
 - Λαμβάνουν σωστά τα κωδικοποιημένα bits δεδομένων ενός πομπού
 - **Θεωρώντας ότι ο δέκτης γνωρίζει τον κώδικα του πομπού,** παρά τις παρεμβαλλόμενες μεταδόσεις άλλων κόμβων

Παράδειγμα CDMA



Παράδειγμα CDMA (συνέχεια)

- Όταν δεν υπάρχουν παρεμβάλλοντες πομποί
 - Ο δέκτης
 - Λαμβάνει τα κωδικοποιημένα bits
 - Ανακτά τα αρχικά bit δεδομένων, d_i , υπολογίζοντας το

$$d_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z_{i,m} * c_m$$

- Τα παρεμβάλλοντα εκπεμπόμενα δυαδικά σήματα είναι προσθετικά

Σύντομη ιστορία των δικτύων

...

Ιστορία των δικτύων

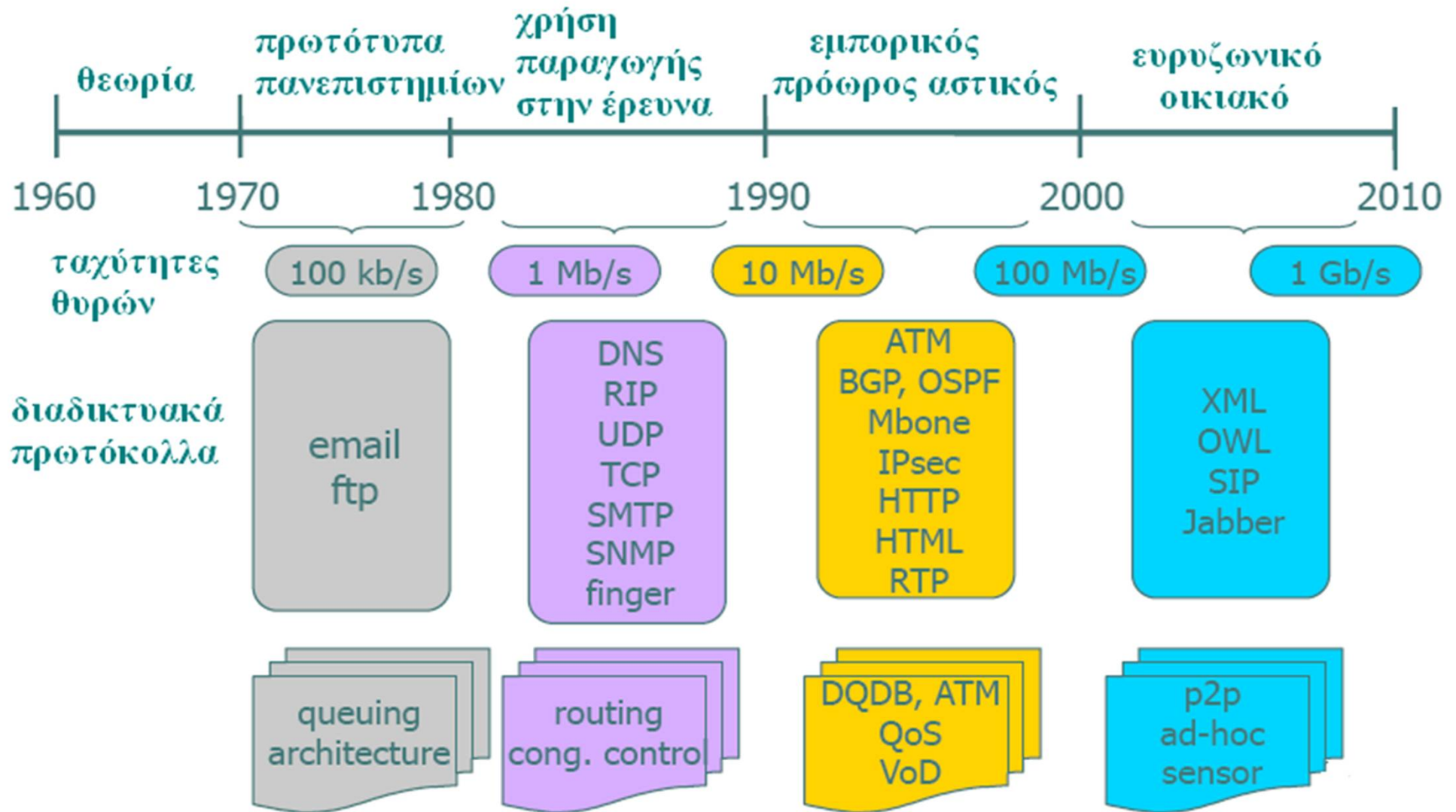
Οι δικτυακές εφαρμογές αντικαθιστούν τις “μη δικτυακές”:

