

# IPv6

- **Initial motivation:** 32-bit address space completely allocated by 2008.
- Additional motivation:
  - header format helps speed processing/forwarding
  - header changes to facilitate QoS
  - new “anycast” address: route to “best” of several replicated servers
- **IPv6 datagram format:**
  - fixed-length 40 byte header
  - no fragmentation allowed

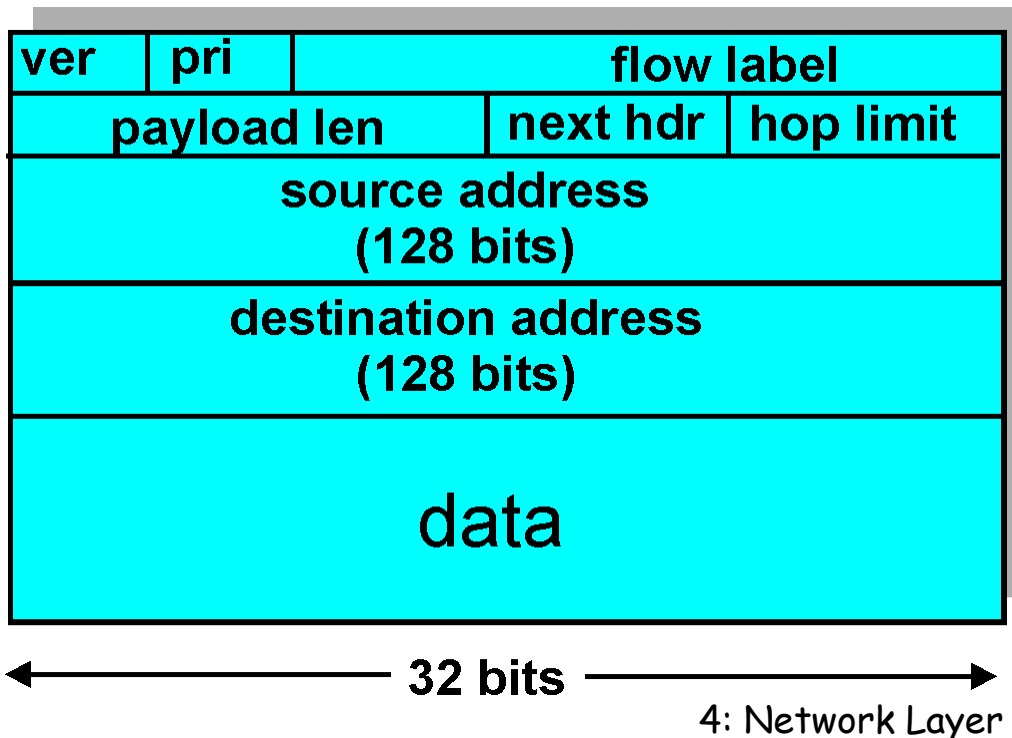
# IPv6 Header

**Priority:** identify priority among datagrams in flow

**Flow Label:** identify datagrams in same "flow."

(concept of "flow" not well defined).

**Next header:** identify upper layer protocol for data



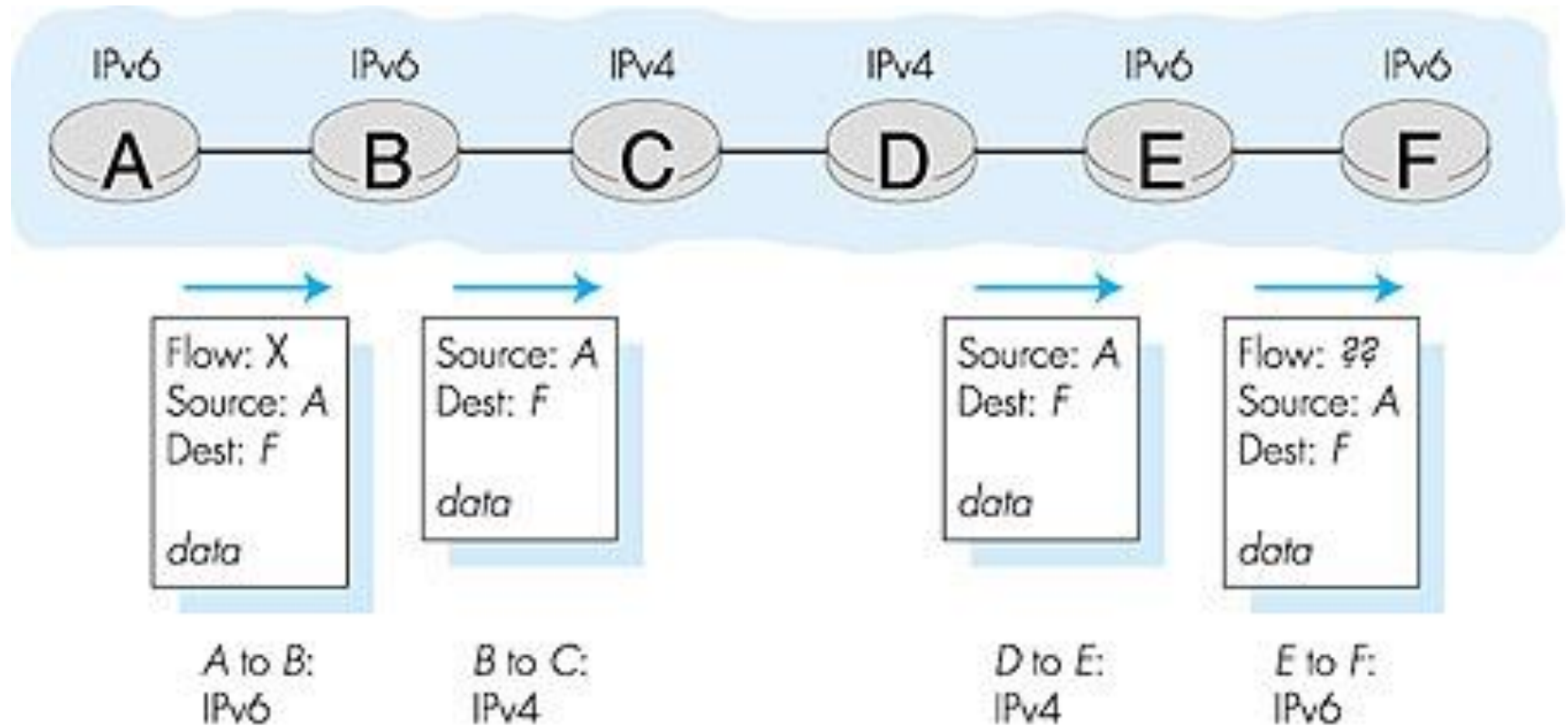
# Other Changes from IPv4

- *Checksum*: removed entirely to reduce processing time at each hop
- *Options*: allowed, but outside of header, indicated by “Next Header” field
- *ICMPv6*: new version of ICMP
  - additional message types, e.g. “Packet Too Big”
  - multicast group management functions

# Transition From IPv4 To IPv6

- Not all routers can be upgraded simultaneous
  - no “flag days”
  - How will the network operate with mixed IPv4 and IPv6 routers?
- Two proposed approaches:
  - **Dual Stack**: some routers with dual stack (v6, v4) can “translate” between formats
  - **Tunneling**: IPv6 carried as payload n IPv4 datagram among IPv4 routers

# Dual Stack Approach

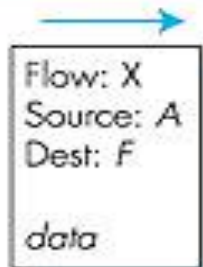
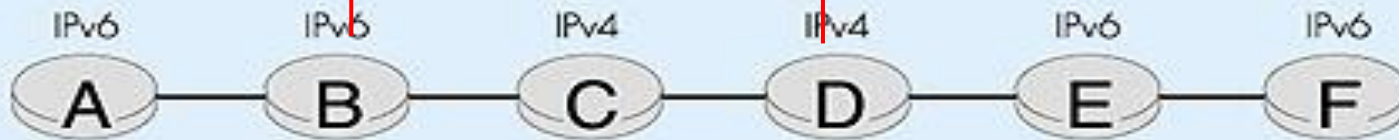


