

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Εξάμηνο 4<sup>ο</sup>

---

# Δίκτυα Επικοινωνιών

## Τμήμα 2: M-Ω

Διδάσκοντες: Καθ. Μιλτιάδης Αναγνώστου & Επίκ. Καθ. Ιωάννα Ρουσσάκη  
{ [miltos@cn.ntua.gr](mailto:miltos@cn.ntua.gr), [ioanna.roussaki@cn.ntua.gr](mailto:ioanna.roussaki@cn.ntua.gr) }

---

# Διαδικαστικά θέματα

---

- Διδάσκοντες
- Τμήματα
- Ώρες μαθήματος
- Επικοινωνία
- Εξέταση μαθήματος
- Βιβλιογραφία - Σημειώσεις

# Τμήματα - Διδάσκοντες - Επικοινωνία

- Τμήμα 1: Α-Λ, Διδάσκων: Εμμανουήλ Βαρβαρίγος
- Τμήμα 2: Μ-Ω, Διδάσκοντες: Μιλτιάδης Αναγνώστου, Ιωάννα Ρουσσάκη
  - Δρ. Μιλτιάδης Αναγνώστου (Καθηγητής Σ.Η.Μ.Μ.Υ.)
    - » Γραφείο: Β.2.18, 2<sup>ος</sup> όροφος, Κτ. Ηλεκτρολόγων
    - » Email: [miltos@cn.ntua.gr](mailto:miltos@cn.ntua.gr)
  - Δρ. Ιωάννα Ρουσσάκη (Επίκ. Καθηγήτρια Σ.Η.Μ.Μ.Υ.)
    - » Γραφείο: Β.2.6, 2<sup>ος</sup> όροφος, Κτ. Ηλεκτρολόγων
    - » Email: [ioanna.roussaki@cn.ntua.gr](mailto:ioanna.roussaki@cn.ntua.gr)
- Ιστοσελίδα μαθήματος:  
<https://helios.ntua.gr/course/view.php?id=1020>

# Τόπος & Χρόνος Μαθημάτων

---

- Δευτέρα 8:45-10:15, Αμφ. 5 (Νέα Κτήρια) & BBB
  - Τετάρτη 8:45-10:15, Αμφ. 1 (Νέα Κτήρια) & BBB
  - BBB link:  
<https://helios.ntua.gr/mod/bigbluebuttonbn/view.php?id=4938>
-

# Τρόπος Διδασκαλίας

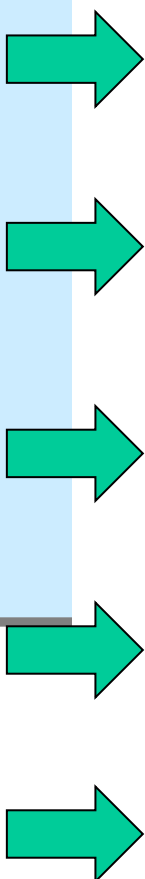
- Τα περισσότερα μαθήματα θα γίνονται με διαφάνειες.
  - Σε αυτά δε χρειάζεται να επιμένετε στις σημειώσεις σας, καθώς οι διαφάνειες θα αναρτώνται στην ιστοσελίδα του μαθήματος.
- Μερικά όμως μαθήματα θα γίνουν με γραφίδα και Digitiser (κυρίως αυτά που έχουν επίλυση ασκήσεων - προβλημάτων).
  - Σε αυτά απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή και βοηθούν οι προσεκτικές σημειώσεις.

# Τρόπος Διδασκαλίας

---

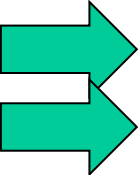
- Τα περισσότερα μαθήματα θα γίνονται με διαφάνειες και προβολέα.
  - Σε αυτά δε χρειάζεται να επιμένετε στις σημειώσεις σας, καθώς οι διαφάνειες θα αναρτώνται στην ιστοσελίδα του μαθήματος.
- Μερικά όμως μαθήματα θα γίνουν από πίνακος (κυρίως αυτά που έχουν επίλυση ασκήσεων - προβλημάτων).
  - Σε αυτά απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή και βοηθούν οι προσεκτικές σημειώσεις.

# Περιεχόμενο μαθήματος (I)

- 
1. **Introduction** (e.g., Uses of Computer Networks, Network Hardware, Network Software, Reference Models, Example Networks, Network Standardization)
  2. **Physical layer** (e.g., Theoretical Basis for Data Communication, Guided Transmission Media, Wireless Transmission, Communication Satellites, Digital Modulation and Multiplexing, PSTN, Mobile Telephone System, Cable Television)
  3. **Data link layer** (e.g., DLL Design Issues, Error Detection & Correction, Elementary DLL Protocols, Sliding Window Protocols, Other DLL Protocols)
  4. **Medium Access Control sublayer** (e.g., Channel Allocation Problem, Multiple Access Protocols, Ethernet, Wireless LANs, Broadband Wireless, Bluetooth, RFID, DLL Switching)
  5. **Network layer** (e.g., Network Layer Design Issues, Routing Algorithms, Congestion Control Algorithms, Quality Of Service, Internetworking, Network Layer in the Internet)

# Περιεχόμενο μαθήματος (II)

---

6. **Transport layer** (e.g., Transport Service, Elements of Transport Protocols, Congestion Control, UDP, TCP, Performance Issues, Delay-Tolerant Networking)
7. **Application layer** (e.g., DNS, Electronic Mail, World Wide Web, Streaming Audio and Video, Content Delivery)
8. **Network security** (e.g., Cryptography, Symmetric-Key Algorithms, Public-Key Algorithms, Digital Signatures, Management of Public Keys, Communication Security, Authentication Protocols, Email Security, Web Security, Social Issues)
9. Introduction to **graph theory**, Network Performance Analysis methods: **Flows**
-  10. **Network Optimisation, Linear Programming**
11. Modelling and Solving **Networking Problems**
12. **Queuing Theory**



# Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

---

Andrew S. Tanenbaum, Nick Feamster, David J.  
Wetherall “**Computer Networks**”  
Sixth Edition, Prentice-Hall International Editions,  
2021

(ISBN-13: 978-1292374062, στην αγγλική γλώσσα)

(ISBN-13: 978-9606451836, στην ελληνική γλώσσα)

**Ερωτήσεις???**

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Διδάσκουσα: Επίκ. Καθ. Ιωάννα Ρουσσάκη  
E-mail: [ioanna.roussaki@cn.ntua.gr](mailto:ioanna.roussaki@cn.ntua.gr)

# Λογισμικό Δικτύων

---

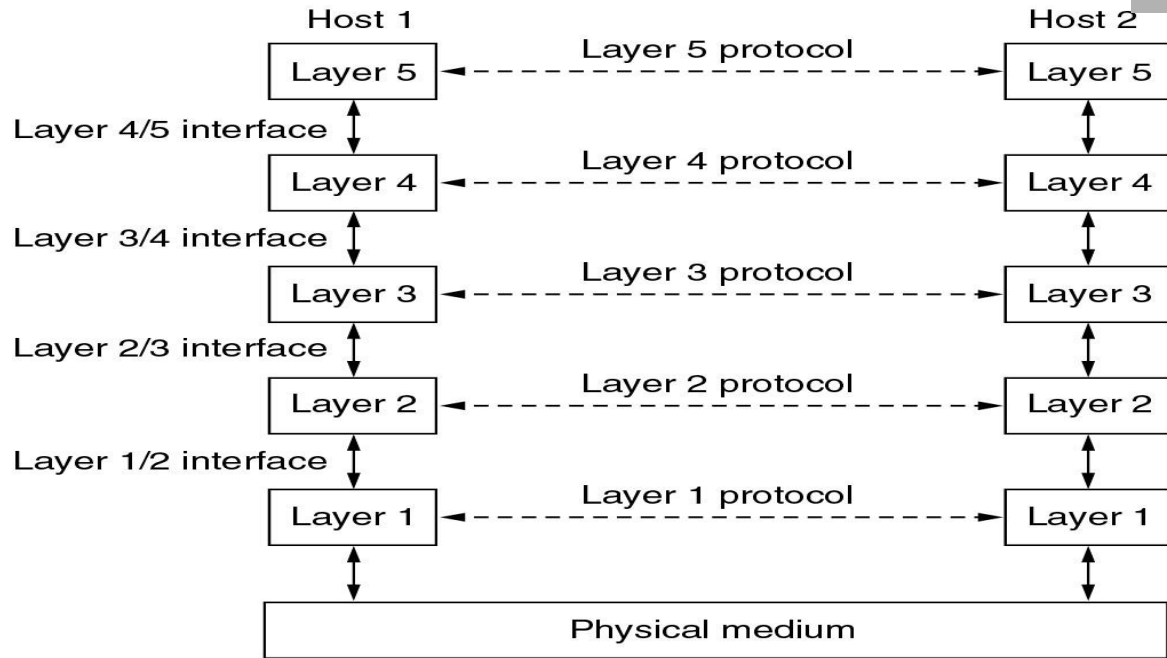
Στα πλαίσια του λογισμικού των δικτύων, θα εξεταστούν τα εξής:

- Ιεραρχίες πρωτοκόλλων
- Ζητήματα σχεδίασης των επιπέδων
- Συνδεσμοστρεφείς και ασυνδεσμικές υπηρεσίες
- Θεμελιώδεις λειτουργίες υπηρεσιών
- Η σχέση των υπηρεσιών με τα πρωτόκολλα

# Ιεραρχίες πρωτοκόλλων

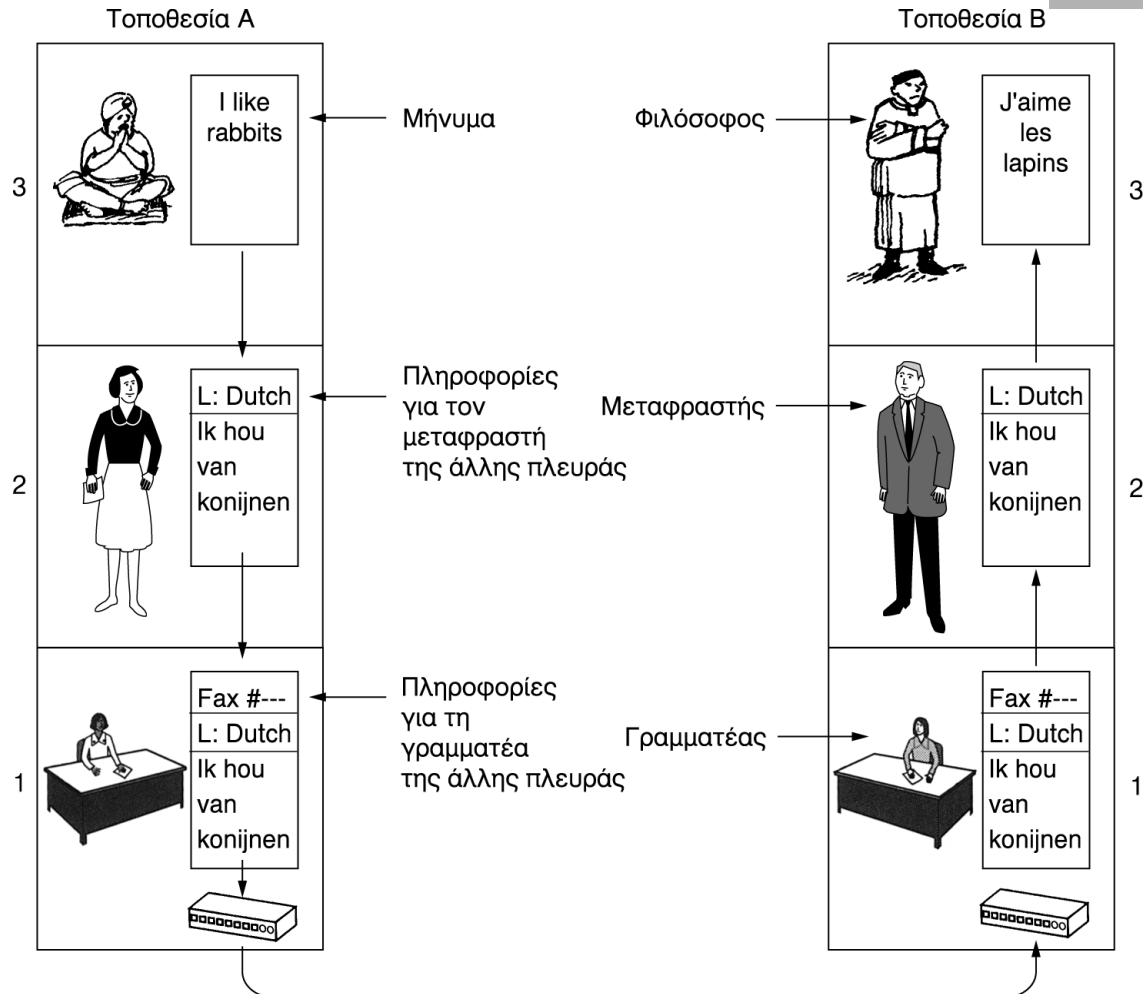
1. Για να μειωθεί η σχεδιαστική τους πολυπλοκότητα, τα περισσότερα δίκτυα οργανώνονται ως μια στοίβα **επιπέδων (layers ή levels)**.
2. Κάθε επίπεδο προσφέρει ορισμένες **υπηρεσίες** στα ανώτερα επίπεδα, “κρύβοντας” από τα επίπεδα αυτά τις λεπτομέρειες υλοποίησης των προσφερομένων υπηρεσιών.
3. Το επίπεδο  $n$  σε μια μηχανή πραγματοποιεί συνομιλία με το επίπεδο  $n$  σε κάποια άλλη μηχανή. Οι κανόνες και οι συμβάσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη συνομιλία ονομάζονται συνολικά “**πρωτόκολλο** του επιπέδου  $n$ ”.
4. Οι οντότητες που υλοποιούν τα αντίστοιχα επίπεδα στις διάφορες μηχανές ονομάζονται **ομότιμες (peers)** και επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο.

# Ιεραρχία πρωτοκόλλων σε δίκτυο πέντε επιπέδων



1. Ανάμεσα σε κάθε ζεύγος γειτονικών επιπέδων υπάρχει μια **διασύνδεση (interface)**, η οποία ορίζει τις στοιχειώδεις λειτουργίες και τις υπηρεσίες τις οποίες διαθέτει το κατώτερο επίπεδο προς το ανώτερο επίπεδο.
2. Το σύνολο επιπέδων και πρωτοκόλλων ονομάζεται **αρχιτεκτονική δικτύου (network architecture)**, οι προδιαγραφές της οποίας πρέπει να παρέχουν επαρκείς πληροφορίες ώστε να επιτρέπουν την ανάπτυξη/επιλογή λογισμικού/υλικού ώστε να ακολουθείται σωστά το κατάλληλο πρωτόκολλο.
3. Οι λεπτομέρειες της υλοποίησης και οι προδιαγραφές των διασυνδέσεων **δεν** αποτελούν μέρος της αρχιτεκτονικής, αφού είναι κρυμμένες μέσα σε κάθε μηχανή και δεν είναι ορατές από τον έξω κόσμο.

