

Δίκτυα Υπολογιστών



Δίκτυα υπολογιστών και το Διαδίκτυο
Επίπεδα πρωτοκόλλων

Κ. Βασιλάκης



Περίγραμμα – ενότητες που εξετάζονται

- Τι είναι το διαδίκτυο
 - Στοιχεία που το συνθέτουν
 - Τρόποι παροχής υπηρεσιών
 - Τι είναι τα πρωτόκολλα
- Τα άκρα του δικτύου,
 - Δίκτυα πρόσβασης,
 - Φυσικά μέσα
- Ο πυρήνας του δικτύου
 - Μεταγωγή πακέτου
 - Μεταγωγή κυκλώματος
 - Δομή του διαδικτύου
- Δυσκολίες στη μεταφορά
 - Καθυστερήσεις,
 - Απώλειες,
 - Διεκπεραιωτική ικανότητα
- Επίπεδα πρωτοκόλλων
 - Διαστρωμάτωση
 - Το μοντέλο OSI
- Ιστορία

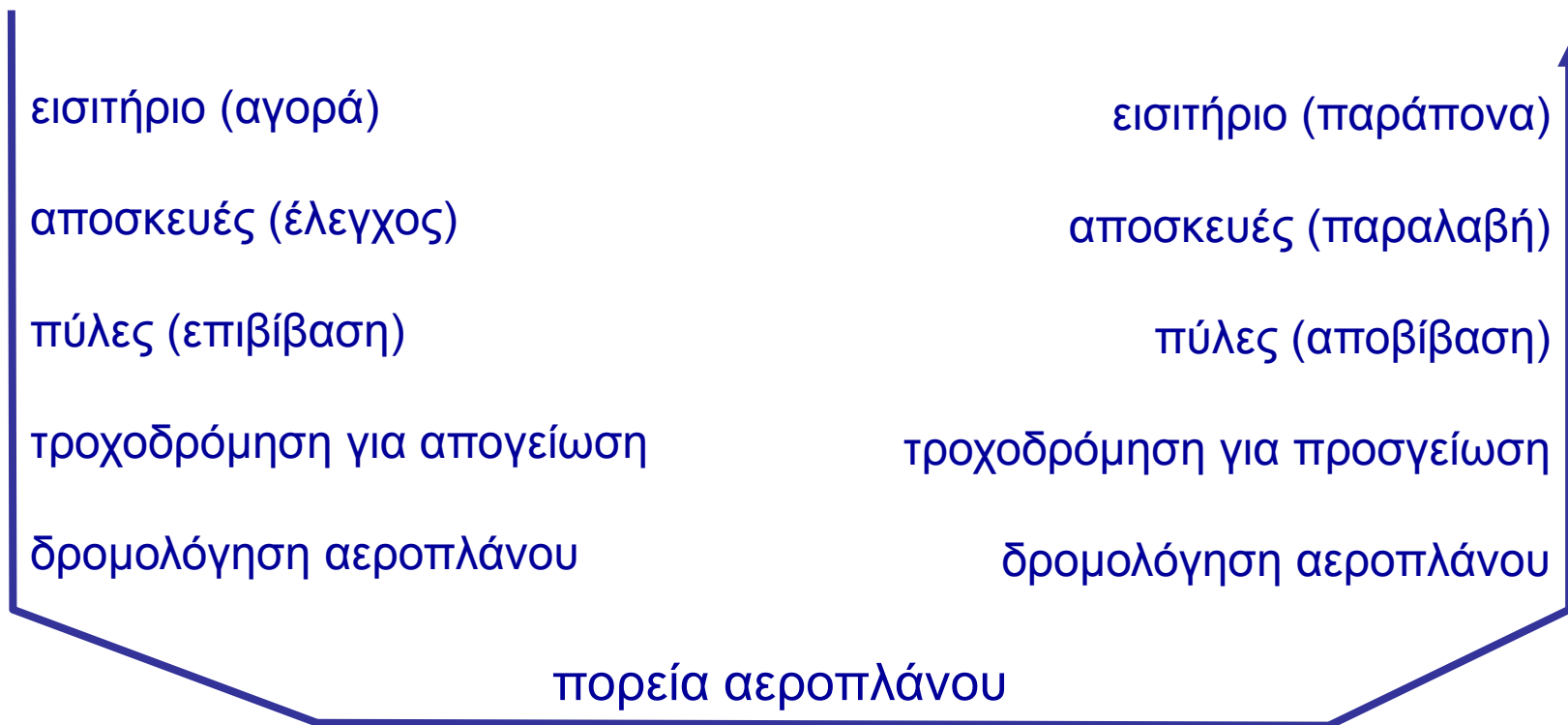


Δεν υπάρχουν ιδανικές συνθήκες μετάδοσης

- Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα και αποτελούνται από πολλά και διαφορετικά συστατικά:
 - τερματικά συστήματα (hosts),
 - μεταγωγείς - δρομολογητές (switches-routers),
 - ζεύξεις διαφόρων φυσικών μέσων,
 - πρωτόκολλα,
 - εξειδικευμένο υλικό (hardware),
 - λογισμικό (software, εφαρμογές).
- Στην λειτουργία τους εμπλέκονται πολλές τεχνολογίες και ειδικότητες.
- Πως λειτουργεί δομικά το δίκτυο;
- Ποια είναι οργανωτικά η αρχιτεκτονική του;
- Πως καταφέρνουν και «συνομιλούν» τα «κομμάτια» του;