- Ταχυδρομείο και ενδοεταιρικά mail, fax → email, IM
- Μεταδόσεις: τηλεόραση, ράδιο
- Διαδραστική επικοινωνία μέσω φωνής, video → VOIP
- Πρόσβαση πληροφοριών → web, P2P
- Πρόσβαση δίσκων → iSCSI, Fiberchannel-over-IP

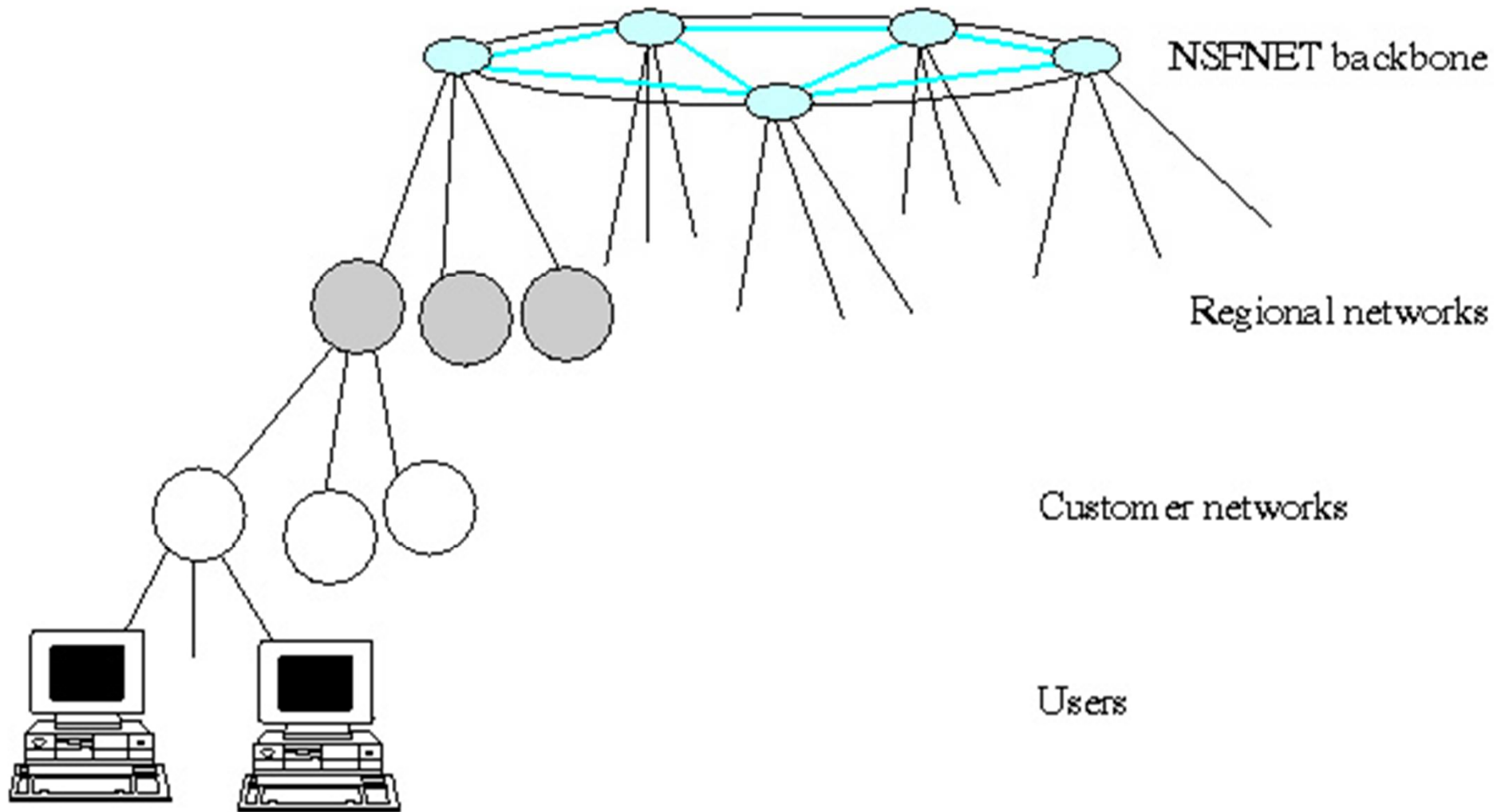
Βασικές ιστορικές στιγμές του Διαδικτύου

