

# Το στρώμα δικτύου

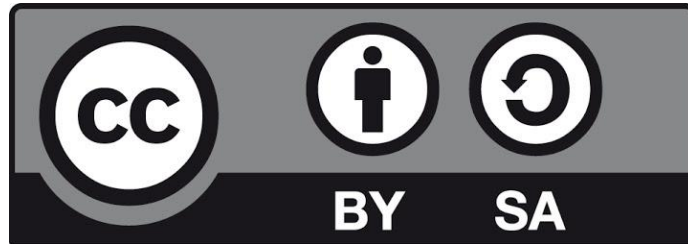
---

Εισηγητής: Χρήστος Δαλαμάγκας

[cdalamagkas@gmail.com](mailto:cdalamagkas@gmail.com)

# Άδεια χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στη διεθνή άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



# 7 Layers of the OSI Model

## Application

- End User layer
- HTTP, FTP, IRC, SSH, DNS

## Presentation

- Syntax layer
- SSL, SSH, IMAP, FTP, MPEG, JPEG

## Session

- Synch & send to port
- API's, Sockets, WinSock

## Transport

- End-to-end connections
- TCP, UDP

## Network

- Packets
- IP, ICMP, IPSec, IGMP

## Data Link

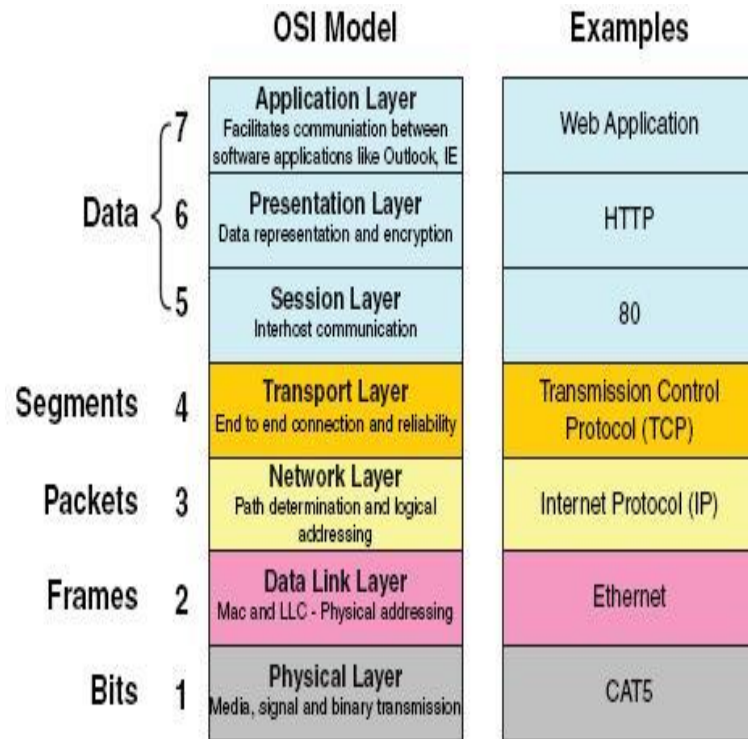
- Frames
- Ethernet, PPP, Switch, Bridge

## Physical

- Physical structure
- Coax, Fiber, Wireless, Hubs, Repeaters

# Το στρώμα δικτύου (network layer)

- Το στρώμα δικτύου στο TCP/IP ταυτίζεται με αυτό του OSI
- Σκοπός του είναι να παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων μεταξύ διαφορετικών broadcast domain
- Γνωστά πρωτόκολλα σε αυτό το στρώμα:
  - IPv4
  - IPv6



# Λειτουργίες στρώματος δικτύου (NETWORK / L3)

- Οι τομείς ευρυεκπομπής δεν μπορούν να έχουν απεριόριστο μέγεθος
  - Πολλά μηνύματα ευρυεκπομπής μπορούν να επιβαρύνουν ένα δίκτυο
- Ανάγκη για ύπαρξη διαφορετικών ειδών δικτύων
  - Τοπικά δίκτυα LAN σε διαφορετικές περιοχές
  - Δίκτυα WAN
  - Διαδίκτυο
- Ανάγκη για φιλτράρισμα δεδομένων μεταξύ δικτύων
- Το επίπεδο δικτύου βάζει όρια στο μέγεθος ενός τομέα ευρυεκπομπής/δικτύου

# Λειτουργίες στρώματος δικτύου (NETWORK / L3)

- Κάθε τομέας ευρυεκπομπής/δίκτυο έχει μια μοναδική λογική διεύθυνση δικτύου IP (network address)
- Το στρώμα δικτύου χρησιμοποιεί αυτές τις διευθύνσεις για να δρομολογήσει πακέτα μεταξύ διαφορετικών δικτύων
  - Κάθε υπολογιστής σε ένα δίκτυο αποκτά μια δική του διεύθυνση IIP υπολογιστή
  - Οι διευθύνσεις δικτύου (IP) επιτρέπουν σε υπολογιστές που ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους
  - Οι εφαρμογές/προγράμματα χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις IP για να «μιλήσουν» μεταξύ τους
  - Οι διευθύνσεις IP κάνουν το σημερινό Διαδίκτυο