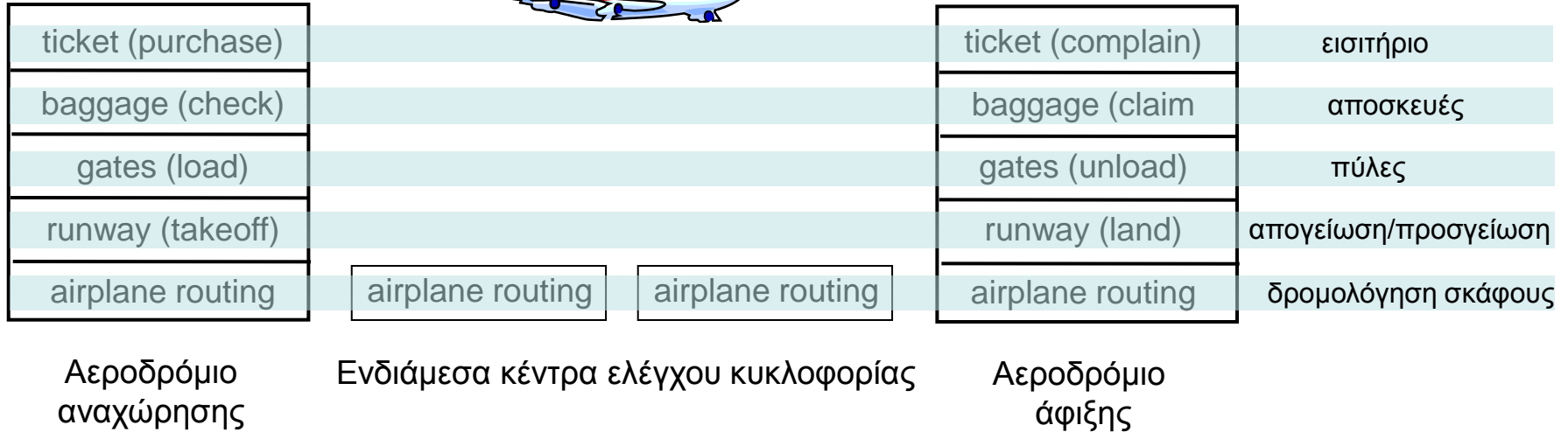
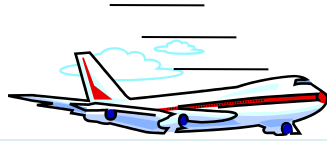
Οργάνωση ενός αεροπορικού ταξιδιού



Έχουμε μια σειρά βημάτων όπου εμπλέκονται διάφοροι φορείς (ταξιδιωτικά γραφεία, αεροδρόμια, αεροπορικές εταιρείες, ελεγκτές κυκλοφορίας) οι οποίοι προσφέρουν συγκεκριμένες υπηρεσίες (έκδοση εισιτηρίου, έλεγχος εισιτηρίου, διάθεση αεροπλάνου, επιβίβαση-αποβίβαση, τροχοδρόμηση, δρομολόγηση κλπ)



Επίπεδα λειτουργικότητας στη εξυπηρέτηση



- Κάθε επίπεδο υλοποιεί μια υπηρεσία
 - που εξυπηρετεί τα πάνω από αυτό επίπεδα
 - με δικές του ενέργειες στο εσωτερικό του
 - βασίζεται στις υπηρεσίες που παρέχονται από τα κατώτερα επίπεδα
- Αν κάποιο επίπεδο αλλάξει τρόπο λειτουργίας δεν επηρεάζει τα άλλα επίπεδα.



Κάπως έτσι είναι σχεδιασμένα οργανωτικά και τα δίκτυα

- Οι σχεδιαστές αρχιτεκτονικών για δικτυακές υποδομές, για μειώσουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος, οργανώνουν την σχεδίαση τους σε επίπεδα (layers). Αυτό ονομάζεται **διαστρωμάτωση**.
- Κάθε επίπεδο:
 - προσφέρει συγκεκριμένες υπηρεσίες στα υψηλότερα από αυτό επίπεδα (μοντέλο υπηρεσίας – service model)
 - εξυπηρετείται από το αμέσως χαμηλότερο επίπεδο και
 - επικοινωνεί με το αντίστοιχο ομότιμο του επίπεδο στην άλλη πλευρά, βάσει προσυμφωνημένων πρωτοκόλλων.
- Τα πρωτόκολλα λειτουργούν σε αυτά τα επίπεδα. Κάθε πρωτόκολλο ανήκει σ' ένα επίπεδο.
- Αν λάβουμε υπόψη όλα τα πρωτόκολλα, τότε μιλάμε για μία **στοίβα πρωτοκόλλων** (protocol stack).



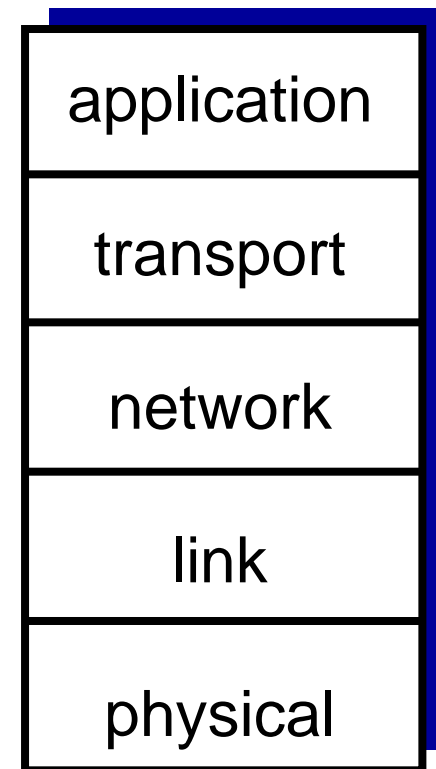
Οργάνωση πρωτοκόλλων σε επίπεδα - γιατί?