# Tunneling - Encapsulation

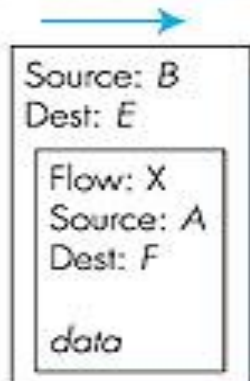
Logical view



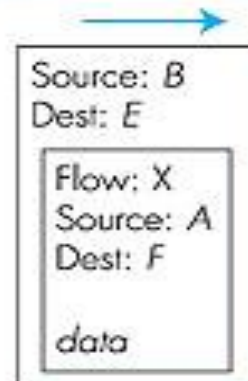
Physical view



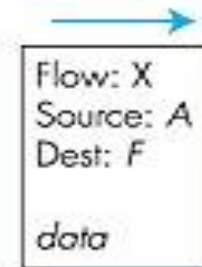
A to B:  
IPv6



B to C:  
IPv4  
(encapsulating  
IPv6)



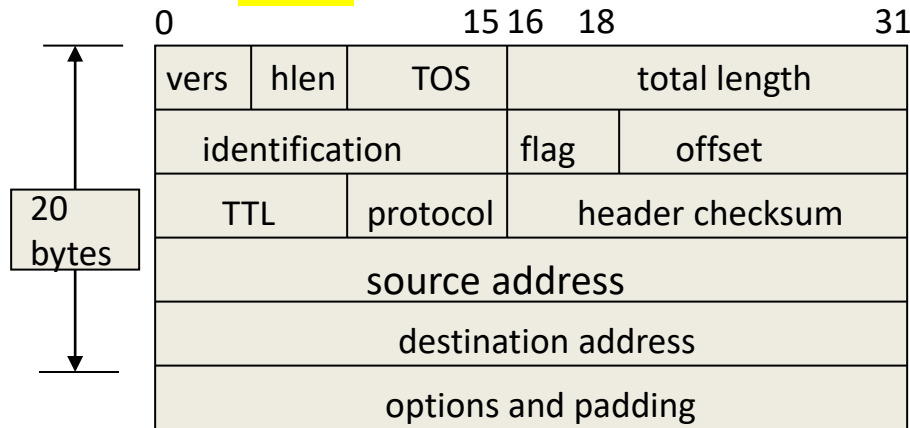
B to C:  
IPv4  
(encapsulating  
IPv6)



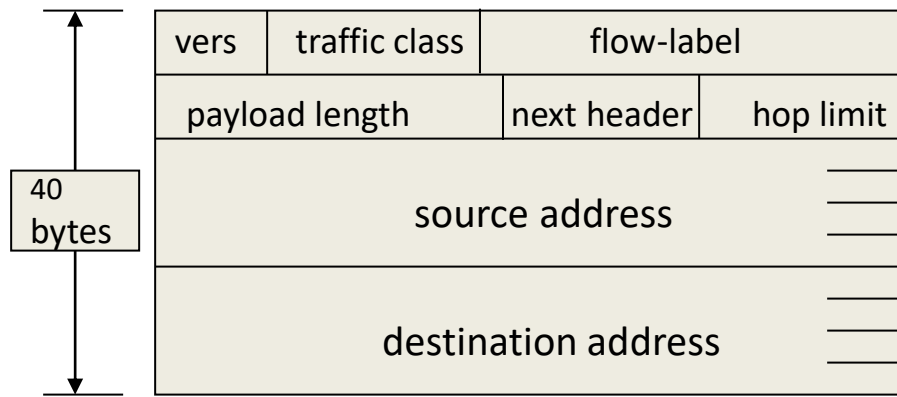
E to F:  
IPv6

# Σύγκριση IPv4 με IPv6 header

## IPv4



## IPv6



### Αφαιρέθηκαν (6)

- ID, flags, flag offset
- TOS, hlen
- header checksum

### Άλλαξαν (3)

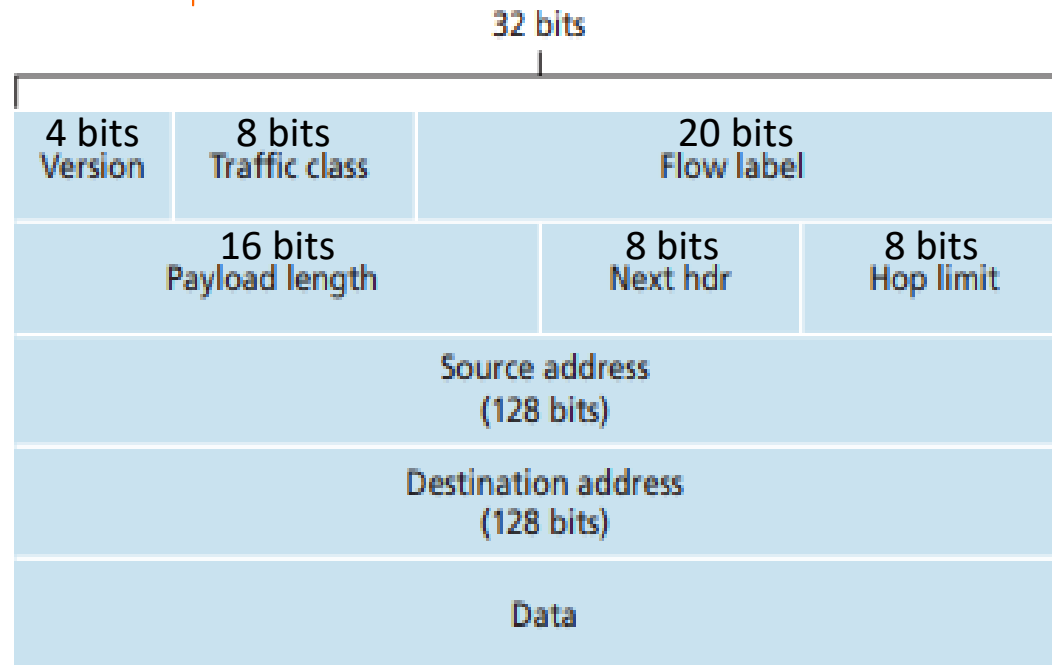
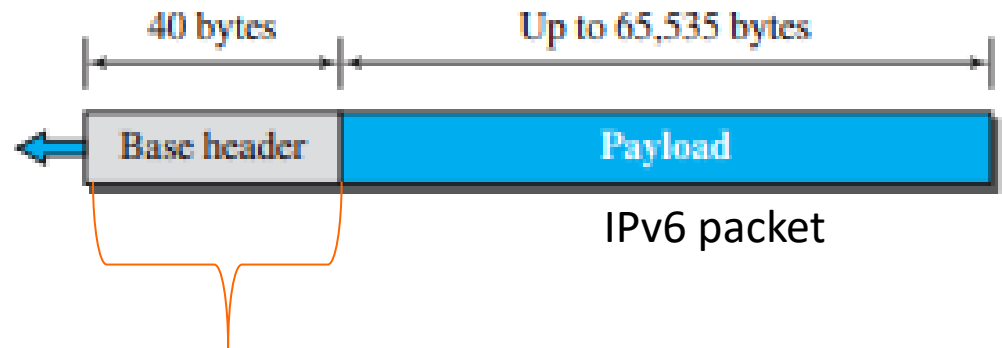
- total length => payload
- protocol => next header
- TTL => hop limit

### Προστέθηκαν (2)

- traffic class
- flow label

# IPv6 Header (1)

- **Traffic class:** Παρόμοιο με το πεδίο TOS στο IPv4.
- **Flow label:** για την αναγνώριση ροής των datagrams.
- **Payload length:** Δίνει τον αριθμό bytes στο IPv6 datagram
- **Next header:** προσδιορίζει τον τύπο της επικεφαλίδας αμέσως μετά από αυτήν την επικεφαλίδα (είτε **IPv6 extension header** ή TCP / UDP header)
- **Hop limit:** Μειώνετε κατά 1 από κάθε δρομολογητή που προωθεί το datagram. Όταν το hop limit φτάσει 0 το datagram απορρίπτεται.
- **Destination address:** Μπορεί να μην είναι ο τελικός προορισμός εάν υπάρχει επικεφαλίδα δρομολόγησης.



