



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ +
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Εισαγωγή στα Δίκτυα Επικοινωνιών με βάση το Διαδίκτυο

Κωνσταντίνος Χριστοδουλόπουλος
kchristodou@di.uoa.gr

Δίκτυα Επικοινωνιών – πρόγραμμα σπουδών

1^ο και
2^ο έτος

Βασικός κύκλος σπουδών

3^ο και
4^ο έτος

Εστιασμένος κύκλος σπουδών

Κατεύθυνση Α
(CS - Computer Science)

Ειδικεύσεις:

- S1 Θεμελιώσεις της πληροφορικής
- S2 Διαχείριση δεδομένων και γνώσης
- S3 Λογισμικό

Κατεύθυνση Β
(Computer Engineering & Telecoms)

Ειδικεύσεις:

- S4 Υλικό και Αρχιτεκτονική
- S5 Επικοινωνίες και Δικτύωση
- S6 Επεξεργασία Σήματος και Πληροφορίας

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι (υποχρεωτικό - 4^ο εξάμηνο)

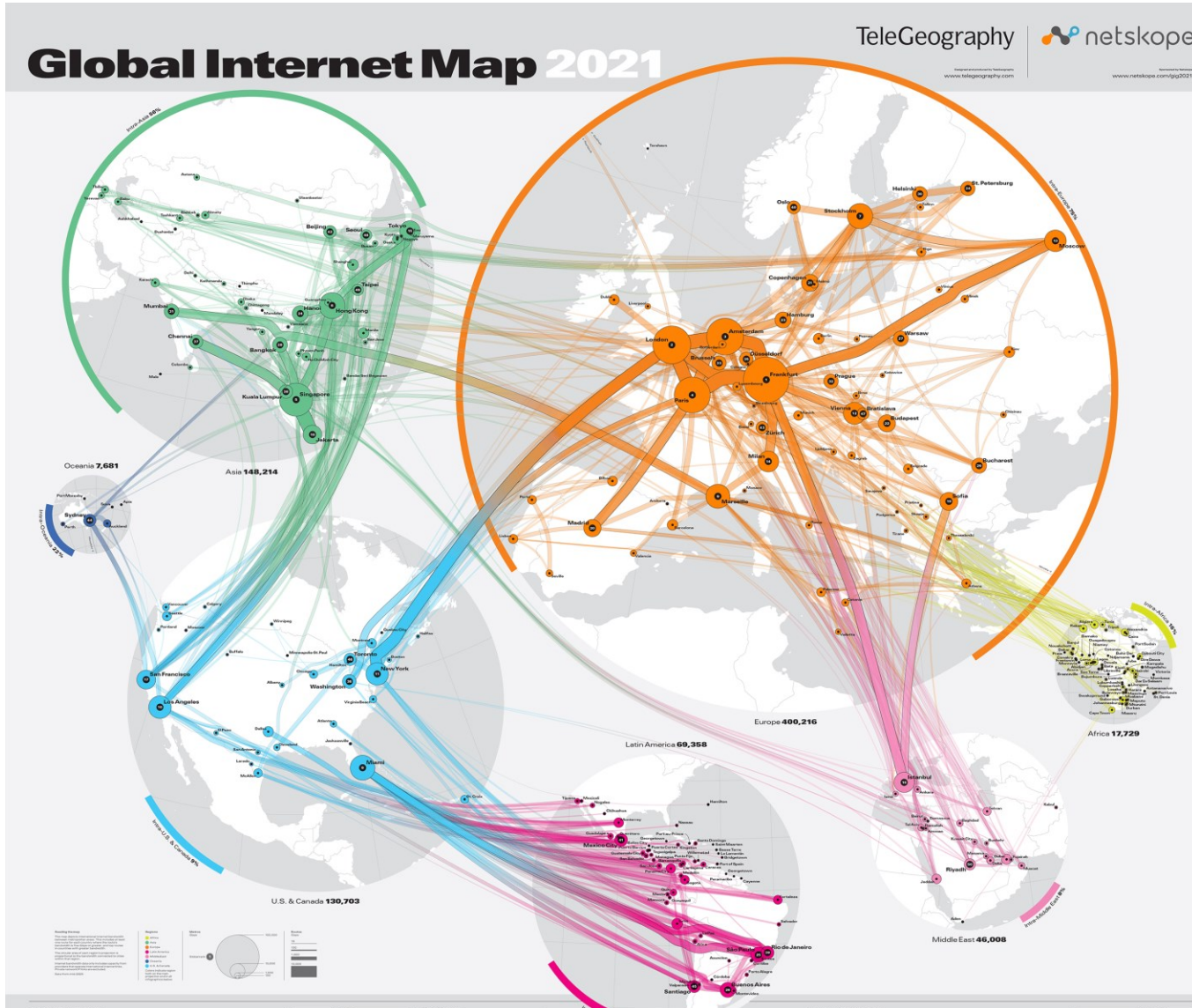
Εργαστήριο Δικτύων Επικοινωνιών (επιλογής – 5^ο εξάμηνο)

Δίκτυα Επικοινωνιών ΙΙ (κατ' επιλογή υποχρεωτικό **S5** – 5^ο εξάμηνο)

Διαχείριση Δικτύων (κατ' επιλογή υποχρεωτικό **S5** – 6^ο εξάμηνο)

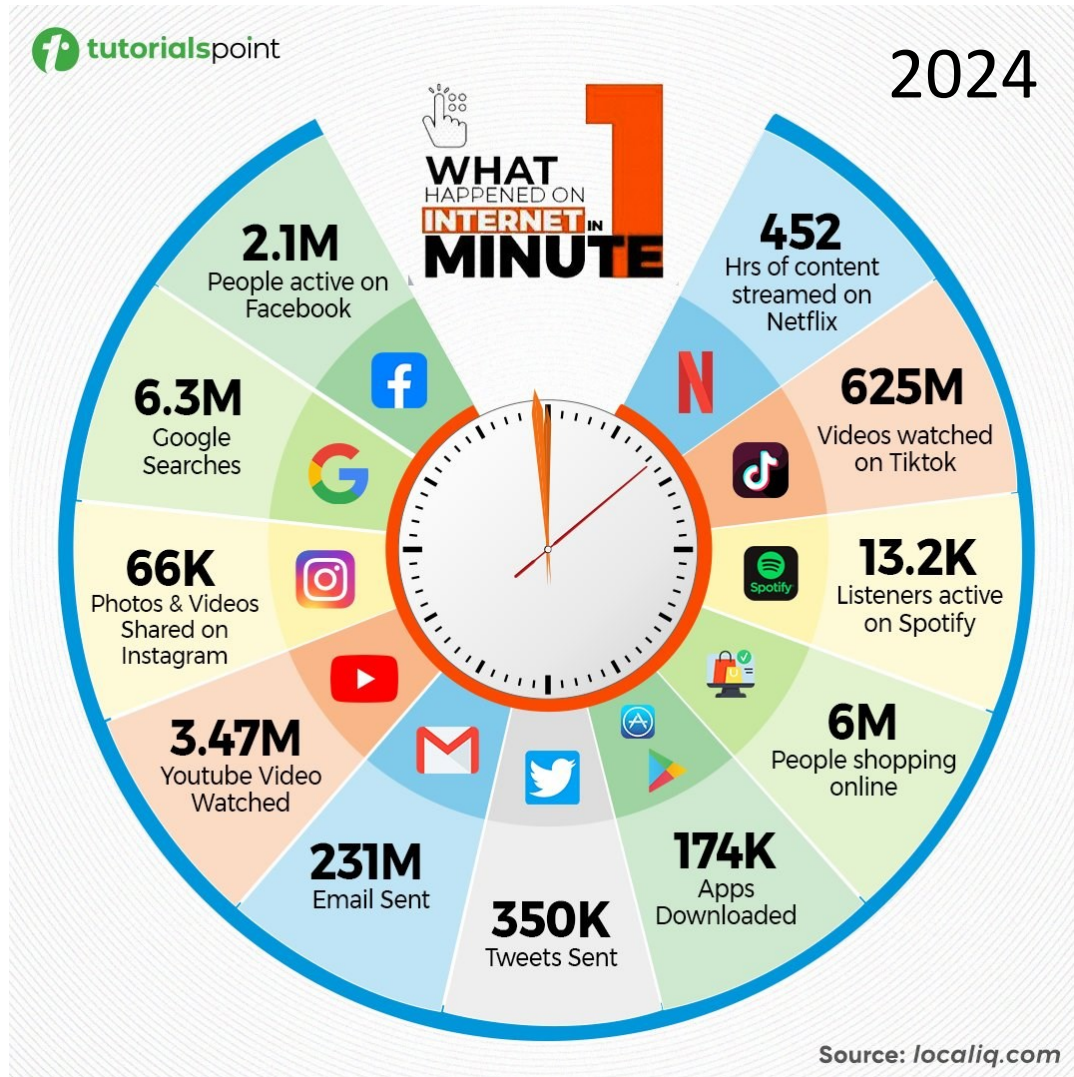
Πολλά άλλα μαθήματα
επιλογής στην
ειδίκευση **S5**

The Internet



- Το Internet έκλεισε τα 40 χρόνια
- ~ 6.04 δισεκατομμύρια χρήστες, 73% του πληθυσμού της γης (2025)
- ~ 34 δισεκατομμύρια συσκευές (2025), 23 δισεκ. είναι IoT
- Ένας ενεργός χρήστης περνάει περίπου 7 ώρες κάθε μέρα στο Internet
- Ταχύτητες χρηστών Speedtest (2025)
 - Μέση ταχύτητα download σταθερού Internet παγκοσμίως: 111 Mb/s
Μέση ταχύτητα Σιγκαπούρη: 406 Mb/s
 - Μέση ταχύτητα download κινητού Internet παγκοσμίως: 95 Mb/s
- Ταχύτητα κορμού: υποθαλάσσια καλώδια (το καθένα με πολλές οπτικές ίνες) μεταφέρουν πάνω από 200 Tb/s σε χιλιάδες km

Τι συμβαίνει σε 1 λεπτό στο Internet



Ένας ενεργός χρήστης περνάει περίπου 7 ώρες κάθε μέρα στο Internet

Κάθε λεπτό

- ~230 Million emails
- ~6.3 Million Google searches
- ~3.4 Million YouTube videos watched
- ~\$10 Million spent on online retail shopping

Netflix, spotify, twitter, facebook, chatgpt, AI, ...