- Διαχείριση περίπλοκων συστημάτων:
 - Η πλήρως καθορισμένη δομή επιτρέπει την αναγνώριση των διακριτών τμημάτων του συστήματος και την καλύτερη κατανόηση των συσχετίσεων μεταξύ τους (μοντέλο αναφοράς επιπέδων).
 - Η διαστρωμάτωση των υπηρεσιών διευκολύνει τη συντήρηση και αναβάθμιση του συστήματος:
 - αλλαγή της υλοποίησης μιας υπηρεσίας ενός επιπέδου, χωρίς αυτό να είναι ορατό στο υπόλοιπο σύστημα. Για παράδειγμα, μια αλλαγή στη διαδικασία της πύλης δεν επηρεάζει το υπόλοιπο σύστημα.
- Η οργάνωση σε επίπεδα θεωρείται επιζήμια;
 - Η ίδια λειτουργική υπηρεσία μπορεί να εκτελείται σε 2 διαφορετικά επίπεδα (π.χ. έλεγχος σφαλμάτων).
 - Ορισμένες φορές η λειτουργικότητα σε ένα επίπεδο μπορεί να εξαρτάται από πληροφορίες που υπάρχουν σε άλλο επίπεδο.



Η στοίβα πρωτοκόλλων του Διαδικτύου

- **Εφαρμογής** (application): υποστήριξη δικτυακών εφαρμογών που πρέπει να ανταλλάσσουν μηνύματα (άκρο-σε-άκρο).
- **Μεταφοράς** (transport): μεταφορά των μηνυμάτων επιπέδου εφαρμογής από άκρο-σε-άκρο, μέσα σε τμήματα.
- **Δικτύου** (network): δρομολόγηση δεδομενογραμμάτων (datagrams) από πηγή σε προορισμό (άκρο-σε-άκρο).
- **Ζεύξης** (link): μεταφορά δεδομένων (πλαισίων) μεταξύ γειτονικών κόμβων δικτύου.
- **Φυσικό** (physical): bits “πάνω στη γραμμή”, μετάδοση bits μεταξύ γειτονικών κόμβων.



Διαστρωμάτωση του Διαδικτύου: επίπεδο εφαρμογής

- Αφορά στην διαχείριση των κατανεμημένων εφαρμογών.
- Περιλαμβάνει πρωτόκολλα όπως:
 - HTTP (HyperText Transfer Protocol) -υπηρεσία Web
 - SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) για μεταφορά μηνυμάτων e-mail
 - FTP (File Transfer Protocol) για μεταφορά αρχείων
 - DNS (Domain Name System) αντιστοίχιση ονομάτων σε διευθύνσεις IP
- Ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής κατανέμεται σε πολλά τερματικά συστήματα.
- Μια εφαρμογή σε ένα τερματικό σύστημα χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα για να ανταλλάξει μηνύματα με εφαρμογή σε άλλο τερματικό σύστημα (client-server).
- Το πακέτο πληροφοριών που ανταλλάσσεται ονομάζεται «**μήνυμα**» (message).
- Πρόκειται για την διασύνδεση του χρήστη με το δίκτυο.



Διαστρωμάτωση του Διαδικτύου: επίπεδο μεταφοράς

- Μεταφέρει τα μηνύματα των εφαρμογών και φροντίζει για την επιτυχημένη ποιοτική και ποσοτική μεταφορά τους, από τον κόμβο αποστολής στο κόμβο προορισμού.
- Στο διαδίκτυο υπάρχουν 2 πρωτόκολλα μεταφοράς:
 - **TCP** (Transmission Control Protocol) που παρέχει *συνδεδεσμένη* υπηρεσία στις εφαρμογές με εγγυημένη παράδοση μηνυμάτων, έλεγχο ροής και έλεγχο συμφόρησης.
 - **UDP** (User Datagram Protocol) που παρέχει *ασυνδεδεσμένη* υπηρεσία, χωρίς αξιοπιστία, έλεγχο ροής και έλεγχο συμφόρησης.
- Μέριμνα για τον τεμαχισμό των δεδομένων (του μηνύματος του επιπέδου εφαρμογής) σχηματίζοντας πακέτα.
- Προώθηση των πακέτων με την σωστή σειρά στα κατώτερα επίπεδα.
- Κατά την παραλαβή των πακέτων γίνεται έλεγχος για την αριότητα τους και για την ορθή ταξινόμηση τους, πριν τα προωθήσει σε ανώτερα επίπεδα επανενωμένα (μήνυμα προς το επίπεδο εφαρμογής).
- Τα πακέτα που δημιουργούνται σε αυτό το επίπεδο ονομάζονται «**τμήματα**» (segments).



