

IPv6

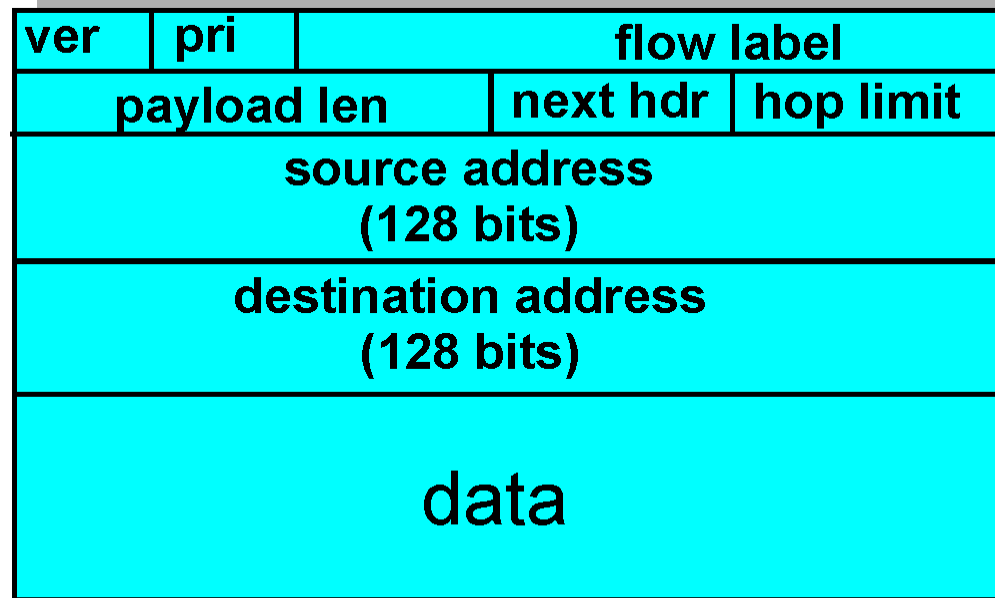
- **Initial motivation:** 32-bit address space completely allocated by 2008.
- **Additional motivation:**
 - header format helps speed processing/forwarding
 - header changes to facilitate QoS
 - new “anycast” address: route to “best” of several replicated servers
- **IPv6 datagram format:**
 - fixed-length 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