# Αρχιτεκτονική επικοινωνίας φιλοσόφων, μεταφραστών και γραμματέων (I)

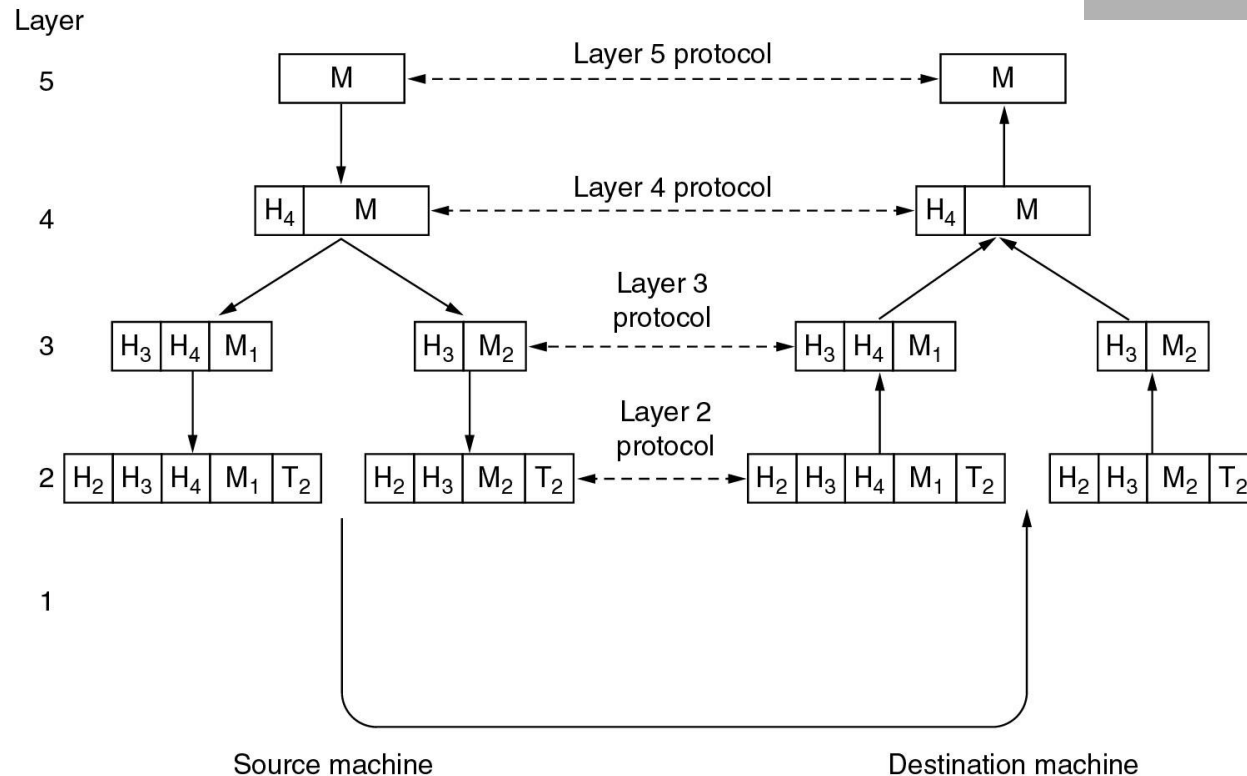


# Αρχιτεκτονική επικοινωνίας φιλοσόφων, μεταφραστών και γραμματέων (II)

- Δύο φιλόσοφοι (ομότιμες διεργασίες στο επίπεδο 3), ο ένας από τους οποίους μιλάει Ουρντού και Αγγλικά, ενώ ο άλλος Κινέζικα και Γαλλικά, επιθυμούν αν επικοινωνήσουν.
- Αφού δε μιλούν κάποια κοινή γλώσσα, πρέπει να χρησιμοποιήσουν από έναν μεταφραστή (ομότιμες διεργασίες στο επίπεδο 2).
- Κάθε μεταφραστής επικοινωνεί με μια γραμματέα (ομότιμες διεργασίες στο επίπεδο 1) για την αποστολή μηνύματος.
- Για να μεταφέρει ο φιλόσοφος 1 το μήνυμά του στον ομότιμό του, το μεταβιβάζει πρώτα στο μεταφραστή του στα αγγλικά, ο οποίος το μεταφράζει στα ολλανδικά (που αποτελούν το πρωτόκολλο του επιπέδου 2).
- Ο μεταφραστής στη συνέχεια δίνει το μήνυμα στη γραμματέα του για να το μεταδώσει μέσω, για παράδειγμα, φάξ (το πρωτόκολλο του επιπέδου 1).
- Όταν το μήνυμα φτάσει, η ομότιμη γραμματέας το παραδίδει στον ομότιμο μεταφραστή, ο οποίος το μεταφράζει στα γαλλικά και το μεταβιβάζει μέσω της διασύνδεσης 2/3 στο φιλόσοφο 2.



# Ροή πληροφοριών που υποστηρίζει την εικονική επικοινωνία στο επίπεδο 5



Το σημαντικότερο σημείο που πρέπει να γίνει κατανοητό σχετικά με το παραπάνω σχήμα είναι η σχέση ανάμεσα στην πραγματική και την εικονική επικοινωνία και η διαφορά ανάμεσα στα πρωτόκολλα και τις διασυνδέσεις. Τα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας πρωτοκόλλων συχνά υλοποιούνται με υλικό ή υλικολογισμικό (firmware).

# Ζητήματα σχεδίασης των επιπέδων (I)

- 1.Διευθυνσιοδότηση (Addressing):** μηχανισμός για την αναγνώριση των αποστολέων και των παραληπτών – κάποια μορφή διευθυνσιοδότησης απαιτείται και για τις μηχανές και τις διεργασίες.
- 2.Κατευθύνσεις μεταφοράς δεδομένων (Directions for data transfer):** μονόδρομη (simplex), ημι-αμφίδρομη (half-duplex), πλήρως αμφίδρομη (full-duplex) επικοινωνία.
- 3.Λογικά κανάλια (Logical channels):** τουλάχιστον δύο ανά σύνδεση (ένα για κανονικά δεδομένα και ένα για επείγοντα).
- 4.Έλεγχος σφαλμάτων (Error control):** και τα δύο άκρα της σύνδεσης πρέπει να συμφωνήσουν στη χρήση των ίδιων κωδικών ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Επιπλέον, ο παραλήπτης πρέπει να έχει ένα τρόπο ειδοποίησης του αποστολέα σχετικά με τα μηνύματα που έχει λάβει ορθά και το αντίθετο.
- 5.Ακολουθία μηνυμάτων (Message sequencing or ordering):** προφανής λύση είναι να αριθμούνται τα μέρη των μηνυμάτων, κάτι που όμως αφήνει ανοικτό το θέμα του τι πρέπει να γίνει με τα μέρη που φθάνουν σε εσφαλμένη σειρά.

# Ζητήματα σχεδίασης των επιπέδων (II)

6. **Έλεγχος ροής (Flow control)**: στόχος είναι η αποτροπή του γρήγορου αποστολέα από το να κατακλύσει έναν αργό παραλήπτη με δεδομένα. Συχνά απαιτείται κάποιου είδους ανάδραση από τον παραλήπτη.
7. **Μηχανισμοί κατακερματισμού, μετάδοσης και ανασυναρμολόγησης μηνυμάτων (Mechanisms for disassembling, transmitting, and reassembling messages)**: Υπάρχει αδυναμία πολλών διεργασιών να δεχθούν αυθαίρετα μεγάλα μηνύματα. Σχετικό ζήτημα είναι το πρόβλημα του τι πρέπει να γίνεται όταν οι διεργασίες επιμένουν να μεταδίδουν δεδομένα σε τόσο μικρές ομάδες ώστε η χωριστή αποστολή τους είναι αναποτελεσματική.
8. **Πολυπλεξία (Multiplexing)**: όταν δεν είναι αποδοτική η εγκαθίδρυση ξεχωριστής σύνδεσης για κάθε ζεύγος διεργασιών που επικοινωνούν, το κατώτερο επίπεδο μπορεί να αποφασίσει να χρησιμοποιήσει την ίδια σύνδεση για πολλές ασυσχέτιστες συνδιαλέξεις (π.χ., λίγα φυσικά κυκλώματα χρησιμοποιούνται για όλες τις εικονικές συνδέσεις).
9. **Δρομολόγηση (Routing)**: αφορά την επιλογή του δρομολογίου ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Η απόφαση αυτή συχνά εμπλέκει δύο ή και περισσότερα επίπεδα.

# Συνδεσμοστρεφείς και ασυνδεσμικές υπηρεσίες (I)

---

1. Η **συνδεσμοστρεφής (connection-oriented)** υπηρεσία έχει ως μοντέλο το τηλεφωνικό σύστημα. Στην ουσία, η σύνδεση δρα ως σωλήνας: ο αποστολέας ωθεί αντικείμενα (bits) από το ένα άκρο και ο παραλήπτης τα λαμβάνει από το άλλο άκρο συνήθως με την ίδια σειρά. Οι συνδεσμοστρεφείς υπηρεσίες είναι κατάλληλες για τη μακρόχρονη επικοινωνία μεταξύ δύο μερών.
2. Η **ασυνδεσμική (connectionless)** υπηρεσία έχει ως μοντέλο το ταχυδρομικό σύστημα. Κάθε μήνυμα φέρει την πλήρη δεύθυνση προορισμού και δρομολογείται ανεξάρτητα. Η σειρά παράδοσης των μηνυμάτων δεν είναι γνωστή/εγγυημένη. Οι ασυνδεσμικές υπηρεσίες είναι κατάλληλες για την αποστολή σύντομων μηνυμάτων.

# Συνδεσμοστρεφείς και ασυνδεσμικές υπηρεσίες (II)

	Service	Example
Connection-oriented	Reliable message stream	Sequence of pages
	Reliable byte stream	Movie download
	Unreliable connection	Voice over IP
Connection-less	Unreliable datagram	Electronic junk mail□
	Acknowledged datagram	Text messaging
	Request-reply	Database query

# Ποιότητα υπηρεσιών

**Αξιόπιστες** χαρακτηρίζονται οι υπηρεσίες που δεν χάνουν ποτέ δεδομένα. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί υποχρεώνοντας τον παραλήπτη να επιβεβαιώνει τη λήψη κάθε μηνύματος. Αυτό όμως εισάγει επιπλέον επιβαρύνσεις και καθυστερήσεις στην επικοινωνία, οι οποίες συχνά αξίζουν το κόπο αλλά κάποιες φορές είναι ανεπιθύμητες (**αναξιόπιστες** υπηρεσίες).

1. Η αξιόπιστη συνδεοστρεφής υπηρεσία είναι κατάλληλη για τη μεταφορά αρχείων, όπου στόχος είναι η έλλειψη σφαλμάτων.
2. Η αναξιόπιστη συνδεοστρεφής υπηρεσία είναι κατάλληλη για τη μετάδοση ψηφιοποιημένης φωνής, όπου οι καθυστερήσεις δεν είναι αποδεκτές.
3. Η αξιόπιστη ασυνδεσμική υπηρεσία ή **υπηρεσία αυτοδύναμων πακέτων με επιβεβαίωση (acknowledged datagram service)** είναι κατάλληλη για τη μετάδοση συστημένων e-mails.
4. Η αναξιόπιστη ασυνδεσμική υπηρεσία ή **υπηρεσία αυτοδύναμων πακέτων (datagram service)** είναι κατάλληλη για το electronic junk mail (παρέχοντας υψηλή πιθανότητα αλλά όχι και εγγύηση της παράδοσης του μηνύματος).
5. Άλλη μια ασυνδεσμική υπηρεσία είναι η **υπηρεσία αίτησης-απάντησης (request-reply)**, η οποία χρησιμοποιείται συχνά για την υλοποίηση της επικοινωνίας στο μοντέλο client-server.

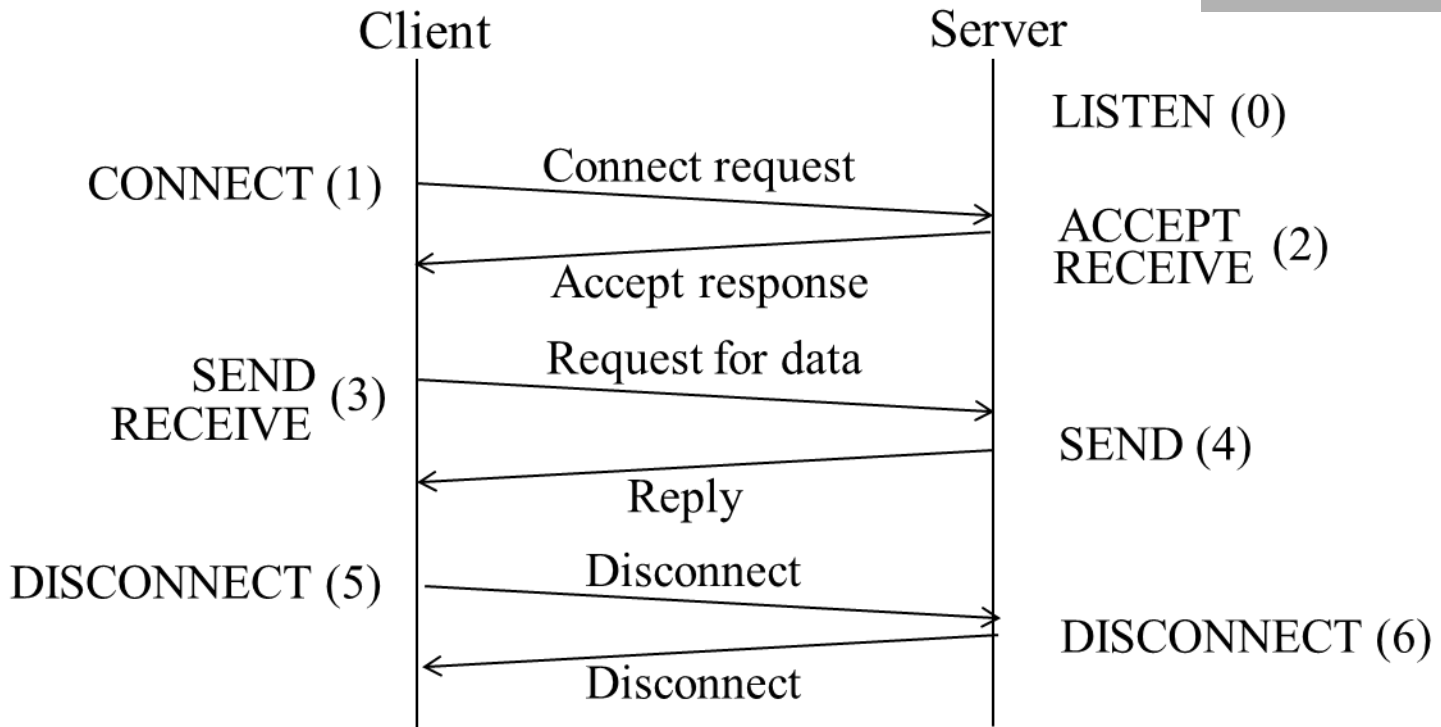
# Θεμελιώδεις λειτουργίες υπηρεσιών (I)

Η υπηρεσία ορίζεται τυπικά με τον προσδιορισμό ενός συνόλου από **θεμελιώδεις λειτουργίες (primitives)**, οι οποίες διατίθενται στις διεργασίες των χρηστών ώστε να προσπελάσουν την υπηρεσία. Αυτές οι θεμελιώδεις λειτουργίες ζητούν από την υπηρεσία είτε να εκτελέσει κάποια ενέργεια, είτε να δώσει αναφορά σχετικά με ενέργεια που έγινε από ομότιμη οντότητα.

Primitive	Meaning
LISTEN	Block waiting for an incoming connection
CONNECT	Establish a connection with a waiting peer
ACCEPT	Accept an incoming connection from a peer
RECEIVE	Block waiting for an incoming message
SEND	Send a message to the peer
DISCONNECT	Terminate a connection

Έξι θεμελιώδεις λειτουργίες υπηρεσίας για την υλοποίηση απλής  
συνδεσμολογίας υπηρεσίας

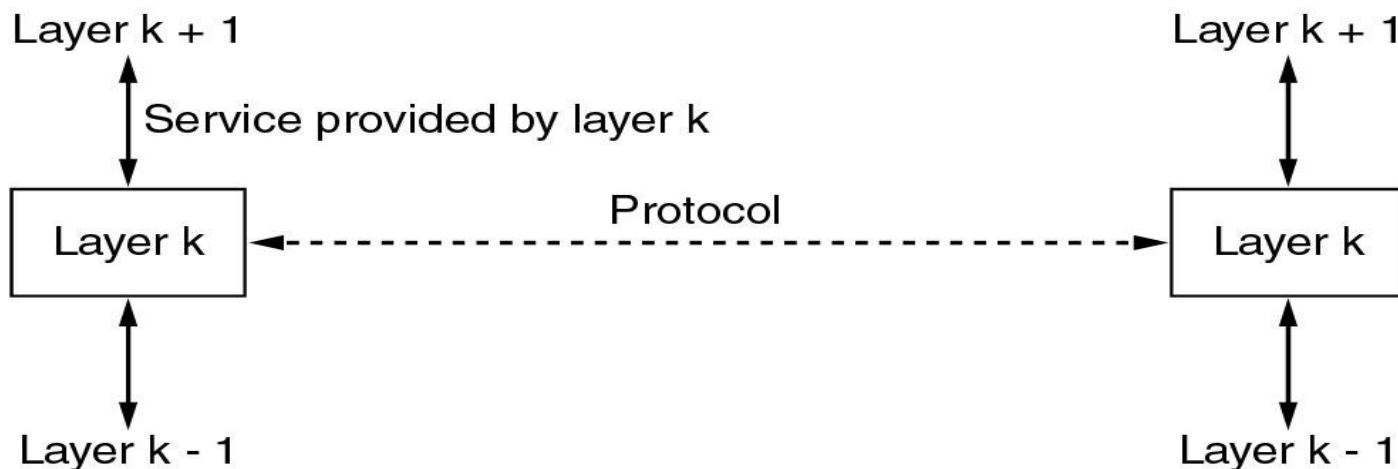
# Θεμελιώδεις λειτουργίες υπηρεσιών (II)



Παράδειγμα χρήσης των λειτουργιών αυτών σε μια απλή αλληλεπίδραση πελάτη-διακομιστή σε συνδεοστρεφές δίκτυο



# Η σχέση των υπηρεσιών με τα πρωτόκολλα



Οι υπηρεσίες και τα πρωτόκολλα είναι διακριτές έννοιες που δεν πρέπει να συγχέονται.

