

# Διαδίκτυο

Συστήματα Υπολογιστών

Παναγιώτης Παπαδημητρίου

[papadimitriou@uom.edu.gr](mailto:papadimitriou@uom.edu.gr)

<https://sites.google.com/site/panagpapadimitriou/>

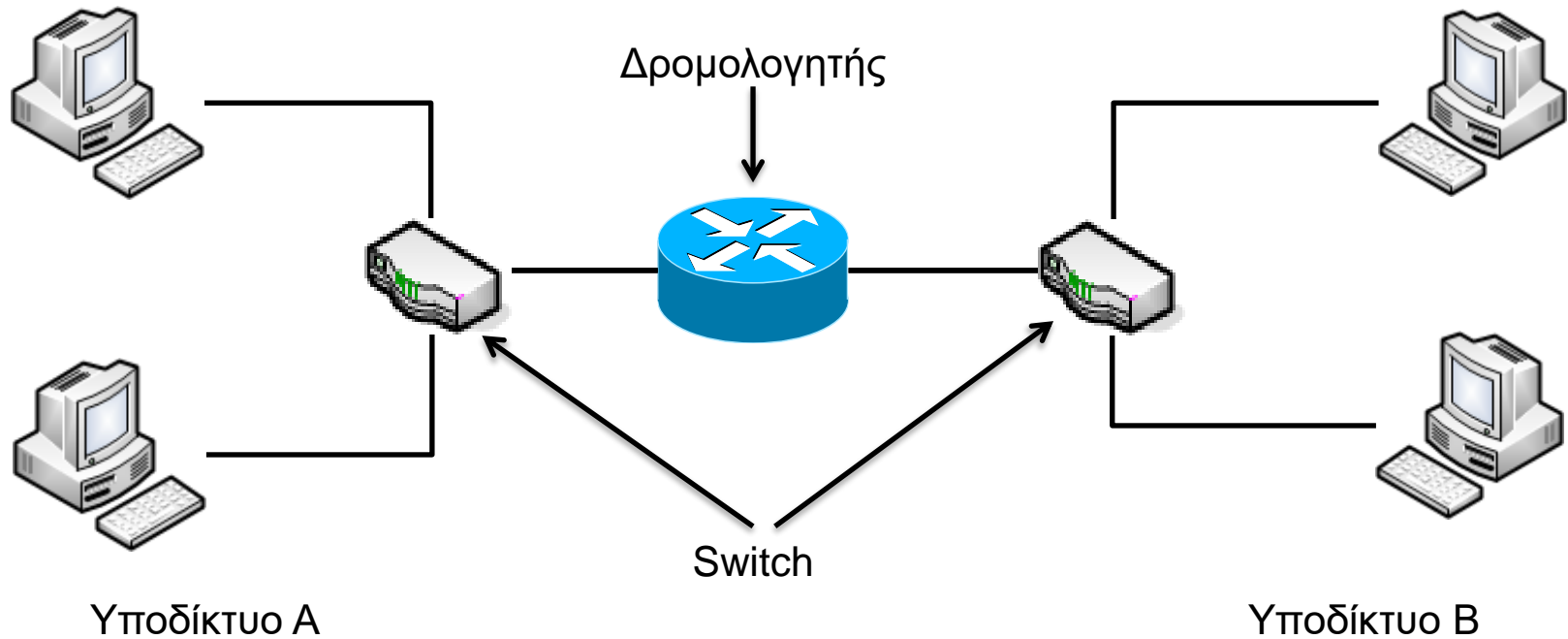
# Σημασία των Δικτύων

- Τα δεδομένα βρίσκονται στο επίκεντρο:
  - Σημαντική η αποδοτική ανταλλαγή δεδομένων
- Τα δίκτυα επιτρέπουν την ύπαρξη:
  - Παγκόσμιου Ιστού (WWW)
  - Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)
  - Κατανεμημένων Συστημάτων
  - Ηλεκτρονικού Εμπορίου
  - Κοινωνικών Δικτύων

# Βασικά Συστατικά ενός Δικτύου

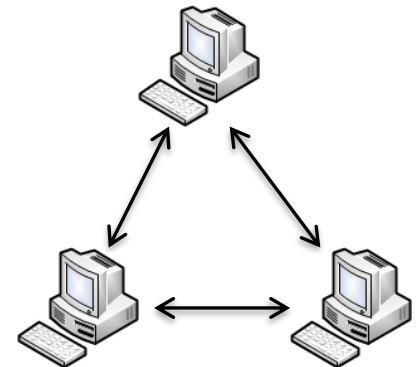
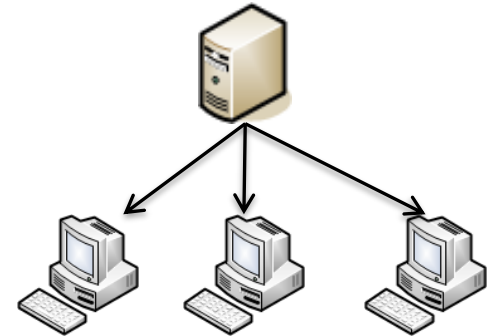
- Τερματικά:
  - Υπολογιστές (εξυπηρετητές, PC, κτλ.)
  - Φορητές συσκευές (τηλέφωνα, tablet, κτλ.)
  - Άλλες συσκευές (Internet-of-Things)
- Κόμβοι:
  - Δρομολογητές (συνδέουν διαφορετικά δίκτυα)
  - Switches (συνδέουν τερματικά του ίδιου δικτύου)
  - Σημεία πρόσβασης Wi-Fi
  - Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας
- Ζεύξεις:
  - Ενσύρματες (π.χ. καλώδιο χαλκού, οπτική ίνα)
  - Ασύρματες (π.χ. ραδιοκύματα, υπέρυθρες ακτίνες)

# Παράδειγμα Δικτύου



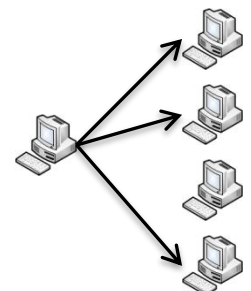
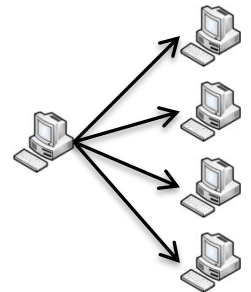
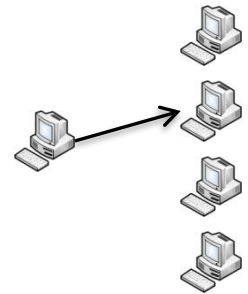
# Μοντέλα Εξυπηρέτησης

- Πελάτης/εξυπηρετητής
  - Εξυπηρετητές παρέχουν υπηρεσίες σε πελάτες
  - Ευρέως διαδεδομένο μοντέλο (π.χ. WWW, e-mail, streaming, FTP)
- Ομότιμοι εταίροι (peer-to-peer)
  - Κάθε τερματικό ενεργεί ως πελάτης και εξυπηρετητής
  - Κατανεμημένο μοντέλο εξυπηρέτησης (συνήθως το κάθε τερματικό έχει τον ίδιο ρόλο στο δίκτυο)
  - Επιτυχημένο μοντέλο σε κατανεμημένα συστήματα διαμοιρασμού αρχείων (π.χ. BitTorrent)



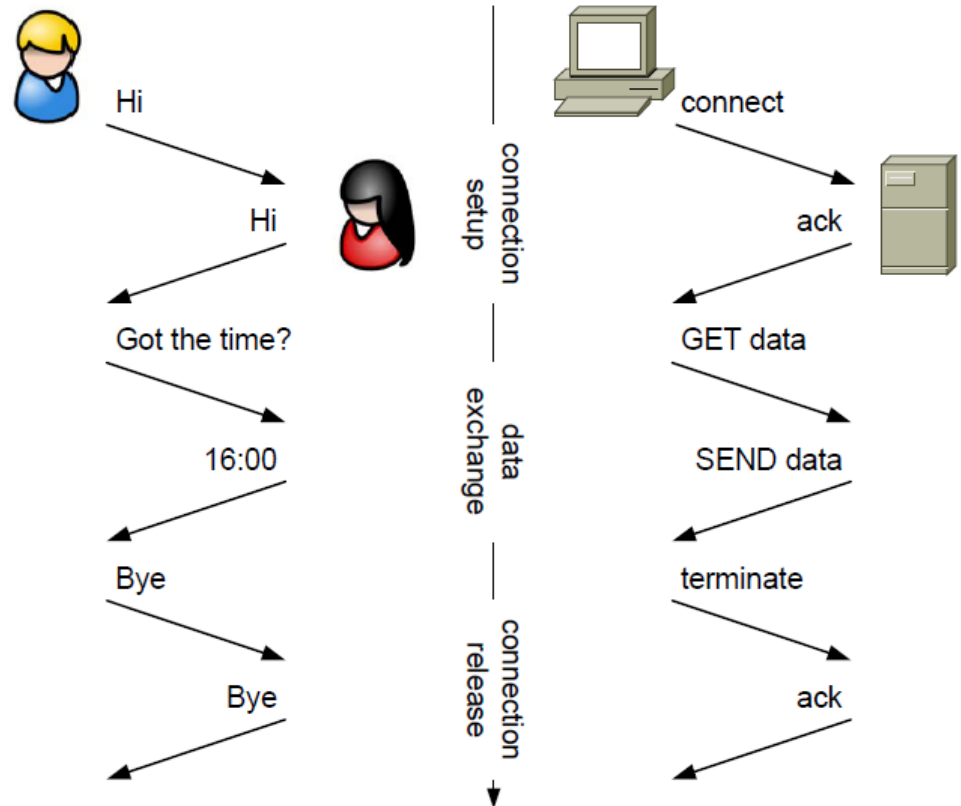
# Μορφές Επικοινωνίας

- Unicast:
  - Αποστολή προς ένα παραλήπτη
- Broadcast:
  - Αποστολή προς όλους τους υπολογιστές του δικτύου
  - Έφαρμόζεται σε δίκτυα μικρής κλίμακας (συνήθως τοπικά)
  - Χρησιμοποιείται από πρωτόκολλα, όπως το ARP και το DHCP
- Multicast:
  - Αποστολή προς πολλούς υπολογιστές
  - Χρησιμοποιείται από διαδικτυακές υπηρεσίες, όπως IPTV
  - Απαιτεί υποστήριξη από τους δρομολογητές