- 1962: Ο Paul Baran (Rand Corporation) προτείνει την μεταγωγή πακέτων
- 1969: Το Defense Advanced Research Projects Agency των ΗΠΑ χρηματοδοτεί ένα πρόγραμμα σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
Δημιουργείται το **ARPANET** με τέσσερεις κόμβους
- 1974: Οι Vint Cerf και Bob Kahn δημοσιεύουν τους βασικούς μηχανισμούς του **Transmission Control Protocol (TCP)**
- 1982: Η ιεραρχία πρωτοκόλλων TCP/IP ορίζεται για το ARPANET
- 1984: Σύστημα καταλόγου ονομάτων (**Domain Name System**)
- 1986: Δημιουργείται το NSFNET (56 Kbps)
- 1992: Ο Tim Berners-Lee (CERN) σχεδιάζει τον Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web)

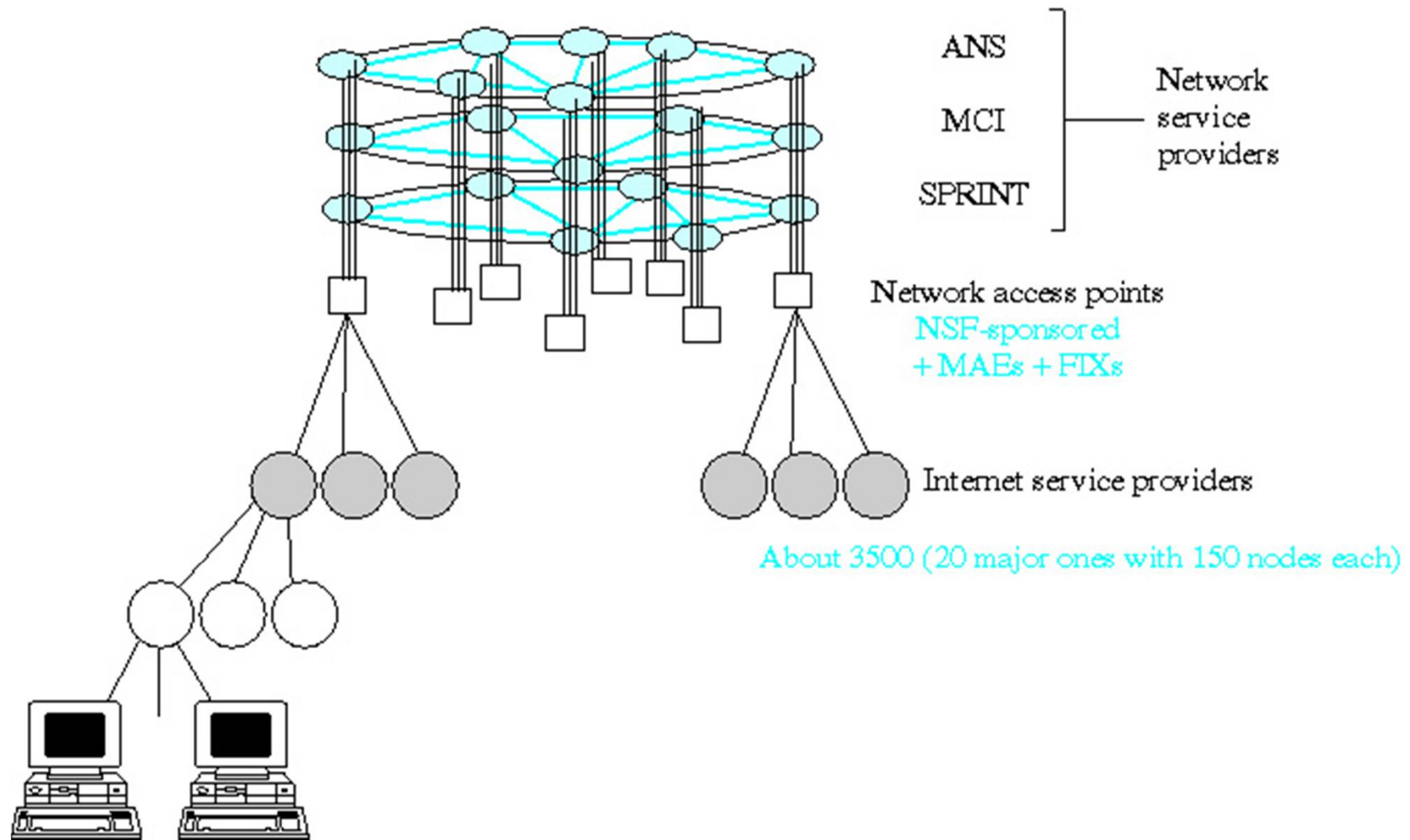
Εξέλιξη διαδικτύου & δικτύων στον χρόνο



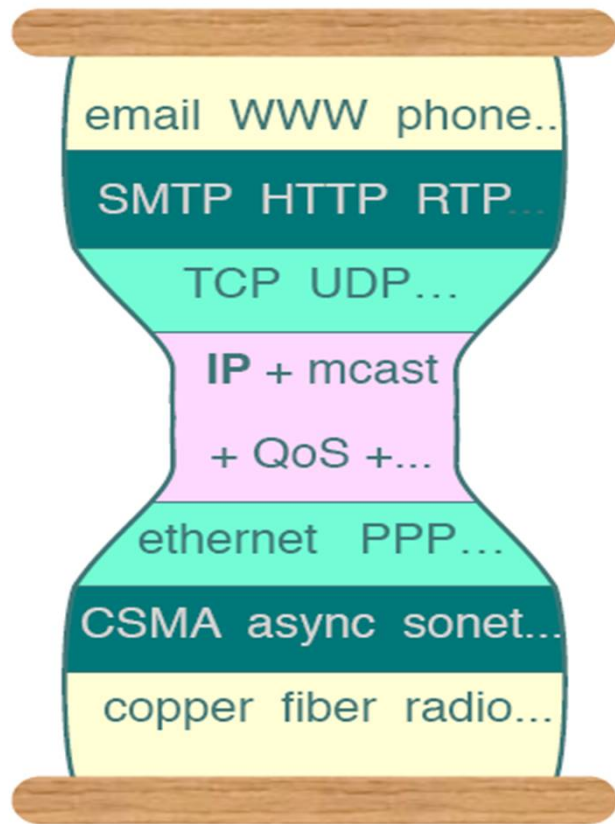
NSFNET (1990)



Internet (1998)

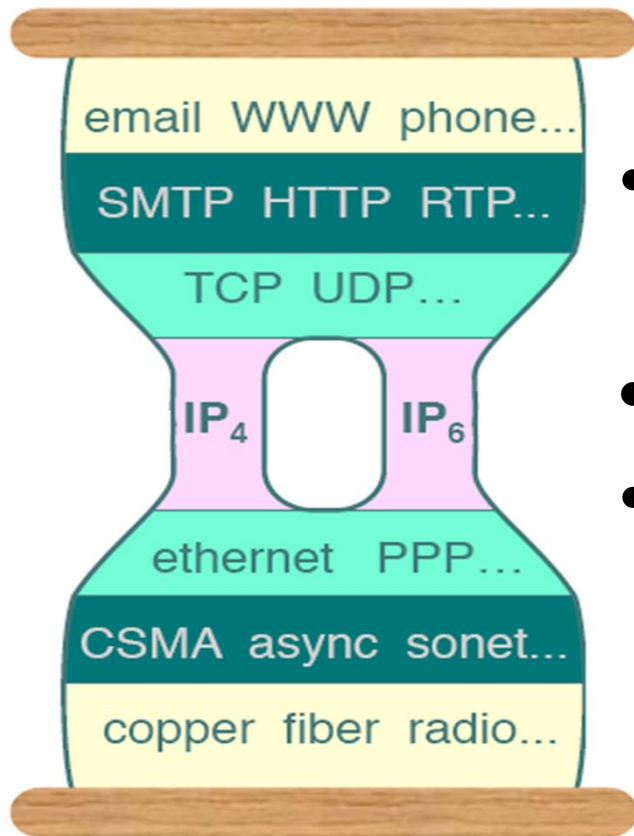


Η αρχιτεκτονική της κλεψύδρας- δίνοντας περισσότερο βάρος



- Απαιτεί περισσότερη λειτουργικότητα από τα υποκείμενα δίκτυα

Η κρίση της μέσης ηλικίας



- Διπλασιάζει τον αριθμό των διεπαφών υπηρεσιών
- Απαιτεί αλλαγές πάνω και κάτω
- Σημαντικά ζητήματα διαλειτουργικότητας