# Συνοπτικά για το IP..

- Κύριο συστατικό του Διαδικτύου
- Διασυνδέει συσκευές IP
  - χρησιμοποιώντας διευθύνσεις IP
- Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση
- Μη συνδεσμοστραφές (connectionless)
- Best-effort / Χωρίς δυνατότητα ανάκτησης απολεσθέντων πακέτων
- Ανεξάρτητη αντιμετώπιση των πακέτων
- «Ελαφρύ» σε επιβαρύνσεις (overhead)
- Ανεξάρτητο από το μέσο μετάδοσης

# Ενθυλάκωση



**Αποστολέας:** Από Application layer προς Link Layer

**Παραλήπτης:** Από Link Layer προς Application Layer



# Διευθύνσεις IPv4

---

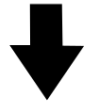
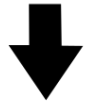
# Το πρωτόκολλο IPv4

- Ένα από τα κυριότερα πρότυπα του σημερινού Διαδικτύου
- Ξεκίνησε το 1983 από το ARPANET, προπομπός του πρωτοκόλλου IP (Bob Kahn, Vint Cerf)
- Ορίζεται στο RFC 791
- Στο IPv4, κάθε διεύθυνση έχει μήκος 32 bit στο δυαδικό σύστημα
  - Για λόγους ευκολίας στον χειρισμό, χωρίζουμε τα 32 bit σε ομάδες των 8 bit.
  - Κάθε ομάδα των 8 bit μετατρέπεται στο δεκαδικό σύστημα
  - Οι ομάδες χωρίζονται μεταξύ τους με τελείες

<b>10101100</b>	<b>00001111</b>	<b>00000010</b>	<b>00000101</b>
172	15	2	5

IPv4 address in dotted-decimal notation

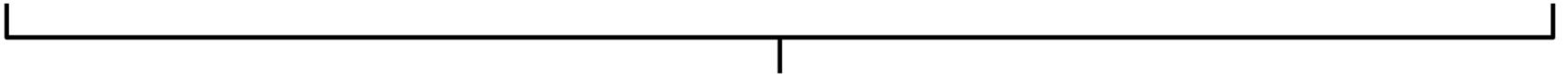
**172 . 16 . 254 . 1**



10101100 . 00010000 . 11111110 . 00000001



8 bits



32 bits (4 bytes)

# Είδη διευθύνσεων IP

- Διεύθυνση ευρυεκπομπής (**limited broadcast**)
  - Έτσι ονομάζεται η διεύθυνση 255.255.255.255
  - Πακέτο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού μεταφράζεται στη διεύθυνση MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF
- Διεύθυνση πολυδιανομής (**multicast**)
  - Πακέτο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού λαμβάνεται από πολλούς κόμβους ταυτόχρονα
  - Δίκτυα πολυδιανομής υλοποιούνται από παρόχους περιεχομένου (πχ IPTV)
- Διεύθυνση μονοεκπομπής (**unicast**)
  - Αντιστοιχίζεται σε μια φυσική (ή εικονική) διεπαφή
  - Πακέτο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού αφορά μόνο τον κόμβο που έχει διεπαφή με τη συγκεκριμένη διεύθυνση IP

# Ειδικές διευθύνσεις IP

- **127.0.0.1** (loopback)

Η διεύθυνση loopback είναι μια ειδική διεύθυνση που «δείχνει» στον ίδιο τον υπολογιστή. Δεν είναι δρομολογίσιμη.

- **0.0.0.0**






Η διεύθυνση αυτή είναι ειδικού σκοπού, η σημασία της μπορεί να διαφέρει στις διάφορες εφαρμογές. Γενικά, η 0.0.0.0 σημαίνει «όλες οι διευθύνσεις IP».