1. Η **υπηρεσία (service)** είναι ένα σύνολο θεμελιωδών λειτουργιών που παρέχονται από ένα επίπεδο στο αμέσως ανώτερο. Η υπηρεσία καθορίζει ποιες λειτουργίες είναι προετοιμασμένο να εκτελέσει το επίπεδο εκ μέρους των χρηστών του, αλλά δε λέει τίποτα για το πώς υλοποιούνται αυτές.
2. Το **πρωτόκολλο (protocol)** είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζουν τη μορφή και τη σημασία των πακέτων/μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των ομοτίμων οντοτήτων ενός επιπέδου. Οι οντότητες αυτές χρησιμοποιούν πρωτόκολλα για να υλοποιήσουν τον ορισμό των υπηρεσιών τους. Η αλλαγή του πρωτοκόλλου δεν είναι ορατή στους χρήστες της υπηρεσίας, καθώς η υπηρεσία παραμένει η ίδια.

Πολλά παλαιότερα μοντέλα (π.χ., TCP/IP) δεν έκαναν διάκριση ανάμεσα στις υπηρεσίες και τα πρωτόκολλα, κάτι το οποίο θεωρείται σήμερα σοβαρό σφάλμα.

# Μοντέλα Αναφοράς

---

Δομή της παρουσίασης των μοντέλων αναφοράς

- Το μοντέλο αναφοράς OSI
- Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP
- Σύγκριση των μοντέλων OSI και TCP/IP
- Κριτική του μοντέλου και των πρωτοκόλλων OSI
- Κριτική του μοντέλου αναφοράς TCP/IP

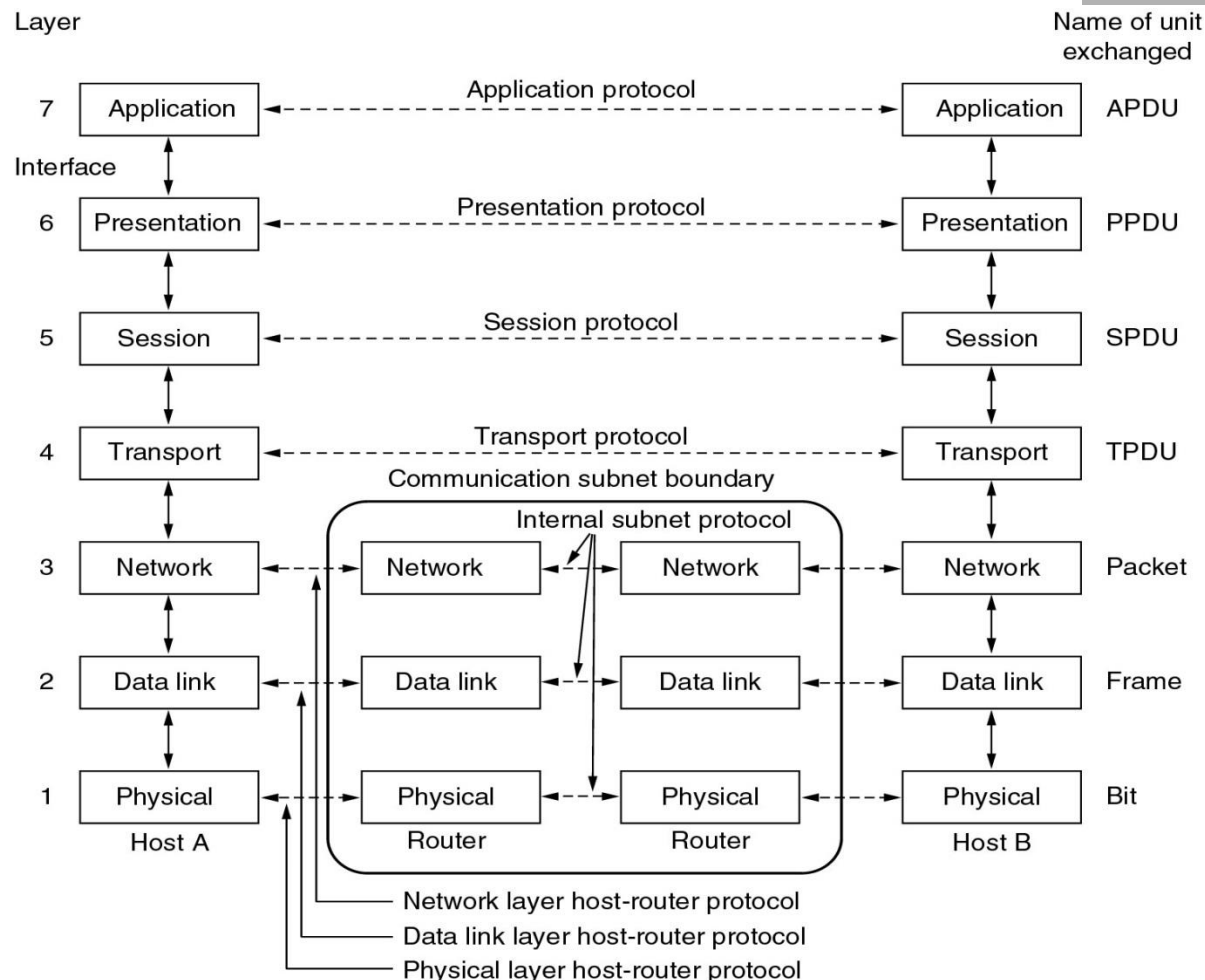
# Το μοντέλο αναφοράς OSI (I)

---

Το μοντέλο OSI βασίζεται σε μια πρόταση που αναπτύχθηκε από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Standards Organization – ISO), ως ένα πρώτο βήμα για τη διεθνή τυποποίηση των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα επίπεδα των δικτύων.

Το μοντέλο αυτό ονομάζεται **Μοντέλο Αναφοράς ISO OSI (ISO OSI Reference Model)**, όπου OSI σημαίνει **Διασύνδεση Ανοικτών Συστημάτων (Open System Interconnection)**, επειδή ασχολείται με τη διασύνδεση συστημάτων που είναι ανοικτά στην επικοινωνία.

# Το μοντέλο αναφοράς OSI (II)



# Αρχές σχεδίασης του μοντέλου OSI

Οι αρχές που εφαρμόστηκαν για να διακριθούν τα επτά επίπεδα του OSI είναι:

1. Όπου χρειάζεται μια διαφορετική λογική αφαίρεση, πρέπει να δημιουργείται ένα επίπεδο.
2. Κάθε επίπεδο πρέπει να εκτελεί μια σαφώς καθορισμένη λειτουργία.
3. Η λειτουργία κάθε επιπέδου πρέπει να επιλέγεται με στόχο τον καθορισμό διεθνώς τυποποιημένων πρωτοκόλλων.
4. Τα σύνορα των επιπέδων πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ροή πληροφοριών μέσω της διασύνδεσης των επιπέδων.
5. Το πλήθος των επιπέδων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μη χρειάζεται να ανακατεύονται χωρίς λόγο διαφορετικές λειτουργίες στο ίδιο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα αρκετά μικρό ώστε η αρχιτεκτονική να μη γίνεται άβολη.

**Προσοχή:** Το μοντέλο αναφοράς OSI δεν αποτελεί από μόνο του μια αρχιτεκτονική δικτύου, επειδή δεν προσδιορίζει τις ακριβείς υπηρεσίες και τα πρωτόκολλα που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κάθε επίπεδο. Το μοντέλο απλώς ορίζει τι πρέπει να κάνει κάθε επίπεδο.

# Το φυσικό επίπεδο

1. Το **φυσικό επίπεδο (physical layer)** ασχολείται με τη μετάδοση ανεπεξέργαστων (raw) δυαδικών ψηφίων (bits) μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας.
2. Βασικός του στόχος είναι η εξασφάλιση του ότι, όταν η μια πλευρά στέλνει το bit 1, αυτό θα λαμβάνεται από την άλλη πλευρά ως bit 1 και όχι ως bit 0.
3. Τυπικά ερωτήματα στο επίπεδο αυτό (ήτοι, βασικά ζητήματα σχεδίασης):
  - Πόσα Volt πρέπει να χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση του 1 και πόσα για το 0.
  - Πόσα νανοδευτερόλεπτα διαρκεί ένα bit.
  - Κατά πόσον μπορεί να γίνεται η μετάδοση ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.
  - Πώς εγκαθιδρύεται η αρχική σύνδεση και πώς τερματίζεται όταν τελειώσουν και οι δύο πλευρές.
  - Πόσους ακροδέκτες (pins) έχει ο συζευκτήρας (connector) του δικτύου και σε τι χρησιμεύει ο κάθε ακροδέκτης.

Τα ζητήματα αυτά υπάγονται στον τομέα του ηλεκτρολόγου μηχανικού.

# Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Το **επίπεδο ζεύξης ή συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (data link layer)** μετασχηματίζει μια υπηρεσία μετάδοσης ανεπεξέργαστων δεδομένων σε μια γραμμή, ώστε αυτή να φαίνεται στο επίπεδο δικτύου ότι δεν έχει τον κίνδυνο μη εντοπισμένων σφαλμάτων μετάδοσης.

**Βασικά ζητήματα σχεδίασης και αρμοδιότητες του επιπέδου:**

1. Να τεμαχίζει τα δεδομένα εισόδου σε **πλαίσια δεδομένων (data frames)** και να μεταδίδει τα πλαίσια με τη σειρά.
2. Αν η υπηρεσία είναι αξιόπιστη, να επιβεβαιώνει την ορθή λήψη κάθε πλαισίου επιστρέφοντας ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης (**acknowledgement frames**).
3. Να επαναμεταδίδει τα απωλεσθέντα ή κατεστραμμένα πλαίσια και να επιλύει το πρόβλημα πιθανών διπλών (duplicate) πλαισίων.
4. Να προσφέρει πολλούς διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών στο επίπεδο δικτύου, κάθε ένας με διαφορετική ποιότητα και κόστος.
5. Να χρησιμοποιεί κάποιο μηχανισμό ρύθμισης της κυκλοφορίας/ροής, ώστε ο αποστολέας να μαθαίνει πόσο χώρο προσωρινής αποθήκευσης έχει ανά πάσα στιγμή ο παραλήπτης. Συχνά οι μηχανισμοί ρύθμισης της κυκλοφορίας και διαχείρισης των σφαλμάτων είναι ενοποιημένοι.
6. Εισάγεται το υποεπίπεδο **ελέγχου προσπέλασης μέσων (Medium Access Control - MAC)** για τον έλεγχο της πρόσβασης στο κοινόχρηστο κανάλι στα δίκτυα εκπομπής.

# Το επίπεδο δικτύου

Βασικός στόχος του **επιπέδου δικτύου (network layer)** είναι ο έλεγχος της λειτουργίας του υποδικτύου. Αναλυτικότερα:

1. Δρομολογεί τα πακέτα από την προέλευση στον προορισμό τους, είτε στατικά είτε δυναμικά (ανά σύνοδο ή ανά πακέτο).
2. Κάνει έλεγχο συμφόρησης (congestion control).
3. Επιτρέπει τη διασύνδεση ετερογενών δικτύων (**internetworking**) με διαφορετική διευθυνσιοδότηση (addressing), μήκος πακέτου και πρωτόκολλα.
4. Υποστηρίζει τις λειτουργίες χρέωσης, καταμετρώντας τον αριθμό των πακέτων ή χαρακτήρων ανά πελάτη.

Στα δίκτυα εκπομπής το πρόβλημα δρομολόγησης είναι απλό, οπότε το επίπεδο δικτύου είναι συνήθως υποτυπώδες ή ανύπαρκτο.



# Το επίπεδο μεταφοράς

Η βασική λειτουργία του **επιπέδου μεταφοράς (transport layer)** είναι:

1. να δέχεται δεδομένα από το ανώτερο επίπεδο,
2. να τα διασπά αν χρειάζεται σε μικρότερες μονάδες,
3. να τα μεταβιβάζει στο επίπεδο δικτύου και
4. να εξασφαλίζει ότι όλα τα τμήματα φθάνουν σωστά στο άλλο άκρο.

Ο τύπος της υπηρεσίας που προσφέρει το επίπεδο μεταφοράς καθορίζεται μόλις γίνει η εγκατάσταση της σύνδεσης. Τα είδη υπηρεσίας μεταφοράς είναι:

1. Ένα απαλλαγμένο από σφάλματα κανάλι από σημείο σε σημείο, το οποίο παραδίδει μηνύματα με τη σειρά που εστάλησαν.
2. Μεταφορά μεμονωμένων μηνυμάτων χωρίς εγγυήσεις για τη σειρά παράδοσής τους.
3. Εκπομπή μηνυμάτων σε πολλαπλούς προορισμούς.

Το επίπεδο μεταφοράς είναι ένα πραγματικό επίπεδο “από άκρου εις άκρον” (**end-to-end**), δηλαδή από την προέλευση έως τον προορισμό, καθώς ένα πρόγραμμα στη μηχανή προέλευσης συνομιλεί με παρόμοιο πρόγραμμα στη μηχανή προορισμού. Στα κατώτερα επίπεδα μεσολαβούν δρομολογητές και τα πρωτόκολλα δε λειτουργούν ανάμεσα στις ακραίες μηχανές προέλευσης και προορισμού.

# Τα επίπεδα συνόδου και παρουσίασης

Το **επίπεδο συνόδου (session layer)** επιτρέπει σε χρήστες διαφορετικών μηχανών να εγκαθιδρύουν συνόδους μεταξύ τους. Οι σύνοδοι προσφέρουν διάφορες υπηρεσίες, π.χ., dialog control, token management, synchronization, κ.λπ.

Το **επίπεδο παρουσίασης (presentation layer)** ασχολείται με τη σύνταξη και τη σημασιολογία των μεταδιδόμενων πληροφοριών. Τυπικές υπηρεσίες του είναι:

1. Η κωδικοποίηση δεδομένων κατά το συμφωνημένο πρότυπο, με στόχο τη διευκόλυνση ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ ετερογενών συστημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες για τους αλφαριθμητικούς χαρακτήρες (π.χ., ASCII ή Unicode), τους ακεραίους (π.χ., χρήση του συμπληρώματος ως προς ένα ή δύο), κ.λπ.
2. Η συμπίεση δεδομένων με στόχο τη μείωση των bits για μετάδοση.
3. Η κρυπτογραφία με στόχο την προστασία του προσωπικού απορρήτου και την πιστοποίηση ταυτότητας.

# Το επίπεδο εφαρμογών

---

Το **επίπεδο εφαρμογών (application layer)** περιέχει μια ποικιλία πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται συχνά από τους χρήστες.

Τυπικές υπηρεσίες του είναι:

1. Το σύστημα ονομάτων περιοχών (Domain Name System - DNS).
2. Μεταφορά αρχείων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων αρχείων.
3. Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.
4. Το εικονικό τερματικό (Telnet).
5. Ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web).

# Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP (I)

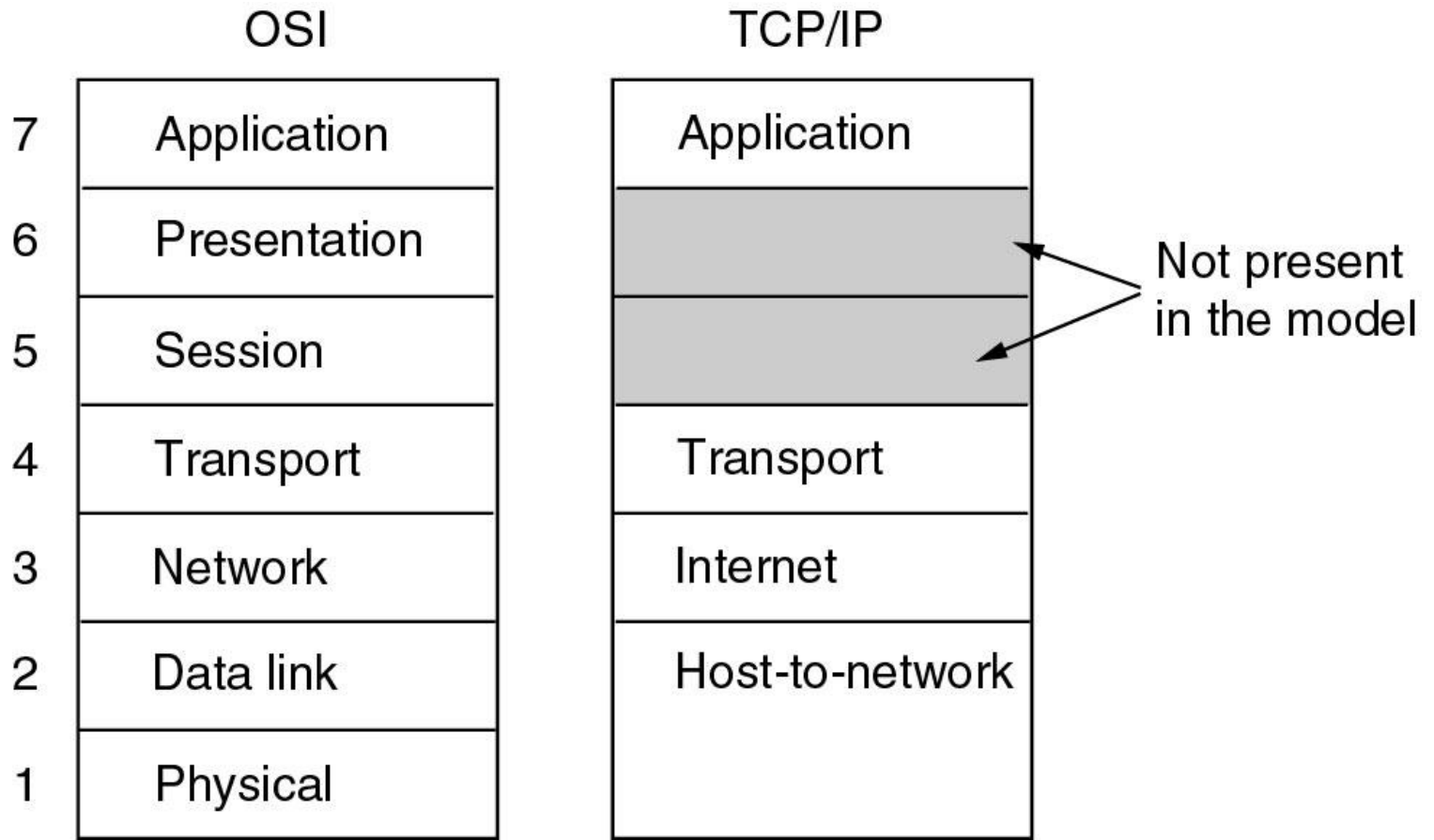
Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP χρησιμοποιήθηκε από τον πρόγονο όλων των δικτύων ευρείας περιοχής, το ARPANET, καθώς και από το διάδοχό του, το παγκόσμιο Internet.