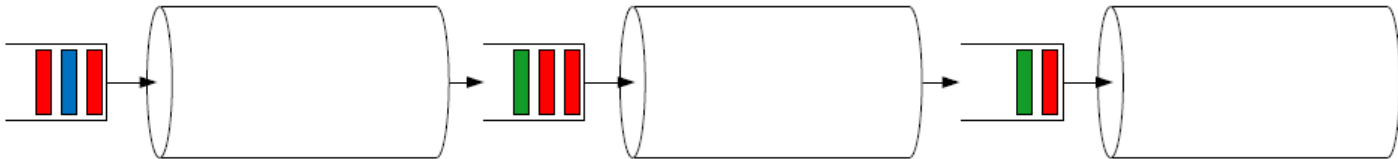
# Πρωτόκολλο Επικοινωνίας

- Ένα πρωτόκολλο ορίζει τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ τερματικών ή κόμβων του δικτύου
  - Μορφή / ακολουθία μηνυμάτων
  - Ενέργειες κατά τη λήψη μηνυμάτων



# Μεταγωγή Πακέτου

- Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε τμήματα (πακέτα) και το κάθε πακέτο προωθείται ξεχωριστά
  - Δεν είναι απαραίτητο όλα τα πακέτα να ακολουθήσουν την ίδια διαδρομή
  - Δεν γίνεται δέσμευση πόρων, αλλά το κάθε πακέτο εξυπηρετείται στους δρομολογητές με βάση τη σειρά άφιξης (first-come first-served)

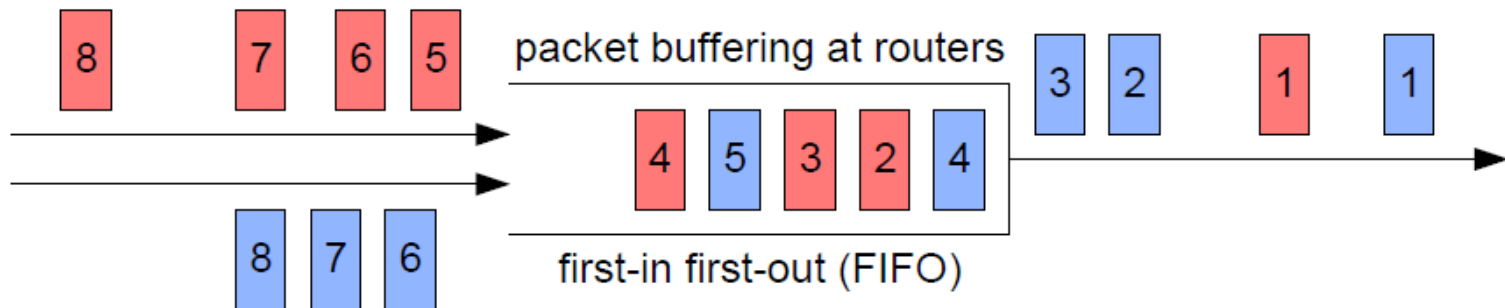


- Η τεχνική μεταγωγής στο Διαδίκτυο
  - Αποδοτικότερος διαμοιρασμός των δικτυακών πόρων
  - Δύσκολο να διασφαλιστεί η ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS), π.χ. άνω όριο στην καθυστέρηση ή κάτω όριο στο ρυθμό μετάδοσης



# Μεταγωγή Πακέτου

- Πακέτα από διαφορετικές συνδέσεις μπορεί να ανταγωνίζονται για την προώθησή τους από ένα δρομολογητή
  - Κατά τη μετάδοση, το κάθε πακέτο χρησιμοποιεί όλους τους πόρους της ζεύξης
  - Άλλα πακέτα που ενδεχομένως έχουν φτάσει στον δρομολογητή τοποθετούνται σε μία ουρά αναμονής (buffer), έως ότου έρθει η σειρά τους να μεταδοθούν



# Καθυστερήσεις Δικτύου

- Καθυστέρηση **διάδοσης** (propagation delay)
  - Ο χρόνος για να διανύσει το σήμα την απόσταση  $d$  μιας ζεύξης
  - Εξαρτάται από την απόσταση
  - $d_{prop} = d / S$ , όπου  $S$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός ( $3 \times 10^8$  m/sec)
- Καθυστέρηση **μετάδοσης** (transmission delay)
  - Ο χρόνος για τη μετάδοση των bits του πακέτου
  - Εξαρτάται από τον αριθμό των bits που μεταδίδονται
  - $d_{trans} = L / C$ , όπου  $L$  ο αριθμός των bits που μεταδίδονται και  $C$  η χωρητικότητα της ζεύξης

# Καθυστερήσεις Δικτύου

- Καθυστέρηση **αναμονής** (queuing delay)
  - Ο χρόνος που περιμένει το πακέτο στην ουρά του δρομολογητή
  - Εξαρτάται από το φορτίο του δικτύου
- Καθυστέρηση **επεξεργασίας** (processing delay)
  - Ο χρόνος κατά την επεξεργασία του πακέτου από το δρομολογητή
    - Αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης
    - Τροποποιήσεις επικεφαλίδας του πακέτου (διευθύνσεις MAC, TTL)
- Το άθροισμα των 4 ειδών καθυστέρησης δίνει τη συνολική καθυστέρηση (end-to-end delay)

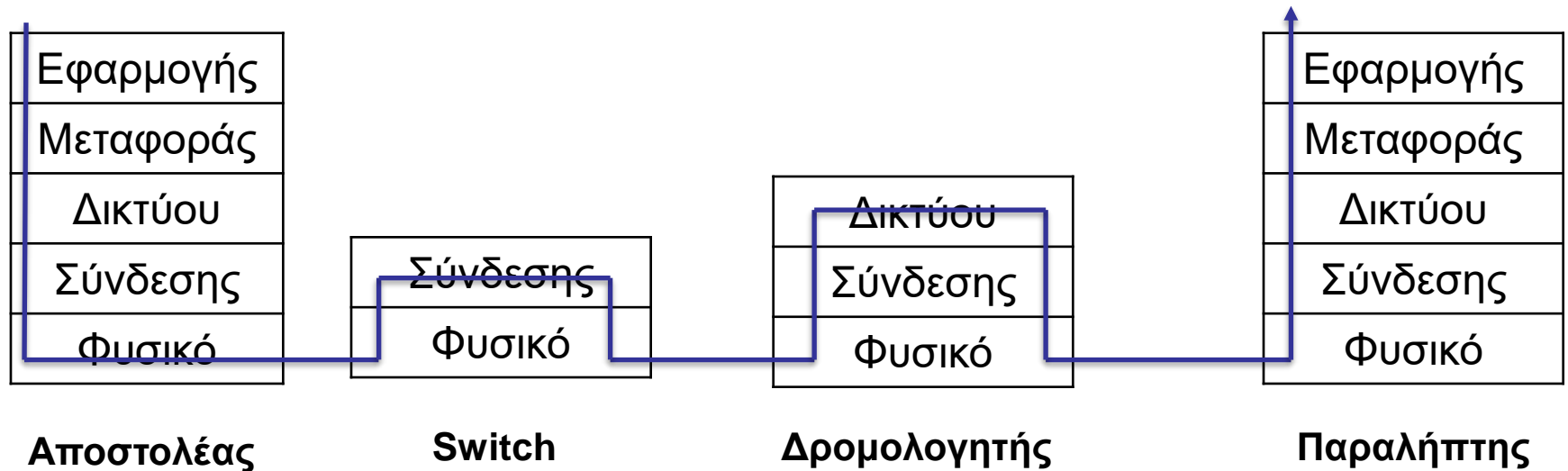
# Στρώματα Δικτύου

# Στρώματα Δικτύου (Layers)

- Εφαρμογής:
  - Πρωτόκολλα επικοινωνίας εφαρμογών
    - HTTP, FTP, SMTP, POP, κ.ά.
- Μεταφοράς:
  - Μεταφορά δεδομένων από άκρο-σε-άκρο
    - TCP, UDP
- Δικτύου:
  - Προώθηση και δρομολόγηση πακέτων IP
    - IP, OSPF, RIP, BGP, κ.ά.
- Σύνδεσης:
  - Μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων
    - Ethernet, PPP, κ.ά.
- Φυσικό:
  - Τεχνολογίες μετάδοσης

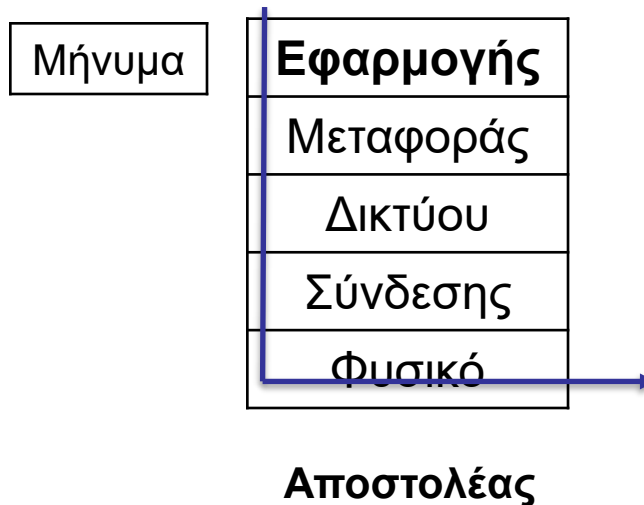
Εφαρμογής
Μεταφοράς
Δικτύου
Σύνδεσης
Φυσικό

# Διαστρωματική Αναπαράσταση Κόμβων



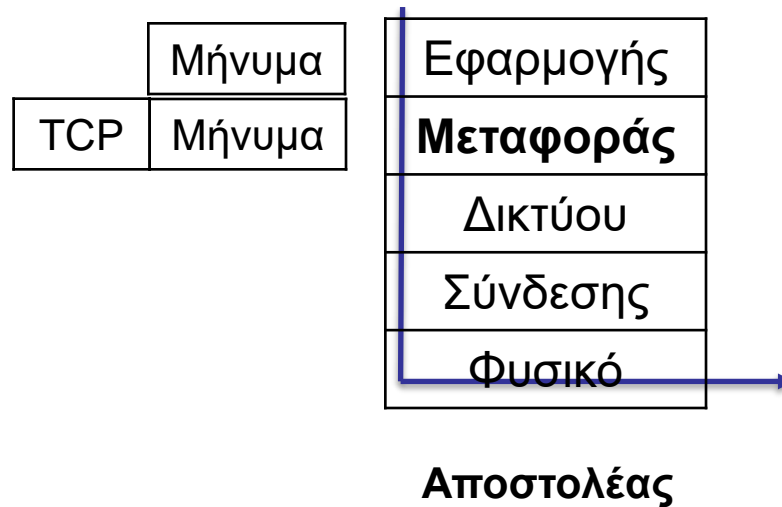
# Ενθυλάκωση Μηνύματος στον Αποστολέα

- Ένα μήνυμα προς αποστολή ενθυλακώνεται σε επικεφαλίδες πρωτοκόλλων σε κάθε στρώμα του δικτύου
  - Η επικεφαλίδα αποθηκεύει στο κάθε πακέτο πληροφορίες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου (π.χ. IP)