← 32 bits →

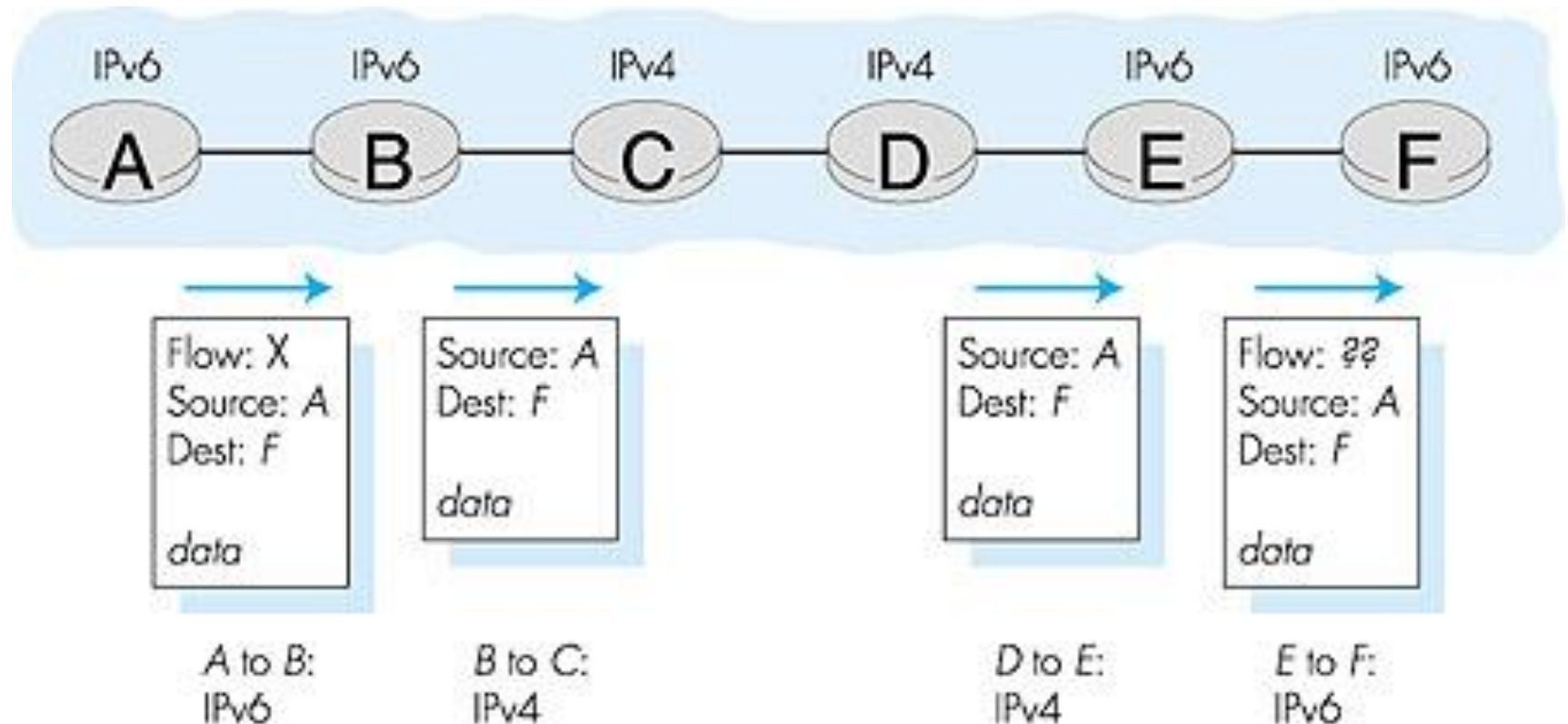
Other Changes from IPv4

- *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 in IPv4 datagram among IPv4 routers

Dual Stack Approach



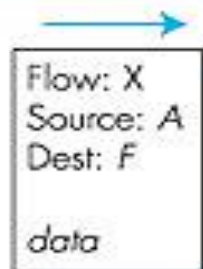
Tunneling - Encapsulation

Logical view

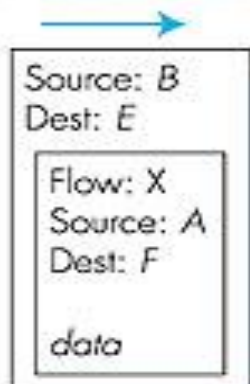


Physical view

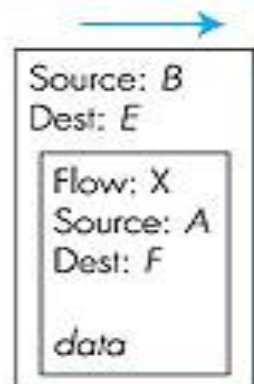
IPv6 inside IPv4 where needed



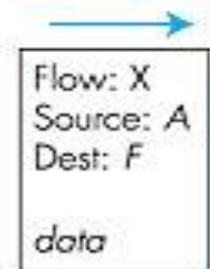
A to B:
IPv6



B to C:
IPv4
(encapsulating
IPv6)



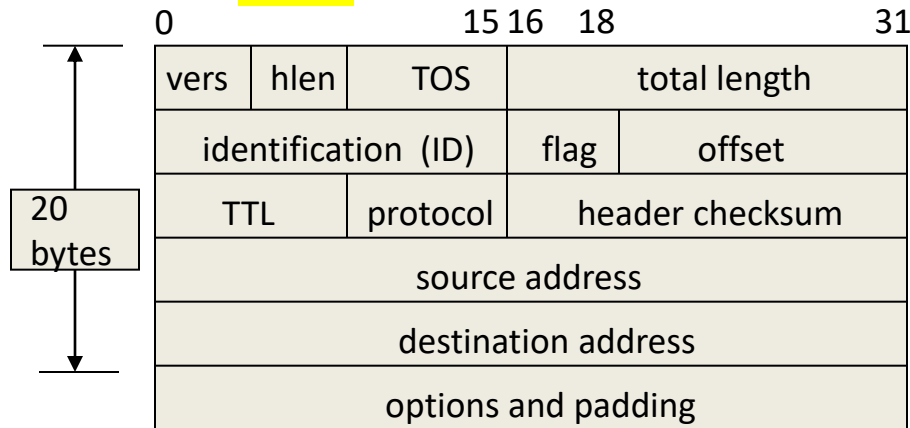
B to C:
IPv4
(encapsulating
IPv6)