Ποσότητα δεδομένων στο Internet

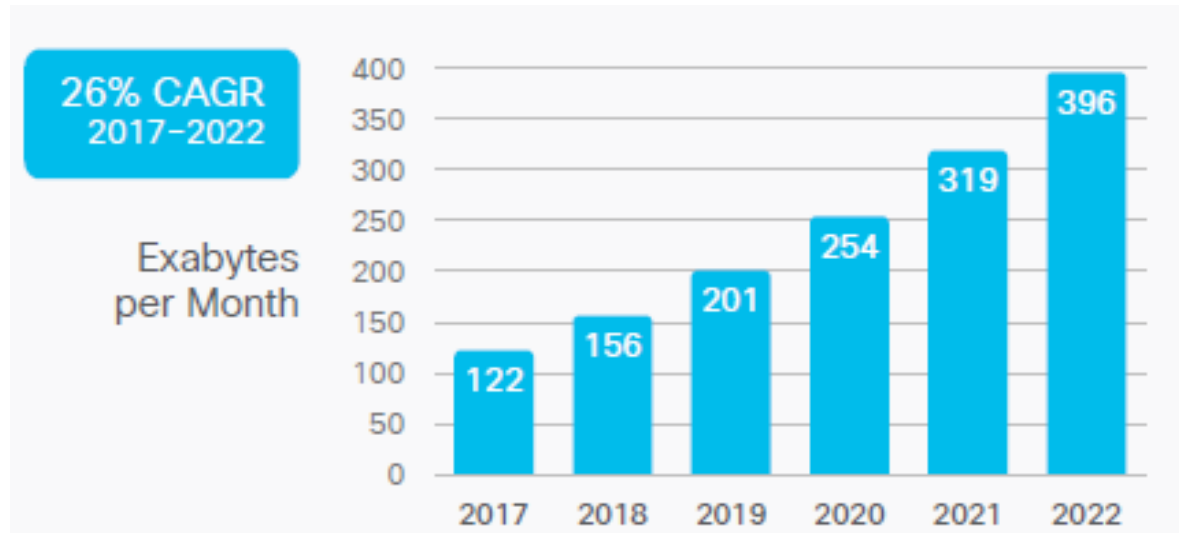
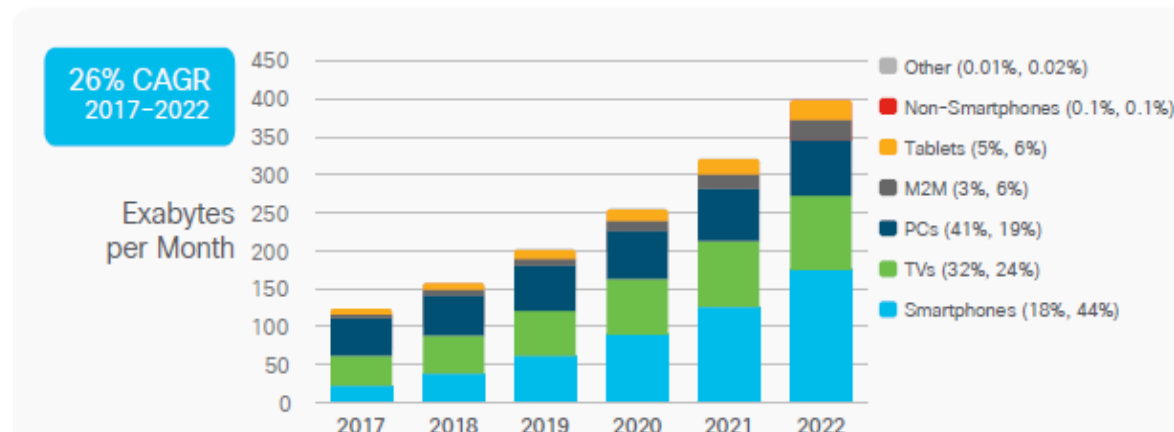


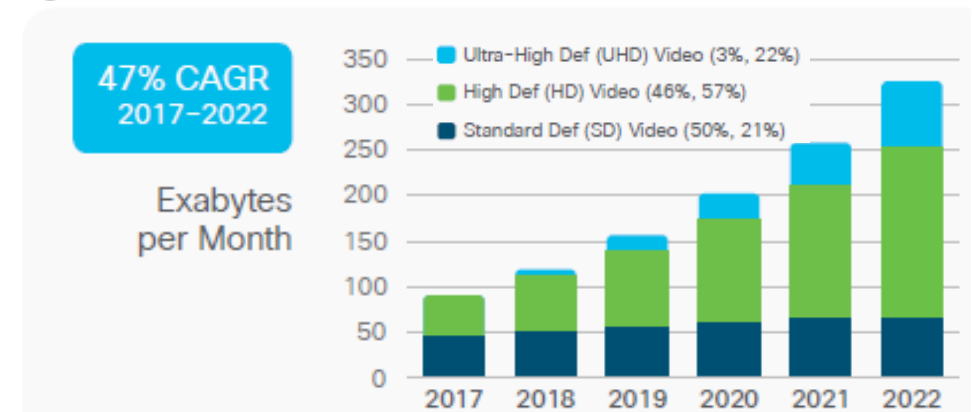
Figure 4. Global IP traffic by devices



Source: Cisco VNI Global IP Traffic forecast, 2017-2022

- Η Cisco υπολογίζει την κίνηση (του 2022) σε 396 EByte (10^{18} bytes) ανά μήνα
= 1.223 Pb/s = 32.5 χιλιάδες DVDs ανά sec
- Η κίνηση αυξάνει κατά 26% κάθε χρόνο (compound annual growth rate -CAGR)
- ~44% της κίνησης από έξυπνα κινητά
- ~330 Ebyte (~85%) είναι βίντεο

Figure 7. Global UHD IP video traffic



Γιατί χρειαζόμαστε τα Δίκτυα

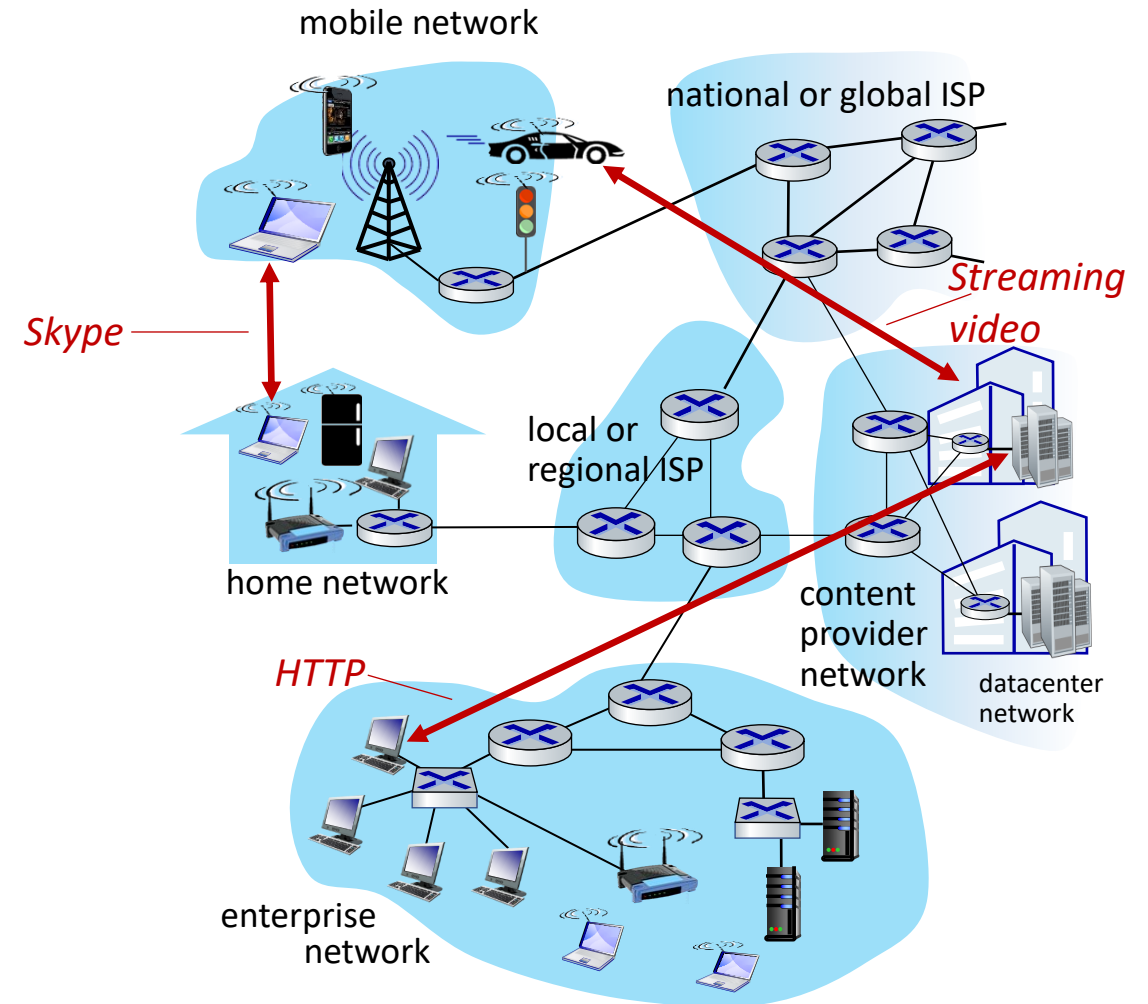
- Μεταφορά Δεδομένων / Κατανεμημένες Εφαρμογές
- Οργάνωση και συνένωση δικτύων

Γιατί χρειαζόμαστε τα Δίκτυα

- Άνθρωποι που θέλουν να επικοινωνήσουν
 - Μέσω συσκευών

ακόμα πιο γενικό ...