# Ενθυλάκωση Μηνύματος στον Αποστολέα

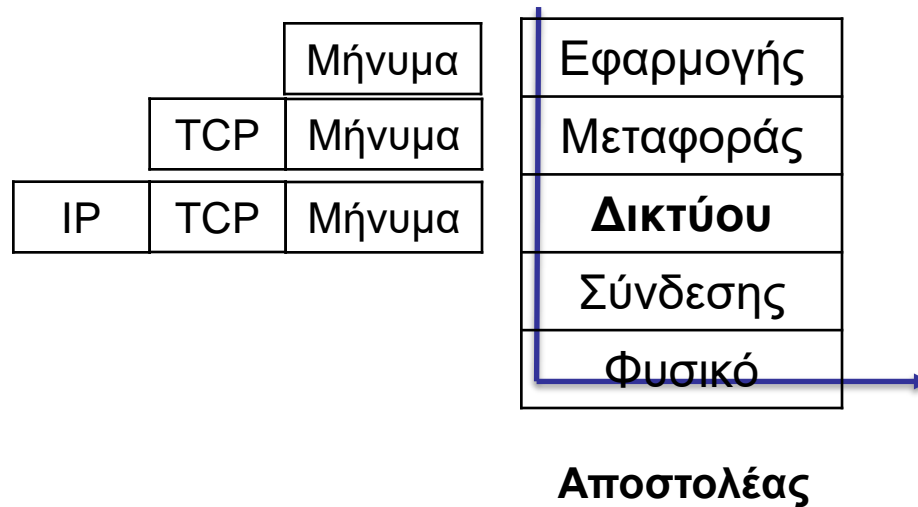
- Ένα μήνυμα προς αποστολή ενθυλακώνεται σε επικεφαλίδες πρωτοκόλλων σε κάθε στρώμα του δικτύου
  - Η επικεφαλίδα αποθηκεύει στο κάθε πακέτο πληροφορίες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου (π.χ. IP)





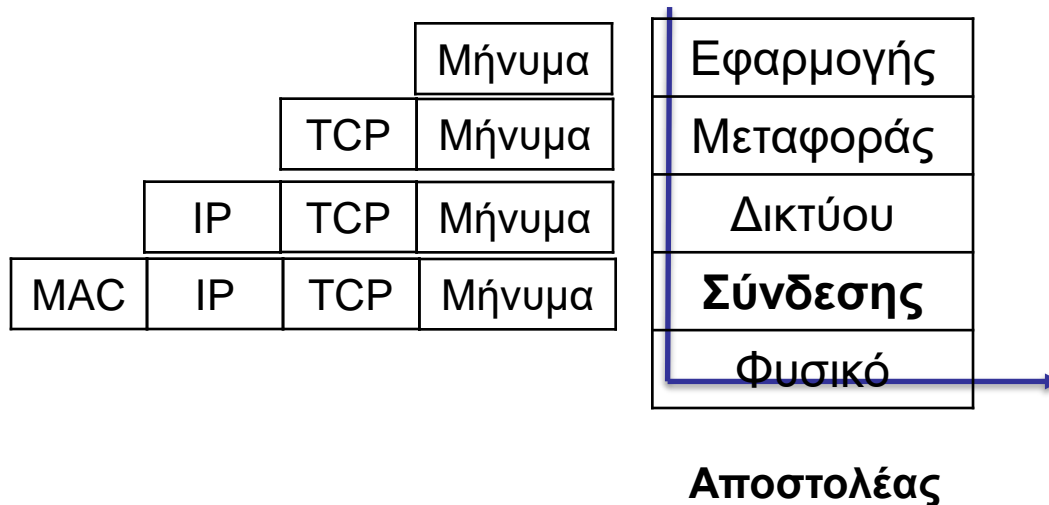
# Ενθυλάκωση Μηνύματος στον Αποστολέα

- Ένα μήνυμα προς αποστολή ενθυλακώνεται σε επικεφαλίδες πρωτοκόλλων σε κάθε στρώμα του δικτύου
  - Η επικεφαλίδα αποθηκεύει στο κάθε πακέτο πληροφορίες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου (π.χ. IP)



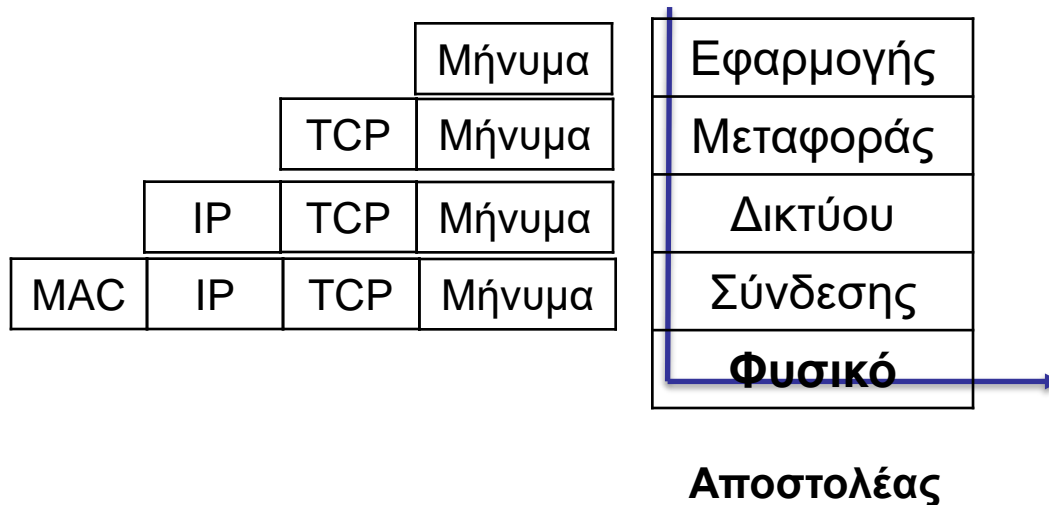
# Ενθυλάκωση Μηνύματος στον Αποστολέα

- Ένα μήνυμα προς αποστολή ενθυλακώνεται σε επικεφαλίδες πρωτοκόλλων σε κάθε στρώμα του δικτύου
  - Η επικεφαλίδα αποθηκεύει στο κάθε πακέτο πληροφορίες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου (π.χ. IP)



# Ενθυλάκωση Μηνύματος στον Αποστολέα

- Ένα μήνυμα προς αποστολή ενθυλακώνεται σε επικεφαλίδες πρωτοκόλλων σε κάθε στρώμα του δικτύου
  - Η επικεφαλίδα αποθηκεύει στο κάθε πακέτο πληροφορίες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου (π.χ. IP)



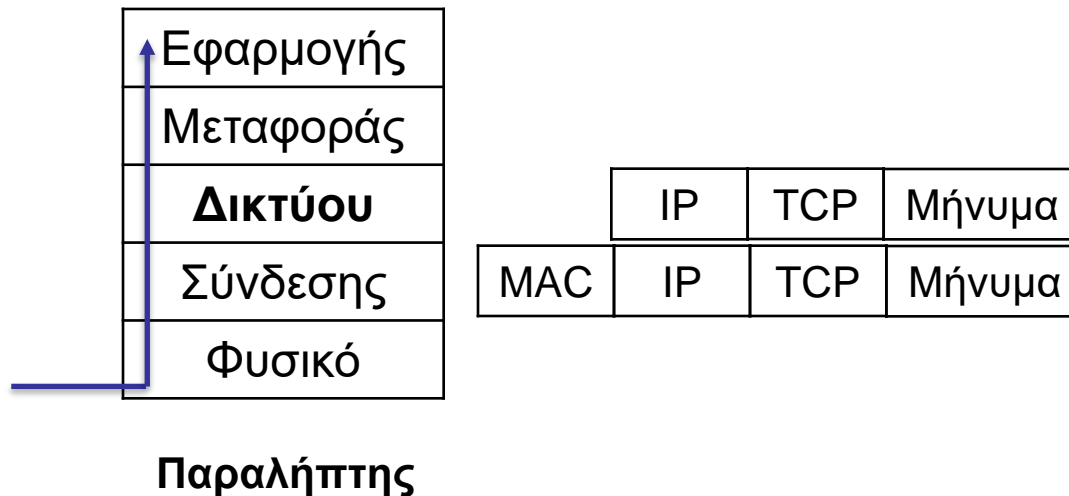
# Αποθυλάκωση Μηνύματος στον Παραλήπτη

- Το απεσταλμένο μήνυμα εξάγεται από τις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων και παραδίδεται στην εφαρμογή



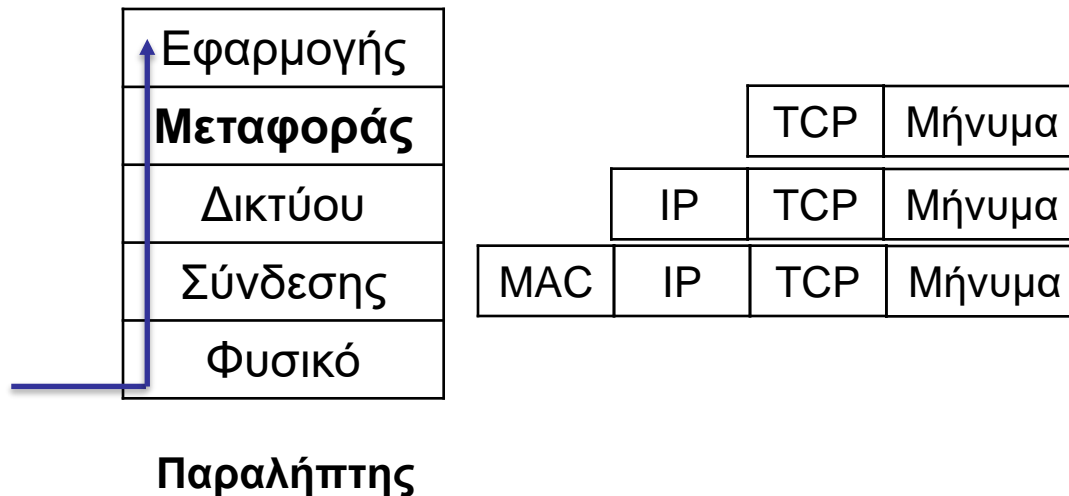
# Αποθυλάκωση Μηνύματος στον Παραλήπτη

- Το απεσταλμένο μήνυμα εξάγεται από τις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων και παραδίδεται στην εφαρμογή