Βασικοί στόχοι σχεδίασης του μοντέλου TCP/IP είναι:

1. Η ικανότητα διασύνδεσης πολλών δικτύων με διαφανή τρόπο.
2. Η ικανότητα επιβίωσης μετά από απώλεια στο υλικό του υποδικτύου, χωρίς να τερματίζονται οι υπάρχουσες συνομιλίες.
3. Μια ευέλικτη αρχιτεκτονική υποστηρίζουσα ριζικά διαφορετικές και αποκλίνουσες απαιτήσεις, από μεταφορά αρχείων έως μετάδοση ομιλίας σε πραγματικό χρόνο.

Όλοι οι παραπάνω στόχοι οδήγησαν στην επιλογή ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων (packet-switching) βασιζόμενο σε ένα ασυνδεδεστικό **επίπεδο διαδικτύου**, ονόματι **internet layer**.

# Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP (II)



# Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP (III)

**Επίπεδο διαδικτύου (internet layer):** Ορίζει μια επίσημη μορφή για τα πακέτα και ένα επίσημο πρωτόκολλο, το **Πρωτόκολλο Διαδικτύου ή IP (Internet Protocol)**. Δουλειά του είναι επιτρέπει στους υπολογιστές υπηρεσίας να εισάγουν τα IP πακέτα τους σε κάθε δίκτυο και να τα μεταδίδει ανεξάρτητα στον προορισμό τους (πιθανόν σε διαφορετικό δίκτυο). Δεν εξασφαλίζει όμως ότι τα πακέτα θα παραδοθούν με τη σειρά που εστάλησαν.

Το επίπεδο διαδικτύου του TCP/IP είναι ανάλογο με το επίπεδο δικτύου του OSI ως προς τη λειτουργικότητα που προσφέρει.

**Επίπεδο μεταφοράς (transport layer):** Προσφέρει λειτουργικότητα αντίστοιχη με αυτή του επιπέδου μεταφοράς στο μοντέλο OSI. Υπάρχουν δύο πρωτόκολλα μεταφοράς από άκρο σε άκρο:

1. **Πρωτόκολλο Ελέγχου μετάδοσης ή TCP (Transmission Control Protocol):** ένα αξιόπιστο συνδεσμολογικό πρωτόκολλο.
2. **Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη ή UDP (User Datagram Protocol):** ένα αναξιόπιστο ασυνδεσμικό πρωτόκολλο.

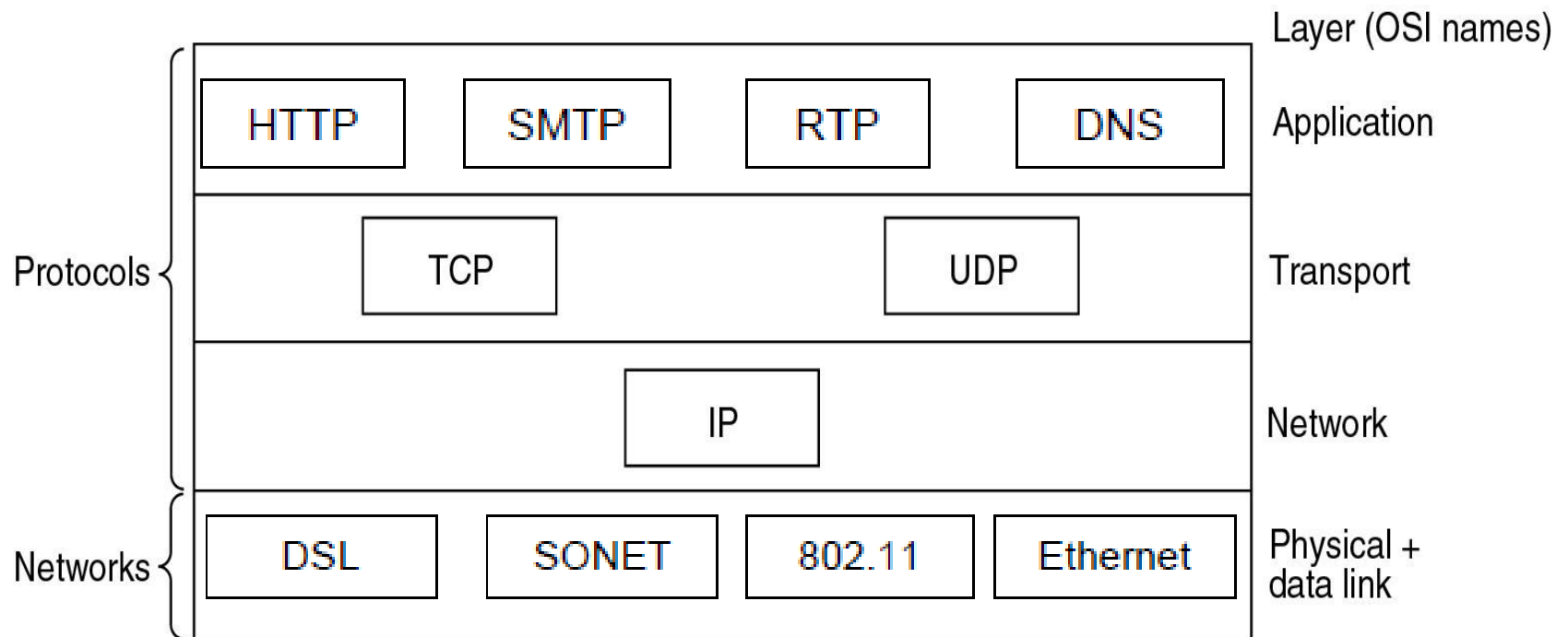
# Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP (IV)

---

**Επίπεδο εφαρμογών (application layer):** Το μοντέλο TCP/IP δεν έχει επίπεδα συνόδου ή παρουσίασης, τα οποία έχουν μικρή χρησιμότητα για τις περισσότερες εφαρμογές. Το επίπεδο εφαρμογών περιέχει όλα τα πρωτόκολλα ανωτέρου επιπέδου (TELNET, FTP, SMTP, DNS, ...). Συν τω χρόνω, προστέθηκαν και άλλα πρωτόκολλα, όπως το HTTP που χρησιμοποιείται για την προσκόμιση σελίδων στον Παγκόσμιο Ιστό.

**Επίπεδο διασύνδεσης μεταξύ υπολογιστή υπηρεσίας και δικτύου (host-to-network layer):** Κάτω από το επίπεδο διαδικτύου έχουμε ένα μεγάλο κενό. Το μοντέλο TCP/IP απλώς παρατηρεί ότι ο υπολογιστής υπηρεσίας (host) πρέπει να συνδέεται με το δίκτυο χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο έτσι ώστε να μπορεί να στέλνει πακέτα IP. Το πρωτόκολλο αυτό δεν είναι ορισμένο από το μοντέλο και διαφέρει από υπολογιστή σε υπολογιστή και από δίκτυο σε δίκτυο.

# Πρωτόκολλα και δίκτυα στο αρχικό μοντέλο TCP/IP





# Σύγκριση των μοντέλων αναφοράς OSI και TCP/IP

**Θεμελιώδεις ομοιότητες μοντέλων OSI και TCP/IP:**

1. Και τα δύο βασίζονται στην έννοια της στοίβας αναξαρτήτων πρωτοκόλλων.
2. Η λειτουργικότητα των επιπέδων είναι σε γενικές γραμμές η ίδια.

**Στο επίκεντρο του μοντέλου OSI βρίσκονται τρεις έννοιες:**

1. Υπηρεσίες: οι οποίες καθορίζουν τι κάνει το επίπεδο και όχι πώς γίνεται η προσπέλασή του από τα ανώτερα επίπεδα ή πώς αυτό δουλεύει.
2. Διασυνδέσεις: οι οποίες δηλώνουν στις διεργασίες που βρίσκονται στο αμέσως ανώτερο επίπεδο πώς να το προσπελάσουν (ήτοι, προσδιορίζει ποιές είναι οι παράμετροι και τα αναμενόμενα αποτελέσματα), ενώ δεν περιλαμβάνει τίποτα σχετικά με τον τρόπο εσωτερικής λειτουργίας του επιπέδου.
3. Πρωτόκολλα: τα οποία χρησιμοποιούνται μεταξύ ομοτίμων οντοτήτων για να υλοποιηθούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες, ενώ αφορούν μόνο ένα επίπεδο.

**Η μεγαλύτερη συνεισφορά του μοντέλου OSI** είναι πιθανόν το ότι έκανε σαφή τη διάκριση ανάμεσα στις τρεις αυτές έννοιες. Το μοντέλο TCP/IP δεν παρέχει κάποιον αντίστοιχο σαφή διαχωρισμό.

# Θεμελιώδεις διαφορές των μοντέλων OSI και TCP/IP

---

1. Το μοντέλο OSI επινοήθηκε πριν σχεδιαστούν τα αντίστοιχα πρωτόκολλα, ενώ ακριβώς το αντίθετο ισχύει για το μοντέλο TCP/IP.
2. Το μοντέλο OSI έχει επτά επίπεδα, ενώ το μοντέλο TCP/IP έχει μόνο τέσσερα.
3. Το μοντέλο OSI υποστηρίζει και συνδεοστροφή και ασυνδεσμική επικοινωνία στο επίπεδο δικτύου, αλλά μόνον συνδεοστροφή στο επίπεδο μεταφοράς. Το μοντέλο TCP/IP έχει μόνον έναν τρόπο λειτουργίας στο επίπεδο διαδικτύου (ασυνδεσμικό), αλλά υποστηρίζει και τους δύο τρόπους λειτουργίας στο επίπεδο μεταφοράς.

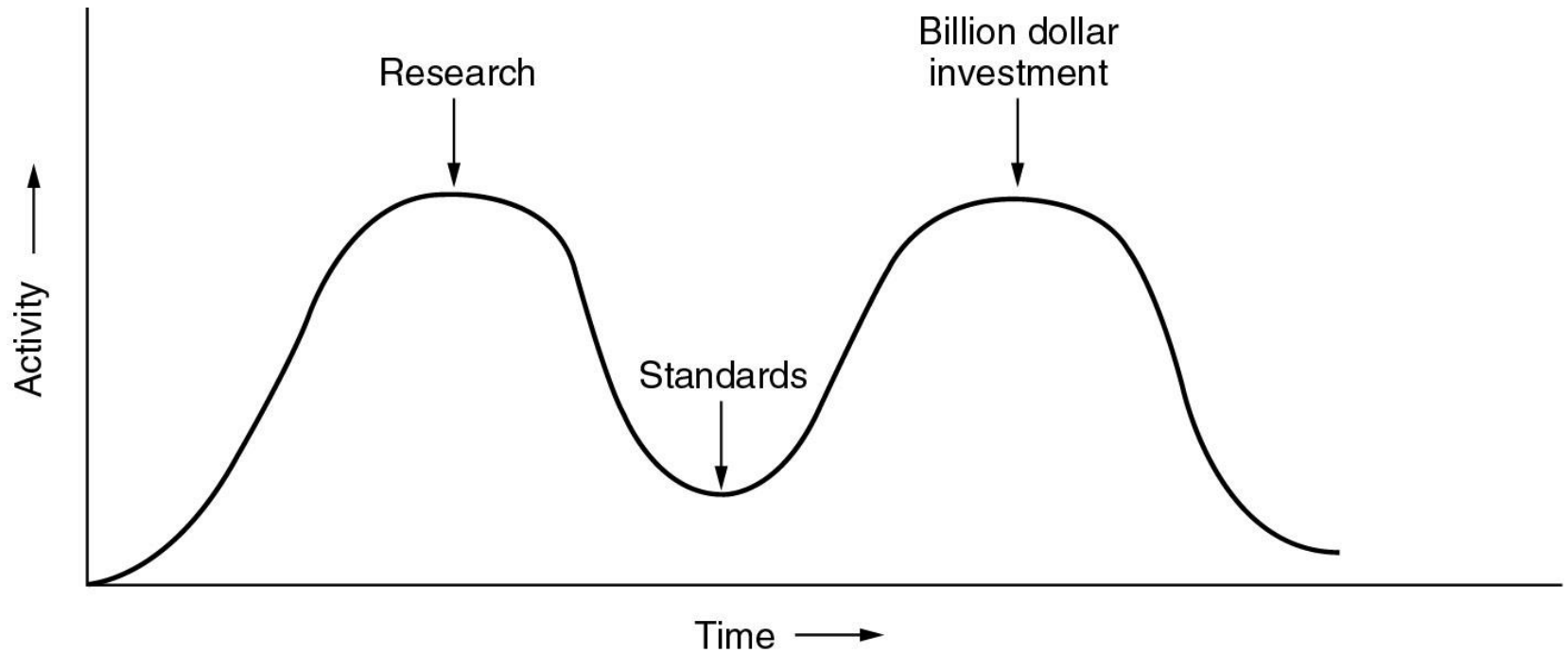
# Κριτική του μοντέλου και των πρωτοκόλλων OSI

---

Γιατί το OSI δεν κατέκτησε τον κόσμο:

- Κακός χρονισμός
- Κακή τεχνολογία
- Κακές υλοποιήσεις
- Κακή πολιτική

# Κακός χρονισμός



Η αποκάλυψη των δύο ελεφάντων.

# Κριτική του μοντέλου αναφοράς TCP/IP

Προβλήματα του μοντέλου TCP/IP:

1. Δεν υπάρχει επαρκής διάκριση ανάμεσα στις έννοιες της υπηρεσίας, της διασύνδεσης και του πρωτοκόλλου.
2. Δεν είναι καθόλου γενικό και είναι ακατάλληλο για την περιγραφή οποιασδήποτε άλλης στοίβας πρωτοκόλλων.
3. Το host-to-network layer δεν είναι πραγματικό επίπεδο αλλά μια διασύνδεση ανάμεσα στα επίπεδα δικτύου και ζεύξης δεδομένων.
4. Δεν αναφέρει καθόλου το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων.
5. Χρησιμοποιεί πρόχειρα πρωτόκολλα τα οποία όμως έχουν εδραιωθεί στην αγορά και είναι δύσκολο να αντικατασταθούν.

# Υβριδικό μοντέλο αναφοράς

1. Το μοντέλο OSI (εκτός από τα επίπεδα συνόδου και παρουσίασης) είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την ανάλυση δικτύων υπολογιστών και επικοινωνιών, ενώ τα πρωτόκολλά του δεν έχουν γίνει δημοφιλή.
2. Το μοντέλο TCP/IP είναι πρακτικά ανύπαρκτο, αλλά τα πρωτόκολλα του χρησιμοποιούνται ευρύτατα.
3. Έτσι θα χρησιμοποιήσουμε ως σκελετό αυτού του μαθήματος το ακόλουθο υβριδικό μοντέλο αναφοράς (Tanenbaum, 2021).