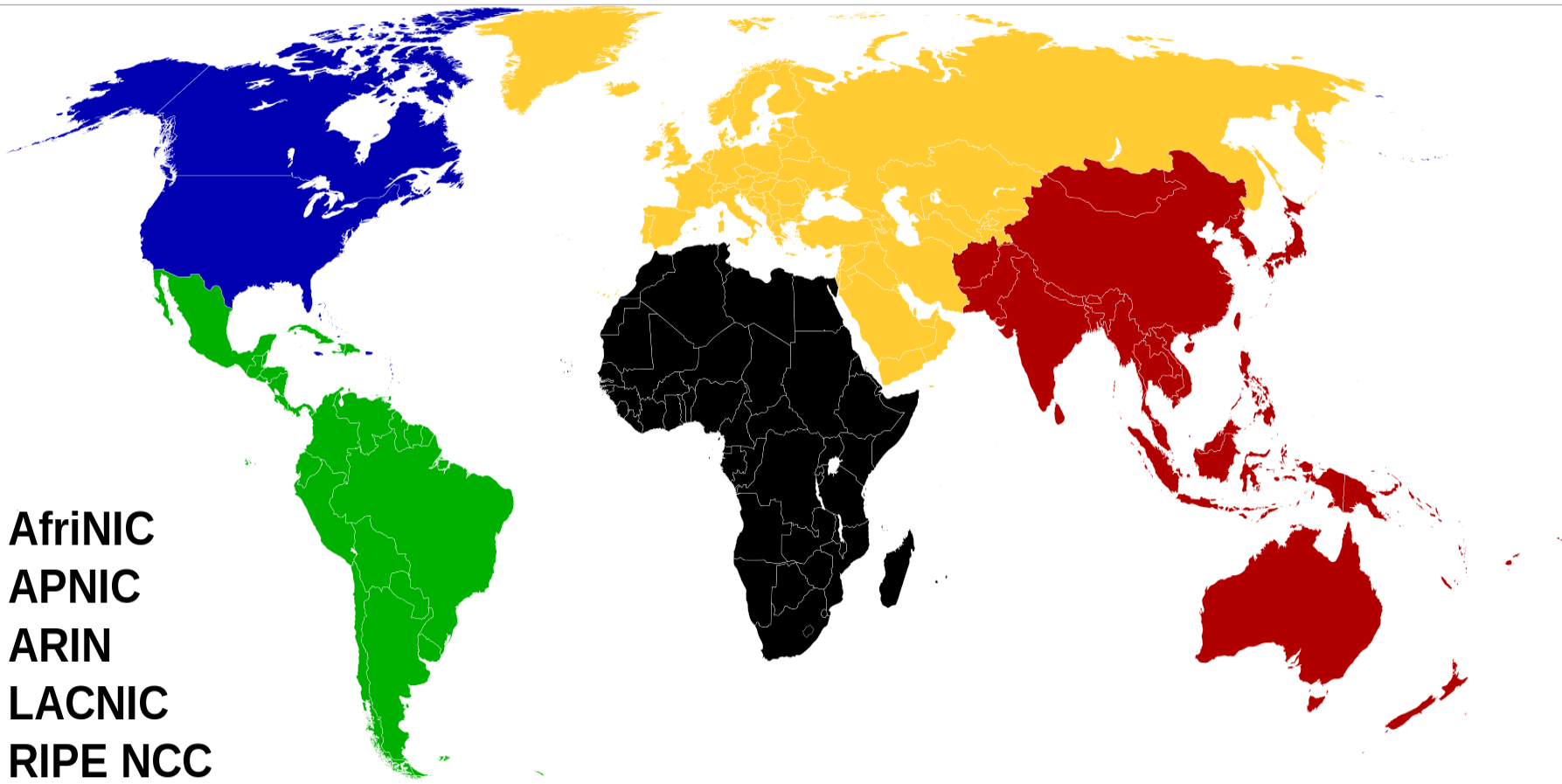
# Διευθύνσεις μονοεκπομπής

- Σε κάθε φυσική διεπαφή ενός κόμβου που θέλει να επικοινωνήσει με άλλους υπολογιστές, ανατίθεται μια διεύθυνση IP
- Κόμβος με πολλές δικτυακές διεπαφές έχει πολλές διευθύνσεις IP
- Συνήθως οι υπολογιστές έχουν μια φυσική διεπαφή, άρα και διεύθυνση IP
- Συσσκευές που δρομολογούν πακέτα (δρομολογητές) έχουν παραπάνω από μια διεύθυνση IP
- Κάθε διεύθυνση μονοεκπομπής αντιστοιχίζεται σε μια διεύθυνση MAC
- Με το πρωτόκολλο ARP μπορεί μια συσκευή να μάθει τη διεύθυνση MAC, γνωρίζοντας μόνο τη διεύθυνση IP

# Δημόσιες διευθύνσεις μονοεκπομπής

- Μια διεύθυνση IP μπορεί να είναι:
  - Δημόσια
  - Ιδιωτική
- Ένας κόμβος για να επικοινωνήσει με έναν άλλον μέσω Διαδικτύου, πρέπει να χρησιμοποιήσει μια δημόσια διεύθυνση IP
- Ομάδες (μπλόκ) δημοσίων διευθύνσεων IP ανατίθενται από τον παγκόσμιο οργανισμό IANA σε οργανισμούς RIR που καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές
- Οι RIR αναθέτουν μπλοκ διευθύνσεων σε Παρόχους Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISP)

-  **AfriNIC**
-  **APNIC**
-  **ARIN**
-  **LACNIC**
-  **RIPE NCC**





# Ιδιωτικές διευθύνσεις IP

- Οι διαθέσιμες διευθύνσεις IP είναι περίπου 4 δις, μη επαρκείς πλέον
  - Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εξοικονόμησης διευθύνσεων IP
- Ένας τρόπος εξοικονόμησης διευθύνσεων IP είναι να επαναχρησιμοποιούμε τα ίδια μπλοκ διευθύνσεων σε δίκτυα που δεν επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους
  - Για να «βγουν» αυτά τα τοπικά δίκτυα στο Διαδίκτυο, μπορούν να «δανείζονται» δημόσιες διευθύνσεις IP ή πολλοί υπολογιστές να «μοιράζονται» την ίδια διεύθυνση IP
  - Ο παραπάνω μηχανισμός υλοποιείται με το NAT (Network Address Translation)
- Έχουν δεσμευτεί 3 ομάδες διευθύνσεων για χρήση σε τοπικά δίκτυα (RFC 1918)

## Οι ιδιωτικές διευθύνσεις (RFC 1918)

Κλάση	Πρώτη διεύθυνση IP	Τελευταία διεύθυνση IP	Πλήθος διευθύνσεων
A	10.0.0.0	10.255.255.255	16,777,216
B	172.16.0.0	172.31.255.255	1,048,576
C	192.168.0.0	192.168.255.255	65,536

# Ανατομία διεύθυνσης IP

- Η διεύθυνση IP αποτελείται από δυο τμήματα
  - Τμήμα δικτύου (network portion)
  - Τμήμα ξενιστών (host portion)
- Το τμήμα δικτύου είναι το αναγνωριστικό του τομέα ευρυεκπομπής
  - Δυο υπολογιστές με το ίδιο τμήμα δικτύου ανήκουν στο ίδιο δίκτυο!
- Το τμήμα ξενιστών αναγνωρίζει μοναδικά έναν υπολογιστή μέσα σε έναν τομέα ευρυεκπομπής που προσδιορίζεται από το τμήμα δικτύου
  - Απαγορεύεται δυο υπολογιστές να έχουν το ίδιο τμήμα ξενιστών μέσα στο ίδιο δίκτυο!