IPv6 base header

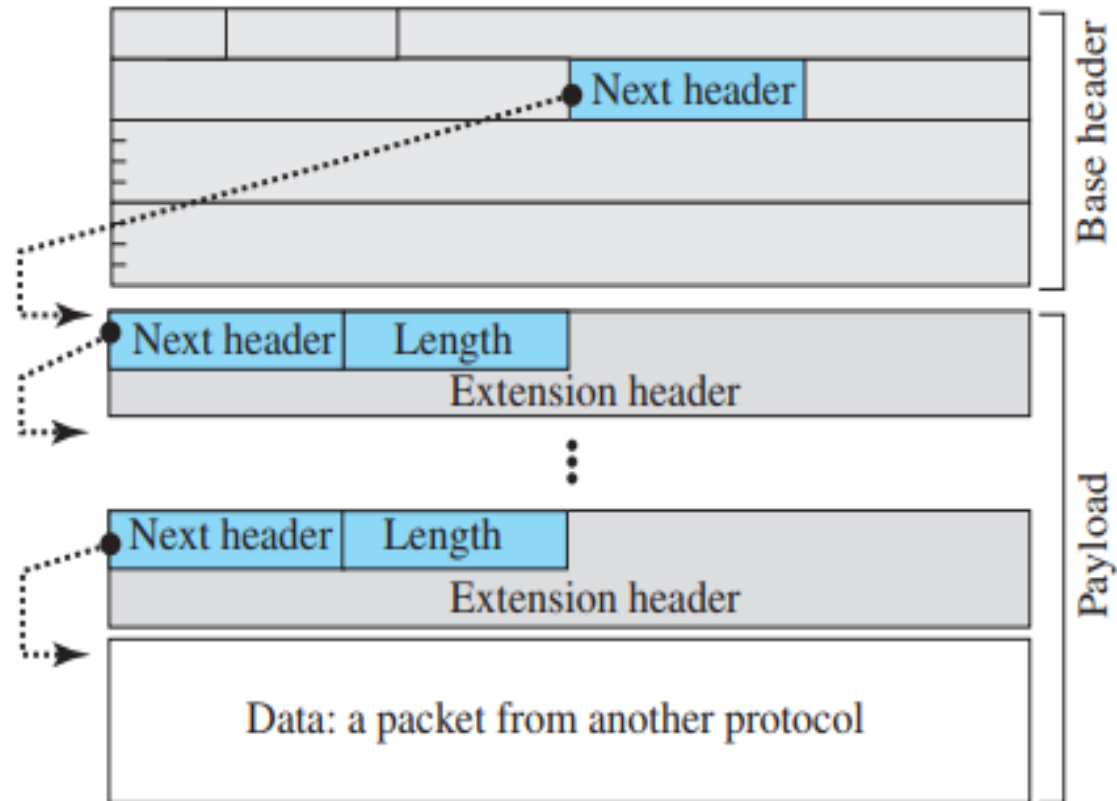


# IPv6 Header (2)

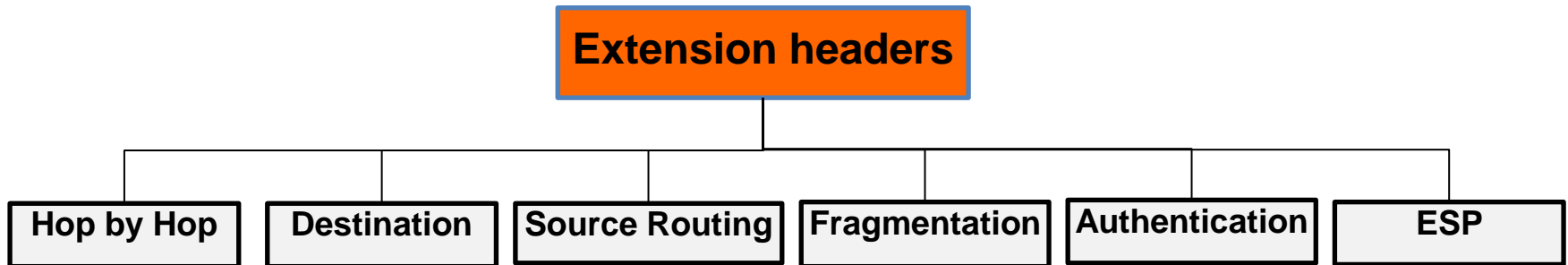
- Larger Address Space.
- End-to-end Connectivity (no NAT protocol).
- Simplified Header (Faster Forwarding/Routing).
- Mobility (Auto-configuration – same IPv6 address while moving).
- Enhanced Priority Support (based on Traffic Class and Flow label).
- Στο IPv6, το βασικό header περιέχει μόνο τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες.
- Extensibility (as much as the size of IPv6 packet !)
- Όλες οι επιπλέον πληροφορίες τοποθετούνται στο extension header.
- Όταν χρησιμοποιούνται extension headers, το πεδίο next header δείχνει τον πρώτο extension header.

# IPv6 Header (3)

- Τιμές next header:
  - 00: *Hop-by-hop option*
  - 02: *ICMPv6*
  - 06: *TCP*
  - 17: *UDP*
  - 43: *Source-routing option*
  - 44: *Fragmentation option*
  - 50: *Encrypted security payload*
  - 51: *Authentication header*
  - 59: *Null (no next header, ούτε Upper Layer Header)*
  - 60: *Destination option*



# Extension header

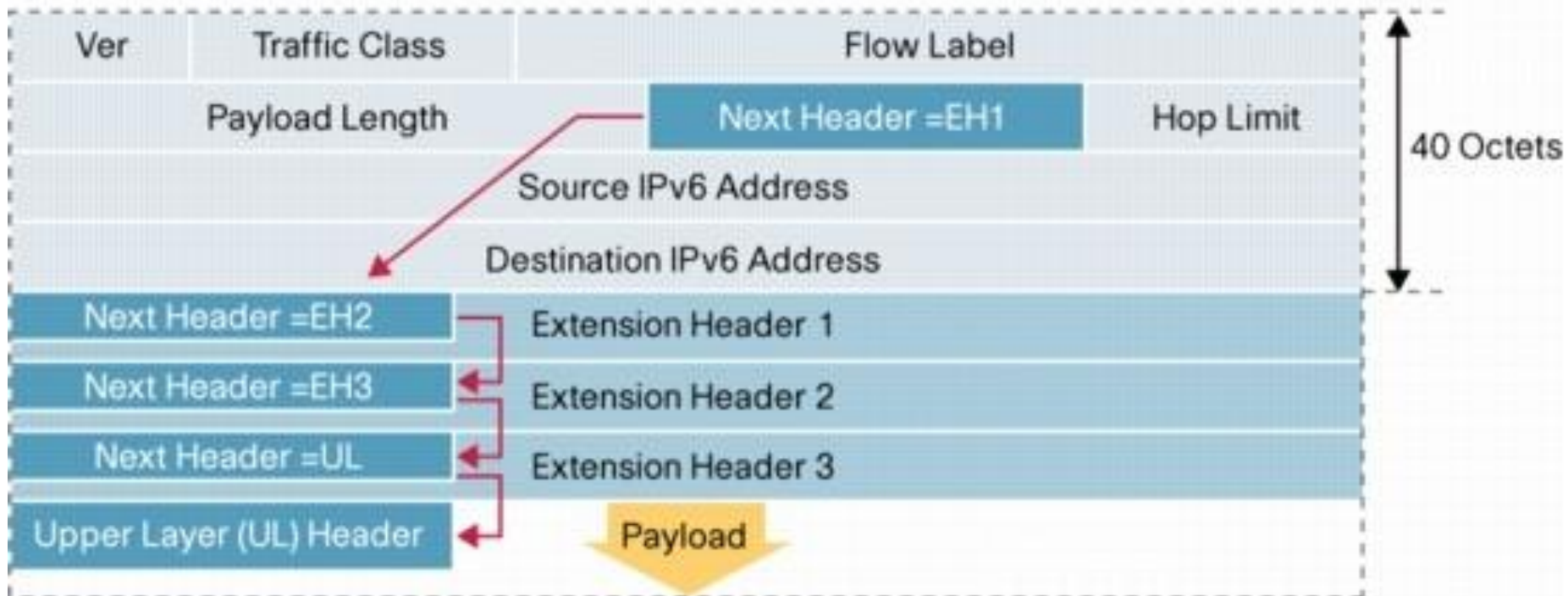


## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΔΟΧΗ ΤΩΝ EXTENSION HEADERS (EH)