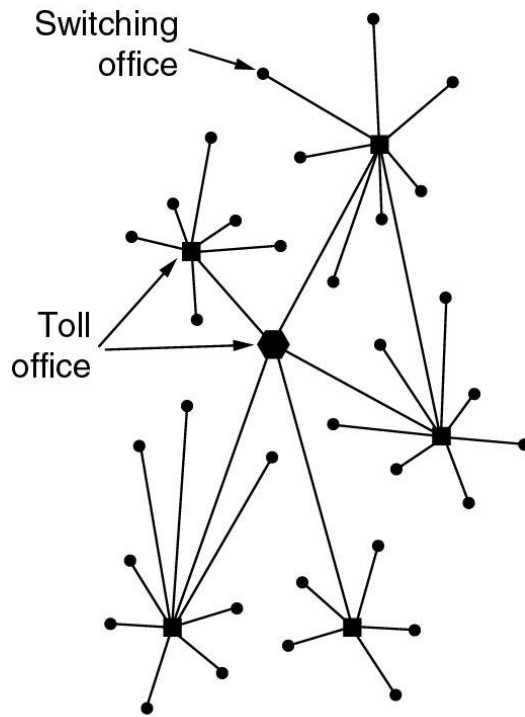
5	Application layer
4	Transport layer
3	Network layer
2	Data link layer
1	Physical layer

# Παραδείγματα δικτύων

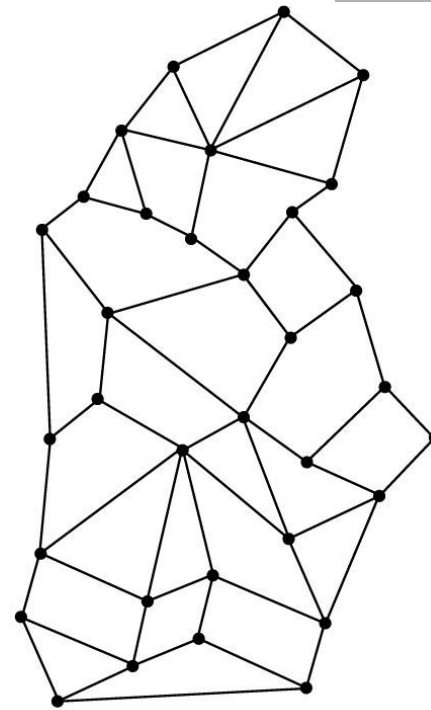
---

- Το Internet
- Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας
- Ασύρματα LANs
- RFID και δίκτυα αισθητήρων

# Το πρώτο βήμα προς το Internet



(a)



(b)

(a) Δομή του τηλεφωνικού συστήματος.

(b) Το κατακευκμένο σύστημα μεταγωγής που πρότεινε ο Baran.



# Το ARPANET

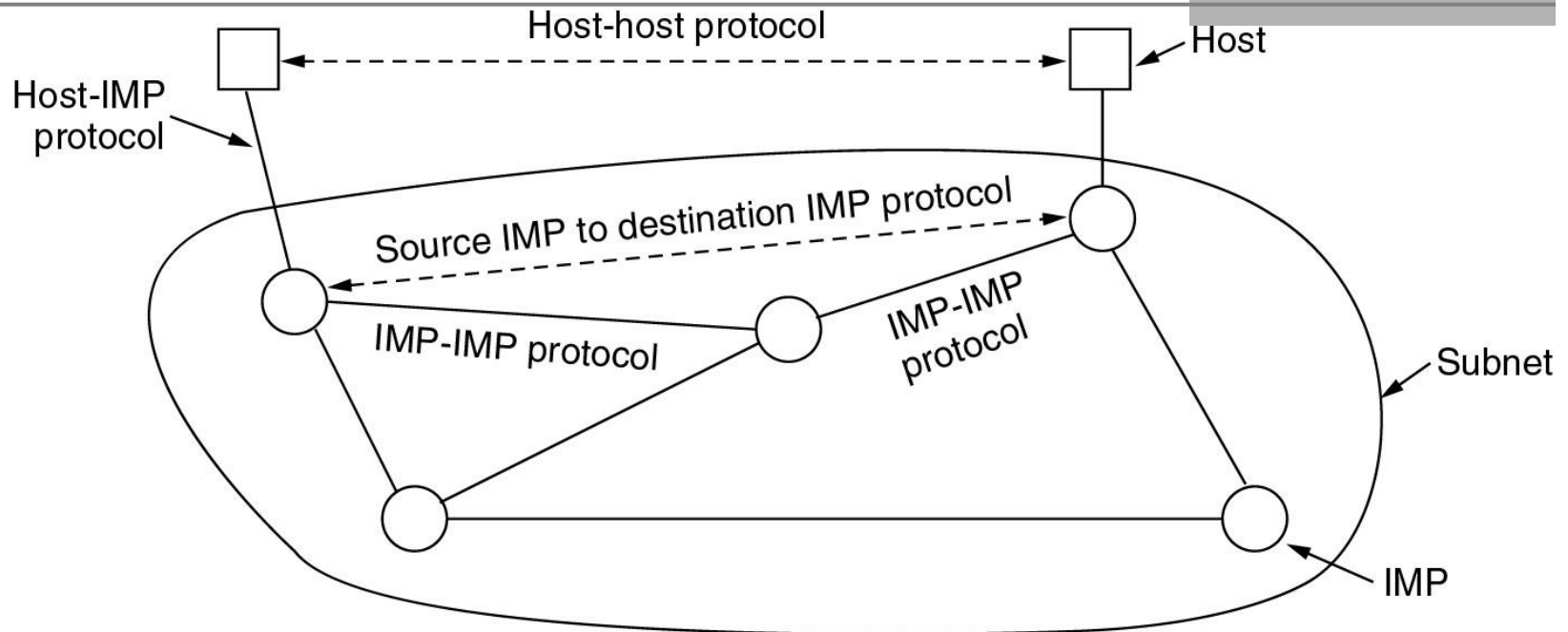
Το ARPANET αποτελεί δημιούργημα της ARPA (Advanced Research Projects Agency) του υπουργείου Εθνικής Αμύνης των Η.Π.Α.

Μεγάλο μέρος της τρέχουσας γνώσης μας σχετικά με τα δίκτυα υπολογιστών οφείλεται και αποτελεί άμεσο επακόλουθο του προγράμματος ARPANET.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στο ARPANET ήταν:

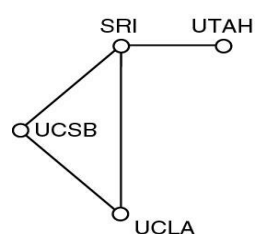
1. Μίνι υπολογιστές ονόματι: **Επεξεργαστές Μηνυμάτων Διασύνδεσης** ή **IMP (Interface Message Processor)**. Αρχικά ως IMP χρησιμοποιήθηκαν οι Honeywell DDP-316 mini με κύρια μνήμη 12K 16μπιτων λέξεων, οι οποίοι αντικαταστάθηκαν αρκετές φορές από ολοένα και ισχυρότερους υπολογιστές. Κάποιοι τύποι IMPs επιτρέπουν άμεση σύνδεση στο τερματικό και ονομάζονται: **TIPs (Terminal Interface Processors)**.
2. Οι IMPs ήταν συνδεδεμένοι με γραμμές μετάδοσης των 56 kbps ή 230.4 kbps (μισθωμένες γραμμές). Αρχικά, κάθε IMP μπορούσε να υποστηρίξει από έναν έως τέσσερις hosts, ενώ στη συνέχεια δεκάδες hosts και εκατοντάδες τερματικά ταυτόχρονα.

# Η αρχική σχεδίαση του ARPANET

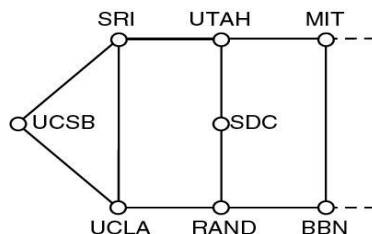


Το λογισμικό του ARPANET χωρίστηκε στα τμήματα υποδικτύου και υπολογιστή υπηρεσίας (host). Το λογισμικό υποδικτύου αποτελείτο από το άκρο του IMP για τη σύνδεση από το host προς τον IMP, το πρωτόκολλο από IMP σε IMP και από ένα πρωτόκολλο μεταξύ του IMP προέλευσης και του IMP προορισμού. Έξω από το υποδίκτυο χρειάστηκε λογισμικό για το άκρο του host στη σύνδεση από το host προς τον IMP, για το πρωτόκολλο από host σε host και για το λογισμικό των εφαρμογών.

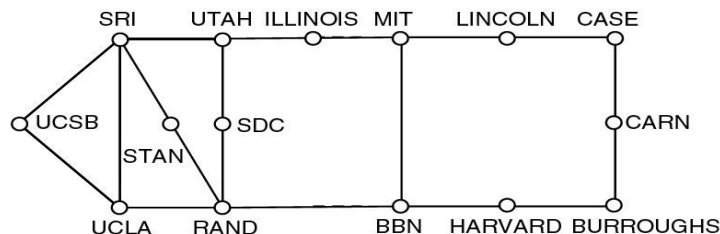
# Η ανάπτυξη του ARPANET στα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας του



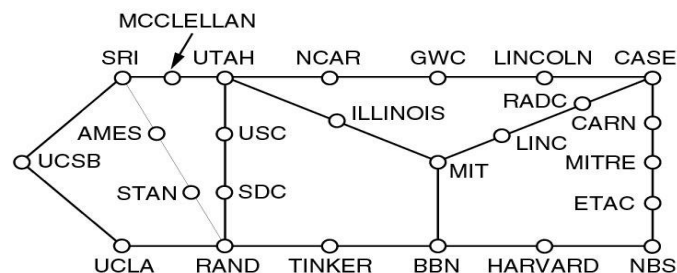
(a)



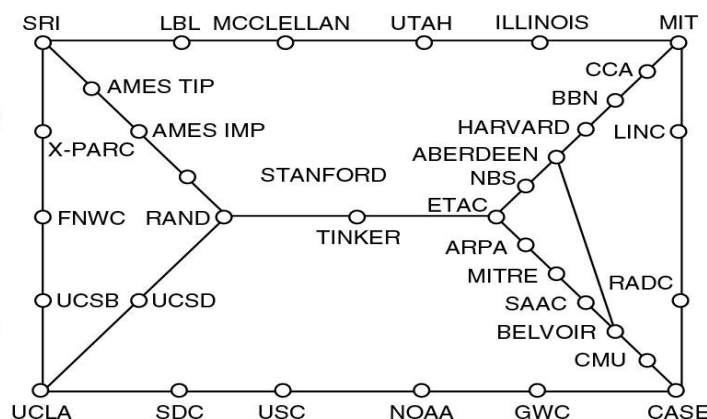
(b)



(c)



(d)



(e)

(a) Δεκέμβριος 1969. (b) Ιούλιος 1970. (c) Μάρτιος 1971.  
(d) Απρίλιος 1972. (e) Σεπτέμβριος 1972.

# TCP/IP

- Το TCP/IP σχεδιάστηκε ειδικά για να χειρίζεται την επικοινωνία πάνω από διαδίκτυα, ιδιαίτερα για να αντιμετωπίσει τον τεράστιο αριθμό δικτύων που συνδέονταν με το ARPANET.
- Τα πρωτόκολλα TCP/IP ενσωματώθηκαν στο Berkeley UNIX μέσω μιας εύχρηστης διασύνδεσης εφαρμογών με το δίκτυο (sockets), η οποία, σε συνδυασμό με άλλες εφαρμογές διαχείρισης και βοηθητικά προγράμματα που γράφτηκαν, έκανε το TCP/IP εξαιρετικά δημοφιλές.
- Για να διευκολυνθεί η ανεύρεση hosts στο ARPANET, δημιουργήθηκε το **Σύστημα Ονομάτων Περιοχής ή DNS (Domain Name System)** με στόχο να οργανώσει τις μηχανές σε περιοχές και να αντιστοιχίσει τα ονόματα των υπολογιστών υπηρεσίας σε διευθύνσεις IP.
- Μέχρι το 1990, το ARPANET είχε ξεπεραστεί από νεότερα δίκτυα (τα οποία το ίδιο είχε αναδείξει), οπότε και εγκαταλείφθηκε οριστικά.

# CSNET

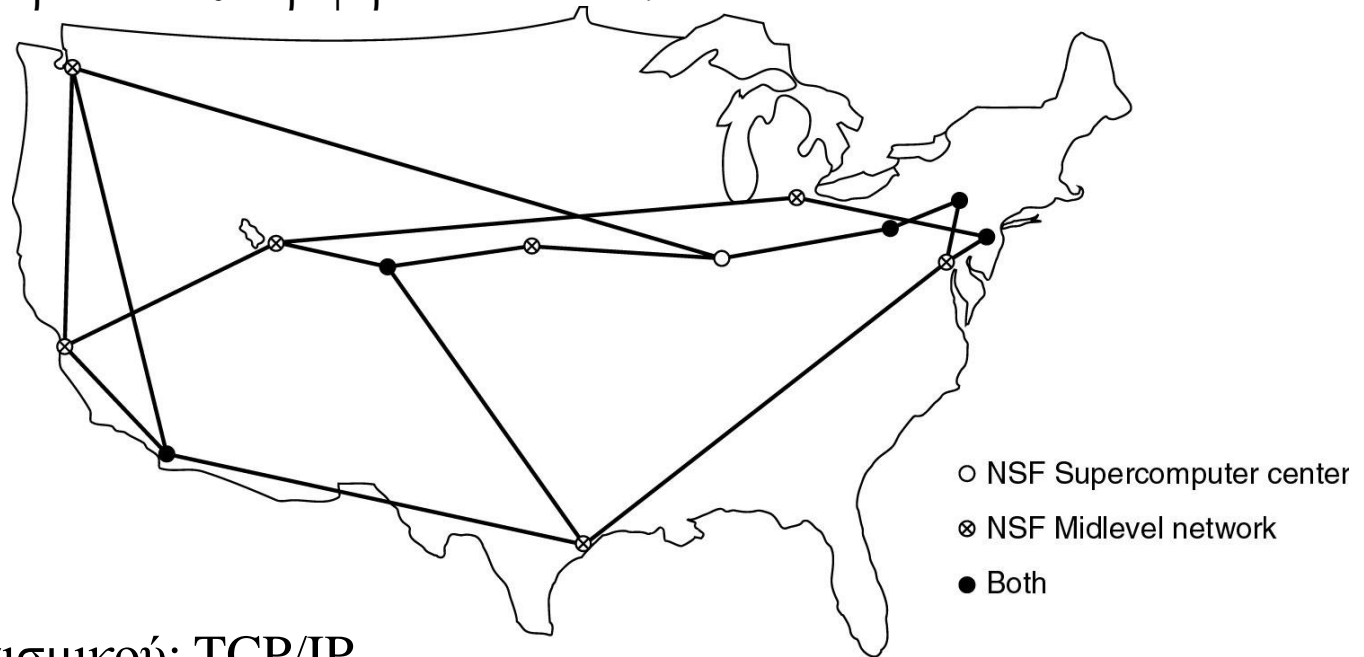
Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, η NSF (National Science Foundation) των Η.Π.Α. δημιούργησε το **CSNET** για να παράσχει υπηρεσίες δικτύωσης σε όλη την επιστημονική κοινότητα των Η.Π.Α. (και ιδιαίτερα σε αυτούς που δεν είχαν πρόσβαση στο ARPANET, κάτι που απαιτούσε τη σύναψη κάποιου ερευνητικού συμβολαίου με το DoD).

Το CSNET χτίστηκε γύρω από ένα μηχάνημα (CSNET-RELAY) στο BBN το οποίο υποστήριζε γραμμές dial-up (PHONENET) και είχε συνδέσεις με το ARPANET και άλλα δίκτυα (π.χ., X.25, CYPRESS).

Στις υπηρεσίες που προσέφερε περιλαμβάνονται: το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mails), η μεταφορά αρχείων (file transfer) και η τηλεσύνδεση (remote login).

# Το δίκτυο κορμού του NSFNET το 1988

Το 1984, η NSF ξεκίνησε τη σχεδίαση δικτύου υψηλής ταχύτητας ονόματι **NSFNET**, το οποίο θα ήταν διαθέσιμο σε όλες τις πανεπιστημιακές ερευνητικές ομάδες. Το NSFNET αποτελείτο από δίκτυο κορμού που συνέδεε έξι κέντρα υπερυπολογιστών της NSF και γύρω στα 20 περιφερειακά δίκτυα.



Τεχνολογία λογισμικού: TCP/IP.