# Ανατομία διεύθυνσης IP - Παράδειγμα

- Έστω οι κάτωθι διευθύνσεις IP:
  - Διεύθυνση A: **192.164.23.1**
  - Διεύθυνση B: **192.164.48.6**
- Έστω ότι θεωρούμε πως τα πρώτα 16 bit ανήκουν στο τμήμα δικτύου
  - Τμήμα δικτύου A: 192.164.0.0
  - Τμήμα δικτύου B: 192.164.0.0
  - Οι δυο διευθύνσεις ανήκουν στο ίδιο δίκτυο
- Έστω ότι θεωρούμε πως τα πρώτα 21 bit ανήκουν στο τμήμα δικτύου
  - Τμήμα δικτύου A: **192.164.16.0**
  - Τμήμα δικτύου B: **192.164.48.0**
  - Οι διευθύνσεις ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα!

# Ταξική διευθυνσιοδότηση

- Πώς ξέρουμε ποιο είναι το μήκος του τμήματος δικτύου;
- Αρχικά, είχαμε τις κλάσεις
- Ανάλογα με τον συνδυασμό bit με τον οποίο ξεκινούσε μια διεύθυνση IP, κατευθείαν γνωρίζαμε το μήκος του τμήματος δικτύου

Κλάση	Εύρος διευθύνσεων	Πρώτα bit	Μήκος τμήματος δικτύου
A	0.0.0.0 to 127.255.255.255	0	8 bit
B	128.0.0.0 to 191.255.255.255	10	16 bit
C	192.0.0.0 to 223.255.255.255	110	24 bit

# Αταξική διευθυνσιοδότηση

- Η ταξική διευθυνσιοδότηση οδηγεί σε κατασπατάληση διευθύνσεων
- Με την τεχνική αταξικής διευθυνσιοδότησης (CIDR), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε μήκος για τμήμα δικτύου
  - Χρειάζεται, ωστόσο, η διεύθυνση IP να συνοδεύεται από τη **μάσκα υποδικτύου** (subnet mask)
- Η μάσκα είναι ένας αριθμός 32 bit, με πλήθος άσων όσο το μήκος του τμήματος δικτύου
- *Εφαρμόζοντας την πράξη AND μεταξύ διεύθυνσης IP και μάσκας μπορούμε να εξάγουμε τη διεύθυνση δικτύου*

ss	Address	# of Hosts	Netmask (Binary)	Netmask (Decimal)
CIDR	/4	240,435,456	11110000 00000000 00000000 00000000	240.0.0.0
CIDR	/5	134,217,728	11111000 00000000 00000000 00000000	248.0.0.0
CIDR	/6	67,108,864	11111100 00000000 00000000 00000000	252.0.0.0
CIDR	/7	33,554,432	11111110 00000000 00000000 00000000	254.0.0.0
<b>A</b>	<b>/8</b>	<b>16,777,216</b>	<b>11111111 00000000 00000000 00000000</b>	<b>255.0.0.0</b>
CIDR	/9	8,388,608	11111111 10000000 00000000 00000000	255.128.0.0
CIDR	/10	4,194,304	11111111 11000000 00000000 00000000	255.192.0.0
CIDR	/11	2,097,152	11111111 11100000 00000000 00000000	255.224.0.0
CIDR	/12	1,048,576	11111111 11110000 00000000 00000000	255.240.0.0
CIDR	/13	524,288	11111111 11111000 00000000 00000000	255.248.0.0
CIDR	/14	262,144	11111111 11111100 00000000 00000000	255.252.0.0
CIDR	/15	131,072	11111111 11111110 00000000 00000000	255.254.0.0
<b>B</b>	<b>/16</b>	<b>65,534</b>	<b>11111111 11111111 00000000 00000000</b>	<b>255.255.0.0</b>
CIDR	/17	32,768	11111111 11111111 10000000 00000000	255.255.128.0
CIDR	/18	16,384	11111111 11111111 11000000 00000000	255.255.192.0
CIDR	/19	8,192	11111111 11111111 11100000 00000000	255.255.224.0
CIDR	/20	4,096	11111111 11111111 11110000 00000000	255.255.240.0
CIDR	/21	2,048	11111111 11111111 11111000 00000000	255.255.248.0
CIDR	/22	1,024	11111111 11111111 11111100 00000000	255.255.252.0
CIDR	/23	512	11111111 11111111 11111110 00000000	255.255.254.0
<b>C</b>	<b>/24</b>	<b>256</b>	<b>11111111 11111111 11111111 00000000</b>	<b>255.255.255.0</b>
CIDR	/25	128	11111111 11111111 11111111 10000000	255.255.255.128
CIDR	/26	64	11111111 11111111 11111111 11000000	255.255.255.192
CIDR	/27	32	11111111 11111111 11111111 11100000	255.255.255.224
CIDR	/28	16	11111111 11111111 11111111 11110000	255.255.255.240
CIDR	/29	8	11111111 11111111 11111111 11111000	255.255.255.248
CIDR	/30	4	11111111 11111111 11111111 11111100	255.255.255.252