E to F:
IPv6

Σύγκριση IPv4 με IPv6 header

IPv4



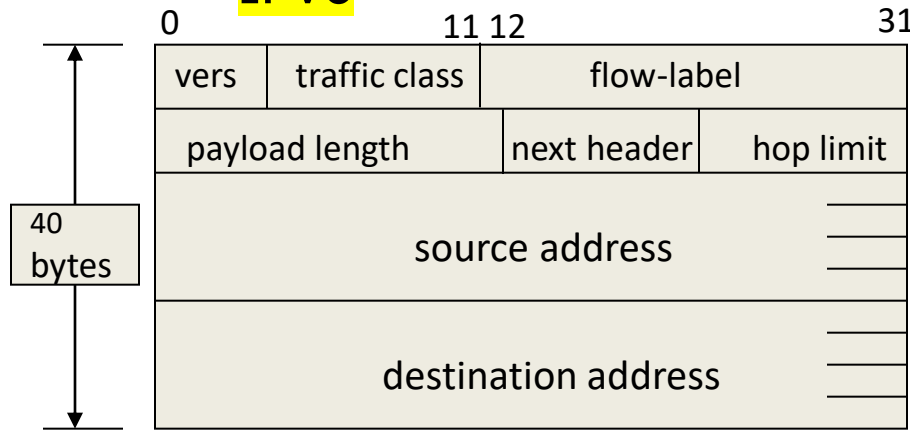
Αφαιρέθηκαν (6)

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

Άλλαξαν (3)

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

IPv6

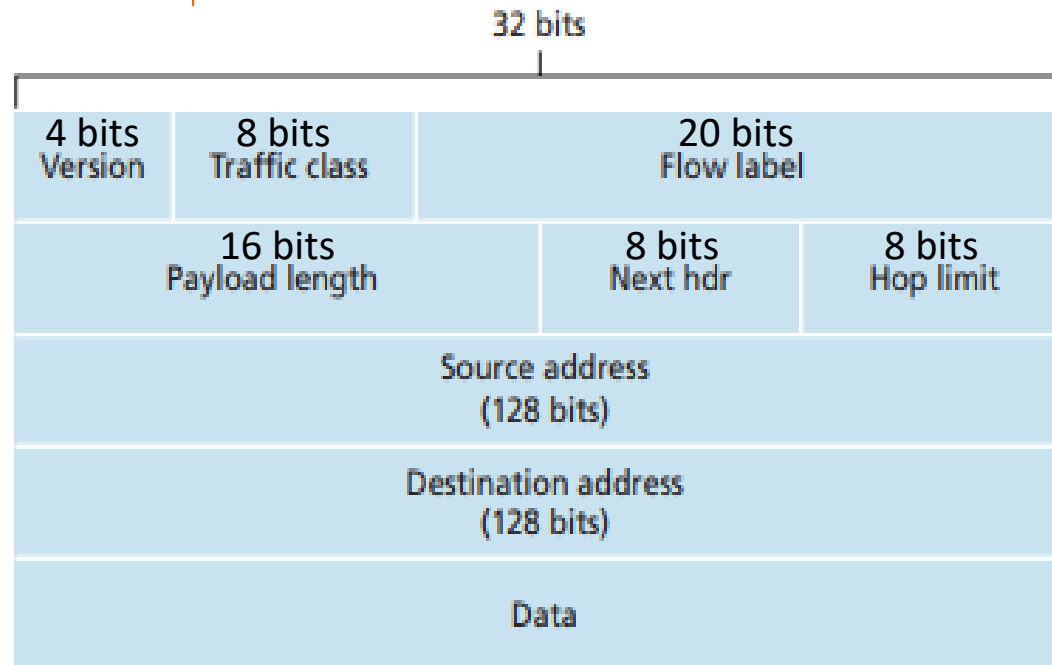
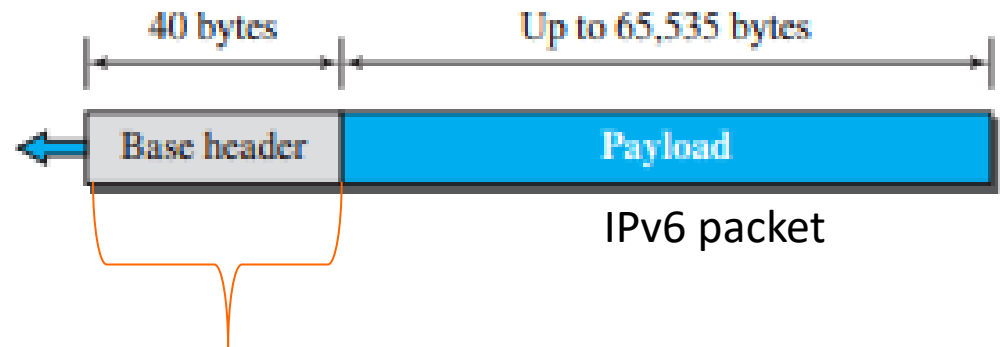


Προστέθηκαν (2)

- 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:** Μειώνει 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.