Ταχύτητες δικτύου κορμού: 56 kbps, 448 kbps, 1.5 Mbps, 45 Mbps (ANSNET)

# To Internet

- Μετά τη διασύνδεση του ARPANET με το NSFNET (χρησιμοποιώντας το TCP/IP ως το μοναδικό επίσημο πρωτόκολλο), πολλά περιφερειακά δίκτυα συνδέθηκαν ανά τον κόσμο.
- Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο κόσμος άρχισε να αντιμετωπίζει αυτή τη συλλογή δικτύων σαν ένα διαδίκτυο και αργότερα σαν το Διαδίκτυο ή **Internet**.
- Μέχρι το 1990, το Internet περιελάμβανε 3,000 δίκτυα και 200,000 υπολογιστές.
- Τον Ιανουάριο του 1992, συστάθηκε η **Internet Society** με στόχο να προωθήσει τη χρήση του Internet.
- Ως το 1995, το Internet περιελάμβανε πολλαπλά δίκτυα κορμού, εκατοντάδες περιφερειακά δίκτυα, δεκάδες χιλιάδες LANs, εκατομμύρια hosts και δεκάδες εκατομμύρια χρήστες.
- Το μέγεθός του πολλαπλασιάζεται συνεχώς. Ο τρέχων αριθμός ενεργών χρηστών του Internet ξεπερνά τα 4.95 δισεκατομμύρια παγκοσμίως (Source: DataReportal, Jan. 2022), ήτοι ~62.5 % του πληθυσμού της γης, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων χρησιμοποιούν κινητές συσκευές για την πρόσβασή τους.

# To Internet

- Μετά τη διασύνδεση του ARPANET με το NSFNET (χρησιμοποιώντας το TCP/IP ως το μοναδικό επίσημο πρωτόκολλο), πολλά περιφερειακά δίκτυα συνδέθηκαν ανά τον κόσμο.
- Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο κόσμος άρχισε να αντιμετωπίζει αυτή τη συλλογή δικτύων σαν ένα διαδίκτυο και αργότερα σαν το Διαδίκτυο ή **Internet**.
- Μέχρι το 1990, το Internet περιελάμβανε 3,000 δίκτυα και 200,000 υπολογιστές.
- Τον Ιανουάριο του 1992, συστάθηκε η **Internet Society** με στόχο να προωθήσει τη χρήση του Internet.
- Ως το 1995, το Internet περιελάμβανε πολλαπλά δίκτυα κορμού, εκατοντάδες περιφερειακά δίκτυα, δεκάδες χιλιάδες LANs, εκατομμύρια hosts και δεκάδες εκατομμύρια χρήστες.
- Το μέγεθός του διπλασιάζεται περίπου κάθε 2 χρόνια. Ο τρέχων αριθμός ενεργών χρηστών του Internet ξεπερνά τα 4.66 δισεκατομμύρια παγκοσμίως (Source: Statista, Oct. 2020), ήτοι ~59% του πληθυσμού της γης, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων χρησιμοποιούν κινητές συσκευές για την πρόσβασή τους.



# Χρήση Internet παγκοσμίως

TOTAL  
INTERNET  
USERS



**4.95**  
BILLION

INTERNET USERS AS  
A PERCENTAGE OF  
TOTAL POPULATION



**62.5%**

YEAR-ON-YEAR CHANGE  
IN THE NUMBER OF  
INTERNET USERS



**+4.0%**  
**+192 MILLION**

AVERAGE DAILY TIME SPENT  
USING THE INTERNET BY  
EACH INTERNET USER



**6H 58M**  
**+1.0% (+4M)**

PERCENTAGE OF USERS  
ACCESSING THE INTERNET  
VIA MOBILE PHONES



**92.1%**

*Source: DataReportal, January 2022*

# Ο ρόλος του TCP/IP στο Internet

---

Ο συνδετικός ιστός του Internet είναι το μοντέλο αναφοράς TCP/IP και η στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP.

Τι ακριβώς όμως σημαίνει το να είναι μια μηχανή συνδεδεμένη στο Internet?

1. Ότι τρέχει τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP,
2. έχει μια διεύθυνση IP και
3. έχει την ικανότητα να στέλνει πακέτα IP σε όλες τις άλλες μηχανές στο Internet.

# Χρήση του Internet

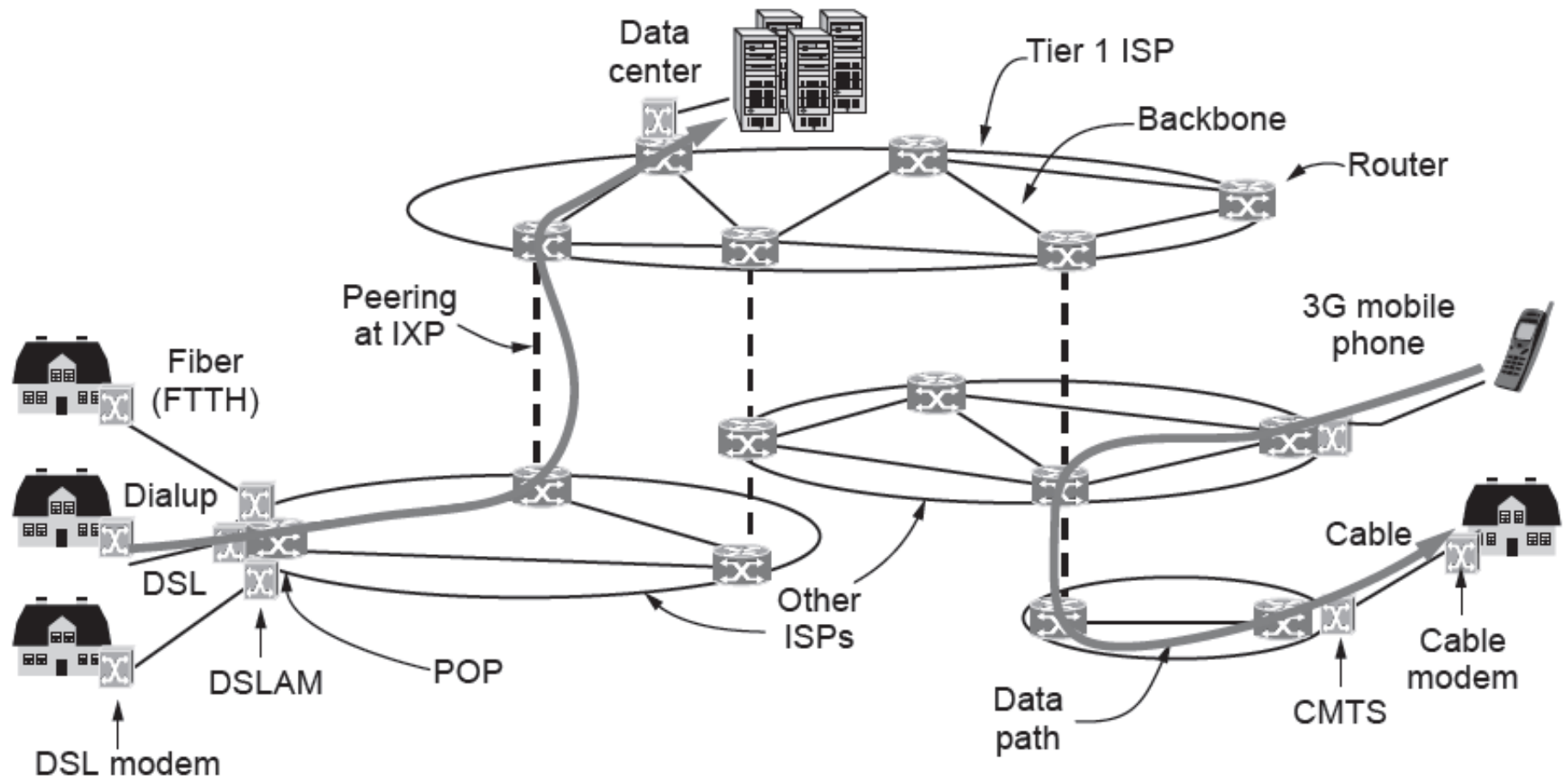
---

Παραδοσιακές εφαρμογές του Internet (1970-1990):

1. Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail)
2. Συζητήσεις - ομάδες ειδήσεων (chat-newsgroups)
3. Τηλεσύνδεση (remote login)
4. Μεταφορά αρχείων (file transfer)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, μια νέα εφαρμογή, ο **Παγκόσμιος Ιστός** ή **WWW (World Wide Web)**, άλλαξε τα πάντα και έφερε εκατομμύρια νέους μη-ακαδημαϊκούς χρήστες στο Internet.

# Αρχιτεκτονική του Internet (I)



Επισκόπηση του Internet.

# Αρχιτεκτονική του Internet (II)

Αρχικά ο πελάτης καλεί τον ISP (Internet Service Provider) μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής. Μέσω του μόντεμ του υπολογιστή του, μεταφέρονται τα σήματα που στέλνει ο πελάτης στο **Σημείο Παρουσίας ή POP (Point Of Presence)** του ISP, από όπου φεύγουν από το τηλεφωνικό σύστημα και εισάγονται στο περιφερειακό δίκτυο του ISP. Αυτό αποτελείται από διασυνδεδεμένους υπολογιστές στις πόλεις που εξυπηρετεί ο ISP. Αν το πακέτο προορίζεται για έναν host που εξυπηρετείται άμεσα από τον ISP, το πακέτο παραδίδεται στον host αυτόν.

Αλλιώς μεταβιβάζεται στο φορέα παροχής δικτύου κορμού (backbone operator) του ISP.

Υπάρχουν μεγάλες εταιρείες και υπηρεσίες στέγασης ιστοσελίδων (που διαθέτουν φάρμες διακομιστών ή server farms) συχνά συνδέονται απευθείας στο δίκτυο κορμού.

Για να επιτρέπεται στα πακέτα να κινούνται ανάμεσα στα δίκτυα κορμού, όλα τα μεγάλα δίκτυα κορμού συνδέονται στα NAPs (Network Access Points). Το NAP είναι ένα δωμάτιο γεμάτο δρομολογητές, με τουλάχιστον ένα δρομολογητή ανά δίκτυο κορμού, όπου όλοι οι δρομολογητές είναι συνδεδεμένοι σε LAN, ώστε να μπορούν να προωθήσουν πακέτα από οποιοδήποτε δίκτυο κορμού σε οποιοδήποτε άλλο.

Εκτός από τη διασύνδεση στα NAP, τα μεγαλύτερα δίκτυα κορμού έχουν και πολλές άμεσες συνδέσεις ανάμεσα στους δρομολογητές τους (τεχνική **ιδιωτικής ομότιμης σύνδεσης ή private peering**).

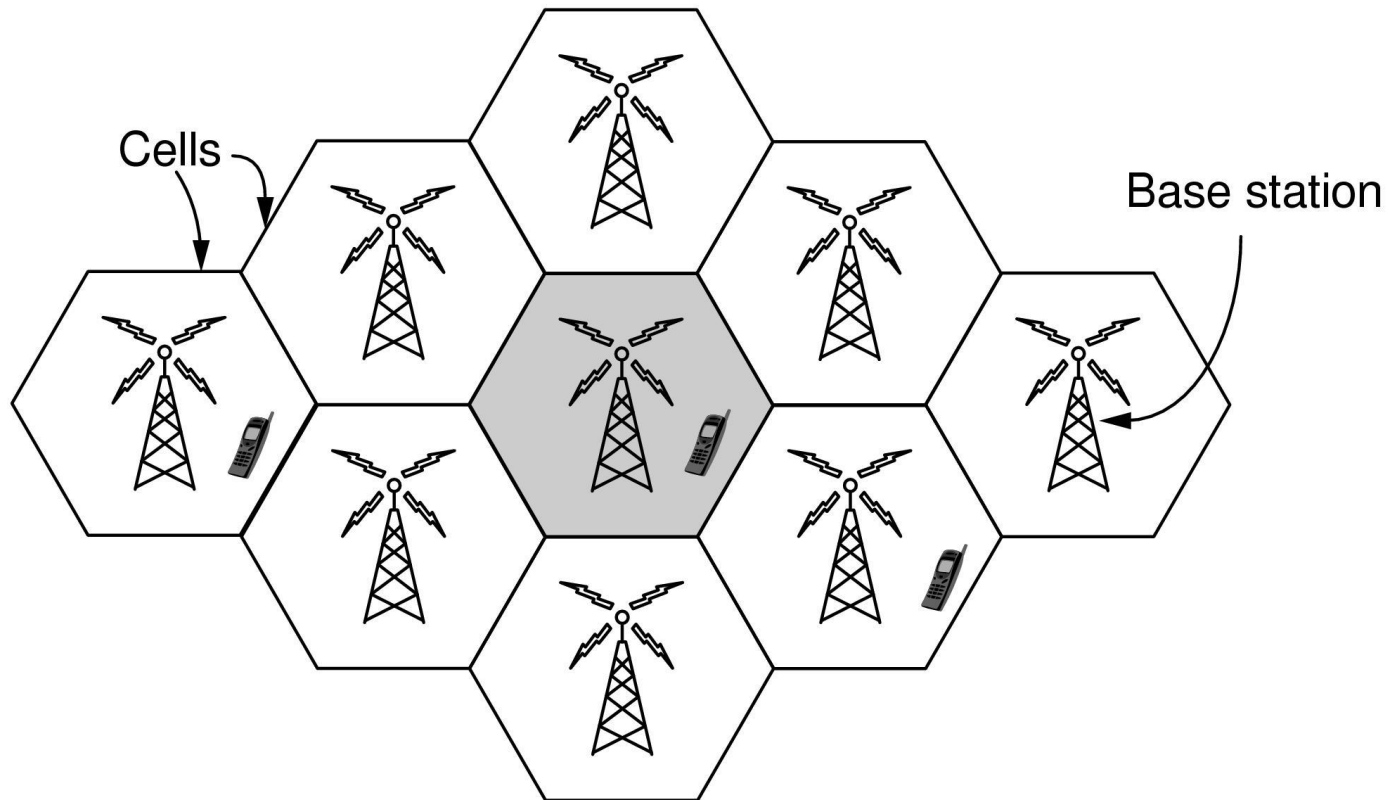
# Συνδεσμοστρεφή δίκτυα

Οι τηλεφωνικές εταιρείες προτιμούν τα συνδεσμοστρεφή δίκτυα για δύο λόγους:

1. Ποιότητα υπηρεσιών: Με την προκαταβολική εγκαθίδρυση της σύνδεσης, το υποδίκτυο μπορεί να δεσμεύει πόρους. Αν γίνει απόπειρα εγκατάστασης σύνδεσης και οι υπάρχοντες πόροι είναι ανεπαρκείς, η κλήση απορρίπτεται. Έτσι εξασφαλίζεται ότι άπαξ και εγκατασταθεί μια σύνδεση, θα παρουσιάζει δεδομένο υψηλό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (πολύ σημαντικό για υπηρεσίες φωνής).
2. Χρέωση: Οι τηλεφωνικές εταιρείες είναι συνηθισμένες να χρεώνουν για το χρόνο σύνδεσης, κάτι το οποίο δεν είναι δυνατόν για τα ασυνδεσμικά δίκτυα.

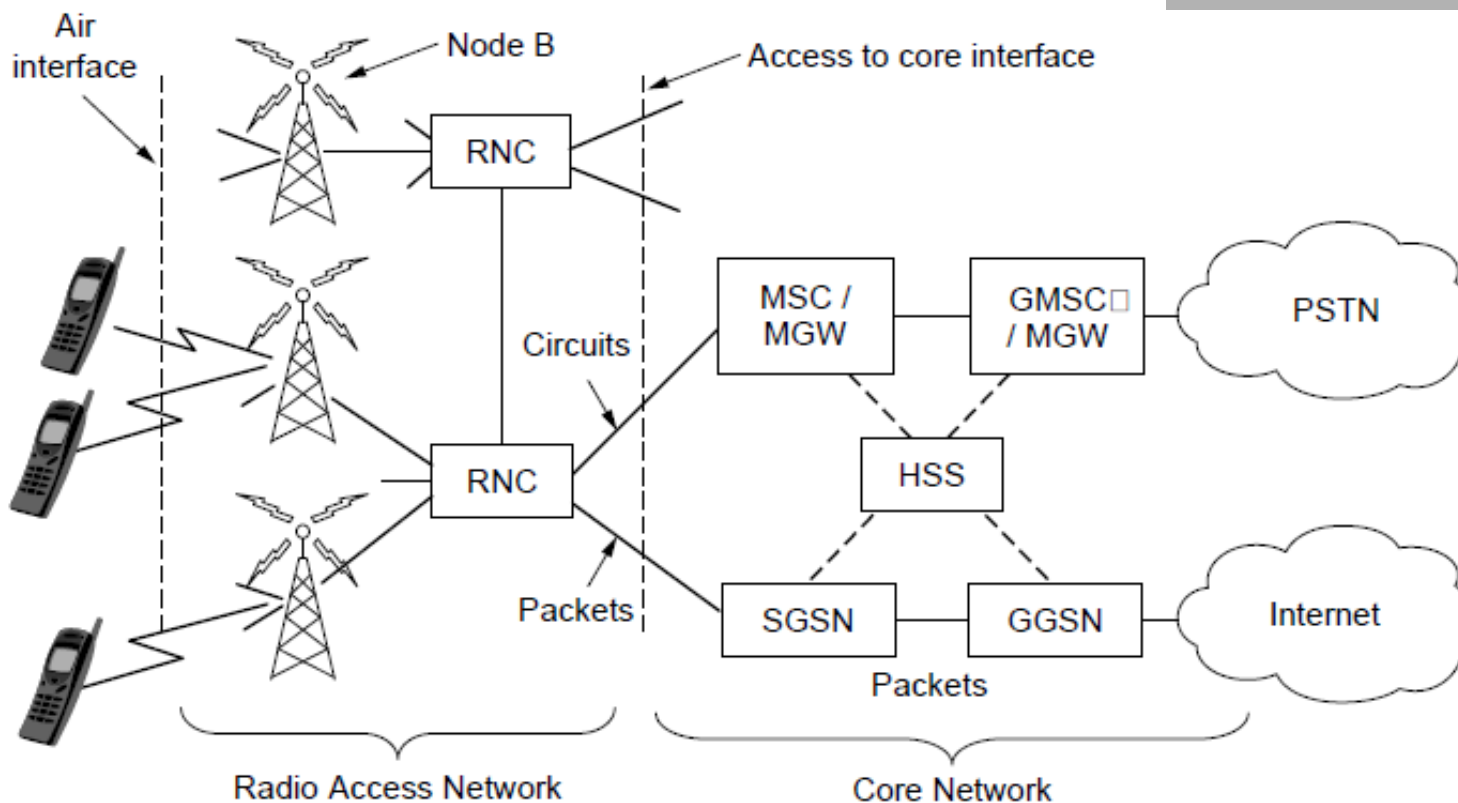
Για τους λόγους αυτούς, δεν πρέπει να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι τα δίκτυα που σχεδιάζονται από την τηλεφωνική βιομηχανία έχουν συνδεσμοστρεφή υποδίκτυα. Αυτό που προκαλεί έκπληξη είναι ότι και το Internet “παρασύρεται” προς την κατεύθυνση αυτή προκειμένου να παρέχει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών για τον ήχο και το βίντεο.