- Συσκευές που τρέχουν *κατανεμημένες* εφαρμογές:
 - Web, streaming video, ChatGPT, AI assistance, email, teleconferencing, online games, e-commerce, social media, inter-connected appliances, ...



Διασυνδεδεμένες συσκευές



Amazon Echo
Smart hub



Διαδικτυακό ψυγείο



IP picture frame



Pacemaker & Monitor



Tweet-a-watt:
Μετρητής ενεργειακής
κατανάλωσης

bikes



Security Camera



Slingbox: remote
control cable TV



Web-enabled toaster +
weather forecaster



AR devices



cars



scooters



Internet phones



Gaming devices



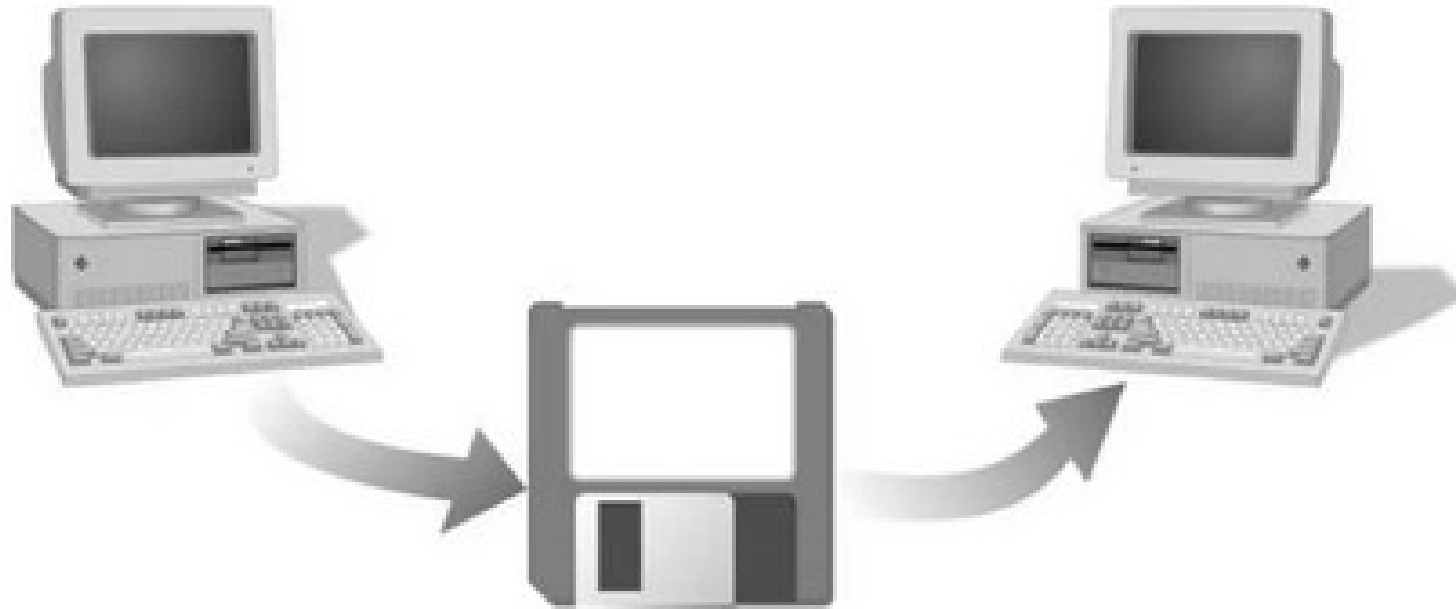
sensorized,
bed
mattress



Fitbit

άλλες?

Επικοινωνία συσκευών χωρίς δίκτυο

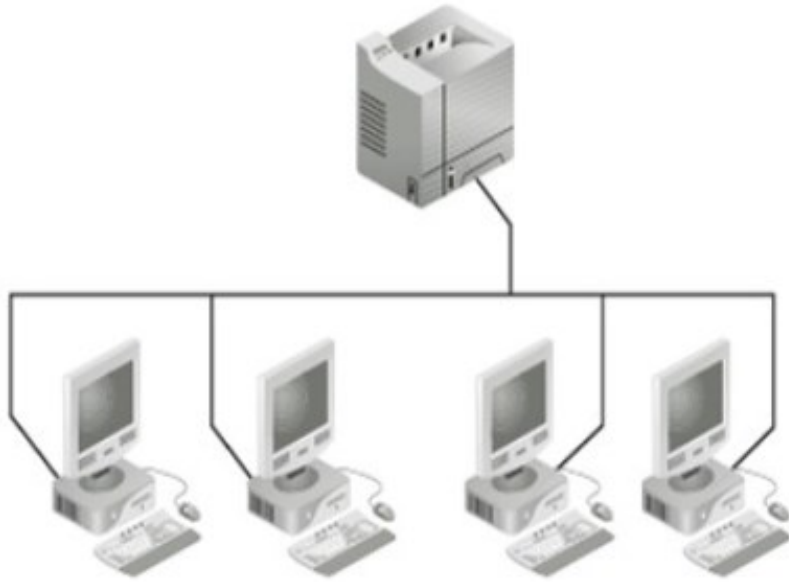


Επικοινωνία – μία συσκευή προς μία



Ακόμα δεν έχουμε
δίκτυο

Δημιουργία απλών δικτύων

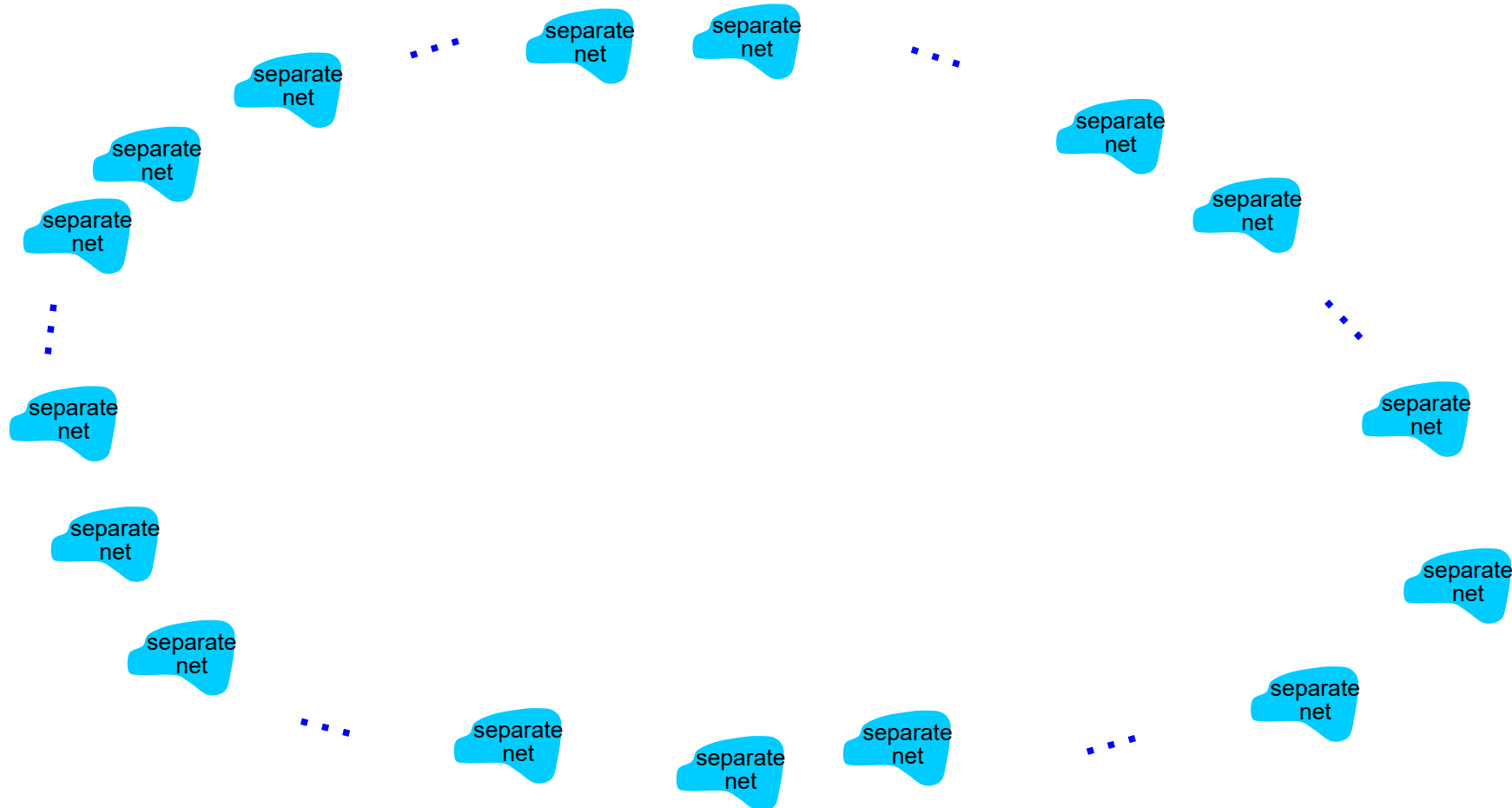


Απλό και απομονωμένο δίκτυο
για ένα σύνολο συγκεκριμένων
συσκευών / εφαρμογών

- Καλωδίωση: ενσύρματη ή ασύρματη
- Επικοινωνία μεταξύ διασυνδεδεμένων υπολογιστών/συσκευών για
 - Υλοποίηση κατανεμημένης εφαρμογής
 - Μεταφορά δεδομένων
 - Διαμοιρασμός πόρων (π.χ. κοινός εκτυπωτής)
- Κανόνες ανταλλαγής μηνυμάτων:
πρωτόκολλα επικοινωνίας