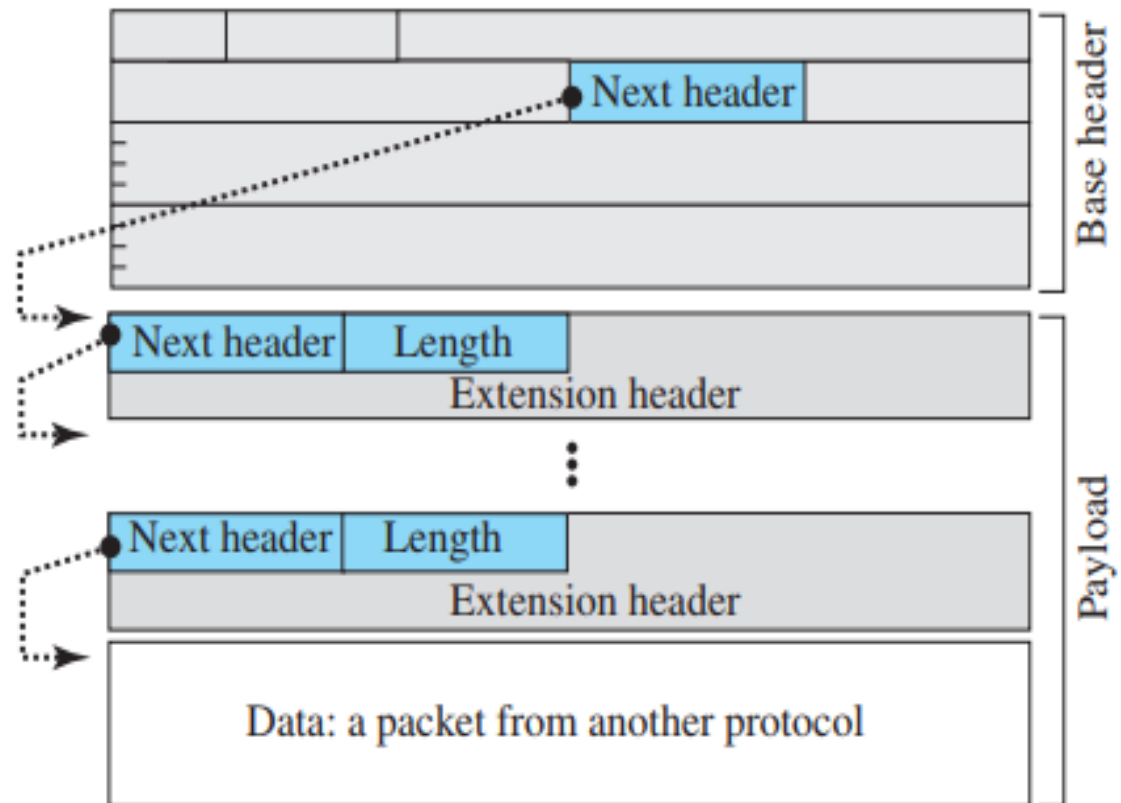
IPv6 base header

IPv6 Header (2)

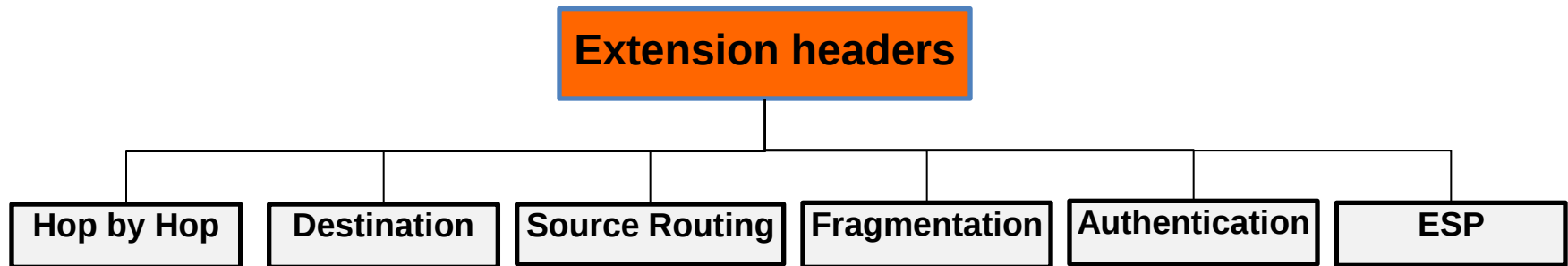
- Larger Address Space.
- End-to-end Connectivity (no NAT protocol).
- Simplified Header (Faster Forwarding/Routing).
- Mobility (Auto-configuration – same IPv6 address while moving).
- Enhanced Priority Support (based on Traffic Class and Flow label).
- Στο IPv6, το βασικό header περιέχει μόνο τις πληροφορίες 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