# Παράδειγμα μάσκας υποδικτύου

Διεύθυνση IP: 146.37.56.10

Μάσκα υποδικτύου: 255.255.224.0



**Σχήμα 1:** Πως η μάσκα δικτύου διαχωρίζει τα τμήματα μιας διεύθυνσης IP



Πρόβλημα	Διαδικασία υπολογισμού
Μάσκα αναπλήρωσης (wildcard mask)	Λογικό NOT στη μάσκα υποδικτύου.
Διεύθυνση δικτύου	Λογικό AND της μάσκας υποδικτύου με τη διεύθυνση IP ή Από διεύθυνση IP: 0 σε όλο το τμήμα ξενιστών.
Διεύθυνση ευρυεκπομπής	Λογικό OR της μάσκας αναπλήρωσης με τη διεύθυνση IP ή Από διεύθυνση IP: 1 σε όλο το τμήμα ξενιστών.
Πρώτη ωφέλιμη διεύθυνση IP	+1 bit στη διεύθυνση δικτύου.
Τελευταία ωφέλιμη διεύθυνση IP	-1 bit από τη διεύθυνση ευρυεκπομπής.
Μήκος προθέματος δικτύου	Πλήθος των 1 στη μάσκα υποδικτύου, δηλαδή $255.255.255.0 = /24$ .
Πλήθος ξενιστών ενός δικτύου	$2^h - 2$ , όπου $h$ το πλήθος bit του τμήματος ξενιστών.

**Πίνακας 3:** Χρήσιμοι υπολογισμοί με τις μάσκες υποδικτύου/αναπλήρωσης.

# Memo

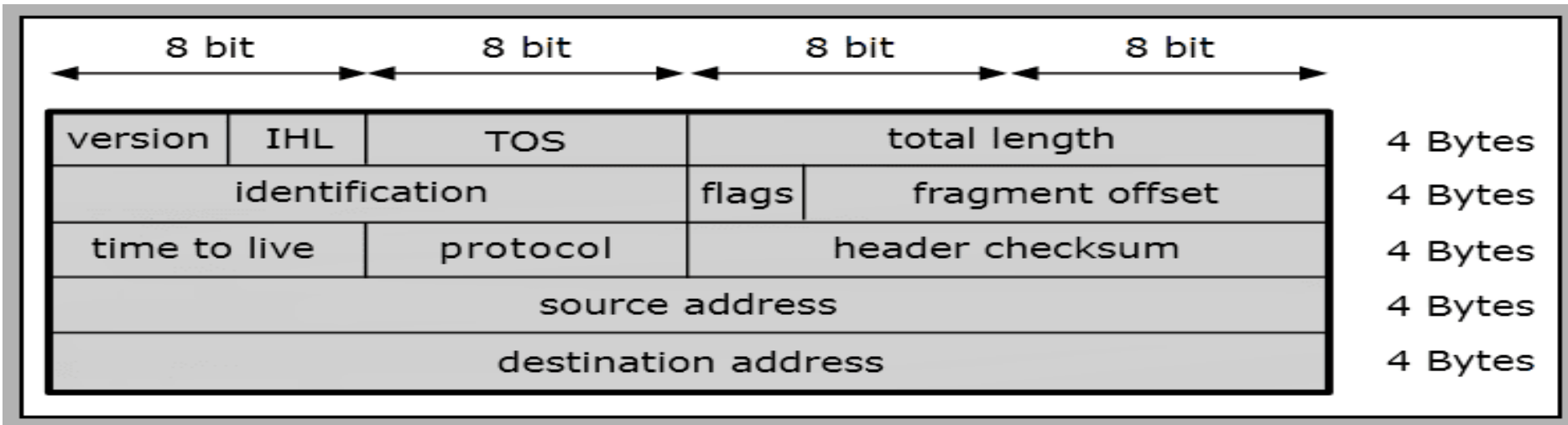
Ψηφία	Αριθμήσιμα Αντικείμενα	
1	$2^1$	2
2	$2^2$	4
3	$2^3$	8
4	$2^4$	16
5	$2^5$	32
6	$2^6$	64
7	$2^7$	128
8	$2^8$	256

Αριθμός Άσων	Δυαδικός	Δεκαδικός
0	00000000	0
1	10000000	128
2	11000000	192
3	11100000	224
4	11110000	240
5	11111000	248
6	11111100	252
7	11111110	254
8	11111111	255