“Η αρχιτεκτονική πολυπλοκότητα είναι σαν το λίπος του σώματος”

- Φυσική τάση να το αποκτάμε όσο μεγαλώνουμε ...
- Είναι εύκολο να το αυξήσεις και δύσκολο να το ξεφορτωθείς ...
 - Ο σχεδιασμός ενός απλού πρωτοκόλλου απαιτεί προσπάθεια ...
- Είναι υγιές να έχεις λίγο από αυτό αλλά όχι πάρα πολύ ...
- Το να το έχεις στη μέση μπορεί να είναι χειρότερο από ότι αλλού
- Κάτι νεότερο και λεπτότερο, θα αποδειχτεί καλύτερο
 - Η αρχιτεκτονική πολυπλοκότητα οδηγεί σε μειωμένη ευκινησία
 - Νεότερα και λιγότερο πολύπλοκα συστήματα τείνουν να αντικαθιστούν τα παλιότερα και περισσότερο σύνθετα ανεξαρτήτως του βάρους (θέση στην αγορά) του παλιού συστήματος...
- Μερικές φορές ο **διαχωρισμός** είναι ένας καλός τρόπος να αρχίσουμε ...
- Τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα απαιτούν διαρκή άσκηση

Αιτίες πολυπλοκότητας

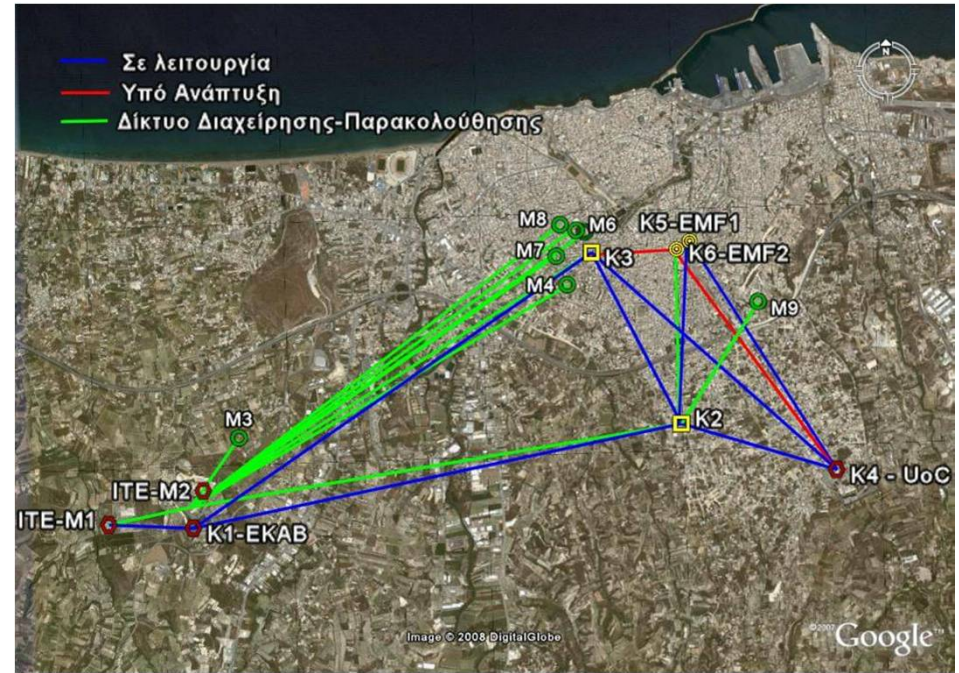
- Πολυπλοκότητα
 - Διαφορά υλοποίησης & χρόνου εκτέλεσης
 - Διαφορά συστήματος-πρωτοκόλλου
- Βελτιώσεις μετά το γεγονός
 - Ασφάλεια
 - Διάσχιση NAT
 - Διεθνοποίηση (e.g DNS)
- Λάθος επίπεδο
 - Πολυεκπομπές, ασφάλεια πρωτοκόλλου διαδικτύου
- Επιλογές
 - Πολλά πρωτόκολλα μεταφοράς, IPv4, IPv6
 - Πολλά ειδικά πρωτόκολλα, IMAP, POP, SMTP
- “Χειρωνακτική” διαμόρφωση