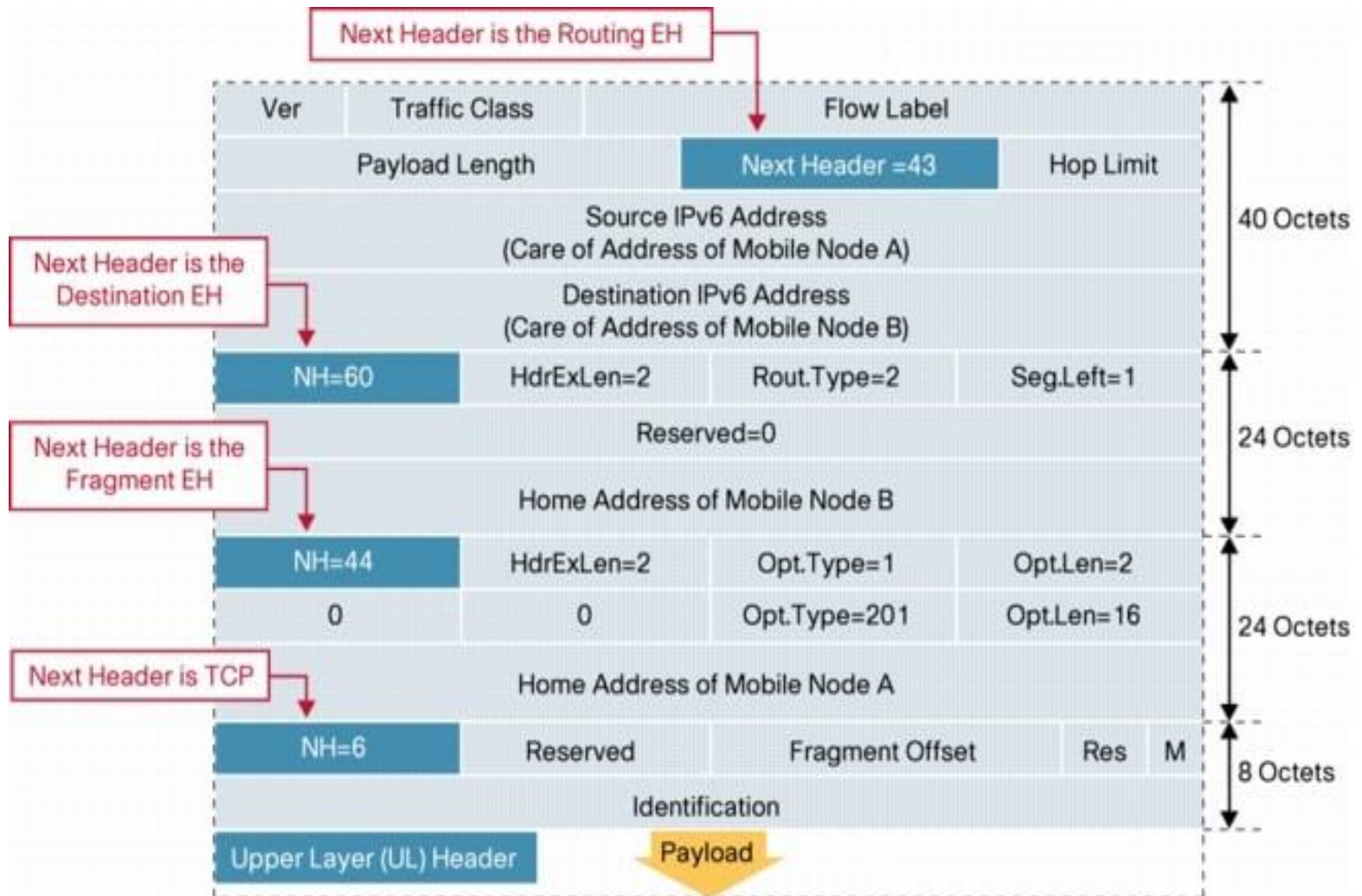
- **Hop-by-hop (00)**: για μεταβίβαση πληροφοριών σε όλους τους δρομολογητές που επισκέπτεται το datagram. Πεδία: Next Header field, Header Extension Length, Options.
- **Destination (60)**: για μεταβίβαση πληροφοριών δρομολόγησης στους **διαδοχικούς** προορισμούς, εφόσον προηγείται του *Source routing EH*. Πεδία, όπως Hop-by-hop EH.
- **Source routing (43)**: για να ακολουθηθεί συγκεκριμένη διαδρομή (μέσω routers).
- **Fragmentation (44)**: για σκοπούς fragmentation.
- **Authentication (51)**: για επικύρωση αποστολέα και διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων.
- **ESP –Encrypted Security Payload (50)**: παρέχει εμπιστευτικότητα και προστατεύει από την υποκλοπή.
- **Destination (60)**: για μεταβίβαση πληροφοριών μόνο στον **τελικό** προορισμό.
- **Upper Layer header**

# Παράδειγμα datagram with Extension Header (1)

Packet with Extension Header



# Παράδειγμα datagram with Extension Header (2)



# IPv6 Fragmentation (1)

- Στο IPv6 έγιναν αλλαγές που αποφεύγουν τον κατακερματισμό στους δρομολογητές
  - Το IPv4 απαιτεί από τους ενδιάμεσους δρομολογητές να κατακερματίζουν οποιοδήποτε πακέτο που είναι μεγάλο για τη MTU του δικτύου που πρέπει να ταξιδέψει
  - Ο κατακερματισμός του IPv6 είναι από άκρο σε άκρο (end to end)
- Η πηγή που είναι υπεύθυνη για τον κατακερματισμό έχει δύο επιλογές
  - Εγγυημένο ελάχιστο MTU: **1280 bytes** (οκτάδες)
  - Ανίχνευση MTU διαδρομής  
Προσδιορίζει το ελάχιστο MTU κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό:
    1. Στέλνει πακέτο μήκους MTU.
    2. Ο router που έχει μικρότερη MTU στέλνει με το **ICMPv6 την MTU** του.
    3. Στέλνει τώρα πακέτο με την μικρότερη MTU, κ.ο.κ.

# IPv6 Fragmentation (2)

- Το IPv6-datagram έχει δύο μέρη:  
**unfragmentable part**, και **fragmentable part**.
- Το IPv6 fragmentation εισάγει μια μικρή επικεφαλίδα επέκτασης μετά την βασική επικεφαλίδα σε κάθε fragment.