# Δίκτυα κινητών επικοινωνιών (I)



Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών βασίζονται στην κυψελωτή δομή. Κάθε κυψέλη (cell) παρέχει ασύρματη πρόσβαση στα κινητά τερματικά μέσω του σταθμού βάσης (base station).

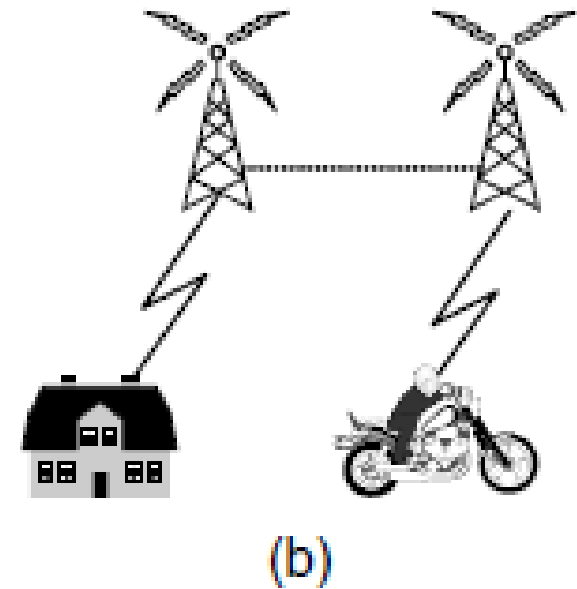
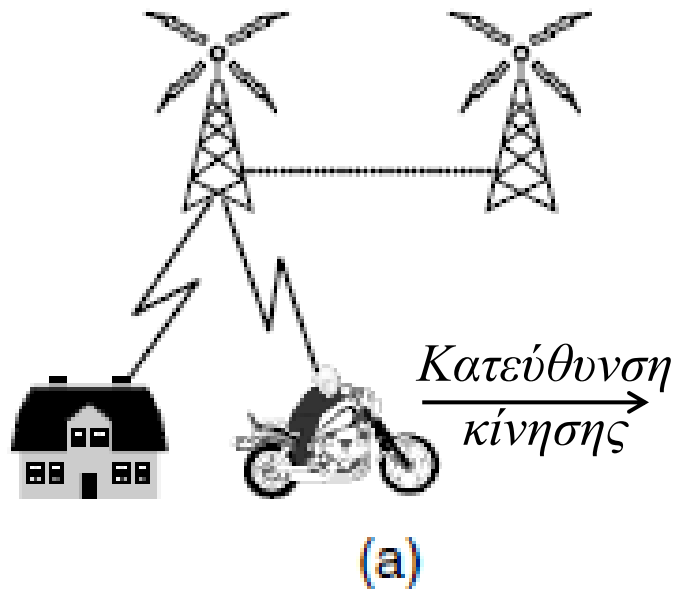
# Δίκτυα κινητών επικοινωνιών (II)



Οι σταθμοί βάσης συνδέονται στο δίκτυο κορμού (core network) για να παρέχουν σύνδεση προς άλλα κινητά και να στείλουν δεδομένα προς το τηλεφωνικό δίκτυο και το Internet.

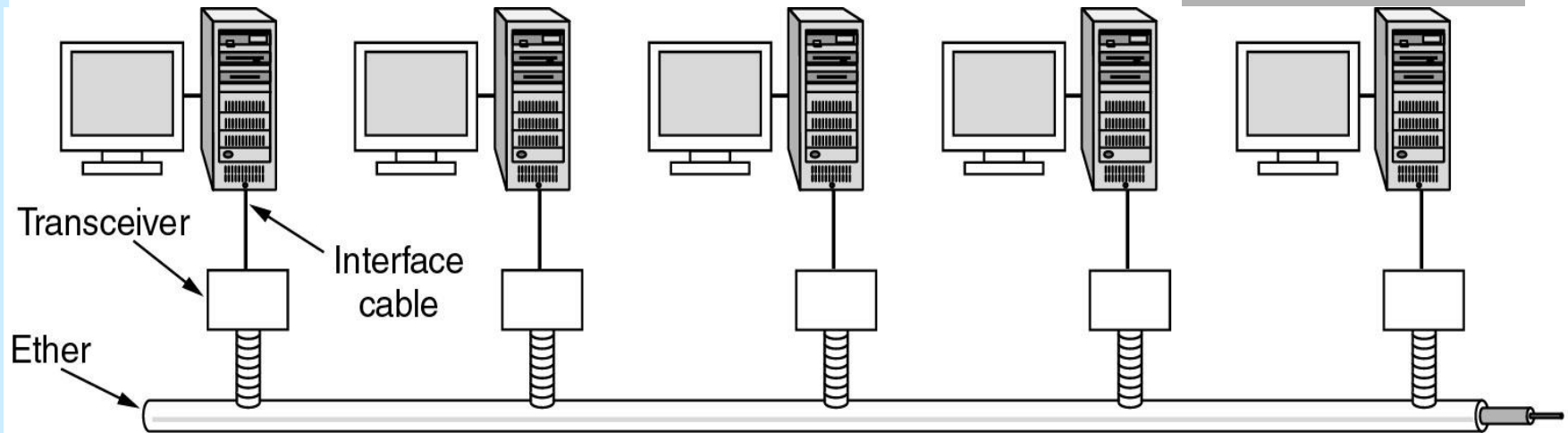


# Δίκτυα κινητών επικοινωνιών (III)



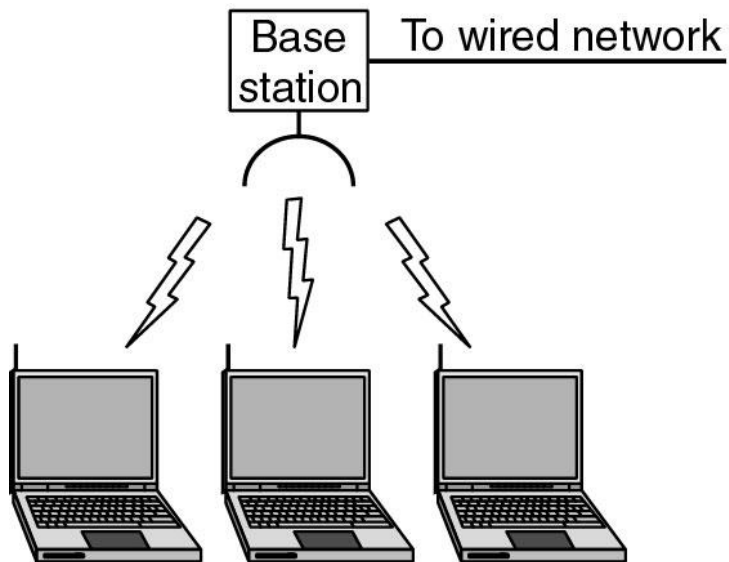
Καθώς τα τερματικά μετακινούνται, γίνεται διαπομπή (handover) από τον ένα σταθμό βάσης στον επόμενο. Το δίκτυο επίσης ενημερώνεται για τη θέση του κάθε τερματικού. Διαπομπή κινητού τηλεφώνου (α) πριν και (β) μετά.

# Ethernet

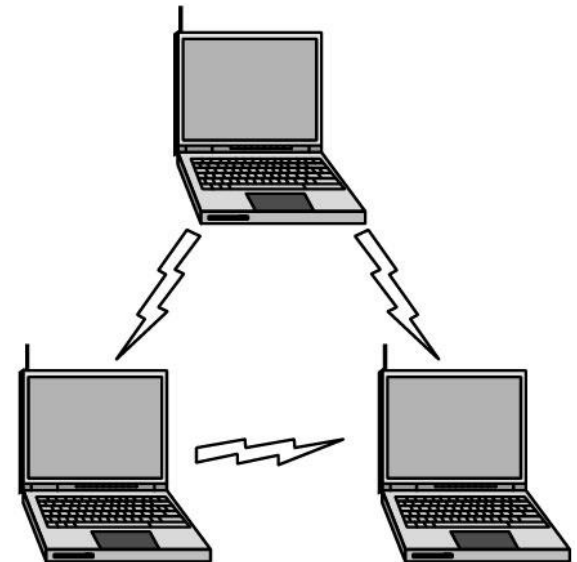


Το **Ethernet** σχεδιάστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 βασιζόμενο στο ALOHANET. Το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιούσε ήταν ένα ομοαξονικό καλώδιο με μήκος μέχρι 2.5 km και αναμεταδότες κάθε 500m. Μπορούσαν να συνδεθούν μέχρι 256 μηχανές στο σύστημα μέσω πομποδοκτών (transceivers) που ήταν βιδωμένοι στο καλώδιο. Το σύστημα λειτουργούσε στα 2.94 Mbps. Πριν μεταδώσει δεδομένα κάθε υπολογιστής, αφουγραζόταν πρώτα το καλώδιο για να δει αν κάποιος άλλος μεταδίδει ήδη, οπότε περίμενε να τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση. Επιπλέον, κάθε υπολογιστής ακούει το καλώδιο καθώς μεταδίδει και, αν ανιχνεύσει παρεμβολές, μπλοκάρει τον αιθέρα με ειδικό σήμα, προειδοποιεί όλους τους αποστολείς, διακόπτει τη μετάδοση και περιμένει τυχαίο διάστημα μέχρι να ξαναδοκιμάσει. Το Ethernet εξελίχθηκε στο πρότυπο **IEEE 802.3** το 1983, ενώ υπάρχουν εκδόσεις στα 10, 100 και 1000 Mbps και ακόμη παραπάνω.

# Ασύρματα LAN: IEEE 802.11 (I)



(a)

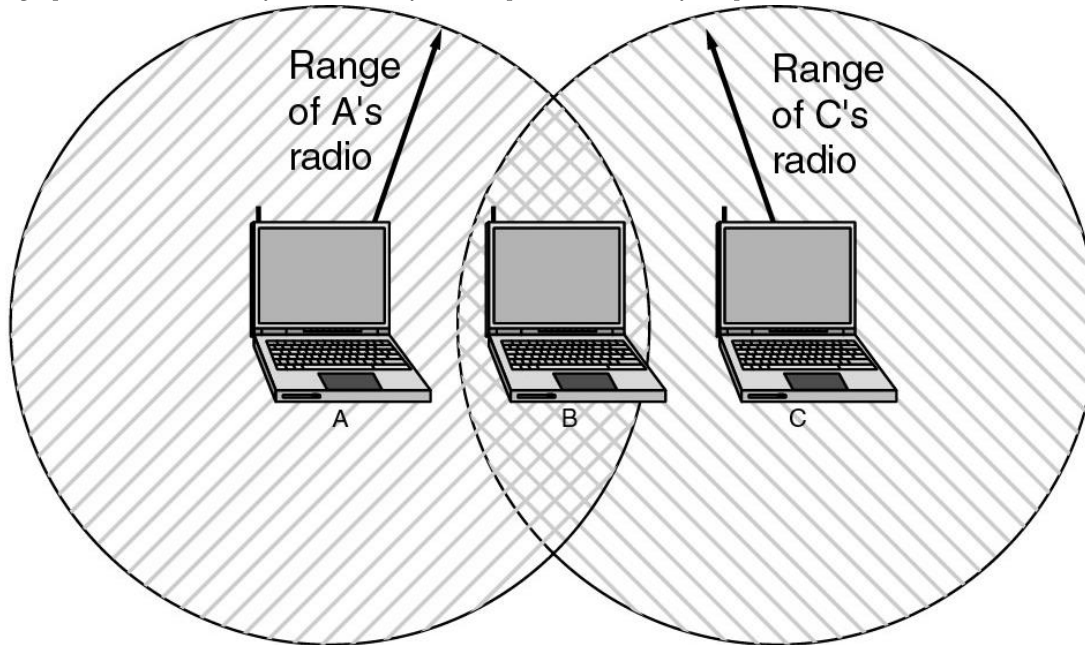


(b)

- (a) Ασύρματη δικτύωση με σταθμό βάσης (ή αλλιώς σημείο πρόσβασης).
- (b) Δικτύωση ad hoc (χωρίς σταθμό βάσης).

# Ασύρματα LAN (II)

Η εμβέλεια ενός ραδιοπομπού μπορεί να μην καλύπτει όλο το σύστημα.



**Πρόβλημα 1:** Έστω ο υπολογιστής A μεταδίδει προς το υπολογιστή B αλλά η εμβέλεια του ραδιοπομπού του A δεν φτάνει μέχρι τον υπολογιστή C. Αν και ο C θέλει να μεταδώσει στον B, μπορεί να ακούσει τον αιθέρα πριν ξεκινήσει (ακολουθώντας τις αρχές του Ethernet), το γεγονός όμως ότι δεν ακούει τίποτα, δε σημαίνει ότι η μετάδοσή του θα είναι επιτυχής αφού θα υπάρξει σύγκρουση. Το IEEE 802.11 έπρεπε να λύσει το πρόβλημα αυτό.

# Ασύρματα LAN (III)

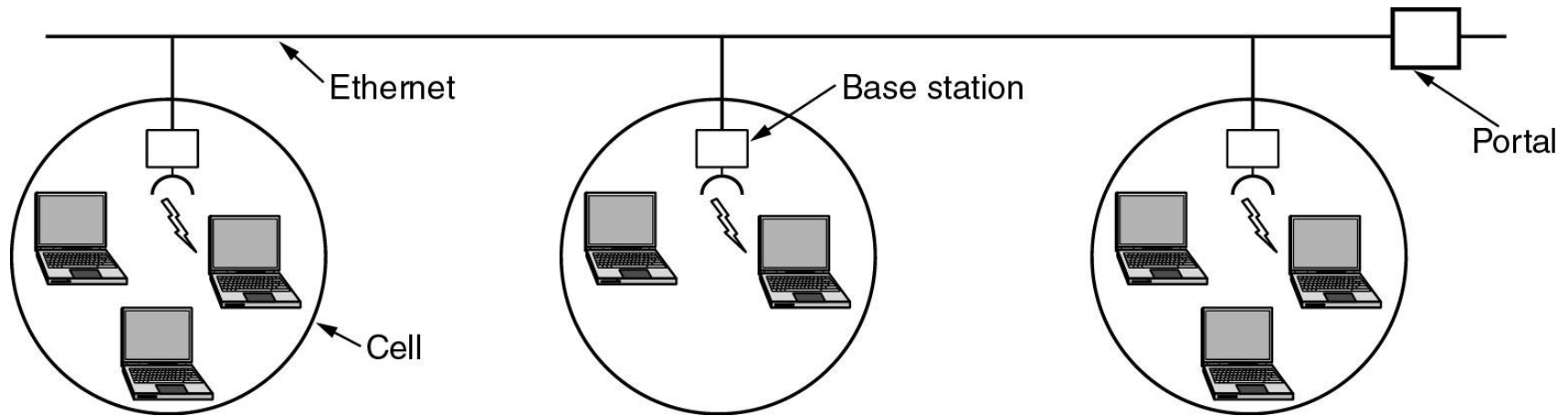
---

**Πρόβλημα 2:** Το ραδιοκυματικό σήμα μπορεί να ανακλαστεί πάνω σε συμπαγή αντικείμενα και άρα να ληφθεί πολλές φορές μέσω πολλών διαδομών (παρεμβολές αυτές προκαλούν την **εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών** ή **multipath fading**).