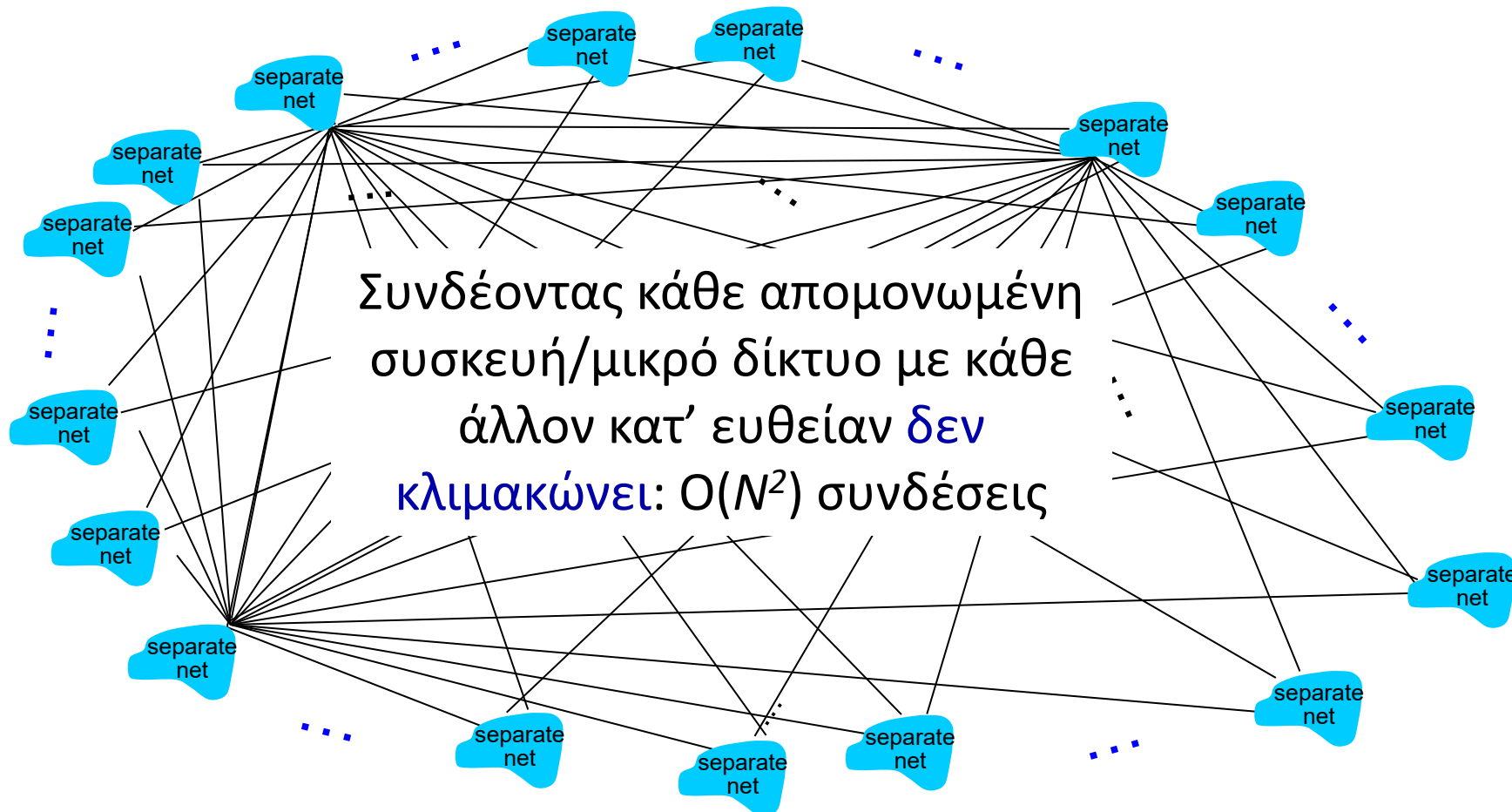
Διαδίκτυο: δίκτυο δικτύων

Ερώτηση: Δισεκατομ. απομονωμένες συσκευές/μικρά δίκτυα, πώς τους διασυνδέουμε;



Διαδίκτυο: δίκτυο δικτύων

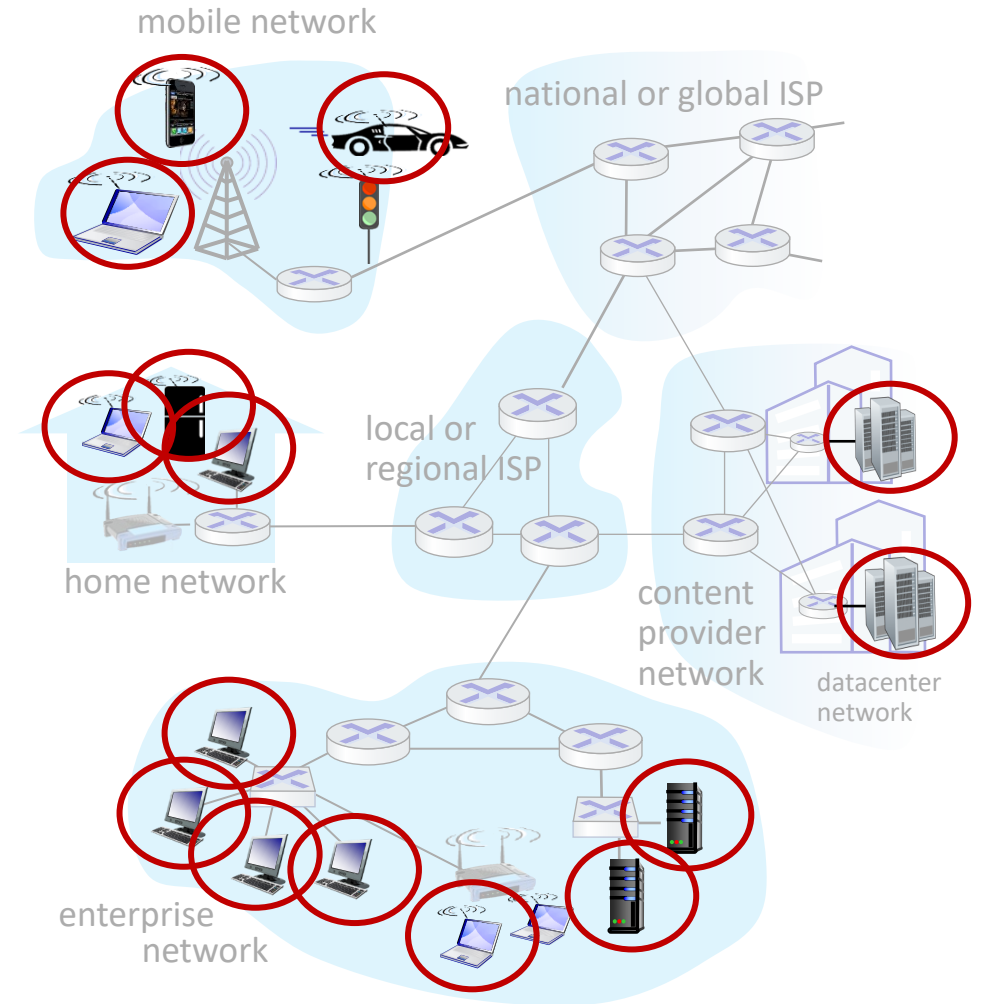
Ερώτηση: Δισεκατομ. απομονωμένες συσκευές/μικρά δίκτυα, πώς τους διασυνδέουμε;



Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

- Δισεκατομμύρια **hosts** (τερματικά) φιλοξενούν *κατανεμημένες εφαρμογές*
- Σύνηθες μοντέλο επικοινωνίας: πελάτης- εξυπηρέτης (εξυπηρέτης μπορεί να είναι σε κέντρο δεδομένων)