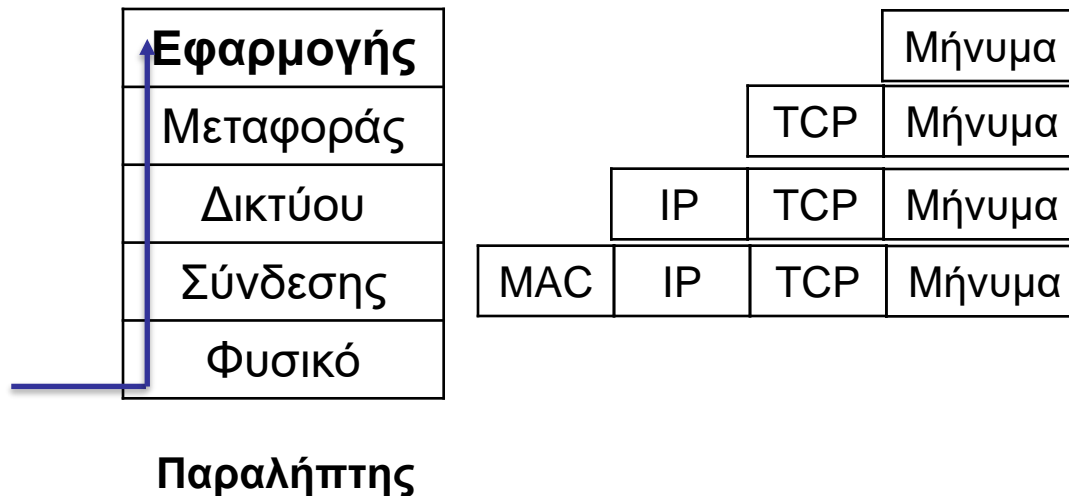
# Αποθυλάκωση Μηνύματος στον Παραλήπτη

- Το απεσταλμένο μήνυμα εξάγεται από τις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων και παραδίδεται στην εφαρμογή



# Αποθυλάκωση Μηνύματος στον Παραλήπτη

- Το απεσταλμένο μήνυμα εξάγεται από τις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων και παραδίδεται στην εφαρμογή

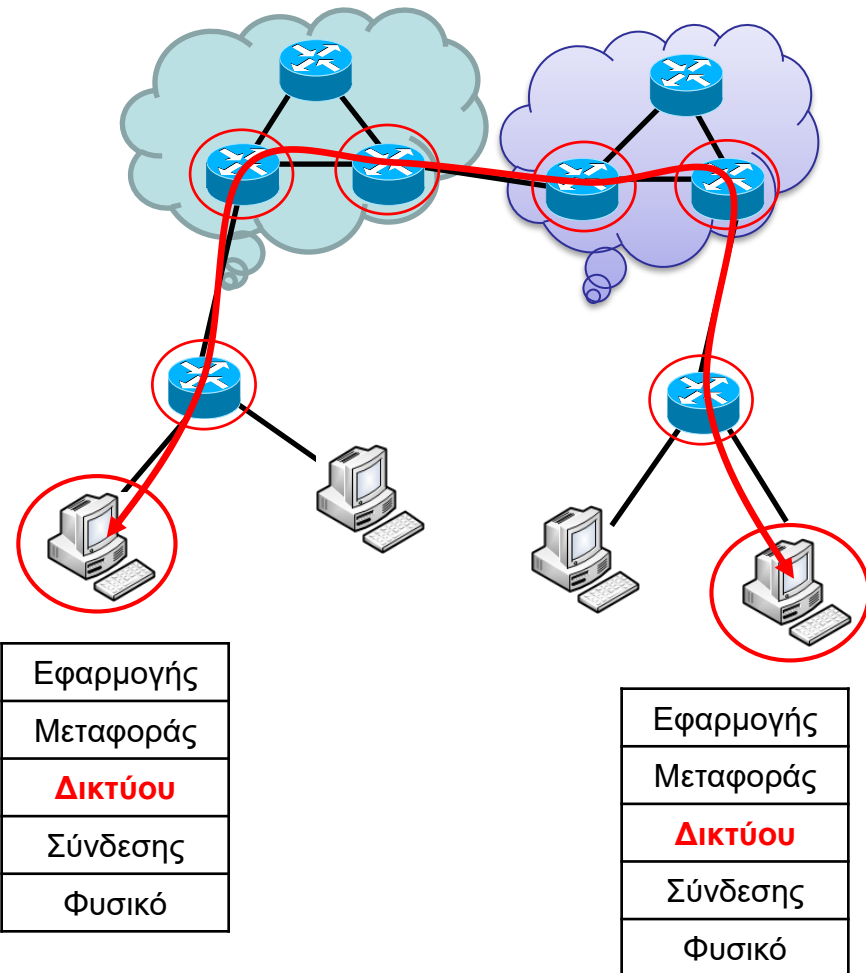


# Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP)



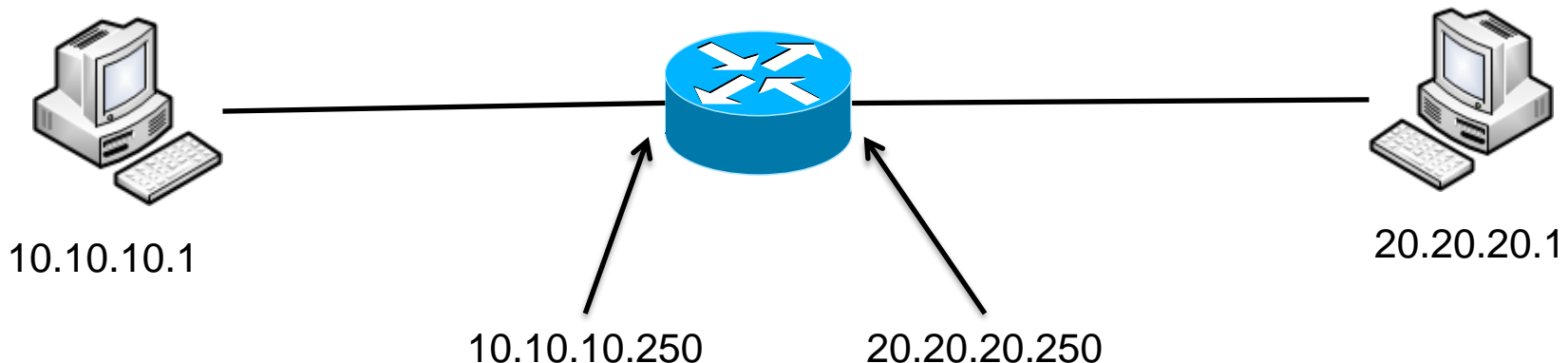
# Στρώμα Δικτύου

- Το στρώμα δικτύου:
  - Καθορίζει μία διαδρομή μεταξύ δύο τερματικών
  - Είναι υπεύθυνο για την προώθηση των πακέτων έως τον προορισμό τους

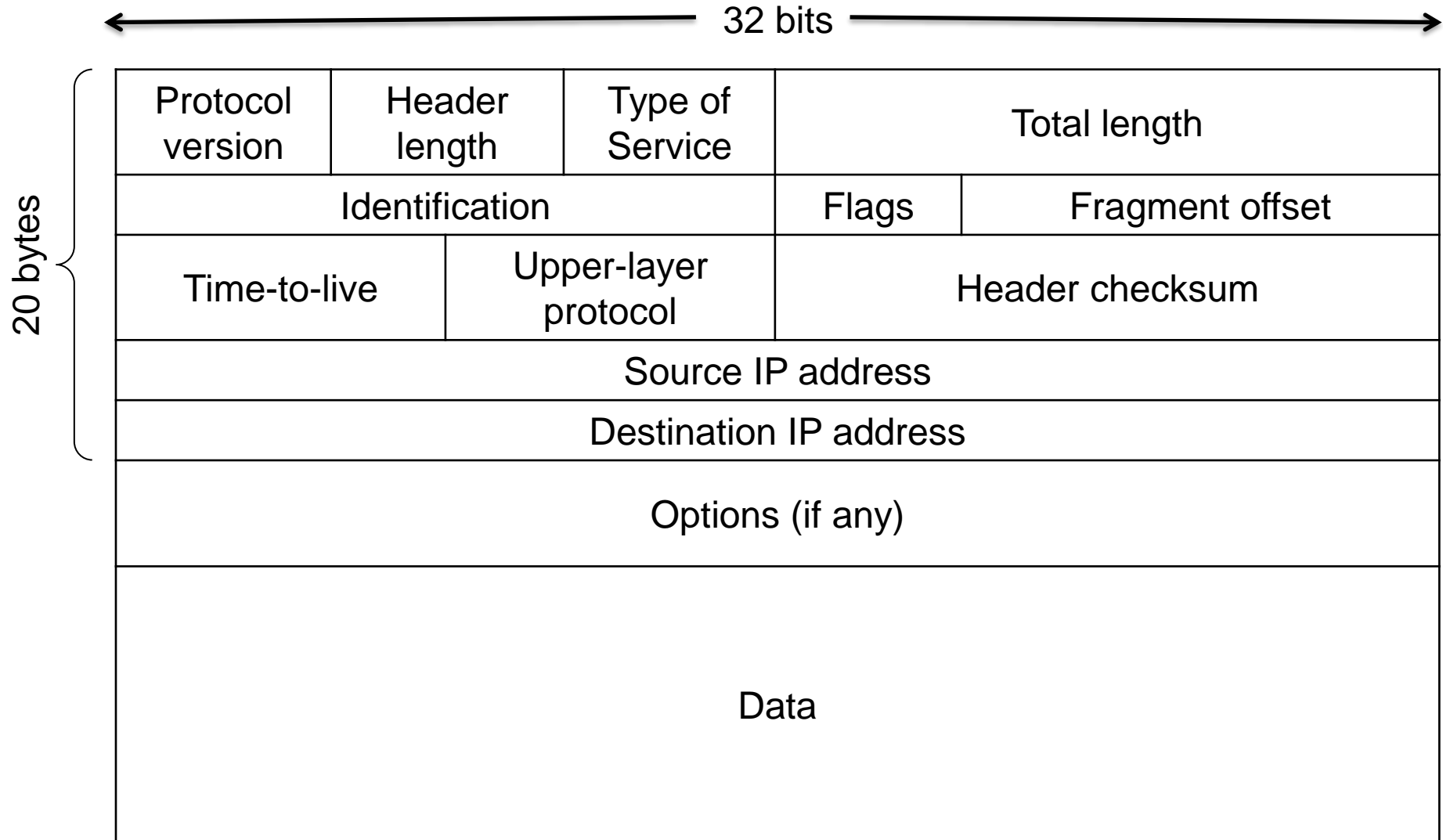


# Διεθυνσιοδότηση

- Συσκευές συνδέονται στο δίκτυο μέσω θυρών (ports):
  - Τερματικά συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο έχουν μία ή περισσότερες θύρες (π.χ. Ethernet/3G/Wi-Fi)
  - Δικτυακές συσκευές (π.χ. δρομολογητές) έχουν πολλές θύρες
- Σε κάθε θύρα αντιστοιχίζεται μία μοναδική διεύθυνση IP
  - IP διευθύνσεις: 32-bits (4 τμήματα από 8 bits: A.B.C.D)
  - Συσκευές με πολλαπλές θύρες, χρησιμοποιούν διαφορετική διεύθυνση IP για κάθε θύρα