0	8	16	24	29	31
NEXT HEADER	RESERVED	FRAG. OFFSET		RS	M
DATAGRAM IDENTIFICATION					

**RS** is set to 0 and reserved (bit #30). **M** marks last fragment.

**IDENTIFICATION** unique for re-assembly. Fragments must be a multiple of 8 octets.

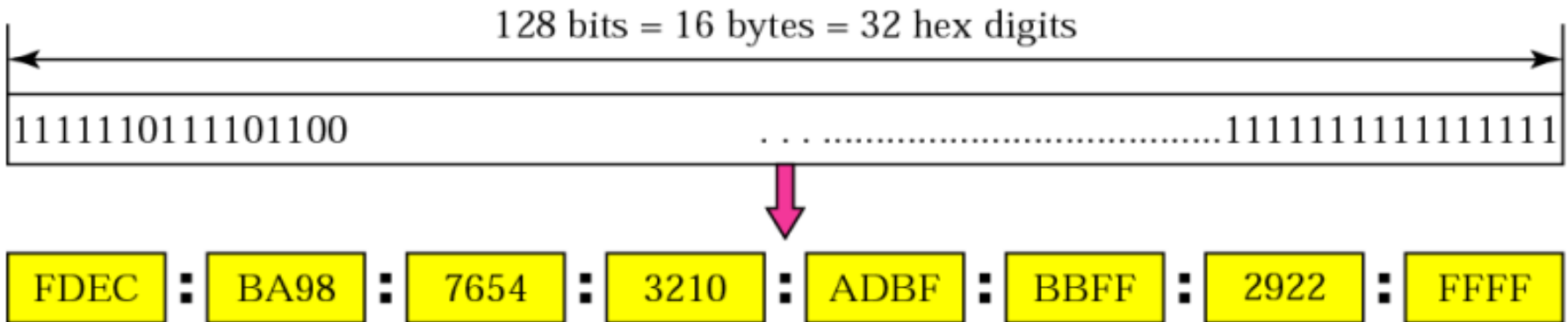
# Decimal – Binary - Hexadecimal

Decimal	Binary	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F



# IPv6 addresses

- **Οκτώ** ομάδες 16-bit ακέραιων αριθμών που διαχωρίζονται από ":"



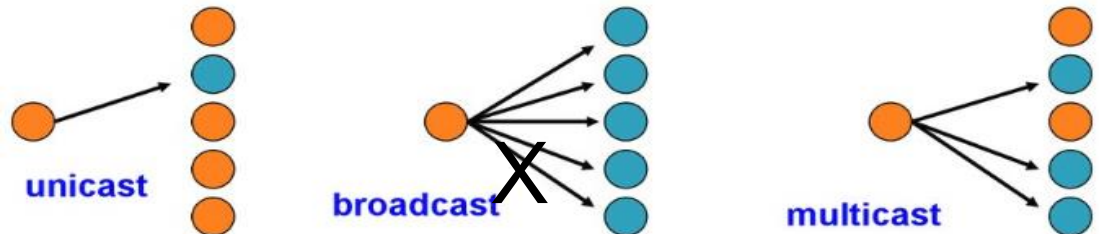
- 3 τύποι διευθύνσεων και δρομολόγησης:

- **Unicast** (one to one)

- **Multicast** (one to many)

- **Anycast** (one to nearest – παραδίδεται στον «πλησιέστερο» από μια ομάδα Η/Υ)

- **No Broadcast address (μόνο στο IPv4 έχουμε broadcast address)**



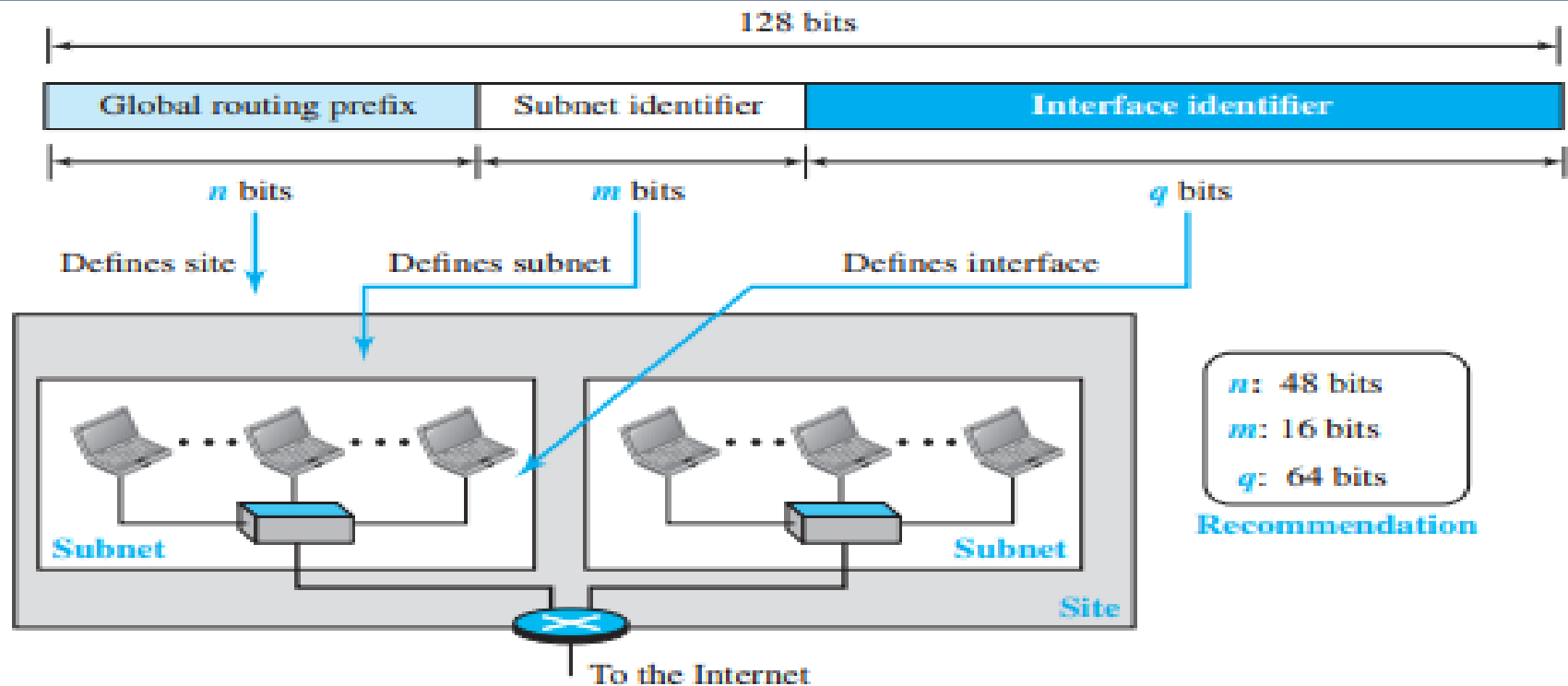
# Διευθύνσεις και CIDR

- Τα ηγετικά μηδενικά μπορούν να αφαιρεθούν
  - FDEC: BA98: 0074: 3210: 000F: BBFF: 0000: FFFF →
  - FDEC: BA98: 74: 3210: F: BBFF: 0: FFFF
- Συντομογραφία : μία σειρά μηδενικών μπορεί να αντικατασταθεί από “::” (μόνο μία φορά)
  - FDEC: 0: 0: 0: 0: BBFF: 0: FFFF →
  - FDEC :: BBFF: 0: FFFF
- CIDR notation για τα πρώτα  $N$  bits μιας διεύθυνσης
  - FDEC: 0: 0: 0: 0: BBFF: 0: FFFF / 60

# Unicast Addresses (1)

- Μια διεύθυνση unicast είναι η πιο κοινή μορφή μιας διεύθυνσης IP και καταχωρείται σε μια διεπαφή δικτύου.
  - Τύποι Unicast διευθύνσεων
    - global unicast addresses (host to host )
    - link-local addresses, site-local addresses
    - unique local IPv6 unicast addresses (private addresses)
    - **special addresses**
- **Link local → unique local → Global**
- **::/128 ⇒ δεν χρησιμοποιείται**
- **::/0 ⇒ default Router**
- **::1/128 ⇒ Loopback address**