Διαστρωμάτωση του Διαδικτύου: επίπεδο δικτύου

- Ασχολείται με την υποστήριξη διακίνησης των τμημάτων δεδομένων, η οποία πολλές φορές καθίσταται πολύπλοκη, ιδιαίτερα όταν μεσολαβούν πολλοί ενδιάμεσοι κόμβοι (switches-routers).
- Στον κόμβο αποστολής τα πακέτα (τμήματα) που παραλαμβάνονται από το προηγούμενο επίπεδο (μεταφοράς) παραδίδονται στον κόμβο προορισμού στο επίπεδο μεταφοράς με αναφορές σφαλμάτων και πιθανούς τεμαχισμούς-επανενώσεις πακέτων.
- Τα πακέτα αυτού του επιπέδου είναι γνωστά σαν **δεδομενογράμματα** (datagrams) που δημιουργούνται από τα **τμήματα** (segments) του προηγούμενου επιπέδου στη αποστολή και ανασυντίθενται ξανά σε τμήματα στον κόμβο προορισμού (για προώθηση στο επίπεδο μεταφοράς).
- Η κύρια υπηρεσία που παρέχεται είναι αυτή της **δρομολόγησης** των datagrams (επιλογή-προσδιορισμός της διαδρομής).
- Περιλαμβάνει το πολύ γνωστό πρωτόκολλο του διαδικτύου (IP protocol), καθώς και ποικίλα πρωτόκολλα δρομολόγησης (επιλογή του διαχειριστή του δικτύου) που καθορίζουν τις διαδρομές παράδοσης των datagrams.
- Μεταφορικά θα λέγαμε ότι είναι η «κόλλα» που δένει όλο το διαδίκτυο.



Διαστρωμάτωση του Διαδικτύου: επίπεδο ζεύξης

- Φροντίζει για την μετακίνηση ενός δεδομενογράματος στον επόμενο κόμβο, σύμφωνα με τη δρομολόγηση που προσδιορίστηκε στο προηγούμενο επίπεδο του Διαδικτύου.
- Στο επόμενο κόμβο το δεδομένογραμμα παραδίδεται στο επίπεδο δικτύου για τον επανακαθορισμό της διαδρομής (άρα και του μεθεπόμενου κόμβου).
- Ορισμένα πρωτόκολλα ζεύξης παρέχουν αξιόπιστη παράδοση στον επόμενο κόμβο (διαφορετική από αυτή του επιπέδου μεταφοράς).
- Πολύ γνωστά πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου είναι το Ethernet (IEEE 802.3) και το WiFi (IEEE 802.11).
- Ένα datagram κατά την διαδρομή του από τη πηγή στο προορισμό, καθώς είναι πιθανόν να διασχίσει πολλές ζεύξεις, μπορεί να τύχει χειρισμού και διαφορετικών πρωτοκόλλων ζεύξης.
- Τα πακέτα επιπέδου ζεύξης ονομάζονται **πλαίσια** (frames).



Διαστρωμάτωση του Διαδικτύου: Φυσικό επίπεδο

- Η εργασία που επιτελείται στο Φυσικό επίπεδο είναι να μεταφέρει ξεχωριστά τα bits κάθε *πλαίσιου* από τον ένα κόμβο στον άλλο.
- Εξαρτάται από την ζεύξη και από το μέσο μετάδοσης (συνεστραμμένο καλώδιο, οπτική ίνα, μικροκυματική ζεύξη κλπ).
- Τα μέσα μετάδοσης (καλωδίωση), τα χαρακτηριστικά του ρεύματος (ποια αντιστοιχούν στις 2 διακριτές μορφές του bit), η ταχύτητα μετάδοσης, οι τύποι των connectors (μορφή, ακροδέκτες κλπ), ο συγχρονισμός των δύο μερών και γενικότερα οι διασυνδέσεις, προσδιορίζονται σε αυτό το επίπεδο.
- Επίσης, σε αυτό το επίπεδο εφαρμόζονται τεχνικές διαμόρφωσης και πολυπλεξίας.
- Υλοποιείται με hardware.
- Πολλές στη βιβλιογραφία αναφέρεται σαν ένα επίπεδο μαζί με αυτό της ζεύξης.



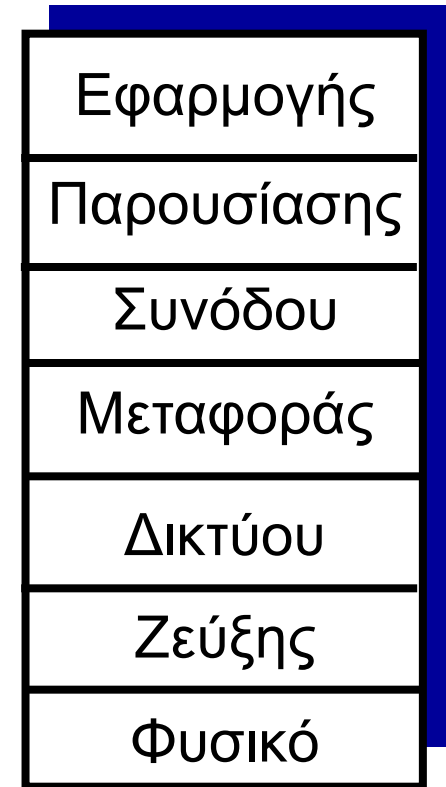
Το μοντέλο αναφοράς OSI

- Το μοντέλο Διασύνδεσης Ανοικτών Συστημάτων (OSI Open System Interconnection) αποτελεί πρόταση του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO).
- Διαμορφώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και ήταν το βήμα προς την κατεύθυνση της διεθνούς προτυποποίησης των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στρώματα.
- Καθορίζει τα πλαίσια τυποποίησης, τα οποία είναι αναγκαία για την επικοινωνία ηλεκτρονικών υπολογιστών, αλλά και δικτύων διαφορετικών κατασκευαστών και τεχνολογιών.
- Από το 1980, ο ISO συνιστούσε την εφαρμογή του μοντέλου OSI ως κοινώς αποδεκτού υποδείγματος σχεδιασμού δικτύων.
- Η στοίβα πρωτοκόλλων του Διαδικτύου εκείνη την εποχή είχε ήδη ευρεία χρήση και η εξέλιξη του Διαδικτύου το επέβαλε σαν de facto standard.
- Ως αποτέλεσμα το μοντέλο OSI παραμερίστηκε και σήμερα μόνο ένα υποσύνολό του χρησιμοποιείται ακόμη.