# Επικεφαλίδα IPv4

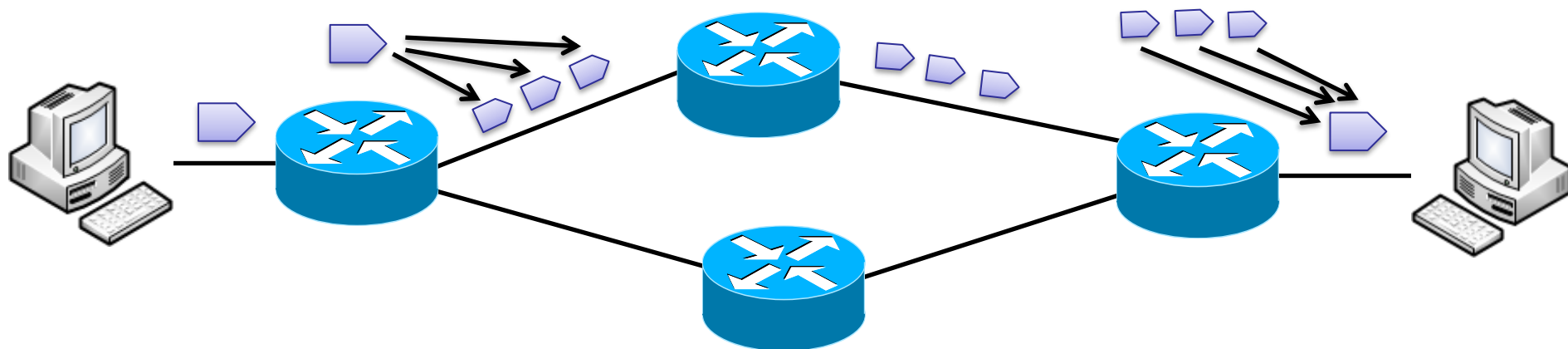


# Πεδία Επικεφαλίδας IPv4

- Type of Service:
  - Καθορίζει τον τρόπο προώθησης του πακέτου
  - Χρησιμοποιείται συχνά για την υποστήριξη διαφορετικών υπηρεσιών και την παροχή εγγυήσεων
- Identification / Flags / Fragment offset:
  - Χρησιμοποιούνται για τον τεμαχισμό των IP πακέτων
- Time-to-live (TTL):
  - Περιλαμβάνει μία τιμή που μειώνεται καθώς το πακέτο προωθείται στο Διαδίκτυο
  - Όταν η τιμή φτάσει στο 0, το πακέτο απορρίπτεται (αποτρέποντας τη συνεχή ροή πακέτων σε περίπτωση κύκλων – loops)
- Upper-layer protocol:
  - Καθορίζει το πρωτόκολλο μεταφοράς στο οποίο πρέπει να παραδοθεί το κάθε πακέτο (6 για TCP, 17 για UDP)

# Τεμαχισμός Πακέτων IP

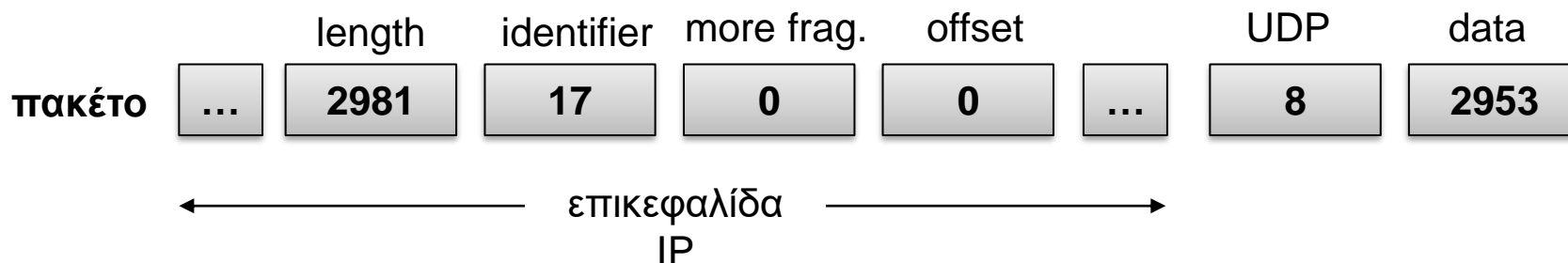
- IP πακέτα μπορεί να χρειαστεί να τεμαχιστούν για τη μεταφορά τους στο δίκτυο:
  - Ένα IP πακέτο τεμαχίζεται όταν το μέγεθός του ξεπερνά το Maximum Transmission Unit (MTU), π.χ. το MTU για το Ethernet είναι 1500 bytes
  - Το πακέτο επανασυνθέτεται στον προορισμό



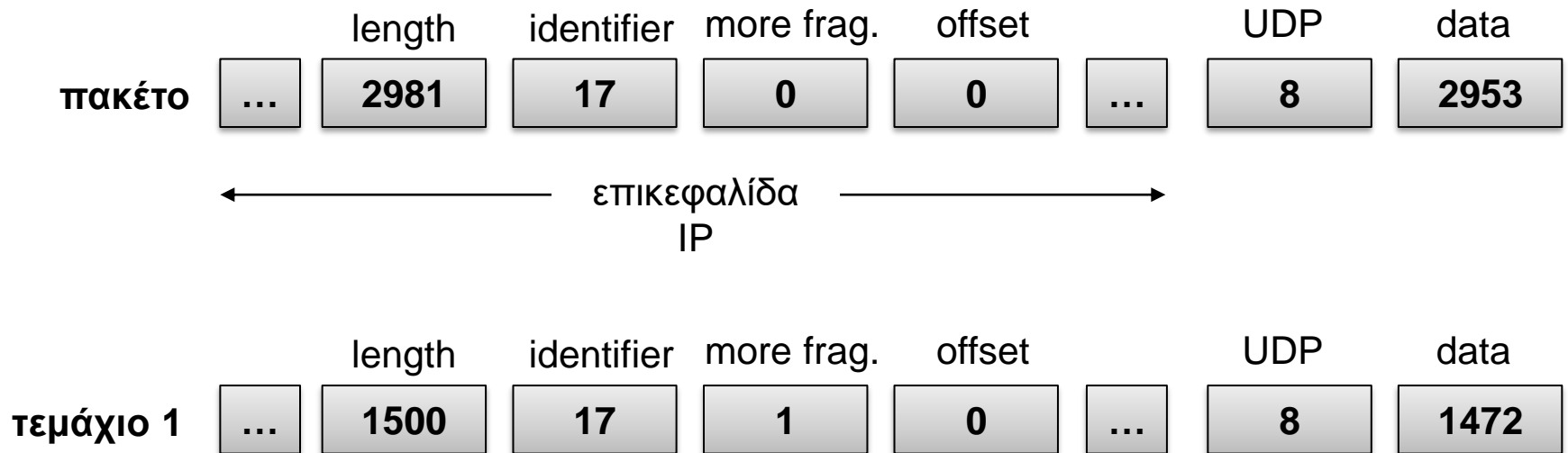
# Πεδία στην Επικεφαλίδα IP για Τεμαχισμό

- Identification:
  - μοναδικός αριθμός για κάθε IP πακέτο
  - αντιγράφεται σε κάθε τεμάχιο του πακέτου
- More fragments bit (flags):
  - Προσδιορίζει εάν ακολουθούν και άλλα τεμάχια του πακέτου
- Fragment offset:
  - Μετατόπιση του τεμαχίου από την αρχή του πακέτου σε μονάδες των 8 bytes