# Η κεφαλίδα IP

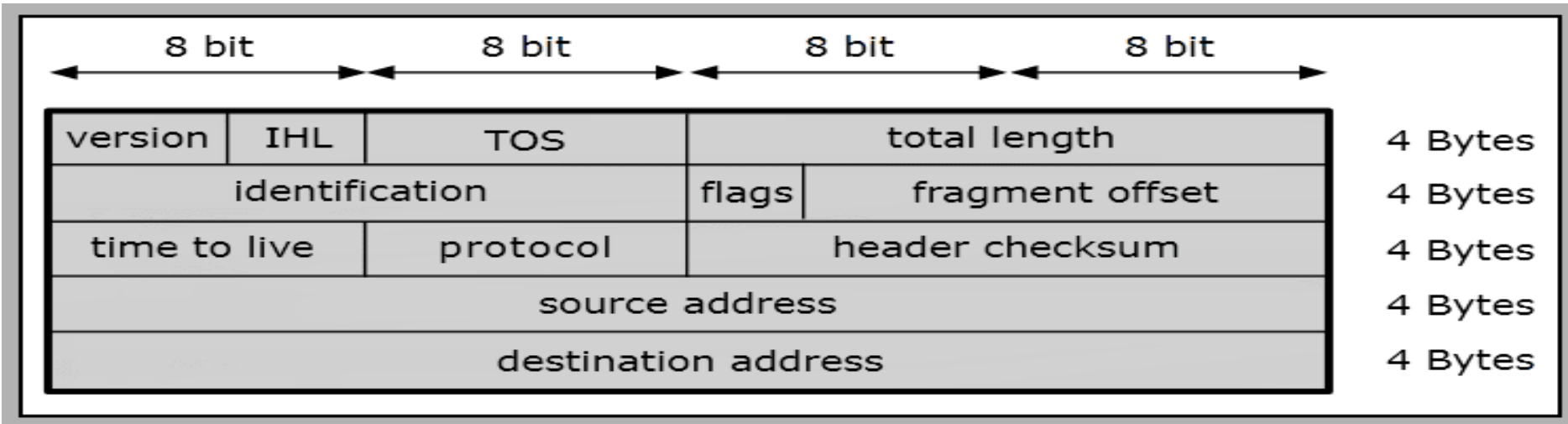
---

# Η κεφαλίδα IPv4



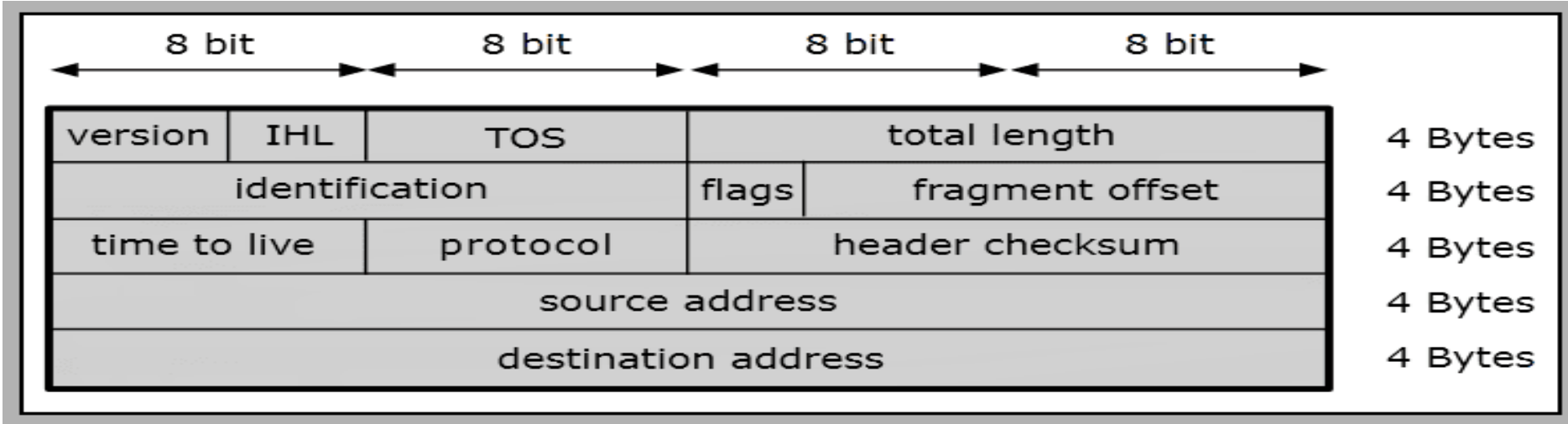
- **Version:** Η έκδοση IP (IPV4 ή IPV6)
- Internet Header Length (**IHL**): Μήκος της κεφαλίδας. Μπορεί η κεφαλίδα να είναι παραπάνω από 20 byte.
- Type of Service (**ToS**): Χρησιμοποιείται για σήμανση ποιότητας υπηρεσιών