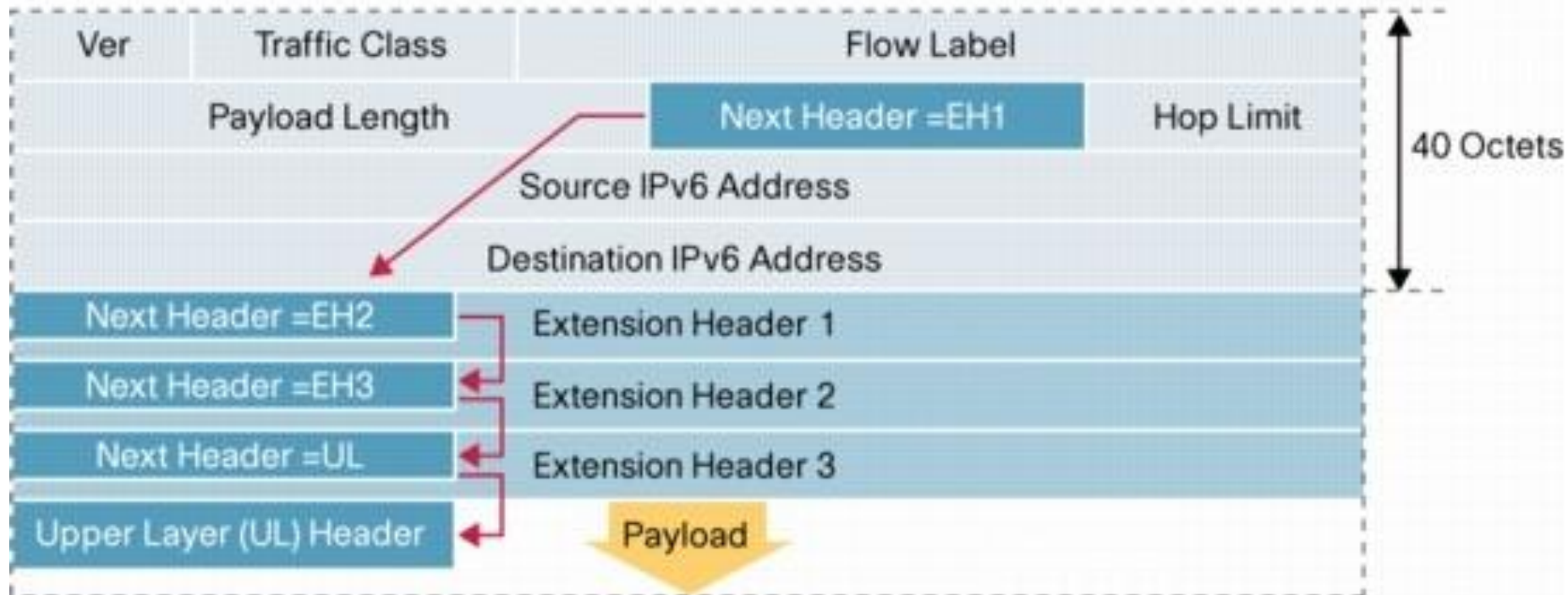


ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΔΟΧΗ ΤΩΝ EXTENSION HEADERS (EH)