# Παράδειγμα Τεμαχισμού IP Πακέτων

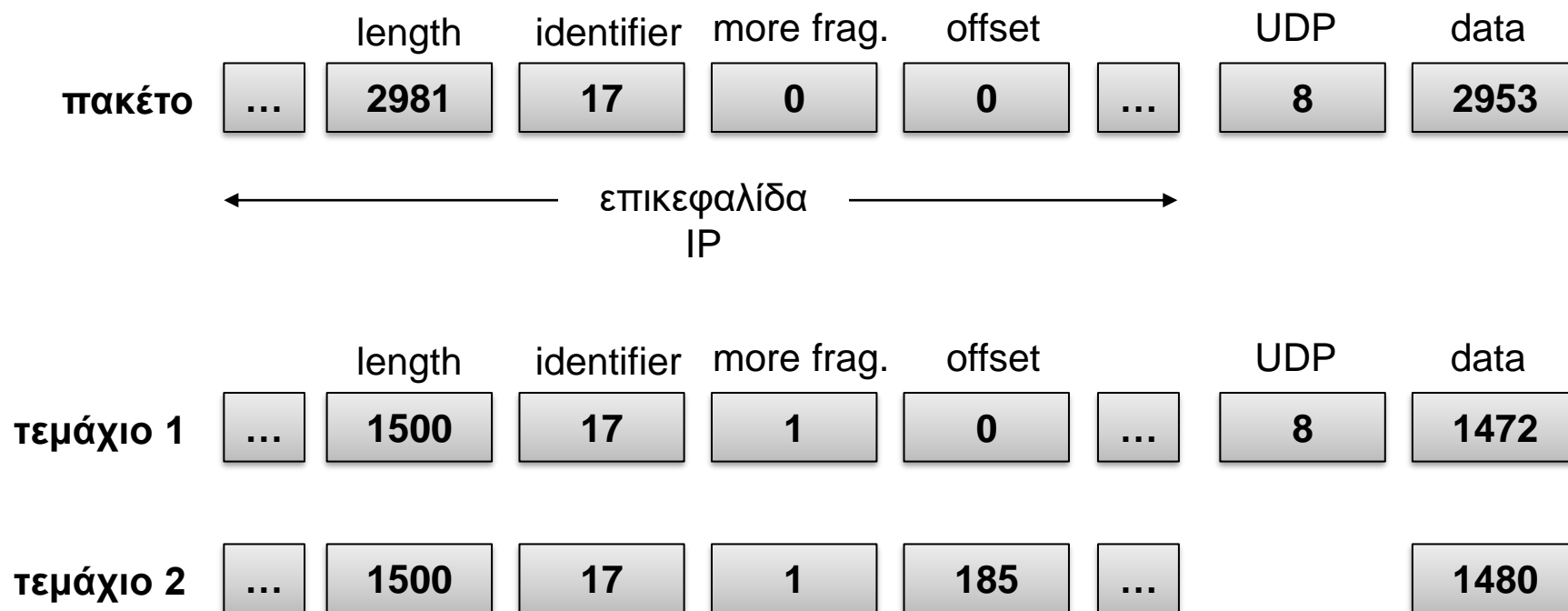


# Παράδειγμα Τεμαχισμού IP Πακέτων

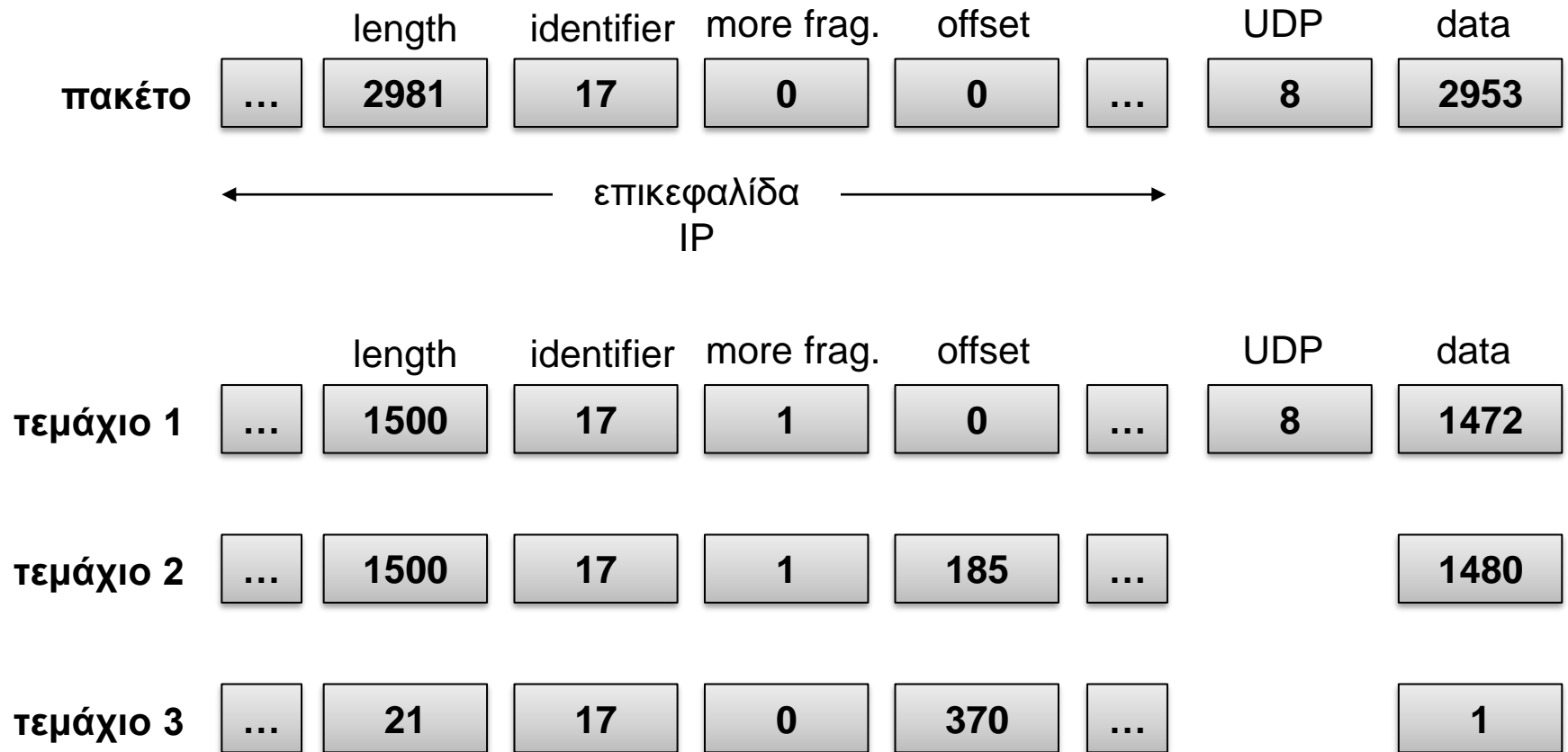




# Παράδειγμα Τεμαχισμού IP Πακέτων



# Παράδειγμα Τεμαχισμού IP Πακέτων



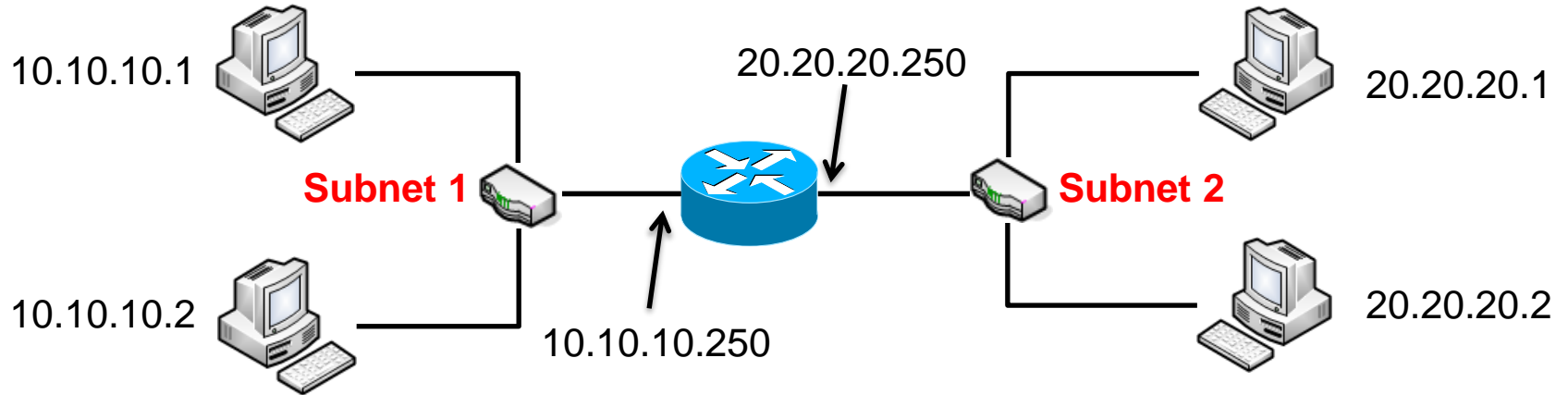
# Υποδικτύωση (Subnetting)

- Μία διεύθυνση IP διαχωρίζεται σε δύο τμήματα:
  - το τμήμα που προσδιορίζει το δίκτυο (subnet ID)
  - το τμήμα που προσδιορίζει το τερματικό στο δίκτυο (host ID)



- Υποδικτύωση:
  - Επιτρέπει την ομαδοποίηση θυρών συσκευών σε υποδίκτυα (subnets)
    - Ιεραρχικό μοντέλο: απλοποιεί τη δρομολόγηση πακέτων
  - Επικοινωνία εντός ενός subnet γίνεται απεθείας χωρίς τη χρήση δρομολογητή
  - Επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών subnets απαιτεί τη χρήση δρομολογητή

# Παράδειγμα Υποδικτύωσης



# Διευθυνσιοδότηση με Κλάσεις (1)

- Η διευθυνσιοδότηση με κλάσεις (Classful Addressing) προσδιορίζει 5 κλάσεις για την υποστήριξη δικτύων με διαφορετικό αριθμό τερματικών

	0	8	16	24	31
Class A	0	netid	hostid		
Class B	1	0	netid	hostid	
Class C	1	1	0	netid	hostid
Class D	1	1	1	0	multicast address
Class E	1	1	1	1	reserved for future use

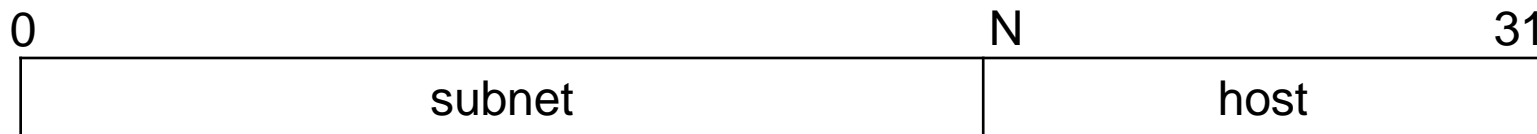
## Διευθυνσιοδότηση με Κλάσεις (2)

Κλάση	# δίκτυα	# τερματικά
A	128 ( $2^7$ )	16.777.216 ( $2^{24}$ )
B	16.384 ( $2^{14}$ )	65.536 ( $2^{16}$ )
C	2.097.152 ( $2^{21}$ )	256 ( $2^8$ )
D	μη ορισμένο	μη ορισμένο
E	μη ορισμένο	μη ορισμένο

- Τα subnets κλάσης C συνήθως δεν καλύπτουν τις ανάγκες πολλών δικτύων ενώ τα subnets κλάσης B είναι μεγάλα
  - Αποτέλεσμα: Χρήση subnets κλάσης B με ανεπαρκή αξιοποίηση του χώρου διευθύνσεών τους
- Παράδειγμα: Δίκτυο με 3000 τερματικά
  - Ένα subnet κλάσης C δεν επαρκεί
  - Αναγκαστικά η χρήση ενός subnet κλάσης B
    - Σπατάλη 62K διευθύνσεων IP