Η διαστρωμάτωση του προτύπου OSI

- Η διαστρωμάτωση του προτύπου OSI καθορίζεται από επτά (7) λειτουργικά επίπεδα, στα οποία προσδιορίζονται λεπτομερώς οι τυποποιήσεις και πρέπει να διεκπεραιωθούν συγκεκριμένες διαδικασίες από τους εμπλεκόμενους.
- Δυο (2) περισσότερα από το Διαδίκτυο:
 - Παρουσίασης (presentation)
 - Συνόδου (session)
- Στη αρχιτεκτονική του Διαδικτύου αυτά τα δύο επίπεδα ενσωματώνονται στο επίπεδο εφαρμογής. Αν είναι απαραίτητο ν' αναπτυχθούν, αυτό είναι ευθύνη των προγραμματιστών.
- Το μοντέλο αναφοράς OSI δεν είναι ακριβώς μια αρχιτεκτονική δικτύου, καθώς δεν καθορίζει τα αναγκαία πρωτόκολλα, αντίθετα με τη διαστρωμάτωση του Διαδικτύου στα επίπεδα του οποίου εντάσσονται αντίστοιχα πρωτόκολλα.



Διαστρωμάτωση OSI: επίπεδο παρουσίασης

- Παρέχει υπηρεσίες ερμηνείας των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των εφαρμογών και εκτελούνται στα τερματικά συστήματα.
- Τέτοιου είδους υπηρεσίες είναι:
 - *Κωδικοποίηση δεδομένων (αναπαράσταση)*
 - *Κρυπτογράφηση*
 - *Συμπίεση*
 - Γενικότερα, υπηρεσίες *μορφοποίησης δεδομένων*.
- Σκοπός του επιπέδου αυτού είναι η μετάφραση της πληροφορίας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα τελικά συστήματα θα επικοινωνούν με επιτυχία, ακόμη και αν χρησιμοποιούν διαφορετικές παρουσιάσεις (αναπαραστάσεις, κωδικοποιήσεις) για την πληροφορία.