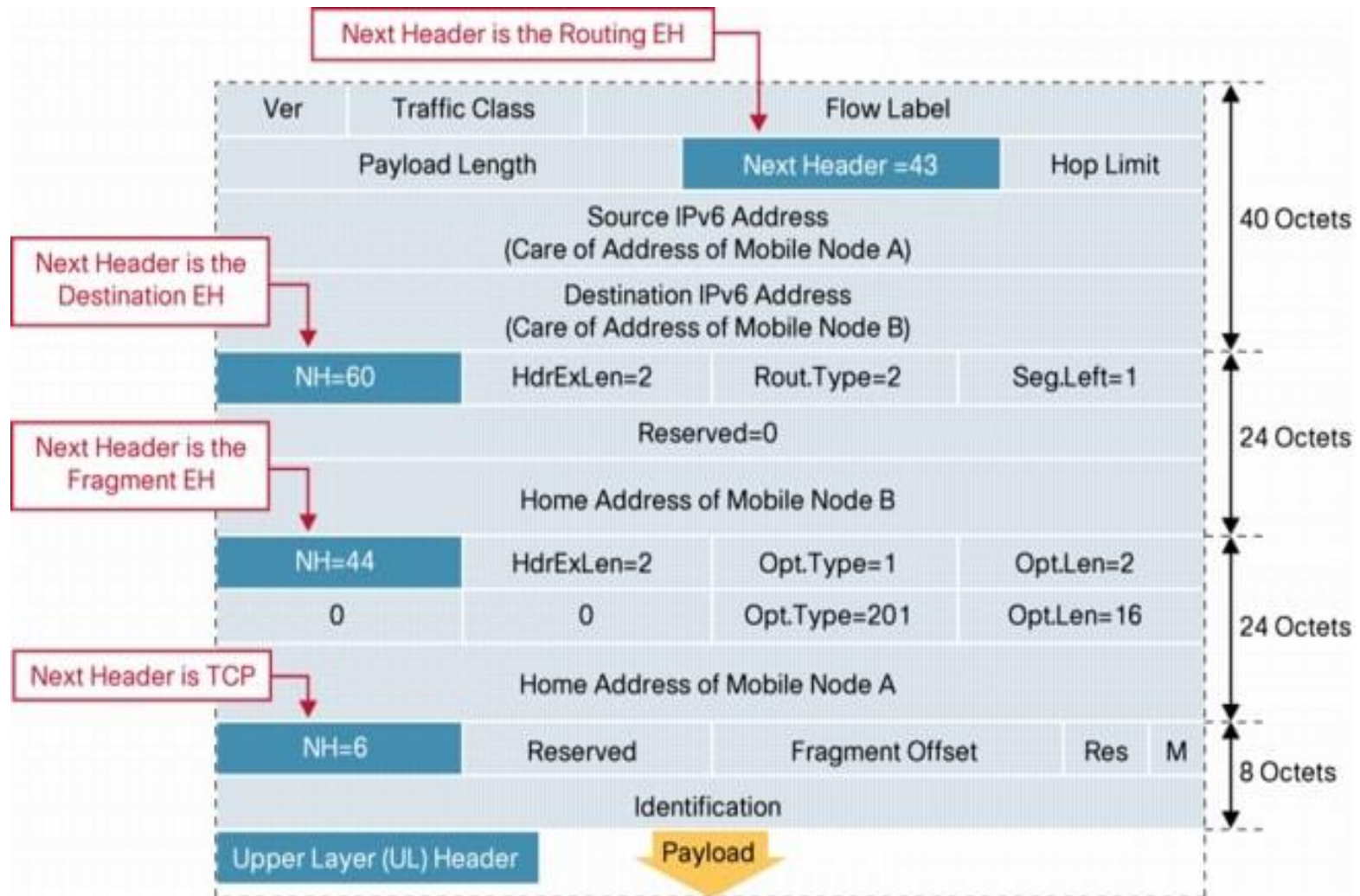
- **Hop-by-hop (00)**: για μεταβίβαση πληροφοριών σε όλους τους δρομολογητές που επισκέπτεται το datagram. Πεδία: Next Header field, Header Extension Length, Options.
- **Destination (60)**: για μεταβίβαση πληροφοριών δρομολόγησης στους **διαδοχικούς** προορισμούς, εφόσον προηγείται του *Source routing 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)

- To IPv6-datagram έχει δύο μέρη:
unfragmentable part, και **fragmentable part**.
- To 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.