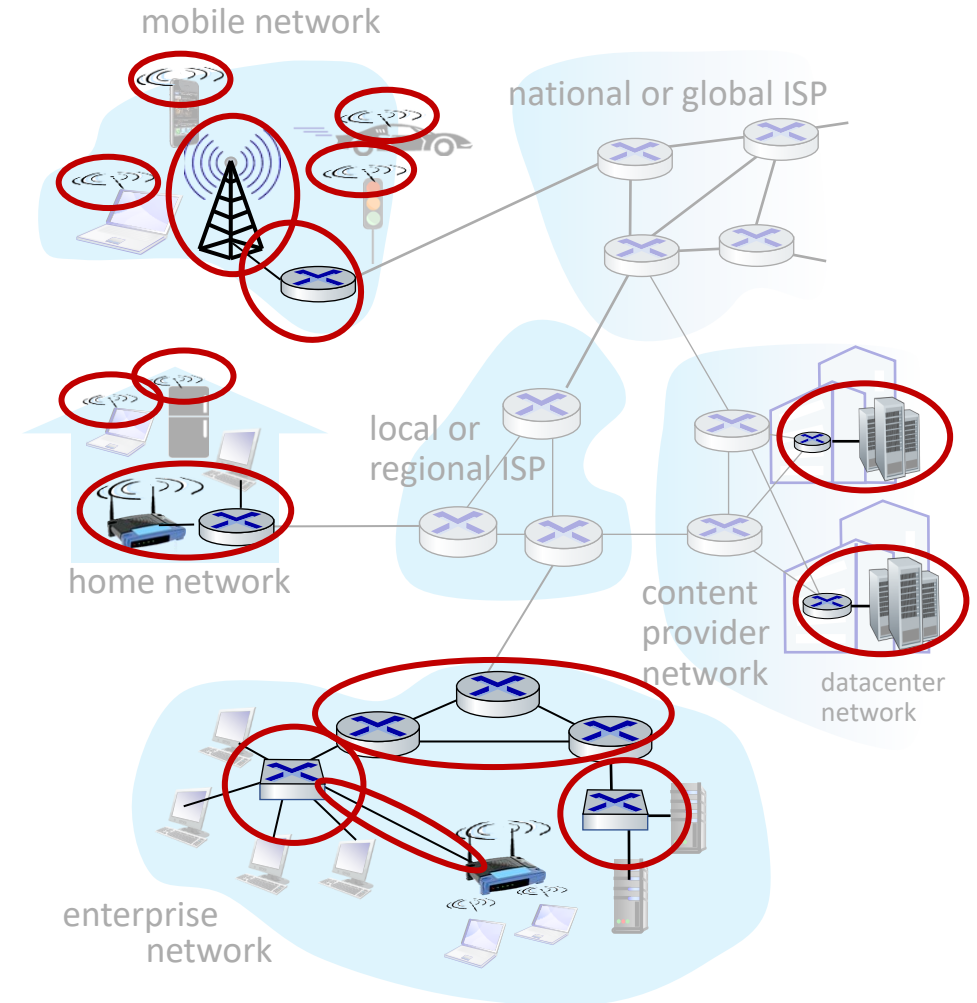
Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

- Δισεκατομμύρια hosts (τερματικά) φιλοξενούν *κατανεμημένες εφαρμογές*
- Σύνηθες μοντέλο επικοινωνίας: πελάτης- εξυπηρέτης (εξυπηρέτης μπορεί να είναι σε κέντρο δεδομένων)

Δίκτυα πρόσβασης:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις, τοπικά δίκτυα (LAN)



Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

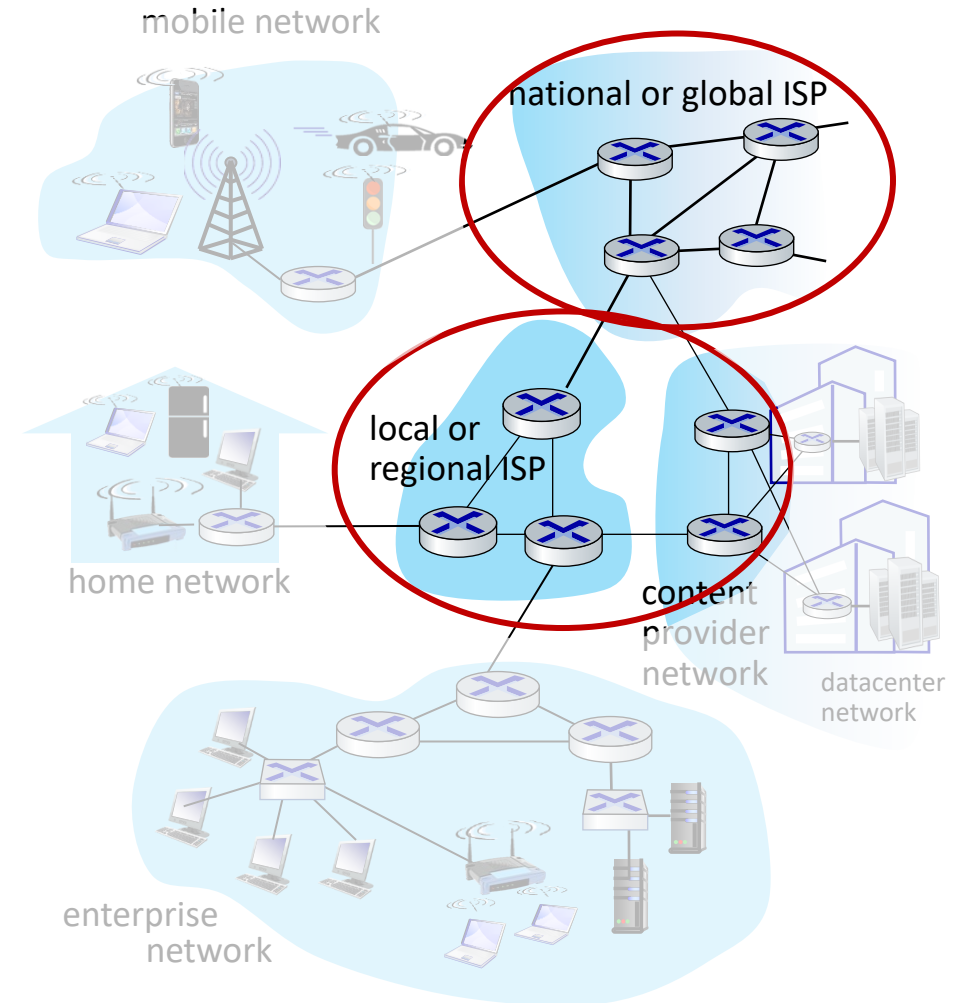
- Δισεκατομμύρια *hosts* (τερματικά) φιλοξενούν *κατανεμημένες εφαρμογές*
- Σύνηθες μοντέλο επικοινωνίας: πελάτης-εξυπηρετής (εξυπηρετής μπορεί να είναι σε κέντρο δεδομένων)

Δίκτυα πρόσβασης:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις, τοπικά δίκτυα (LAN)

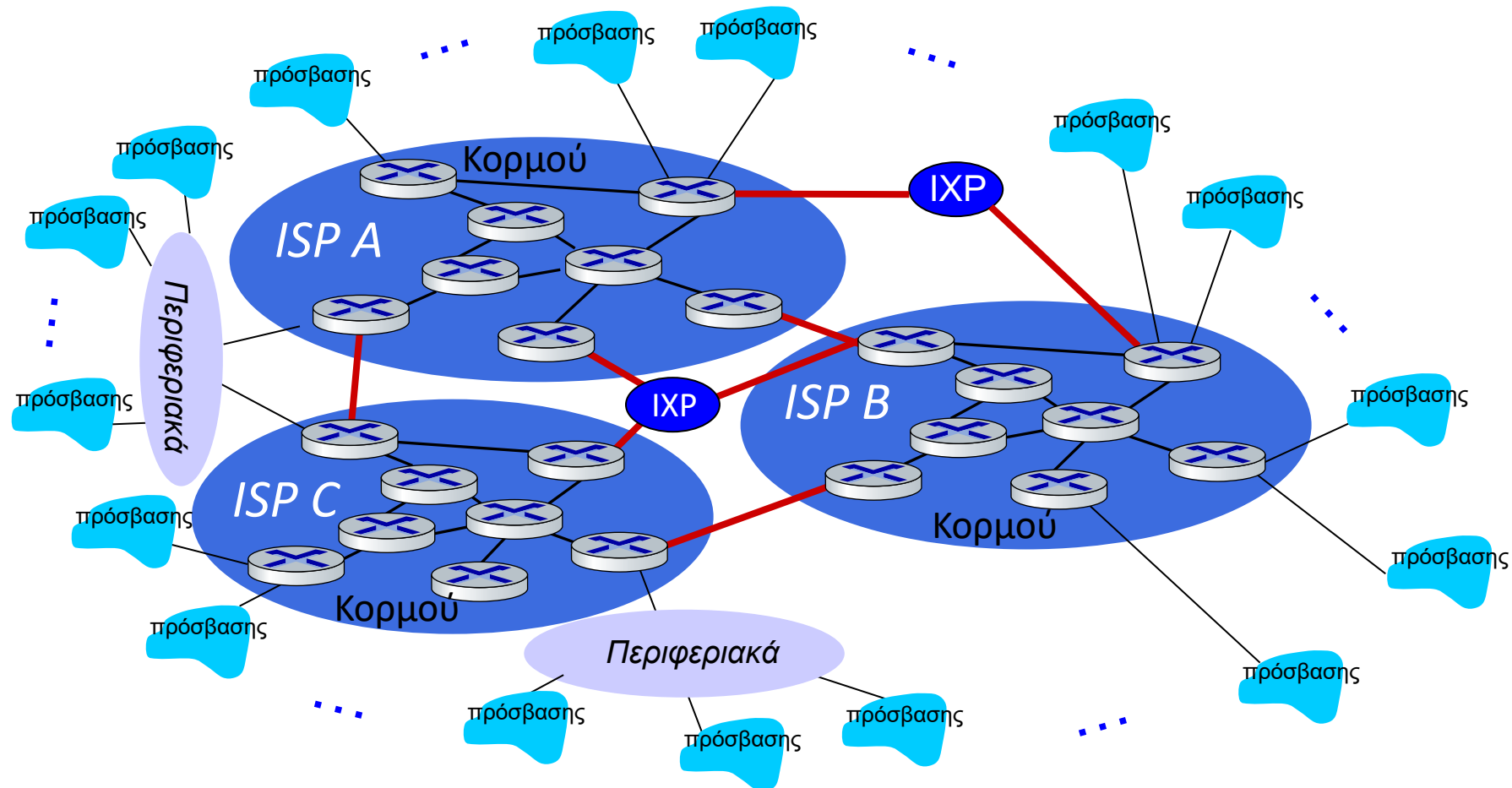
Πυρήνας Διαδικτύου:

- Πάροχοι Διαδικτύου (Internet Service Providers - ISP)
- Κάθε ISP έχει ένα δίκτυο με δρομολογητές
- Διασύνδεση μεταξύ ISPs