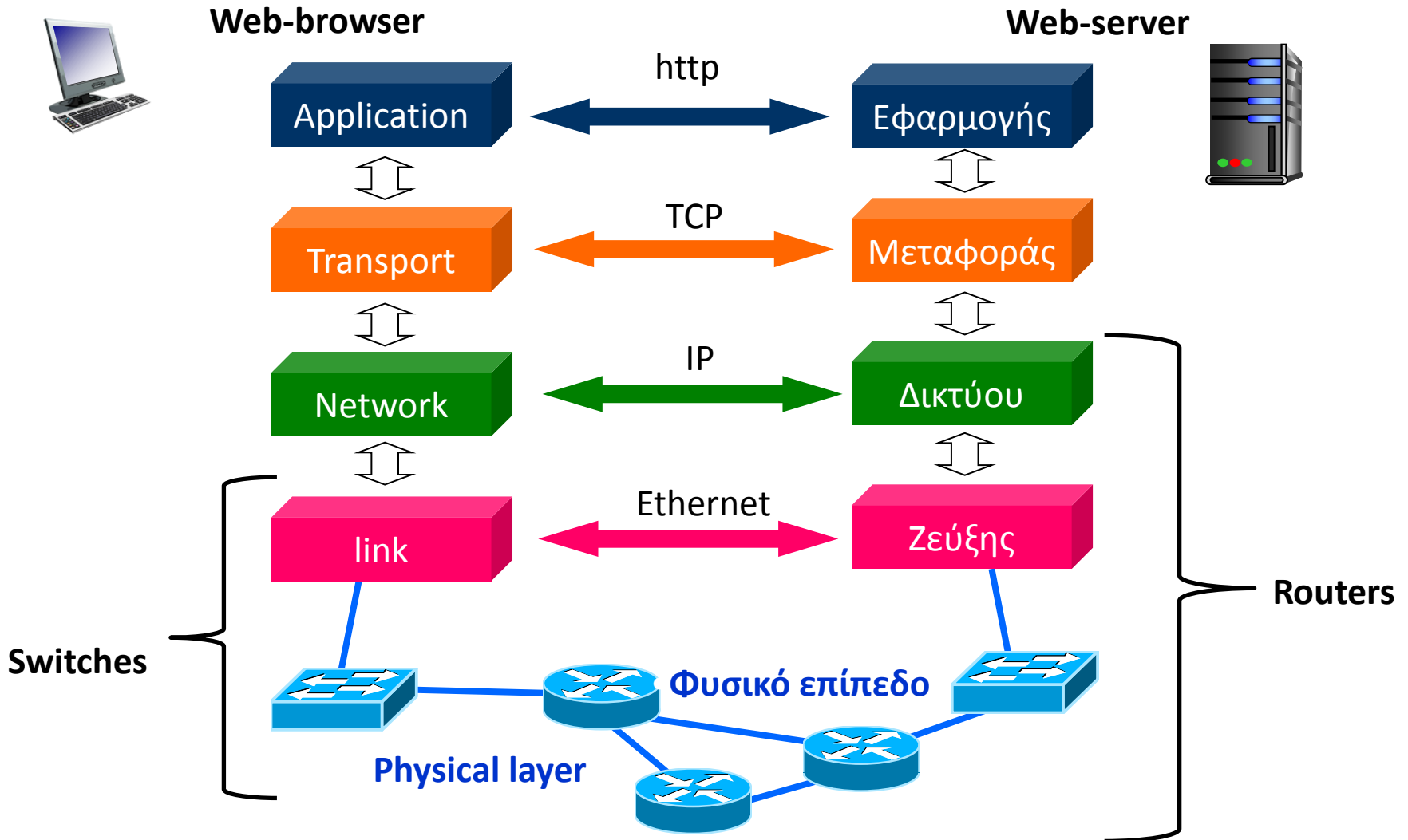


Διαστρωμάτωση του OSI: επίπεδο συνόδου

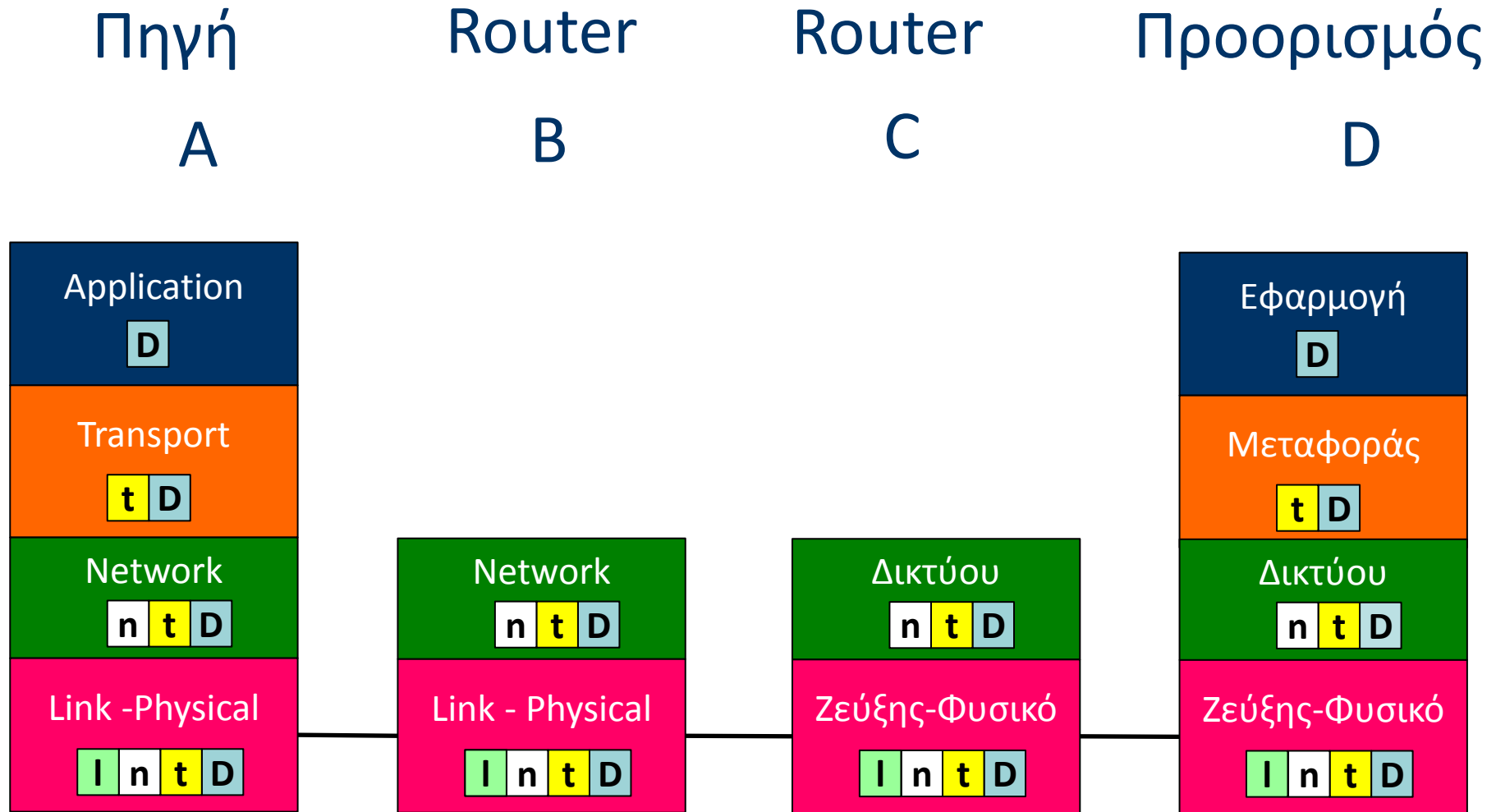
- Παρέχει οριοθέτηση και συγχρονισμό της ανταλλαγής δεδομένων, με υπηρεσίες που περιλαμβάνουν σχήματα ελέγχου και ανάκτησης.
- Σε αυτό το επίπεδο διενεργούνται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες για την εγκαθίδρυση, την επίβλεψη και τον τερματισμό των συνόδων (sessions) μεταξύ των τελικών εφαρμογών.
- Είναι υπεύθυνο για το ομαλό κλείσιμο της συνόδου και επίσης για την αποθήκευση και ανάκτηση κατάστασης, τον έλεγχο προσπέλασης, τη τήρηση κανόνων ασφαλείας κλπ, λειτουργίες οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται στην στοίβα πρωτοκόλλων του Διαδικτύου.
- Σύνοδο έχουμε όταν 2 εφαρμογές επικοινωνούν μεταξύ τους.