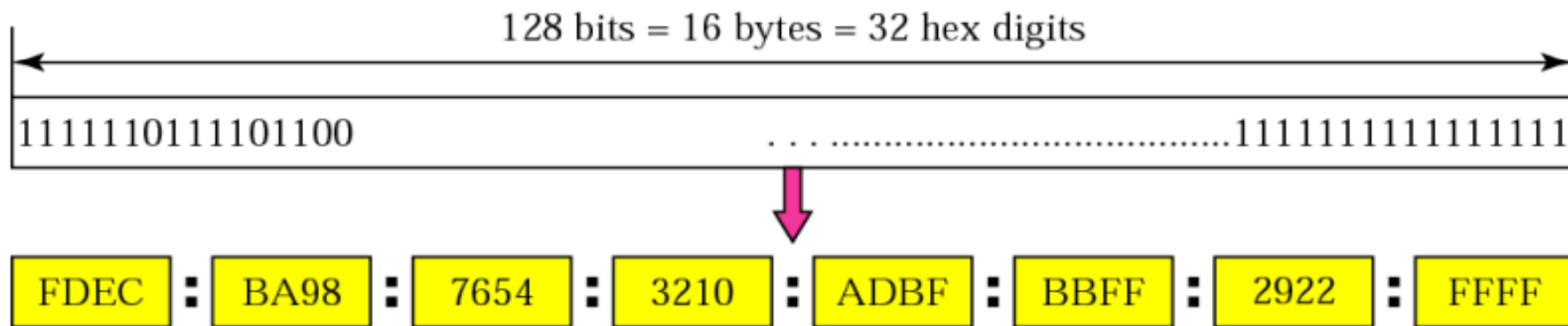
IDENTIFICATION unique for re-assembly. Fragments must be a multiple of 8 octets.

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

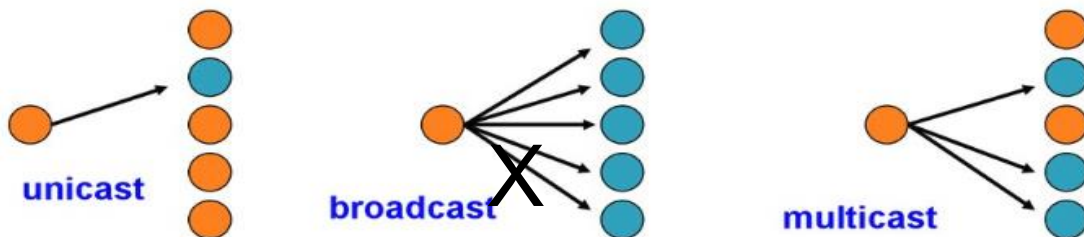
IPv6 addresses

- **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 από την εκτεταμένη μορφή της διεύθυνσης IPv6 (**Expanded address form**)

➤ FDEC:BA98:0074:3210:000F:BBFF:0000:FFFF →

➤ FDEC:BA98:74:3210:F:BBFF:0:FFFF

Αυτή η μορφή της διεύθυνσης IPv6 καλείται συντομευμένη (**Shortener form**)

- Συντομογραφία: μία σειρά μηδενικών μπορεί να αντικατασταθεί από “::” (μόνο μία φορά)

➤ FDEC:0:0:0:0:BBFF:0:FFFF →

➤ FDEC::BBFF:0:FFFF

Αυτή η μορφή της διεύθυνσης IPv6 καλείται συμπιεσμένη (**Compressed form**)

- Μορφή που δεν επιδέχεται περαιτέρω συμπίεση.