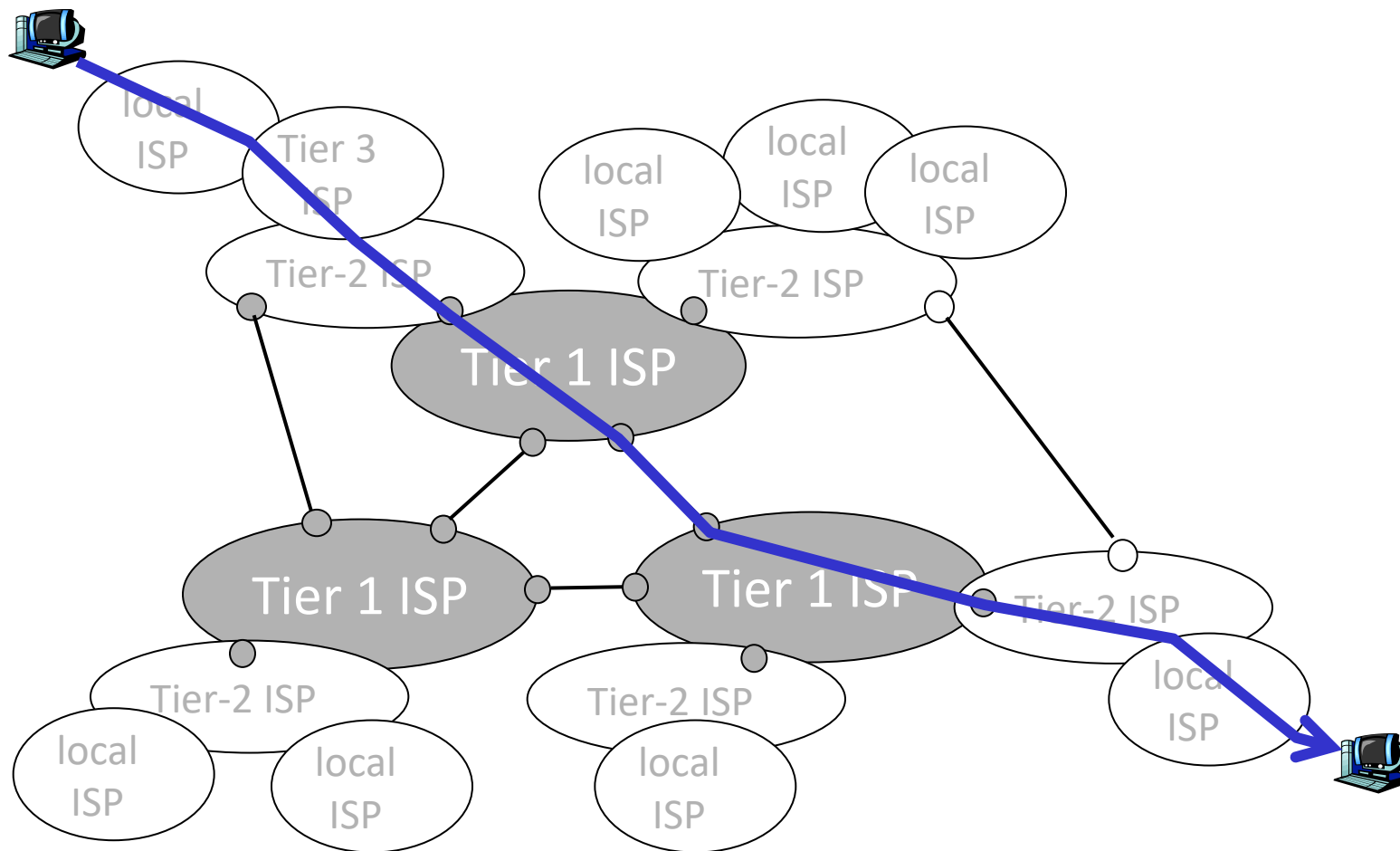
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

Τοπικά δίκτυα, Δίκτυα Πρόσβασης, Περιφερειακά Δίκτυα, Δίκτυα κορμού



Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

Ένα πακέτο περνάει μέσα από πολλά δίκτυα στο ταξίδι του από την πηγή στον προορισμό!



Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

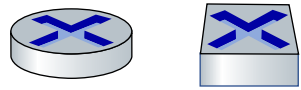


Δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες υπολογιστικές **συσκευές**:

- *hosts* = τερματικά συστήματα
- *φιλοξενούν* δικτυακές *εφαρμογές* στην περιφέρεια του Διαδικτύου

Μεταγωγείς πακέτων (Packet switches): προωθούν πακέτα (τμήματα δεδομένων)

- *routers, switches*



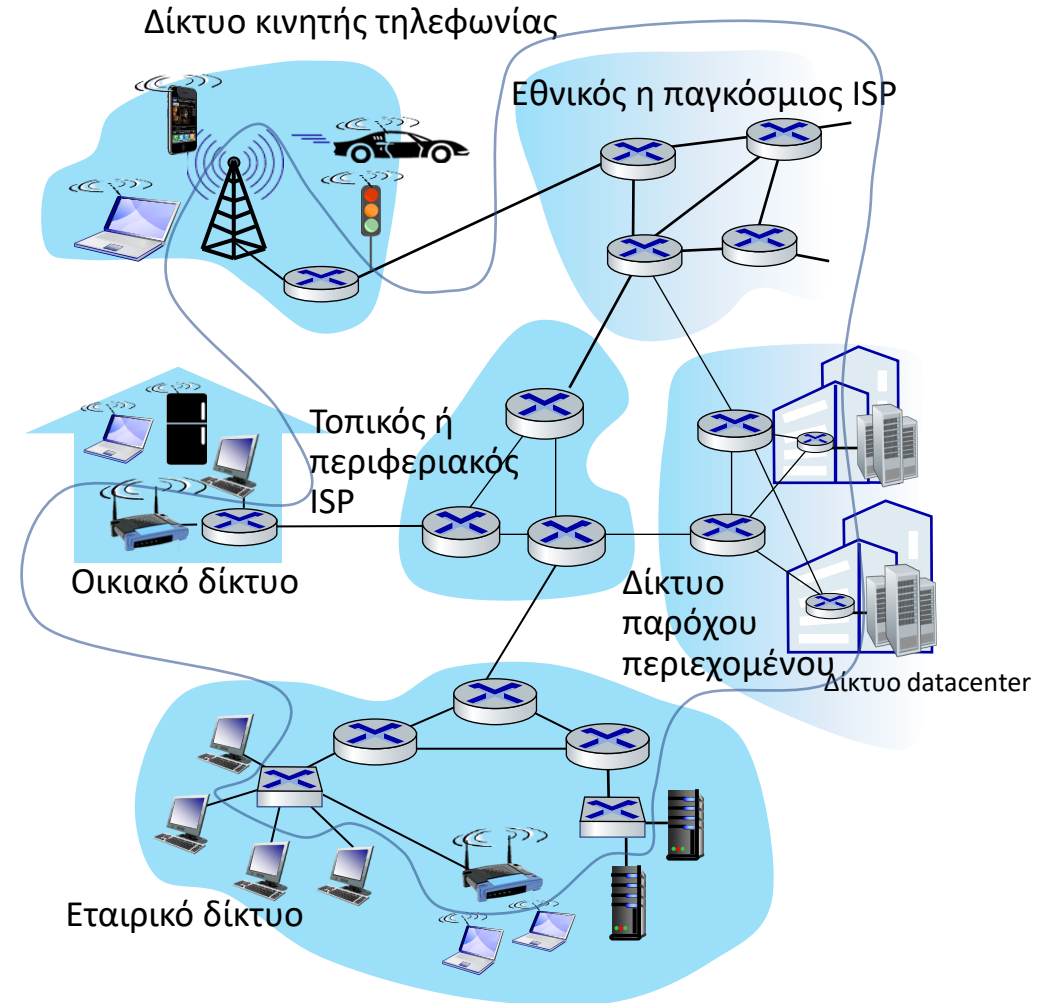
Επικοινωνιακές ζεύξεις

- Οπτική ίνα, χαλκός, ραδιοζεύξη, δορυφόρος
- Ταχύτητα μετάδοσης (rate, capacity)



Δίκτυα

- Δρομολογητές, ζεύξεις: διαχειριζόμενα από ένα οργανισμό (ISP)
- Διασύνδεση μεταξύ δικτύων -> Διαδίκτυο



Μεταφορά δεδομένων πάνω από το Διαδίκτυο

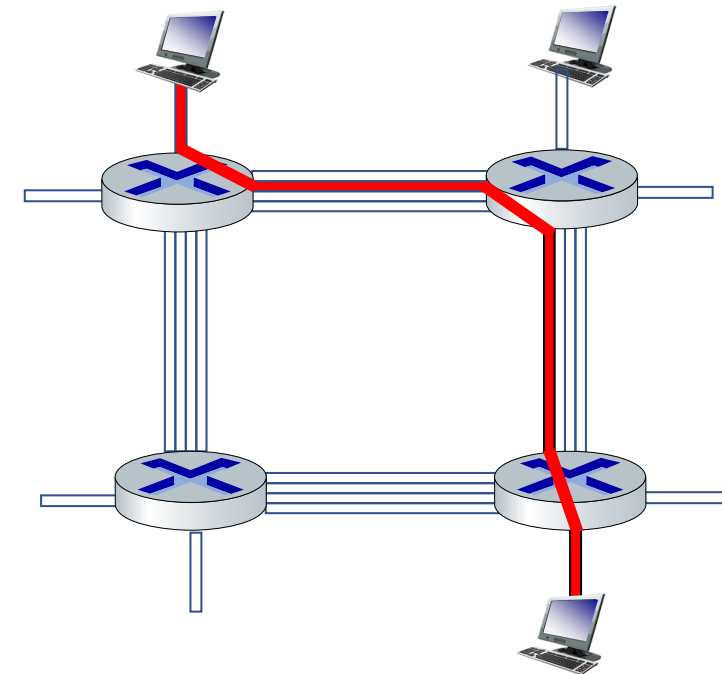
- Μεταγωγή κυκλώματος – τηλεφωνικό δίκτυο
- Μεταγωγή πακέτου - Διαδίκτυο