Η διαστρωμάτωση του Διαδικτύου



Μεταδίδοντας ένα πακέτο σε όλα τα επίπεδα

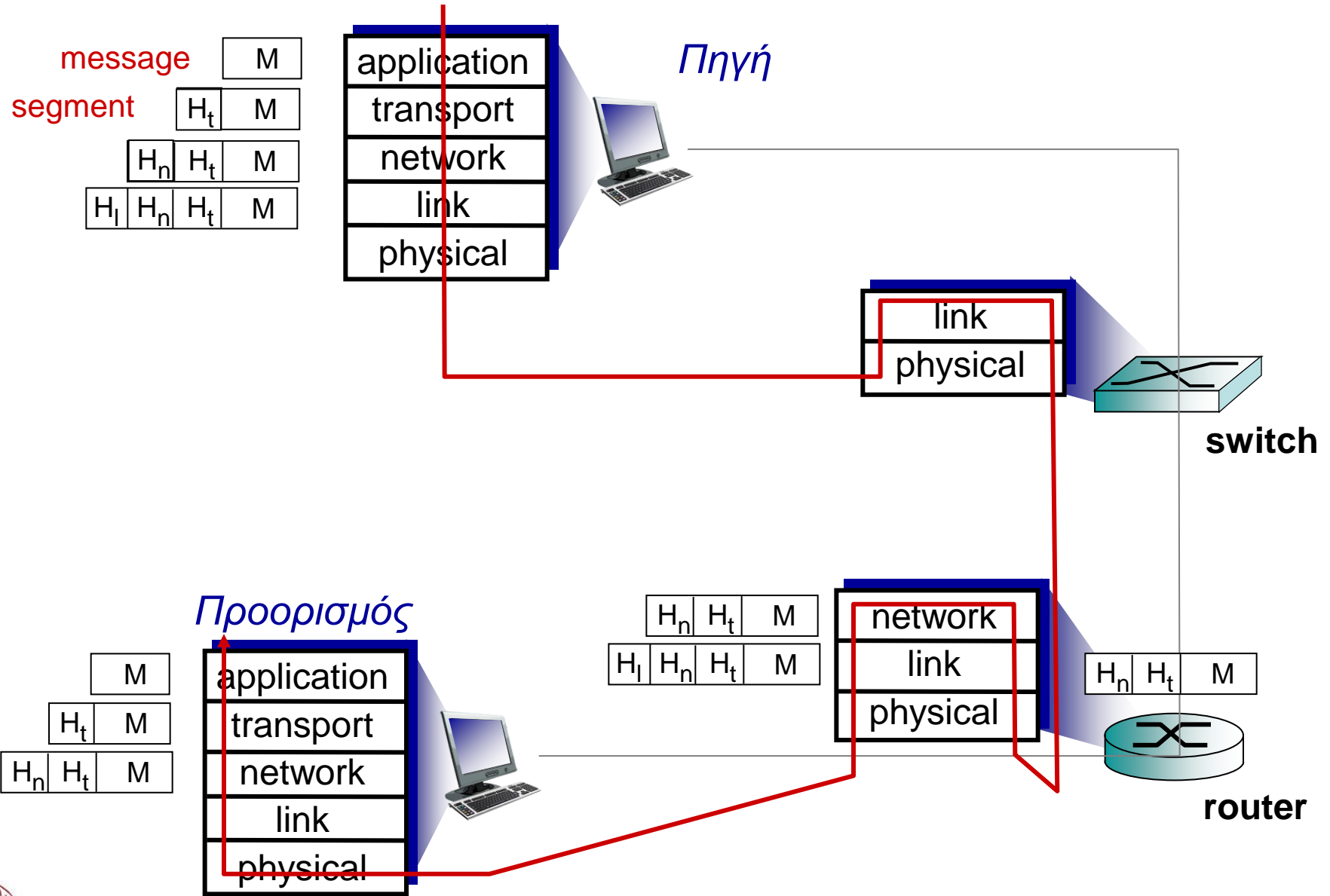


Ενθυλάκωση

- Όπως είδαμε τα δεδομένα που απαρτίζουν το προς μετάδοση μήνυμα, στα διάφορα επίπεδα ομαδοποιούνται συνήθως σε πακέτα (segments, datagrams, frames).
- Στις ομαδοποιήσεις γίνεται εμπλουτισμός των πακέτων με διάφορα στοιχεία που είναι χρήσιμα για τις ανάγκες των πρωτοκόλλων.
- Ο εμπλουτισμός αυτός γίνεται ανάλογα με τα επίπεδα διαστρωμάτωσης που έχει η αρχιτεκτονική του δικτύου.
- Αυτή η δόμηση των μηνυμάτων δεδομένων, ονομάζεται **ενθυλάκωση** (encapsulation).
- Όταν τα εμπλουτισμένα πακέτα δεδομένων φτάσουν στο προορισμό τους αντίστοιχες διαδικασίες κάνουν το αντίστροφο έργο, αφαιρώντας σταδιακά τα επιπλέον στοιχεία.
- Η ενθυλάκωση συχνά είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Για παράδειγμα, ένα μεγάλο μήνυμα μπορεί να διαιρεθεί σε πολλαπλά τμήματα στο επίπεδο μεταφοράς, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να διαιρεθούν σε πολλαπλά δεδομενογραμματα.