**Πρόβλημα 3:** Μεγάλος όγκος λογισμικού δε γνωρίζει τίποτα σχετικά με τη μεταφερσιμότητα των υπολογιστών (π.χ., πολλοί επεξεργαστές κειμένου διατηρούν λίστα εκτυπωτών, η οποία βέβαια αχρηστεύεται μόλις ο υπολογιστής μεταφερθεί σε νέο περιβάλλον).

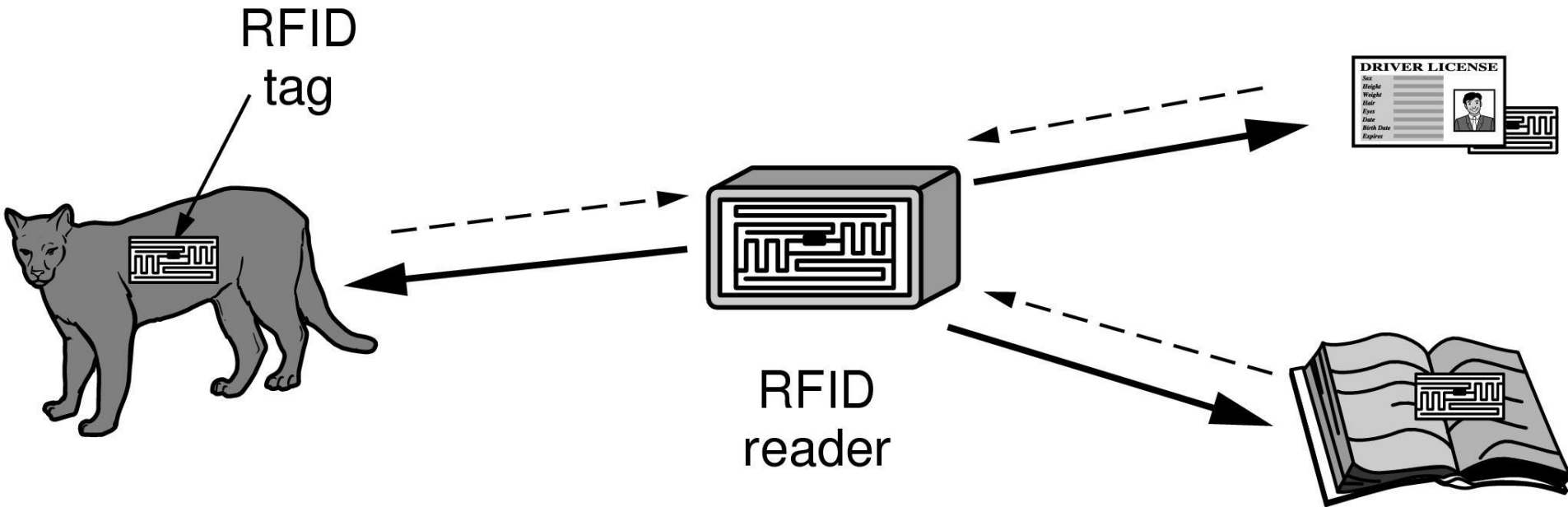
**Πρόβλημα 4:** Αν ένας υπολογιστής κινηθεί μακριά από το σταθμό βάσης που χρησιμοποιεί και βρεθεί εντός εμβέλειας άλλου σταθμού βάσης, απαιτείται σχεδιασμός του τρόπου χειρισμού αυτής της κατάστασης. Συγκεκριμένα, οι σχεδιαστές οραματίζονταν δίκτυο που θα περιελάμβανε πολλές κυψέλες, κάθε μία από τις οποίες θα είχε το δικό της σταθμό βάσης, με τους σταθμούς βάσης διασυνδεδεμένους μέσω Ethernet.

# Ασύρματα LAN (IV)



Ένα δίκτυο 802.11 με πολλές κυψέλες.

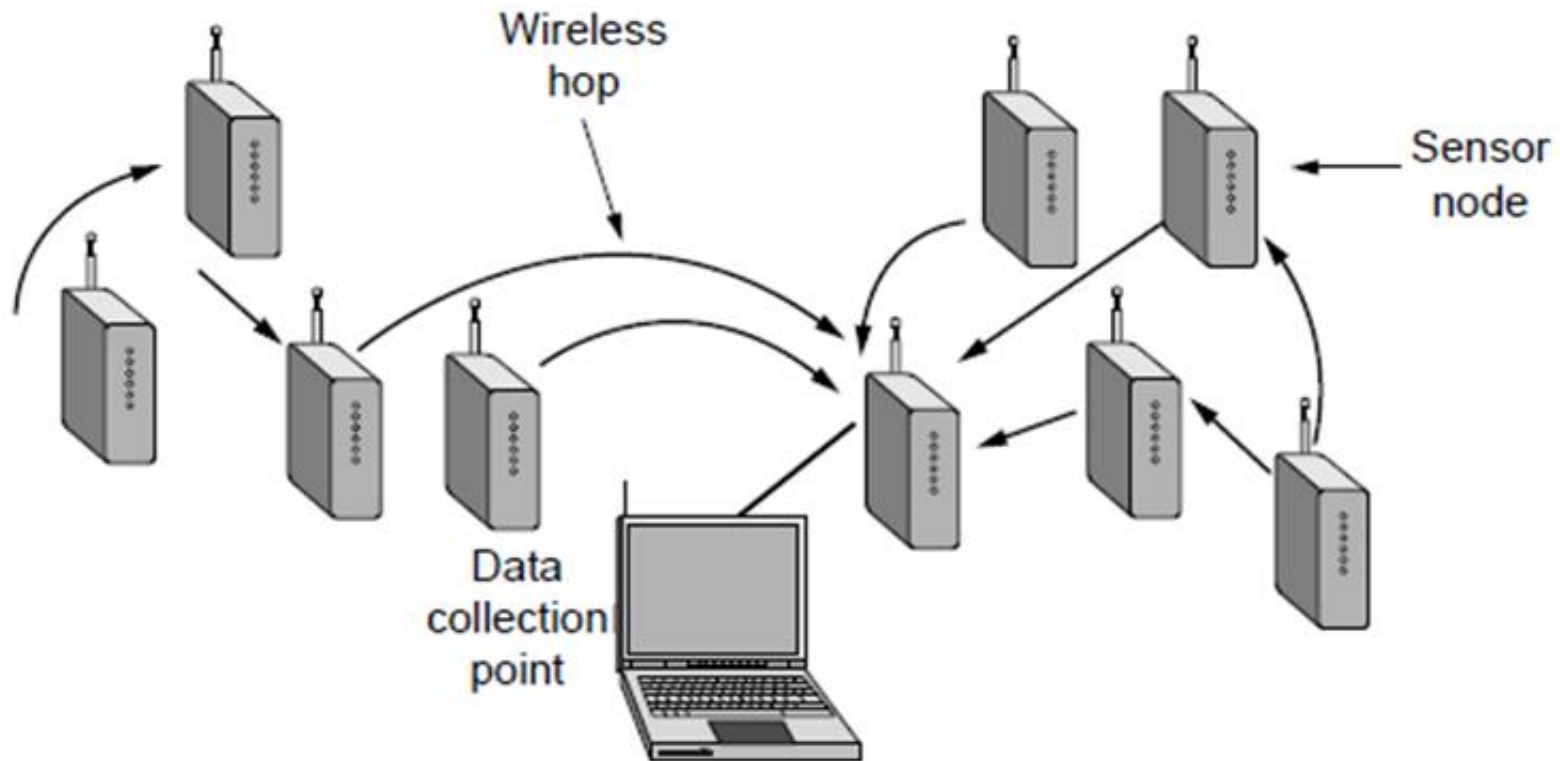
# RFID και Δίκτυα Αισθητήρων (I)



Passive UHF RFID networks everyday objects:

- Tags (stickers with not even a battery) are placed on objects
- Readers send signals that the tags reflect to communicate

# RFID και Δίκτυα Αισθητήρων (II)



Sensor networks spread small devices over an area:

- Devices send sensed data to collector via wireless hops



# Τυποποίηση δικτύων (I)

Οφέλη της τυποποίησης:

1. Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών.
2. Διευρύνει την αγορά για προϊόντα που είναι συμβατά με το πρότυπο.

Δύο κατηγορίες προτύπων:

1. **De facto** (λατινικά για το “εκ των πραγμάτων”) πρότυπα είναι εκείνα τα οποία απλώς συνέβησαν, χωρίς κάποιον επίσημο σχεδιασμό (π.χ., το IBM PC για τους μικρούς υπολογιστές γραφείων, το UNIX για τα λειτουργικά συστήματα στα τμήματα CS).
2. **De jure** (λατινικά για το “εκ νόμου”) πρότυπα τα οποία αποτελούν επίσημα θεσμοθετημένα πρότυπα που υιοθετούνται από κάποιον εντεταλμένο οργανισμό τυποποίησης.

Δύο κατηγορίες οργανισμών τυποποίησης:

1. Οργανισμοί που ιδρύθηκαν μέσω κοινού συμφώνου ανάμεσα σε κυβερνήσεις.
2. Εθελοντικοί οργανισμοί που δε βασίζονται σε κάποια συμφωνία.

# Τυποποίηση δικτύων (II)

Standards define what is needed for interoperability.  
Some of the many standards bodies:

Body	Area	Examples
ITU	Telecommunications	G.992, ADSL H.264, MPEG4
IEEE	Communications	802.3, Ethernet 802.11, WiFi
IETF	Internet	RFC 2616, HTTP/1.1 RFC 1034/1035, DNS
W3C	Web	HTML5 standard CSS standard

# Ποιός είναι ποιός στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών

## Λέξεις κλειδιά:

- **Κοινοί φορείς (common carriers):** ιδιωτικές τηλεφωνικές εταιρείες (π.χ., AT&T στις ΗΠΑ).
- **Υπηρεσίες Ταχυδρομείου, Τηλεγράφου και Τηλεφωνίας ή PTT (Post, Telegraph & Telephone):** εθνικοποιημένες υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών (στην πλειοψηφία των χωρών).
- **ITU (International Telecommunication Union):** υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών για το διεθνή συντονισμό των τηλεπικοινωνιών.
- **CCITT:** ένα από τα όργανα της ITU (ήτοι, η ITU-T), εξειδικευμένο στα συστήματα τηλεφωνίας και επικοινωνίας δεδομένων.

# ITU (International Telecommunication Union)

---

- **Κύριοι τομείς:**
  - Τομέας Ραδιοτηλεπικοινωνιών (ITU-R)
  - Τομέας Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T)
  - Τομέας Ανάπτυξης (ITU-D)
- **Κατηγορίες μελών:**
  - Κυβερνήσεις κρατών
  - Κλαδικά μέλη
  - Συνδεδεμένα μέλη
  - Ρυθμιστικές αρχές

# Ποιός είναι ποιός στον κόσμο των διεθνών προτύπων

Ο **ISO** είναι ένας εθελοντικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1946 χωρίς να βασίζεται σε κάποιο σύμφωνο, με μέλη τους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης 89 χωρών.

Η διαδικασία που ακολουθεί ο ISO για να υιοθετήσει κάποιο πρότυπο είναι:

1. Πρώτον, ένας εθνικός οργανισμός αισθάνεται ότι υπάρχει η ανάγκη για ένα διεθνές πρότυπο σε κάποιον τομέα.
2. Σχηματίζεται τότε μια ομάδα εργασίας η οποία δημιουργεί ένα **Προσχέδιο Επιτροπής ή CD (Committee Draft)**.
3. Το CD διανέμεται στη συνέχεια σε όλα τα μέλη, τα οποία έχουν στη διάθεσή τους 6 μήνες να κάνουν κριτικές επ' αυτού.
4. Αν το CD εγκριθεί από σημαντική πλειοψηφία, δημιουργείται αναθεωρημένο έγγραφο που ονομάζεται **Προσχέδιο Διεθνούς Προτύπου ή DIS (Draft International Standard)** το οποίο διανέμεται για σχολιασμό και ψήφιση.
5. Βάσει των αποτελεσμάτων αυτού του γύρου, προετοιμάζεται το τελικό κείμενο του **Διεθνούς Προτύπου ή IS (International Standard)** το οποίο εγκρίνεται και δημοσιεύεται.

Το **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**, ο μεγαλύτερος επαγγελματικός σύλλογος στον κόσμο, είναι ένας ακόμη “μεγάλος παίκτης” στον κόσμο των προτύπων, π.χ., η επιτροπή 802 του IEEE έχει τυποποιήσει πολλά είδη LAN.

# Πρότυπα IEEE 802

## Οι ομάδες εργασίας της επιτροπής 802.

Οι σημαντικές  
σημειώνονται με \*.

Αυτές που  
σημειώνονται με ↓  
είναι τώρα αδρανείς.

Αυτή που  
σημειώνεται με † τα  
παράτησε και έχει  
διαλυθεί.

Number	Topic
802.1	Overview and architecture of LANs
802.2 ↓	Logical link control
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Token bus (was briefly used in manufacturing plants)
802.5	Token ring (IBM's entry into the LAN world)
802.6 ↓	Dual queue dual bus (early metropolitan area network)
802.7 ↓	Technical advisory group on broadband technologies
802.8 †	Technical advisory group on fiber optic technologies
802.9 ↓	Isochronous LANs (for real-time applications)
802.10 ↓	Virtual LANs and security
802.11 *	Wireless LANs (WiFi)
802.12 ↓	Demand priority (Hewlett-Packard's AnyLAN)
802.13	Unlucky number; nobody wanted it
802.14 ↓	Cable modems (defunct: an industry consortium got there first)
802.15 *	Personal area networks (Bluetooth, Zigbee)
802.16 *	Broadband wireless (WiMAX)
802.17	Resilient packet ring
802.18	Technical advisory group on radio regulatory issues
802.19	Technical advisory group on coexistence of all these standards
802.20	Mobile broadband wireless (similar to 802.16e)
802.21	Media independent handoff (for roaming over technologies)
802.22	Wireless regional area network

# Ποιός είναι ποιός στον χώρο των προτύπων του Internet

Όταν ξεκίνησε το ARPANET, το DoD δημιούργησε μια ανεπίσημη επιτροπή για να το επιβλέπει. Το 1983 η επιτροπή αυτή μετονομάστηκε σε **Συμβούλιο Δραστηριοτήτων Internet** ή **IAB (Internet Architecture Board)**, η οποία στη συνέχεια μετατράπηκε σε **Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Internet (Internet Architecture Board)**. Το 1989 οι ερευνητές μετακινήθηκαν στην **Ομάδα Εργασίας Έρευνας Internet** ή **IRTF (Internet Research Task Force)**, η οποία υπαγόταν στο **IAB**, μαζί με την **Ομάδα Εργασίας Μηχανικών Internet** ή **IETF (Internet Engineering Task Force)**. Αργότερα δημιουργήθηκε η **Κοινωνία του Internet (Internet Society)**, η οποία αποτελείται από άτομα που ενδιαφέρονται για το Internet, είναι συγκρίσιμη με την ACM και την IEEE κατά μία έννοια και διοικείται από εκλεγμένους εφόρους οι οποίοι διορίζουν και τα μέλη του IAB.

Μια διάσημη σχετική παρατήρηση είναι ότι η τυποποίηση στο Internet συνίσταται σε “*πρόχειρη συναίνεση και κώδικα που δουλεύει*”.

# Μετρικές Μονάδες

Exp.	Explicit	Prefix	Exp.	Explicit	Prefix
$10^{-3}$	0.001	milli	$10^3$	1,000	Kilo
$10^{-6}$	0.000001	micro	$10^6$	1,000,000	Mega
$10^{-9}$	0.000000001	nano	$10^9$	1,000,000,000	Giga
$10^{-12}$	0.000000000001	pico	$10^{12}$	1,000,000,000,000	Tera
$10^{-15}$	0.000000000000001	femto	$10^{15}$	1,000,000,000,000,000	Peta
$10^{-18}$	0.000000000000000001	atto	$10^{18}$	1,000,000,000,000,000,000	Exa
$10^{-21}$	0.000000000000000000001	zepto	$10^{21}$	1,000,000,000,000,000,000,000	Zetta
$10^{-24}$	0.000000000000000000000001	yocto	$10^{24}$	1,000,000,000,000,000,000,000,000	Yotta

Τα κύρια προθέματα στο μετρικό σύστημα.

Χρησιμοποιούμε δυνάμεις του 10 για ταχύτητες (rates) και δυνάμεις του 2 για όγκο δεδομένων (αποθήκευση).

- π.χ., 1 Mbps = 1,000,000 bps, 1 KB = 1024 bytes (“B” is for bytes, “b” is for bits)



**Ευχαριστώ για την προσοχή σας!**