# Διευθυνσιοδότηση χωρίς Κλάσεις (CIDR)

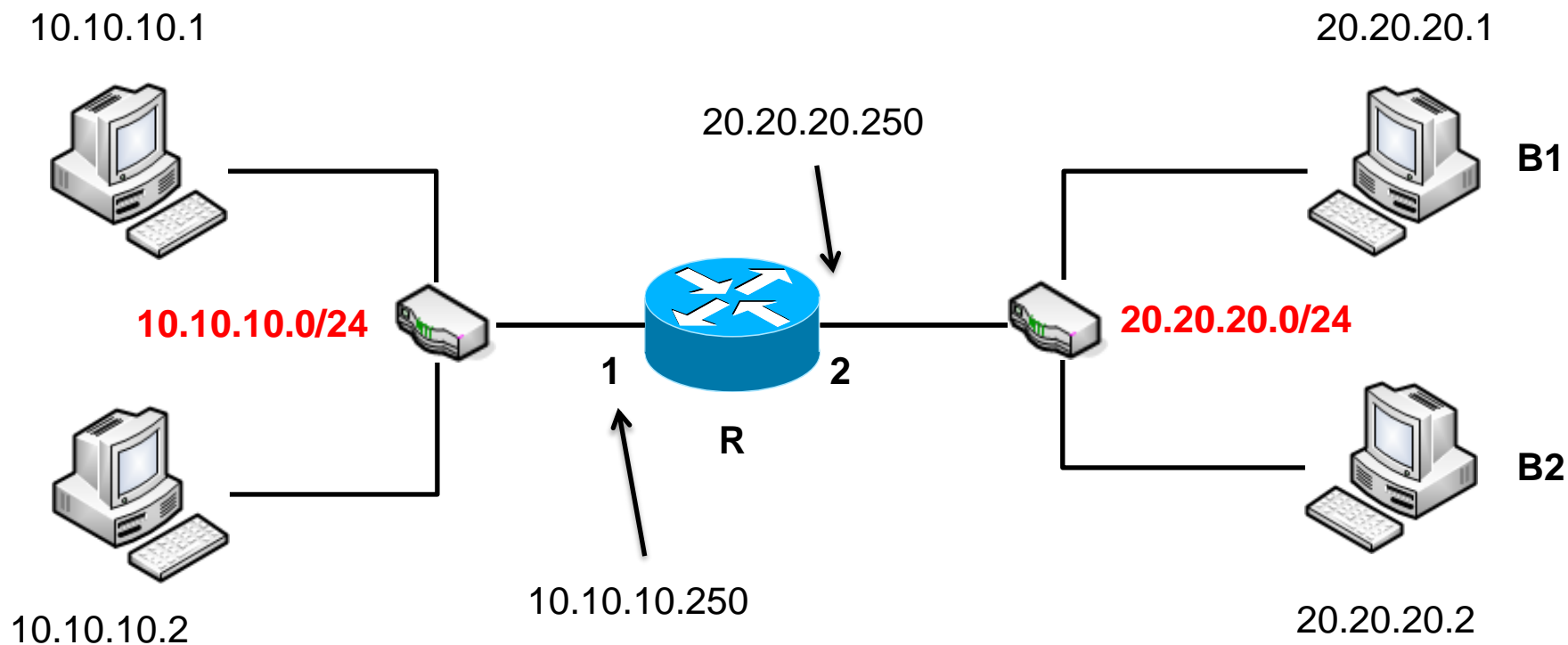
- Το CIDR αντικατέστησε τη Διευθυνσιοδότηση με Κλάσεις ώστε να επιτύχει καλύτερη αξιοποίηση του χώρου διευθύνσεων IPv4:
  - Κάθε διεύθυνση IP διαχωρίζεται στο τμήμα του subnet (το μήκος του οποίου μπορεί να οριστεί αυθαίρετα) και του τερματικού
  - Μορφή διεύθυνσης: A.B.C.D/N, όπου N είναι ο αριθμός των bits για το subnet (γνωστό και ως prefix)
  - Το /N αναφέρεται ως μάσκα υποδικτύου (Η μάσκα προκύπτει δυαδικά ορίζοντας τα N αριστερά bits σε 1 και τα υπόλοιπα 32-N bits σε 0)



- Παράδειγμα: 200.10.16.0/23 (Μάσκα υποδικτύου: 255.255.254.0)

← subnet → ← host →  
11001000 00001010 00010000 00000000

# Παράδειγμα Υποδικτύωσης με CIDR



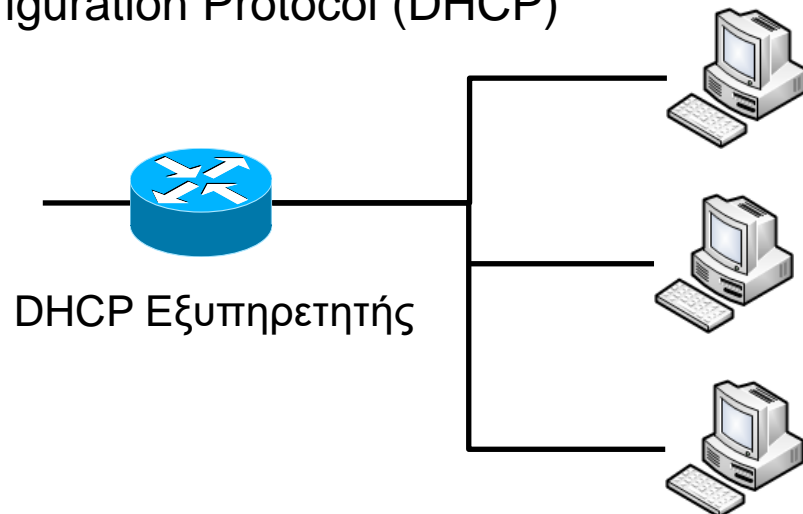


# Πλεονεκτήματα του CIDR

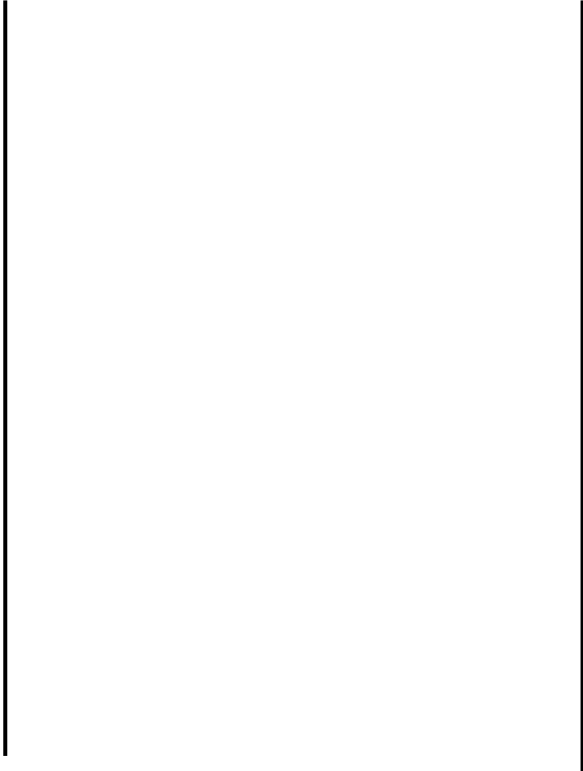
- Πιο αποτελεσματική αξιοποίηση το χώρου διευθύνσεων IP:
  - Κάθε οργανισμός δεσμεύει ακριβώς τον αριθμό διευθύνσεων IP που χρειάζεται, ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη διευθύνσεων
    - π.χ. ένας οργανισμός με 3000 τερματικά θα χρειαστεί ένα /20 subnet (4.096 τερματικά)

# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP

- Διευθύνσεις IP εκχωρούνται σε κάθε συνδρομητή από τον Πάροχο Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISP)
- Οι διευθύνσεις IP μπορούν να οριστούν στατικά ή δυναμικά:
  - **Στατική ανάθεση:** Ο διαχειριστής ορίζει σε ένα τερματικό μία διεύθυνση IP από το χώρο διευθύνσεων που του έχει εκχωρηθεί από τον Πάροχο
  - **Δυναμική ανάθεση:** Το τερματικό λαμβάνει αυτόματα μία διεύθυνση IP μέσω του Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)



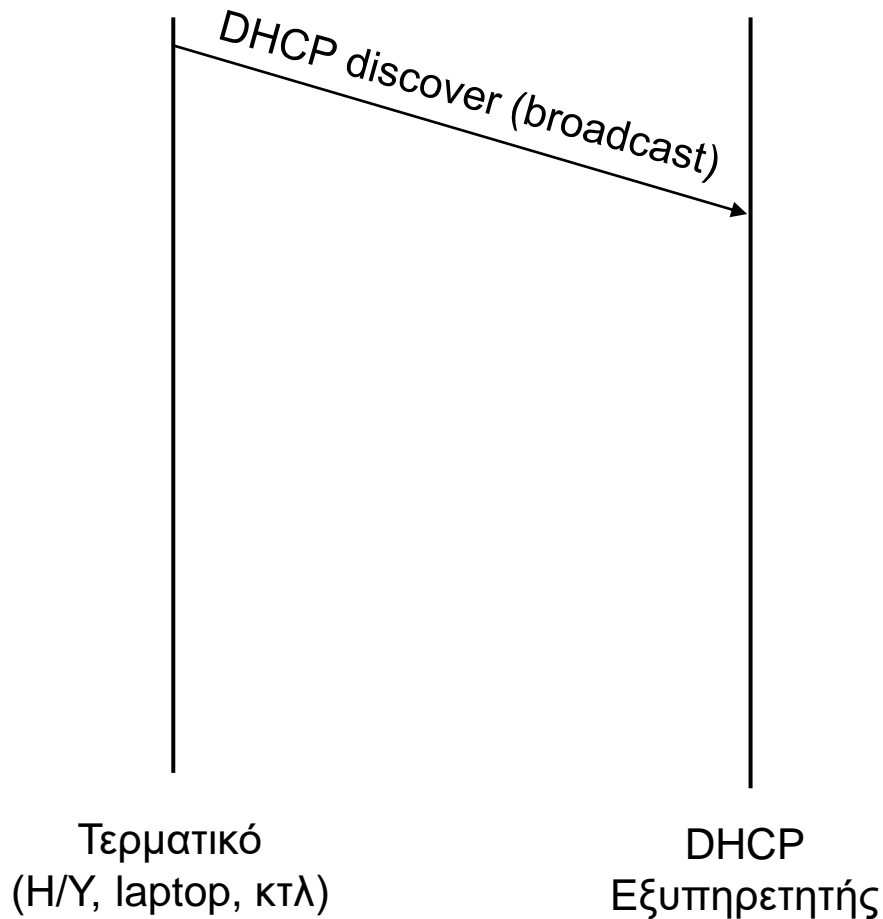
# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP με το DHCP