# Unicast address (2)

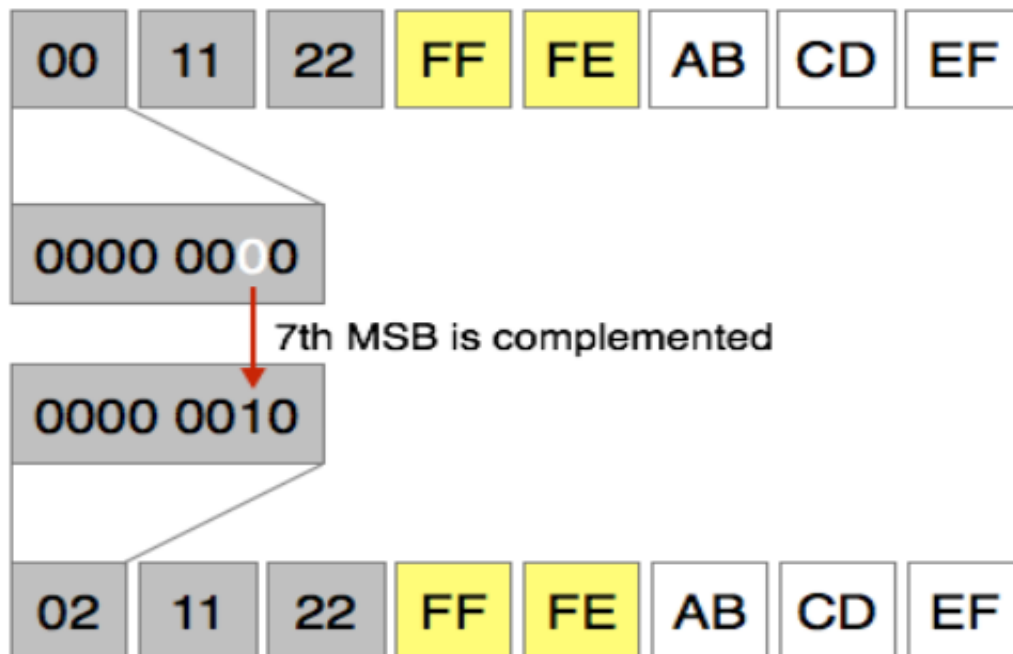


- **Global Routing prefix:** ιεραρχικά δομημένη τιμή (001.....) – κάθε οργανισμός ζητεί ένα μπλοκ διευθύνσεων IPv6, το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς άλλος.
- **Subnet ID:** αναγνωριστικό ενός υποδικτύου.
- **Interface ID:** εάν το πρόθεμα ξεκινά με δυαδικό 000: δεν υπάρχει περιορισμός στη δομή ID της διεπαφής – διαφορετικά: μια παγκόσμια μοναδική διεύθυνση EUI-64, (Extended Unique Identifier 64 bits) μπορεί να προέρχεται από 48-bit διεύθυνση Ethernet.



# Αντιστοίχιση διευθύνσεων MAC

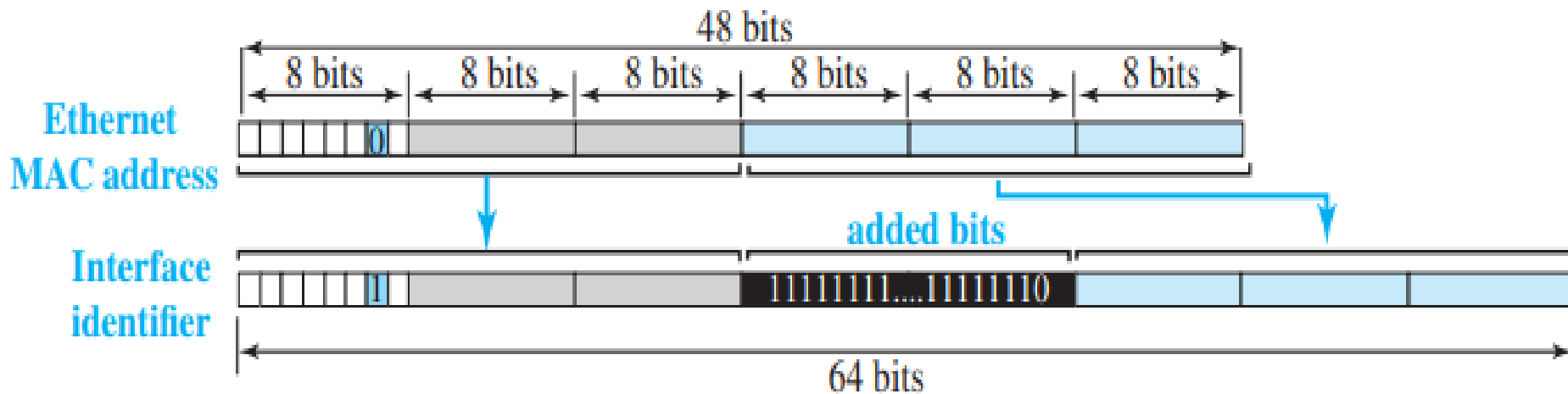
- auto-configure of Interface ID - IEEE Extended Unique Identifier (EUI-64) format. Αντιστοίχιση μιας φυσικής διεύθυνσης (MAC address, 48 bits) στα τελευταία 64-bits (Interface ID)
- Ο host την χωρίζει σε δύο τμήματα των 24 bits και παρεμβάλλει 16 bits: **FFFE** (16+48 = 64)
- Το global/local κομμάτι αυτής της μορφής πρέπει να αλλάξει από 0 σε 1



# Αντιστοίχιση διευθύνσεων MAC

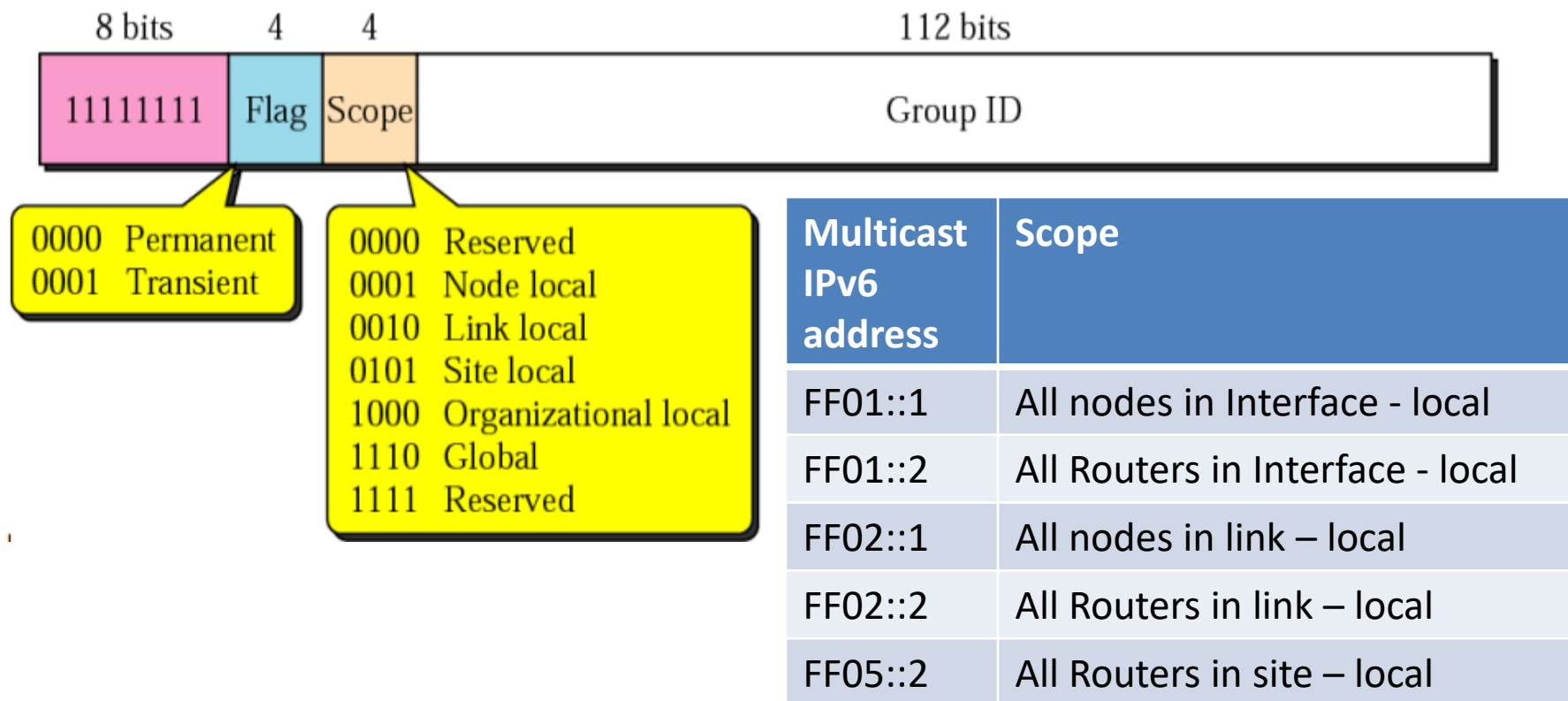
Παράδειγμα με bits

- Αντιστοίχιση 48-bit MAC διεύθυνσης σε 64-bit αναγνωριστικό διεπαφής (Interface ID)
  - Αλλαγή του local/global bit σε 1
  - Πρόσθεση 16 bit: 1111111111111110 ή  $FFFE_{16}$ .