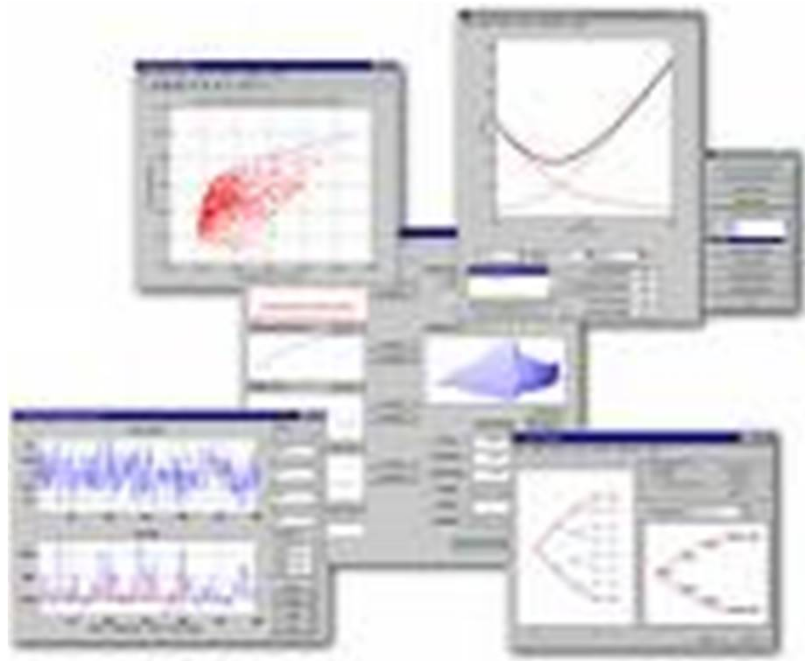
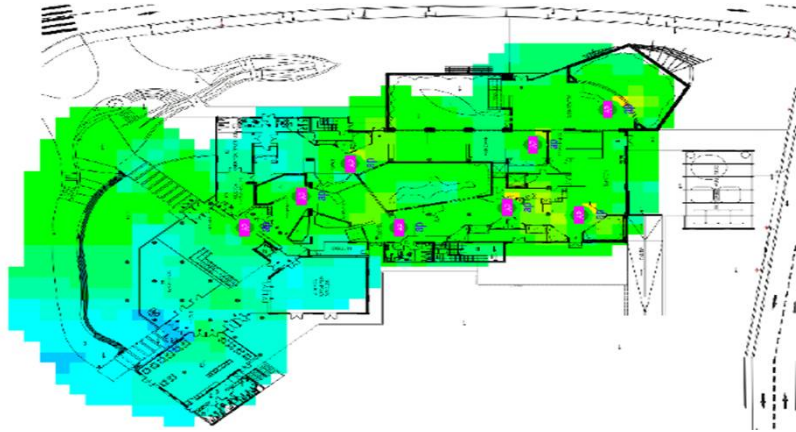
Εξέλιξη δικτύου 1

- Τύποι που έχουν εξερευνηθεί πλήρως, βασισμένοι σε
 - κελιά/πακέτα
 - μηνύματα (μονάδες δεδομένων εφαρμογής)
 - συνεδρίες (κυκλώματα)—session based

Εξέλιξη δικτύου 2

- Αντικατάσταση εξειδικευμένων δικτύων
 - Δημιουργία ενσωματωμένων συστημάτων:
 - Απαραίτητο κόστος (επεξεργαστή και δικτύου) < 7 euro
 - Αυτοκίνητα
 - Βιομηχανικός (κατασκευαστικός) έλεγχος
 - Εμπορικά κτίρια (φωτισμός, HVAC, ασφάλεια; τώρα LONworks)
 - Απομακρυσμένος έλεγχος, διακόπτες φωτός
 - Αντικατάσταση των κλειδιών με βιομετρικά





Ο στοχασμός της ημέρας

Οι μορφωμένοι άνθρωποι κατά τον Σωκράτη είναι αυτοί που ικανοποιούν όλα τα παρακάτω:

- ελέγχουν δυσάρεστες καταστάσεις , αντί να ελέγχονται από αυτές...
- αντιμετωπίζουν όλα τα γεγονότα με γενναιότητα & λογική..
- είναι έντιμοι σε όλες τους τις συνδιαλλαγές..
- αντιμετωπίζουν γεγονότα δυσάρεστα & ανθρώπους αντιπαθείς καλοπροαίρετα..
- ελέγχουν τις απολαύσεις τους..
- δεν νικήθηκαν από τις ατυχίες & τις αποτυχίες τους..
- δεν έχουν φθαρεί από τις επιτυχίες και την δόξα τους...

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