# Η κεφαλίδα IPv4



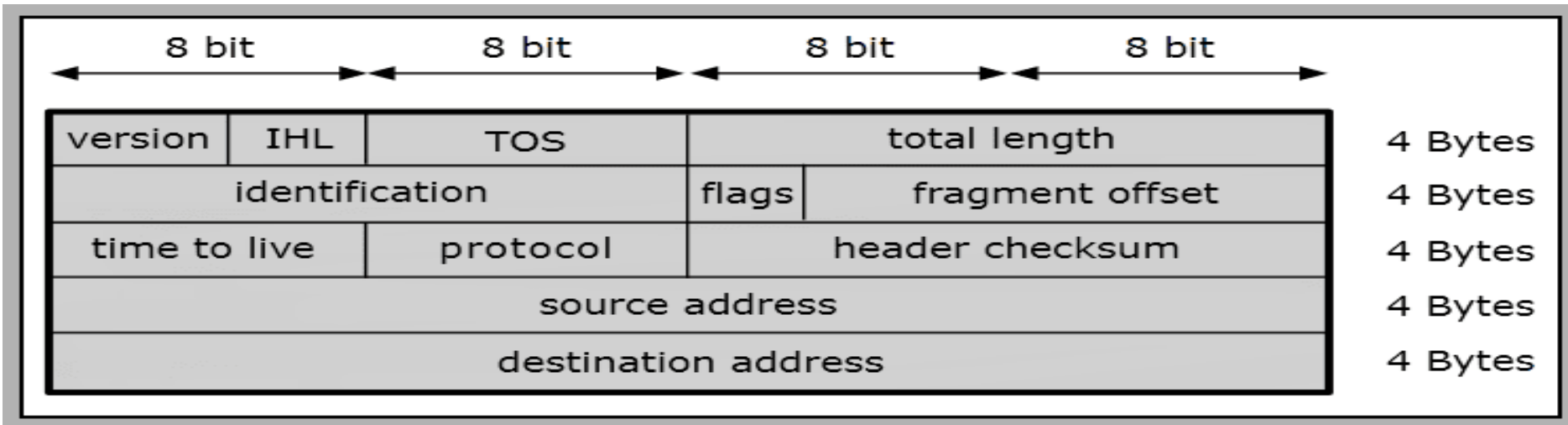
- **Total length:** Συνολικό μήκος πακέτου IP μαζί με την κεφαλίδα (20-65536 byte)
- **Identification:** Χρησιμοποιείται για αναγνώριση πακέτων IP, σε περίπτωση που έχουν υποστεί τεμαχισμό.
- **Flags:** Τρία πεδία των 1 bit. Η πρώτη σημαία είναι πάντα 0, η δεύτερη (DF) είναι 1 όταν θέλουμε να ειδοποιήσουμε πως το πακέτο δεν πρέπει να τεμαχιστεί, η Τρίτη (MF) υποδηλώνει πως ακολουθούν κι άλλα τεμάχια ενός τεμαχισμένου πακέτου

# Η κεφαλίδα IPv4



- **Fragment offset:** Προσδιορίζει την μετατόπιση σε byte με αναφορά την αρχή του πρωτότυπου μη τεμαχισμένου πακέτου
- **Time to live (TTL):** Δείχνει τη διάρκεια ζωής ενός πακέτου, μειώνεται κατά 1 για κάθε άλμα που κάνει ένα πακέτο

# Η κεφαλίδα IPv4



- **Protocol:** Αναγνωριστικό για το πρωτόκολλο L4 που ακολουθεί στο payload του πακέτου
- **Header checksum:** Χρησιμοποιείται για έλεγχο σφαλμάτων
- **Source/destination address:** Η διεύθυνση IP αποστολέα και παραλήπτη

# Συσκευές στο στρώμα IP

---



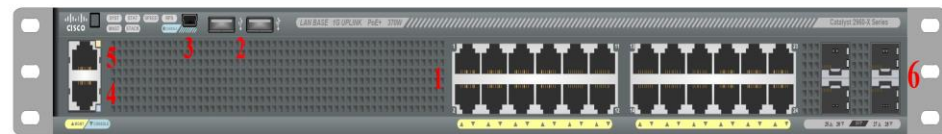
# Δρομολογητής (router)



- Τρεις βασικοί ρόλοι:
  - Διασυνδέει δίκτυα
  - Επιλέγει μονοπάτια
  - Προωθεί τα πακέτα προς τον προορισμό τους
- Κάθε διεπαφή του δρομολογητή ανήκει σε διαφορετικό τομέα ευρυεκπομπής
- Συνήθως ο δρομολογητής ενσωματώνει κι άλλες συσκευές ως επεκτάσεις (modules): VDSL modem, WiFi adapter κλπ



## 1.1 Cisco Catalyst 2960-X

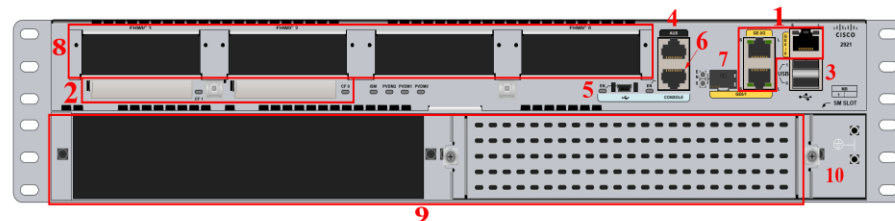


Σχήμα 1: Ο μεταγωγέας Cisco Catalyst 2960-X

Οι 2 μεταγωγείς Cisco Catalyst 2960-X του εργαστηρίου (πλήρης ονομασία: WS-C2960X-24PS-L) αποτελούνται από τις εξής διεπαφές:

1. x24 θύρες Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps) με υποστήριξη PoE+
2. x2 θύρες USB τύπου A
3. x1 θύρα κονσόλας USB mini-B
4. x1 θύρα κονσόλας RJ-45
5. x1 θύρα MGMT Fast Ethernet
6. x4 θύρες SFP ανόδου με υποστήριξη Gigabit

## 2.1 Cisco 2921 Integrated Services Router



Σχήμα 3: Ο δρομολογητής Cisco 2921 Integrated Services

Οι δρομολογητές Cisco 2921 Integrated Services (ISR) αποτελούνται από τις εξής διεπαφές:

1. x3 θύρες Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)
2. x2 υποδοχές αποθήκευσης CompactFlash
3. x2 θύρες USB τύπου A
4. x1 θύρα Auxiliary (AUX) RJ-45
5. x1 Θύρα κονσόλας USB mini-B
6. x1 Θύρα κονσόλας RJ-45
7. x1 θύρα SFP
8. x4 υποδοχές Cisco Enhanced High-Speed WAN Interface Cards (EHWIC)
9. x2 υποδοχές μονάδων υπηρεσιών (service module slots)
10. Γείωση