# Multicast address

- Διεύθυνση πολυεκπομπής γνωστή από το IPv4.
- Μόνιμη: κατανέμεται από την IANA (Internet Assigned Numbers Authority)





# Προκαθορισμένες διευθύνσεις πολυεκπομπής

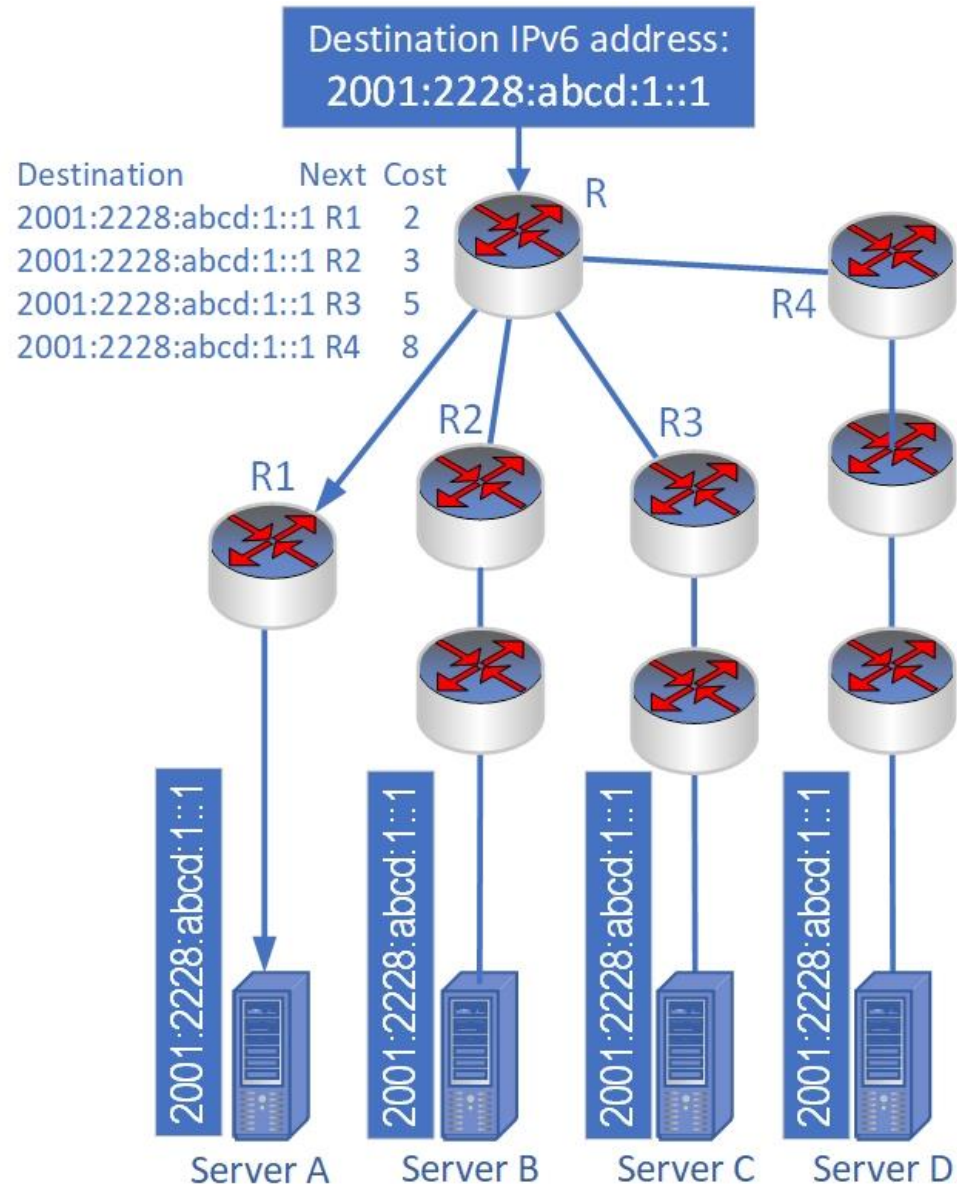
- Όλοι οι κόμβοι multicast
  - FF01 :: 1 (interface-local)
  - FF02 :: 1 (link-local)
  - Στο IPv4 χρησιμοποιείται το 224.0.0.1
- Όλοι οι δρομολογητές multicast
  - FF01 :: 2 (Interface-local)
  - FF02 :: 2 (link-local )
  - FF05 :: 2 (site-local)
  - Στο IPv4 χρησιμοποιείται το 224.0.0.2

# Anycast

- Νέος τύπος διεύθυνσης στο IPv6. Όπως μια διεύθυνση multicast, μια διεύθυνση anycast αναγνωρίζει πολλαπλές διεπαφές.
- Ενώ τα πακέτα multicast γίνονται δεκτά από πολλούς host, τα πακέτα anycast παραδίδονται μόνο σε ένα host.
  - Κατά τη δρομολόγηση, οι διευθύνσεις anycast χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση πακέτων στους πλησιέστερους δρομολογητές.
- Οι διευθύνσεις anycast διατίθενται από τον χώρο διεύθυνσεων unicast.

# Ο νέος τύπος δρομολόγησης “Anycast”

- Η διεύθυνση IPv6-Anycast είναι μία διεύθυνση που μπορεί να εκχωρηθεί **η ίδια** σε περισσότερες από μία διεπαφές (σε πολλά end-systems, συνήθως servers με το ίδιο περιεχόμενο, π.χ. DNS servers).
- Δεν υπάρχει ειδικό πρόθεμα για μια διεύθυνση IPv6-Anycast. Χρησιμοποιεί το ίδιο εύρος διευθύνσεων με τις διευθύνσεις *global unicast*.
- Ένα πακέτο που αποστέλλεται σε μια διεύθυνση anycast δρομολογείται στην **πλησιέστερη** διεπαφή που έχει αυτή τη διεύθυνση, σύμφωνα με τον πίνακα δρομολόγησης του δρομολογητή.