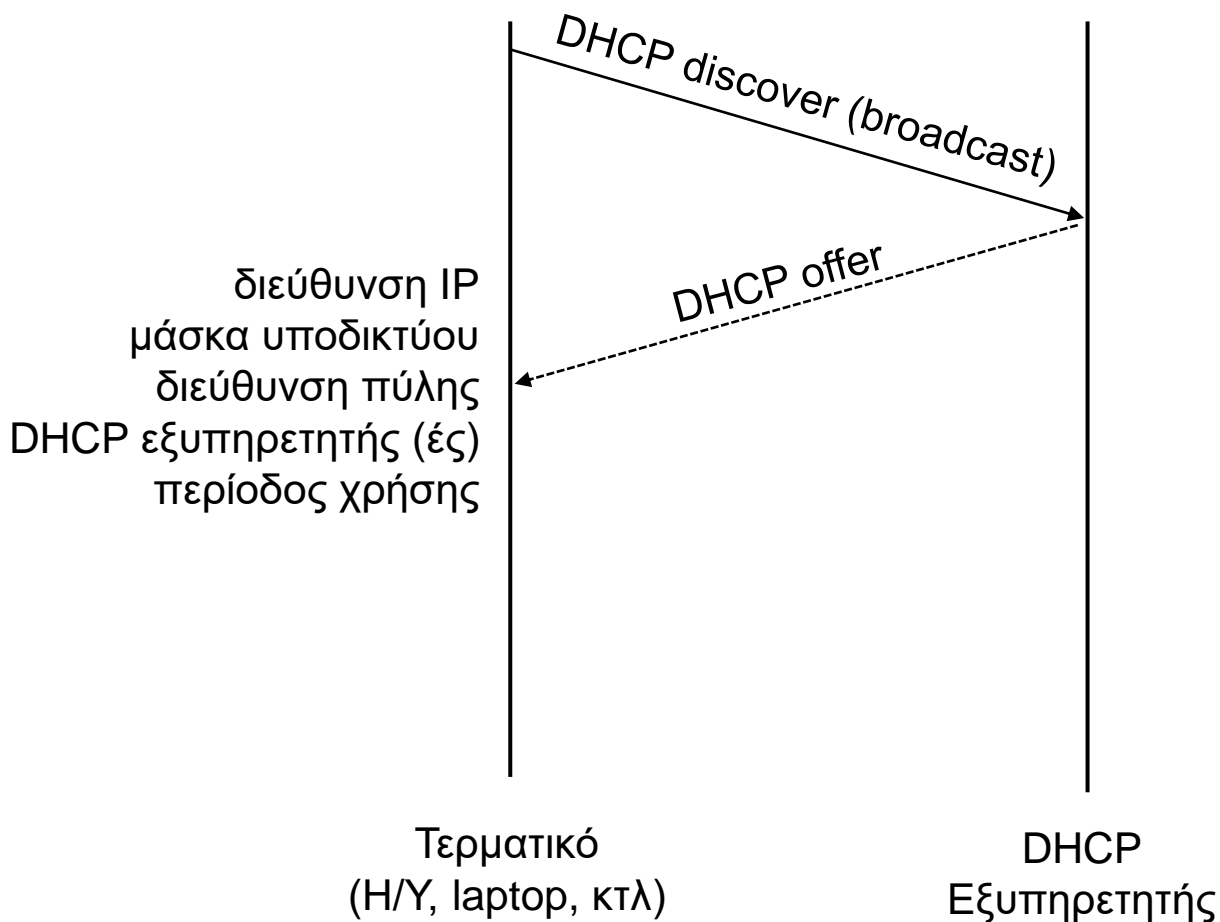
Τερματικό  
(H/Y, laptop, κτλ)

DHCP  
Εξυπηρετητής

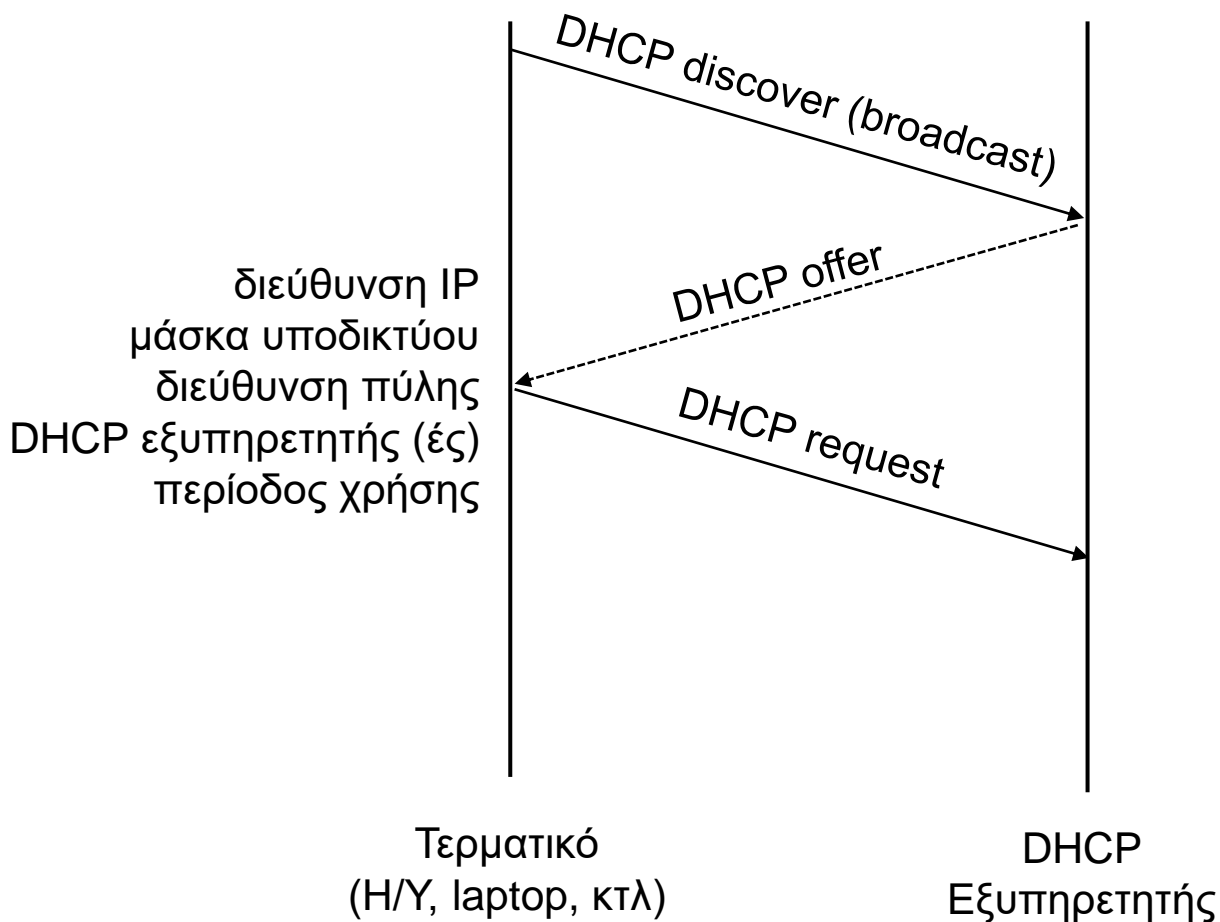
# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP με το DHCP



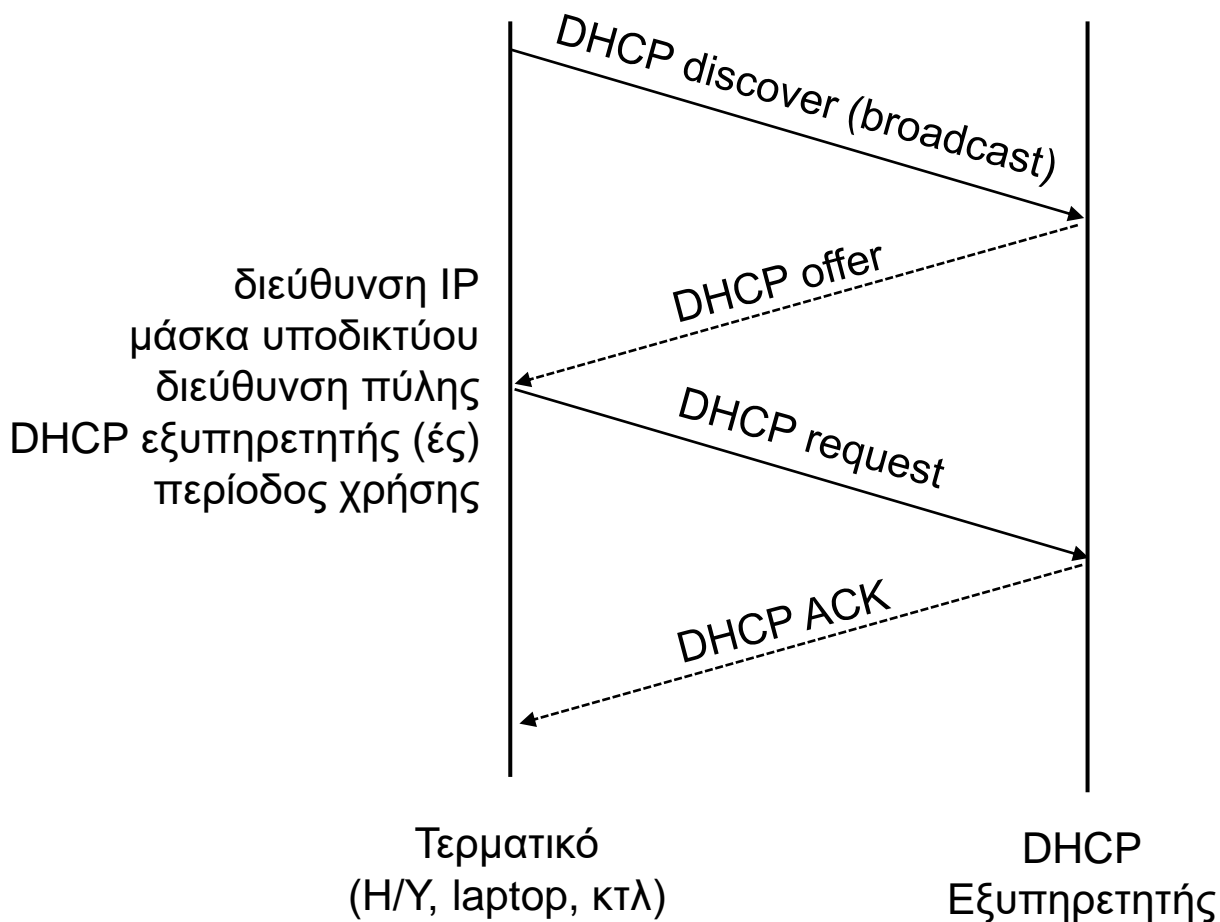
# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP με το DHCP



# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP με το DHCP



# Εκχώρηση Διευθύνσεων IP με το DHCP



# IPv6

- Το IPv6 επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε σχέση με το IPv4:
  - Περισσότερα bits (128) για κάθε διεύθυνση IP (IPv4: 32 bits)
    - Ο χώρος διευθύνσεων IPv4 έχει ήδη εξαντληθεί
- Το IPv6 δεν παρέχει υποστήριξη για τις παρακάτω λειτουργίες (στη βασική επικεφαλίδα):
  - Τεμαχισμό και επανασύνθεση πακέτων (από δρομολογητές κατά μήκος της διαδρομής)
  - Υπολογισμό του checksum



# Επικεφαλίδα IPv6

← 32 bits →

40 bytes

Protocol version	Traffic class	Flow label		
Payload length			Next header	Hop limit
Source IP address (128 bits)				
Destination IP address (128 bits)				
Data				

# Internet Control Message Protocol (ICMP)

- Το ICMP μεταδίδει δεδομένα πάνω από το IP και χρησιμοποιείται συνήθως για την αποστολή μηνυμάτων ασφαλών
- Ένα μήνυμα ICMP περιλαμβάνει τα πεδία type και value, και στην περίπτωση σφάλματος τα πρώτα 8 bytes του πακέτου που προκάλεσε το σφάλμα

type	value	code
0	0	echo reply (ping)
3	1	destination host unreachable
3	2	destination protocol unreachable
3	3	destination port unreachable
8	0	echo request (ping)
11	0	TTL expired
12	0	bad IP header

Ερωτήσεις