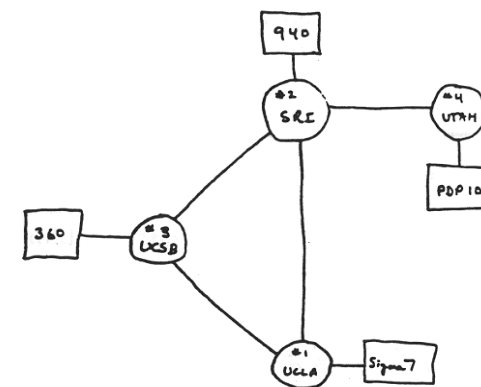


Πως δουλεύει η ενθυλάκωση



Η ιστορία του διαδικτύου: 1961-1972

- Πρώιμες αρχές μεταγωγής πακέτου
 - 1961: Kleinrock - θεωρία ουρών αναμονής αποδεικνύει αποτελεσματικότητα μεταγωγής πακέτων
 - 1964: Baran - μεταγωγή πακέτων σε στρατιωτικά δίκτυα
 - 1967: συλλαμβάνεται η ιδέα του ARPAnet από Advanced Research Projects Agency
 - 1969: σε λειτουργία ο πρώτος κόμβος του ARPAnet
 - 1972:
 - δημόσια επίδειξη του ARPAnet
 - NCP (Network Control Protocol) πρώτο πρωτόκολλο από host σε host
 - πρώτο πρόγραμμα e-mail
 - το ARPAnet έχει 15 κόμβους



THE ARPA NETWORK



Η ιστορία του διαδικτύου: 1972-1980

- 1970: ALOHAnet δορυφορικό δίκτυο στη Χαβάη
- 1974: Cerf and Kahn - αρχιτεκτονική για διασύνδεση δικτύων
- 1976: Ethernet στο Xerox PARC
- τέλη δεκαετίας του 70's: ιδιοταγείς αρχιτεκτονικές: DECnet, SNA, XNA
- τέλη δεκαετίας του 70's: μεταγωγή πακέτων σταθερού μήκους (πρόδρομος του ATM)
- 1979: Το ARPAnet έχει 200 κόμβους

Αρχές διαδικτύωσης των Cerf and Kahn:

- μινιμαλισμός, αυτονομία – δεν απαιτούνται εσωτερικές αλλαγές για τη διασύνδεση δικτύων
- μοντέλο υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας (best effort)
- δρομολογητές χωρίς μνήμη κατάστασης (stateless routers)
- αποκεντρωμένος (decentralized) έλεγχος

ορίζουν την παρούσα αρχιτεκτονική του Διαδικτύου



Η ιστορία του διαδικτύου: 1980-1990

- νέα πρωτόκολλα, εξάπλωση δικτύων
 - 1983: ανάπτυξη TCP/IP
 - 1982: ορισμός του πρωτοκόλλου smtp για e-mail
 - 1983: ορισμός του DNS για τη μετάφραση ονομάτων σε διευθύνσεις IP
 - 1985: ορισμός πρωτοκόλλου ftp
 - 1988: έλεγχος συμμόρφωσης στο TCP
 - νέα εθνικά δίκτυα: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
 - 100,000 hosts συνδεδεμένοι σε συνομοσπονδία δικτύων



Η ιστορία του διαδικτύου: 1990-2000

- Αρχή δεκαετίας 1990: παύει να υπάρχει το ARPAnet
- 1991: Η NSF άρει τους περιορισμούς σχετικά με τη χρήση του NSFnet για εμπορικούς σκοπούς (παύση 1995)
- Αρχές δεκαετίας 1990: Web
 - υπερκείμενο (hypertext) [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, έπειτα Netscape
- Τέλη δεκαετίας 1990: εμπορευματοποίηση του Web
- Τέλη δεκαετίας 1990 – αρχές 2000:
 - περισσότερες εφαρμογές: instant messaging, P2P file sharing
 - ασφάλεια δικτύου στο προσκήνιο
 - 50 εκατομμύρια hosts, περισσότεροι από 100 εκατομμύρια χρήστες
 - οι ζεύξεις του κορμού του Διαδικτύου μεταδίδουν με ρυθμούς της τάξης των Gbps



Η ιστορία του διαδικτύου: 2000 - σήμερα

- ~750 εκατομμύρια τερματικά smartphones και tablets
- Επιθετική εξάπλωση της ευρυζωνικής πρόσβασης
- Αυξανόμενη παρουσία ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης
- Ανάδειξη των online κοινωνικών δικτύων: Facebook: σύντομα ένα δισεκατομμύριο χρήστες
- Εταιρείες παροχής υπηρεσιών περιεχομένου (Google, Microsoft) δημιουργούν τα δικά τους δίκτυα παρακάμπτουν το Διαδίκτυο, παρέχοντας άμεση πρόσβαση σε αναζήτηση, email, κλπ.
- E-commerce, Πανεπιστήμια, επιχειρήσεις τρέχουν τις υπηρεσίες τους στο σύννεφο.