# ICMPv6

- Internet control message protocol 6<sup>η</sup> εκδοση (RFC 2463)
- Τροποποίηση του ICMP από IPv4
- Οι τύποι μηνυμάτων είναι παρόμοιοι(αλλά διαφορετικοί τύποι / κωδικοί)
  - Ο προορισμός δεν είναι προσβάσιμος (τύπος 1)
  - Το πακέτο είναι πολύ μεγάλο (τύπος 2)
  - Ο χρόνος υπερέβη (τύπος 3)
  - Πρόβλημα παραμέτρων (τύπος 4)
  - Echo request/reply (τύποι 128 και 129)

# ICMPv6 Neighbour-Discovery Messages (1)

- Neighbour-Discovery (ND) protocol
  - Χρησιμοποιείται από Hosts για να βρουν γειτονικούς δρομολογητές για την προώθηση των πακέτων τους.
  - Χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι διευθύνσεις του στρώματος ζεύξης (κόμβοι που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο)
- Inverse-Neighbor-Discovery (IND) protocol:
  - Οι κόμβοι το χρησιμοποιούν για να βρουν τις διευθύνσεις IPv6 των γειτόνων.
    1. Inverse-Neighbour-Solicitation Message
    2. Inverse-Neighbour-Advertisement Message

# ICMPv6 Neighbour-Discovery Messages (2)

- **5 τύποι μηνυμάτων:**

1. Router solicitation - Πρόσκληση δρομολογητή
2. Router advertisement - Διαφήμιση δρομολογητή
3. Neighbor solicitation - Προσέγγιση γειτόνων
4. Neighbor advertisement - Γειτονική διαφήμιση
5. Redirect - Ανακατεύθυνση

# Μετατροπή διεύθυνσης IPv4 σε IPv6

- IPv4 = **150.140.200.200**
- Μετατροπή σε δυαδική μορφή (για ευκολία)
- 10010110.10001100.11001000.11001000
- Μετατροπή από δυαδική σε δεκαεξαδική μορφή
- 96.8c.c8.c8  $\Rightarrow$  968c:c8c8
- Αν θέλουμε να αναπαραστήσουμε έναν κόμβο IPv4 ως IPv6 π.χ. για tunneling (κατωτέρω), τότε:
- 0000:0000:0000:0000:0000:ffff πριν από την δεκαεξαδική μορφή 968c:c8c8 και έχουμε:
- **IPv4-mapped address σε IPv6 address:**
- 0000:0000:0000:0000:0000:ffff:968c:c8c8 (IPv6 Expanded address form)
- 0:0:0:0:0:ffff:968c:c8c8 (IPv6 Shortened address form)
- ::ffff:968c:c8c8 (IPv6 Compressed address form)
- Αν θέλουμε να αναπαραστήσουμε έναν κόμβο IPv6 ως IPv4 (δηλ. χωρίς πραγματική IPv6), τότε:
- **IPv4-compatible address ως IPv6 address:**
- 0000:0000:0000:0000:0000:0000:968c:c8c8 (IPv6 Expanded address form)
- 0:0:0:0:0:0:968c:c8c8 (IPv6 Shortened address form)
- ::968c:c8c8 (IPv6 Compressed address form)

# Ερώτηση 1

- Ποια η διαφορά μεταξύ connectionless υπηρεσίας από connection oriented υπηρεσία; ποια υπηρεσία παρέχει το IPv6;

## Απάντηση

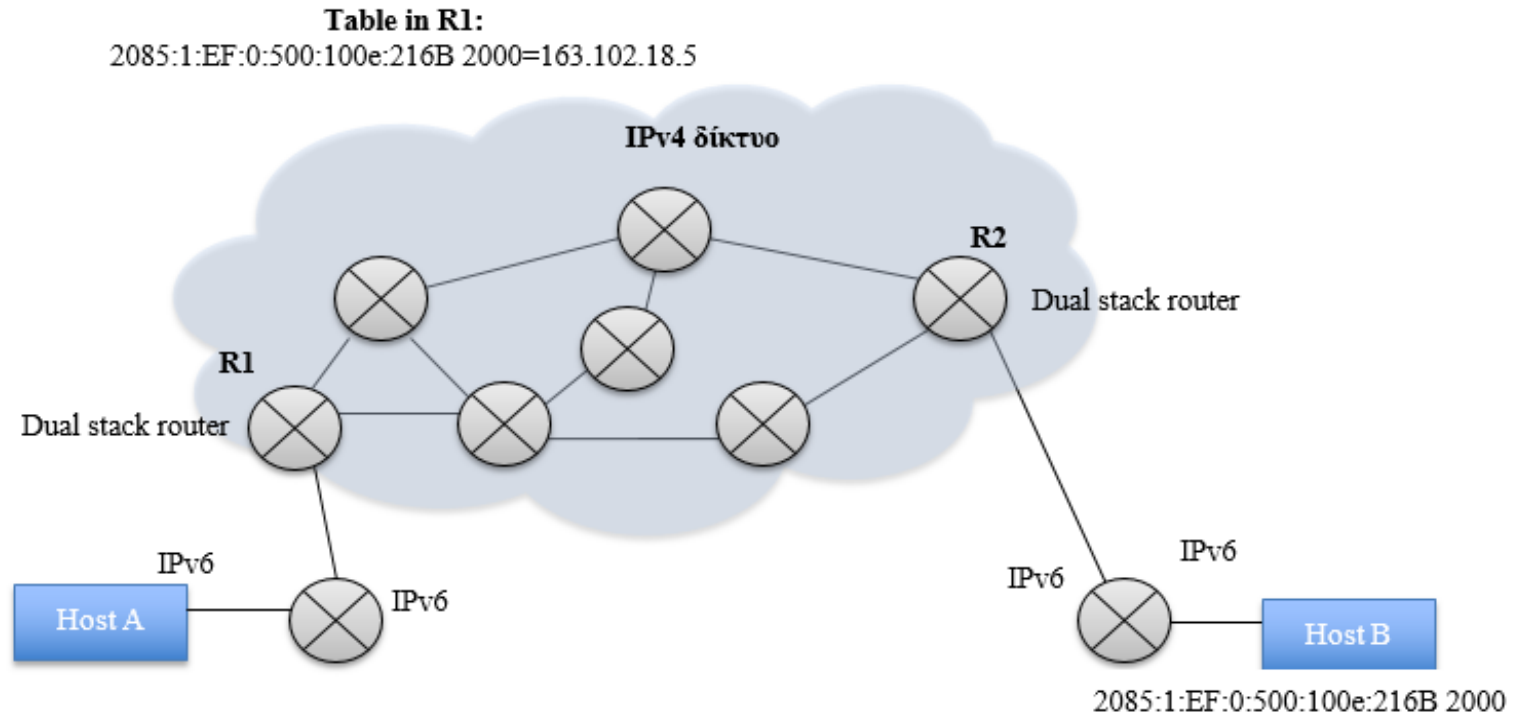
- Σε μια υπηρεσία connectionless δεν υπάρχουν φάσεις εγκατάστασης και τερματισμού. Κάθε πακέτο είναι ανεξάρτητο. Η επικοινωνία έχει μόνο μία φάση: ΜΕΤΑΦΟΡΑ δεδομένων .
- Στην υπηρεσία connection oriented, δημιουργείται μια εικονική σύνδεση μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη πριν από τη μεταφορά δεδομένων. Η επικοινωνία έχει τρεις φάσεις: ρύθμιση, μεταφορά δεδομένων και teardown. Παρέχεται QoS.
- Το IPv6 παρέχει connectionless υπηρεσία, αλλά εάν χρησιμοποιηθούν τα πεδία flow label και traffic class δίνουν τη δυνατότητα και για QoS.



# Άσκηση 1

Με βάση το παρακάτω σχήμα

- A. Εξηγήστε ποια μέθοδος μετάβασης χρησιμοποιείται.
- B. Δώστε τα βήματα για να μεταφερθεί ένα πακέτο IPv6 από το host A στο host B



# Απάντηση άσκησης 1

A. Tunnelling

B. Ο host A στέλνει ένα IPv6 πακέτο στο host B:

- Ο R1 διαβάζει τη IPv6 διεύθυνση προορισμού
- Ο R1 ενθυλακώνει το IPv6 σε IPv4
- Ο R1 προωθεί το πακέτο στο R2
- Ο R2 αφαιρεί την IPv4 επικεφαλίδα
- Ο R2 προωθεί το IPv6 πακέτο

# Άσκηση 2

- Χρησιμοποιώντας τη μορφή που ορίσαμε για τις διευθύνσεις Ethernet, εντοπίστε το αναγνωριστικό διεπαφής αν η φυσική διεύθυνση στο EUI είναι

$(F5-A9-23-14-7A-D2)_{16}$

## Απάντηση:

- Αλλάζοντας το 7<sup>ο</sup> bit του πρώτου octet από 0 σε 1 και προσθέτουμε 2 octets FFFE.
- $F5 = 11110101 \rightarrow 11110111 = F7$   
 $\rightarrow F7A9:23FF:FE14:7AD2$