Μεταγωγή κυκλώματος

Δέσμευση «πόρων» από άκρο-σε-άκρο για την «κλήση»:

- στο σχήμα, κάθε ζεύξη έχει 4 υποκανάλια
 - η κλήση παίρνει το 2ο υποκανάλι στην πάνω ζεύξη και το 1ο στη δεξιά ζεύξη
- Αποκλειστική χρήση υποκαναλίου: δεν μοιράζεται
 - **εγγυημένη απόδοση**
- υποκανάλι **αδρανές εάν δεν χρησιμοποιείται** από την κλήση (δεν μοιράζεται)
- Μπλοκάρισμα σύνδεσης όταν οι πόροι (υποκανάλια) έχουν δεσμευτεί από άλλους

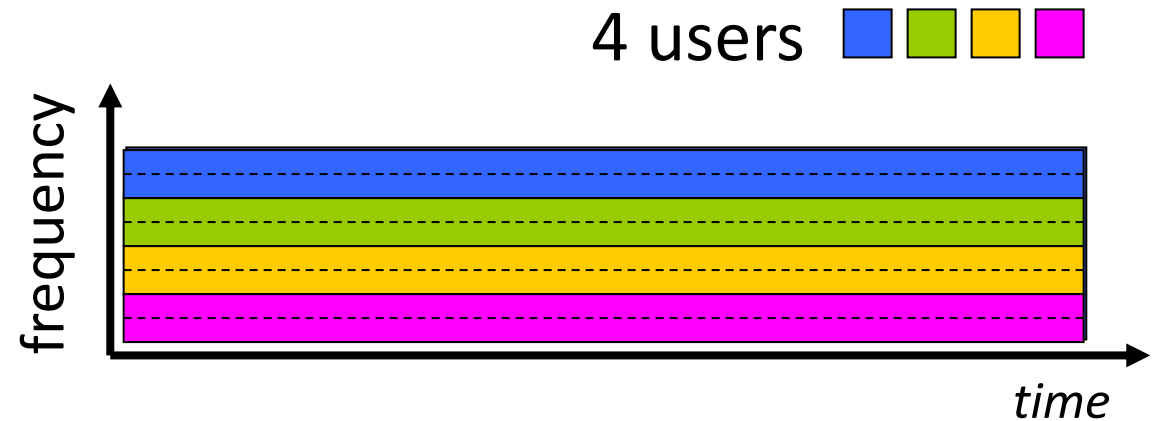
Κλασσικά τηλεφωνικά δίκτυα



Διαμοιρασμός καναλιού

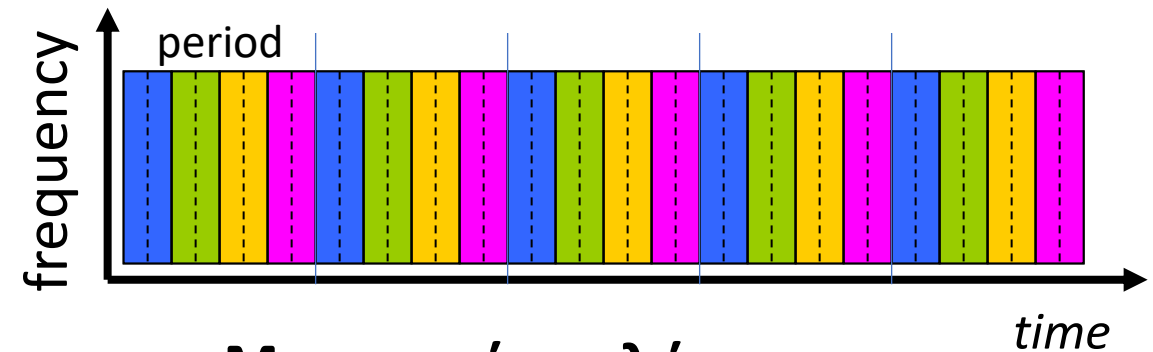
Frequency Division Multiplexing (FDM)

- Φάσμα (οπτικό, ηλεκτρομαγνητικό) διαιρείται σε (στενές) ζώνες συχνοτήτων
- Σε κάθε χρήστη αποδίδεται μία ζώνη και μπορεί να μεταδώσει με το ρυθμό που επιτρέπει αυτή η ζώνη



Time Division Multiplexing (TDM)

- Ο χρόνος διαιρείται σε χρονοθυρίδες (slots), περίοδος = συγκεκριμένο αριθμός θυρίδων
- Σε κάθε χρήστη αποδίδονται συγκεκριμένες χρονοθυρίδες σε κάθε περίοδο στις οποίες μεταδίδει με το μέγιστο ρυθμό που επιτρέπει (όλη) η ζώνη συχνοτήτων

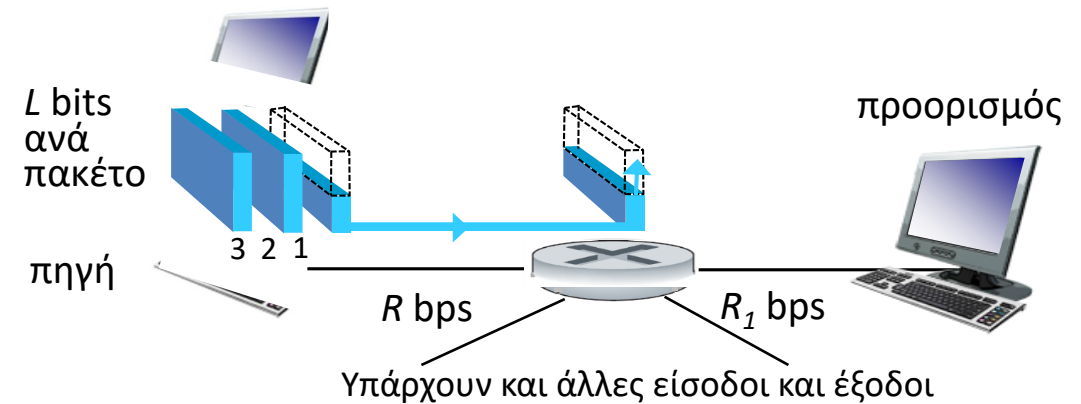


Μεταγωγή κυκλώματος:
Δέσμευση σε κάθε ζεύξη

Μεταγωγή πακέτου

Τερματικό

- παίρνει τα μηνύματα της εφαρμογής
- τα σπάει σε μικρότερα κομμάτια **πακέτα**
- Προσθέτει σε κάθε πακέτο **πληροφορία για να φτάσει στον προορισμό** (και άλλες πληροφορίες)
- μεταδίδει το πακέτο με τον πλήρη ρυθμό μετάδοσης της ζεύξης (transmission rate - bits/s)



Μεταγωγέας πακέτου: αποθήκευση και προώθηση (store and forward)

- Πρέπει να φτάσει/αποθηκευτεί όλο το πακέτο πριν το προωθήσει
- Κοιτάζει την κεφαλίδα του πακέτου και τον πίνακα προώθησης του και το **προωθεί σε μια έξοδο/ζεύξη**
- Το πακέτο μπαίνει στην **ουρά** της ζεύξης εξόδου μαζί με άλλα πακέτα που προωθούνται σε αυτή
- Το πρώτο πακέτο στην ουρά μεταδίδεται με τον πλήρη ρυθμό της ζεύξης -> **Δυναμική ανάθεση**

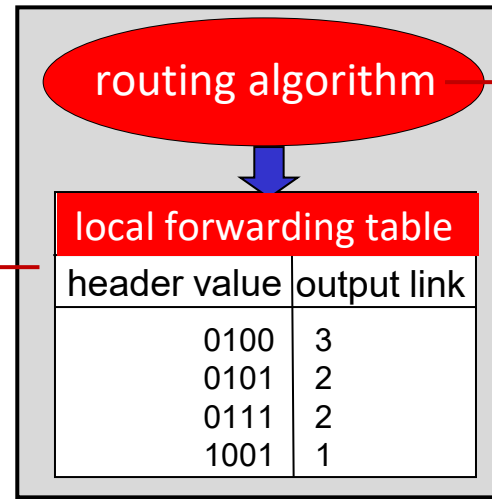
Δύο βασικές λειτουργίες του πυρήνα του δικτύου

Πρώθηση (forwarding)

Αλλιώς, «μεταγωγή»

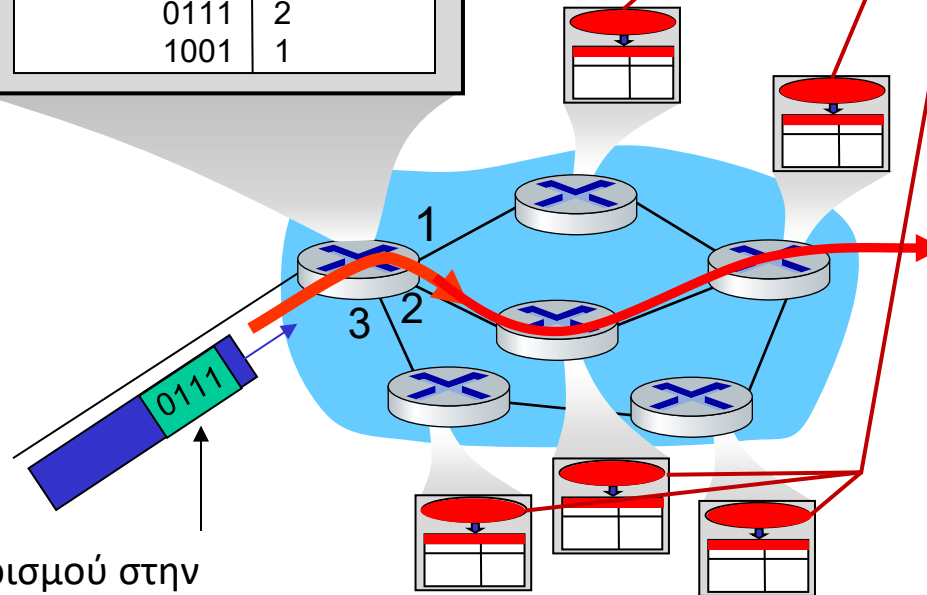
- Λειτουργία **τοπικής** εμβέλειας: μεταφέρει εισερχόμενα πακέτα από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου του δρομολογητή