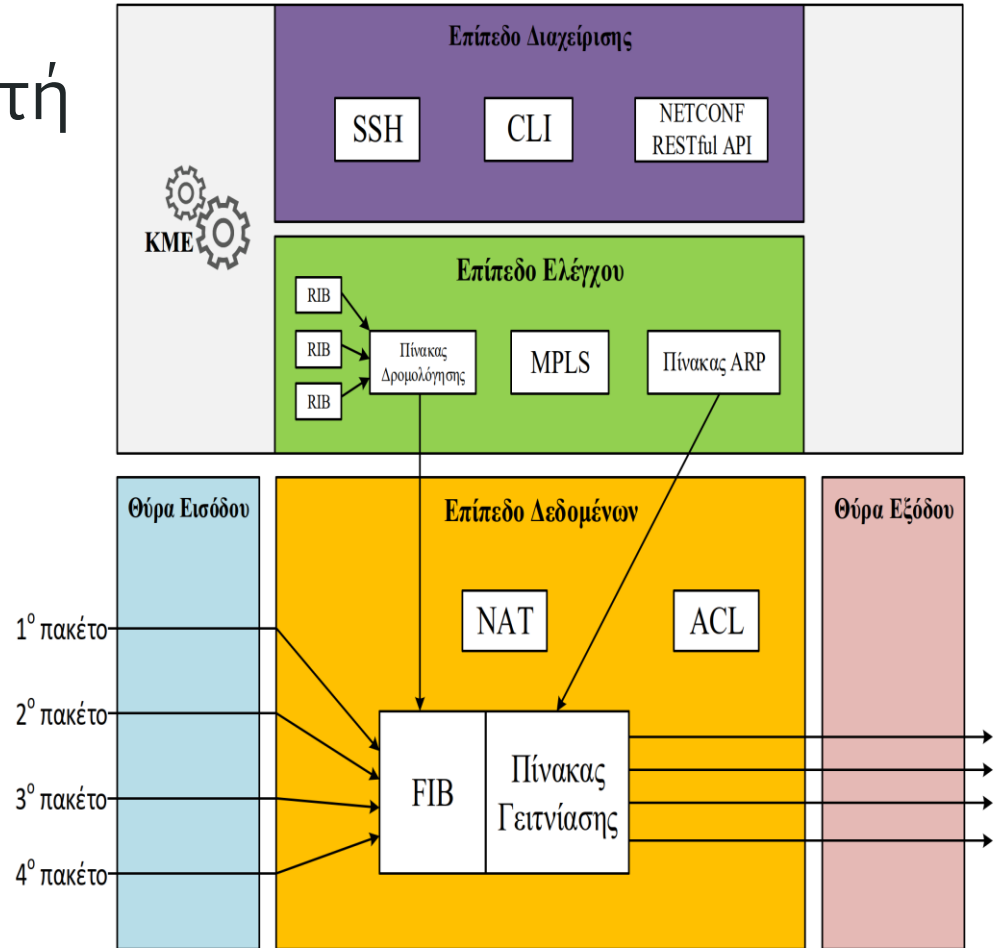
# Μεταγωγέας L3 (L3 switch)

- Οι συμβατοί δρομολογητές χρησιμοποιούν την CPU για να λάβουν αποφάσεις δρομολόγησης
- Οι μεταγωγείς L3 έχουν πολλές θύρες, κάποιες εξ αυτών σε διαφορετικά δίκτυα, και λαμβάνουν αποφάσεις χρησιμοποιώντας ειδικό hardware (ASIC)



# Η τομή ενός δρομολογητή

- Οι δρομολογητές χωρίζονται σε τρία επίπεδα:
  - Management Plane
  - Control Plane
  - Data Plane
- Το Data Plane χρησιμοποιεί έτοιμα δεδομένα από το Control plane, ώστε να λαμβάνει αποφάσεις σε επίπεδο hardware ταχύτατα



# Το πρωτόκολλο ARP

- Μεταξύ διαφορετικών δικτύων, οι διευθύνσεις IP αποστολέα και παραλήπτη παραμένουν οι ίδιες
- Οι διευθύνσεις MAC αλλάζουν καθώς το πακέτο πηγαίνει από το ένα δίκτυο στο άλλο
- Ωστόσο, για να στείλει ο κόμβος ένα πακέτο προς άλλον κόμβο, πρέπει να ξέρει τη διεύθυνση MAC
- Γιαυτό χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ARP, ώστε να μάθει τη διεύθυνση MAC χρησιμοποιώντας μόνο τη διεύθυνση IP

# Το πρωτόκολλο ARP

- Ο Α στέλνει ένα πλαίσιο στη διεύθυνση FF:FF:FF:FF:FF:FF
  - Ρωτάει «Ποιος έχει τη διεύθυνση IP XXX.XXX.XXX.XXX» (ARP Request)
- Το πλαίσιο λαμβάνεται από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο
- Ο κόμβος Β που έχει την IP που εμπεριέχεται στο ερώτημα, απαντά με ARP reply (unicast)
- Λαμβάνοντας την απάντηση του Β, ο Α γνωρίζει τη διεύθυνση MAC του, άρα και πως να προετοιμάσει το πλαίσιο Ethernet
- Όλες οι καταχωρήσεις ARP αποθηκεύονται στην ARP cache