Διεύθυνση προορισμού στην κεφαλίδα του εισερχόμενου πακέτου



Δρομολόγηση (Routing):

- Λειτουργία **παγκόσμιας** εμβέλειας: καθορίζει το μονοπάτι μεταξύ πηγής και προορισμού που θα ακολουθήσουν τα πακέτα
- Αλγόριθμοι δρομολόγησης



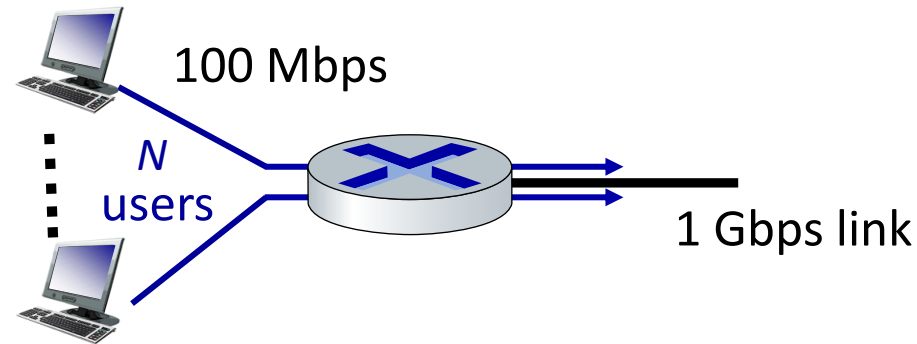




Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Παράδειγμα:

- ζεύξη 1 Gb/s
- κάθε χρήστης:
 - 100 Mb/s όταν «ενεργός»
 - ενεργός 10% του χρόνου (π.χ. web browsing, email)



E: πόσοι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο με μεταγωγή πακέτου και πόσοι με μεταγωγή κυκλώματος?

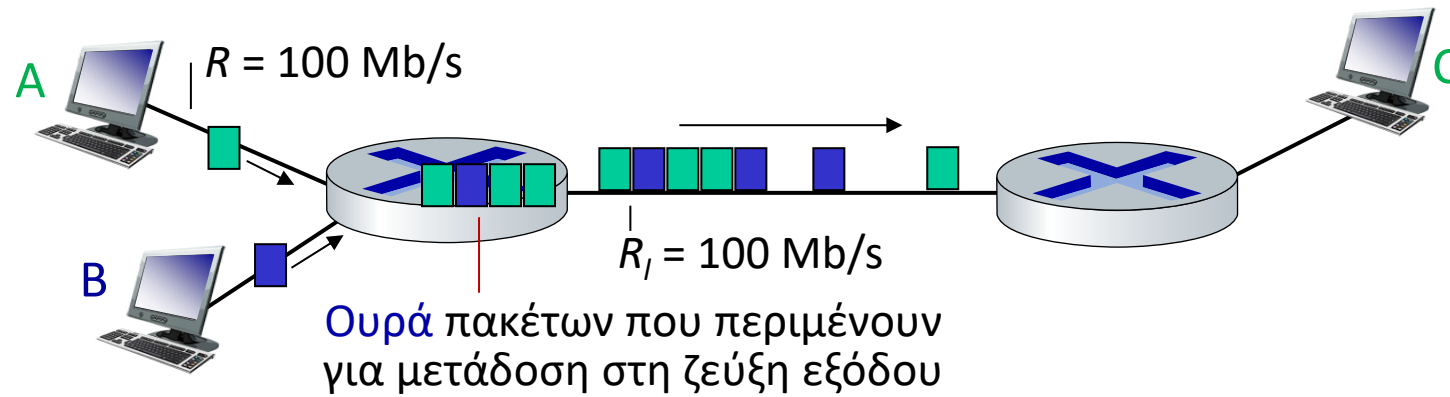
■ **μεταγωγή κυκλώματος:** 10 χρήστες

■ **μεταγωγή πακέτου:** με **35** χρήστες, η **πιθανότητα > 10** **ενεργοί** χρήστες ταυτόχρονα είναι **~ 0.0004**

E: πώς προκύπτει το 0.0004?

A: απαιτεί βασική γνώση θεωρίας πιθανοτήτων

Μεταγωγή πακέτου: στατιστική πολυπλεξία, αναμονή και απώλειες



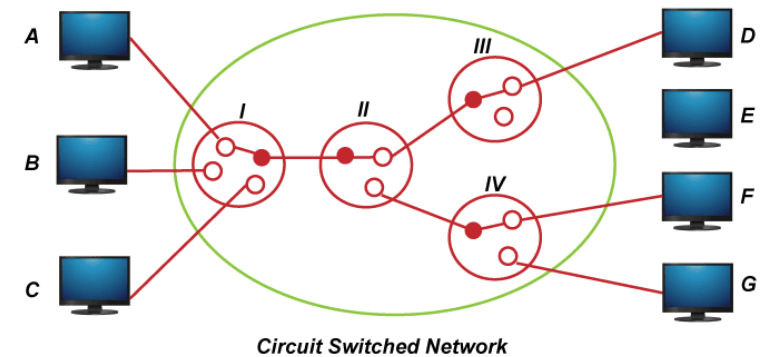
- **Στατιστική πολυπλεξία:** συγχώνευση πακέτων από πολλαπλές γραμμές εισόδου, η ζεύξη μοιράζεται δυναμικά σε όποιον την χρειάζεται $\rightarrow$ **Αποδοτική χρήση πόρων**
- **Αναμονή** συμβαίνει όταν πακέτα φτάσουν γρηγορότερα από ότι μπορούν να εξυπηρετηθούν για κάποια χρονική περίοδο
 - τα πακέτα θα αποθηκευτούν στη μνήμη (buffer) σε ουρά **περιμένοντας** να μεταδοθούν
 - τα πακέτα μπορεί να **πεταχτούν** εάν η ουρά γεμίσει



Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

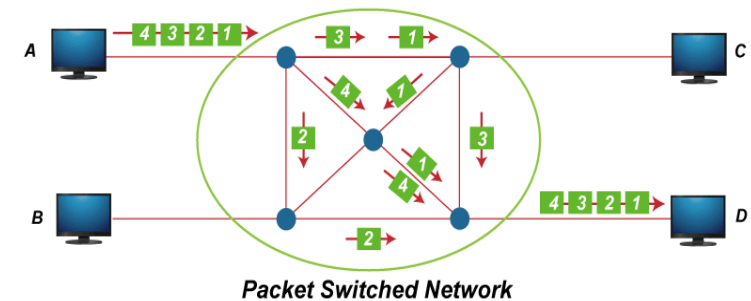
■ Μεταγωγή κυκλώματος

- Σύνδεση: **Απαιτεί δέσμευση/εγκατάσταση** αποκλειστικού κυκλώματος, **πιθανό μπλοκάρισμα** σύνδεσης
- Κίνηση: Αποδοτική για σταθερό ρυθμό δεδομένων, **μη αποδοτική για εκρηκτική κίνηση**
- Ποιότητα: **Εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας** (QoS)



■ Μεταγωγή πακέτου - Διαδίκτυο

- Σύνδεση: **Δεν απαιτεί δέσμευση**, κάθε πακέτο προωθείται ανεξάρτητα
- Κίνηση: **Αποδοτική για εκρηκτική κίνηση** (πλείστες εφαρμογές)
- Ποιότητα: **υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας**, όχι εγγυημένη ποιότητα, πιθανή συμφόρηση, καθυστέρηση, απώλειες, κ.α.



Η υπηρεσία **βέλτιστης προσπάθειας** μεταφοράς πακέτων του Διαδικτύου είναι «**όσο καλή χρειάζεται**» για πολλές εφαρμογές !

Χρειάζεται επέκταση για νέες εφαρμογές με “σκληρές” απαιτήσεις: autonomous driving, Industry 4.0,...

Δίκτυα Επικοινωνιών - Διαδίκτυο

- Δισεκατομμύρια συσκευές διασυνδέονται για ανταλλαγή δεδομένων / υλοποίηση κατανεμημένων εφαρμογών
- Οι συσκευές οργανώνονται σε δίκτυα πρόσβασης, τα οποία συνδέονται με μητροπολιτικά και δίκτυα κορμού, σχηματίζοντας το Διαδίκτυο – ένα Δίκτυο Δικτύων
- Η επικοινωνία στο Διαδίκτυο γίνεται με μεταγωγή πακέτων, όπου οι συσκευές στέλνουν πακέτα δεδομένων
 - Τα πακέτα έχουν επιπλέον πληροφορίες (επικεφαλίδες) για την προώθηση τους στους ενδιαμέσους κόμβους (και άλλες λειτουργίες)
 - Η μεταγωγή πακέτων είναι πιο αποδοτική από τη μεταγωγή κυκλώματος για εφαρμογές με εκρηκτική κίνηση, όπως οι περισσότερες γνωστές εφαρμογές (web-browsing, emails, chat, κλπ)
- Το Διαδίκτυο βασίζεται σε μια στοίβα πρωτοκόλλων, η οποία καθορίζει τους κανόνες επεξεργασίας πακέτων και επικεφαλίδων

Τα μαθήματα σχετικά με τα Δίκτυα Επικοινωνιών μελετούν τη στοίβα και συγκεκριμένα πρωτόκολλα του Διαδικτύου