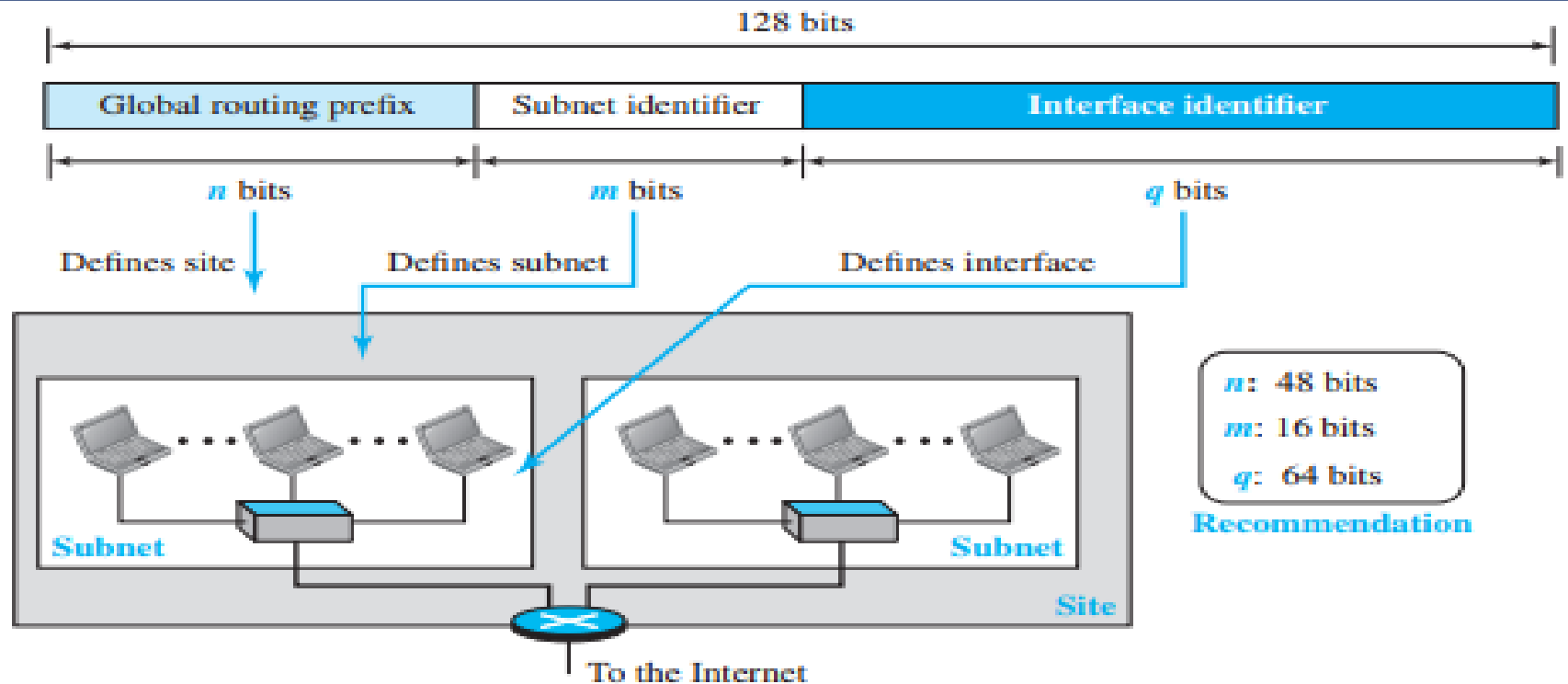
- CIDR notation** για τα πρώτα N bits μιας διεύθυνσης

➤ 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)



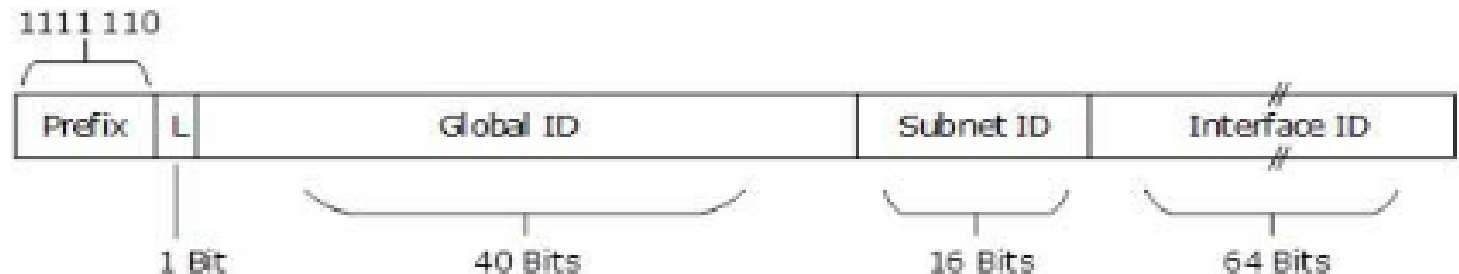
- **Global Routing prefix:** ιεραρχικά δομημένη τιμή (001.....) – κάθε οργανισμός ζητεί ένα μπλοκ διευθύνσεων IPv6, το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς άλλος.
- **Subnet ID:** αναγνωριστικό ενός υποδικτύου.
- **Interface ID:** εάν το πρόθεμα ξεκινά με δυαδικό 000: δεν υπάρχει περιορισμός στη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

Προθέματα καταχωρημένων IPv6 διευθύνσεων

- Η τελευταία στήλη δείχνει το κλάσμα που το κάθε μπλοκ καταλαμβάνει σε ολόκληρο το χώρο διευθύνσεων.

Block Prefix	CIDR	Block assignment	Fraction
0000 0000	0000::/8	Special addresses	1/256
001	2000::/3	Global unicast	1/8
1111 110(1)	FC00::/7	Unique local address	1/128
1111 1110 10	FE80::/10	Link local address	1/1024
1111 1111	FF00::/8	Multicast addresses	1/256

- Unique Local (private addresses)**

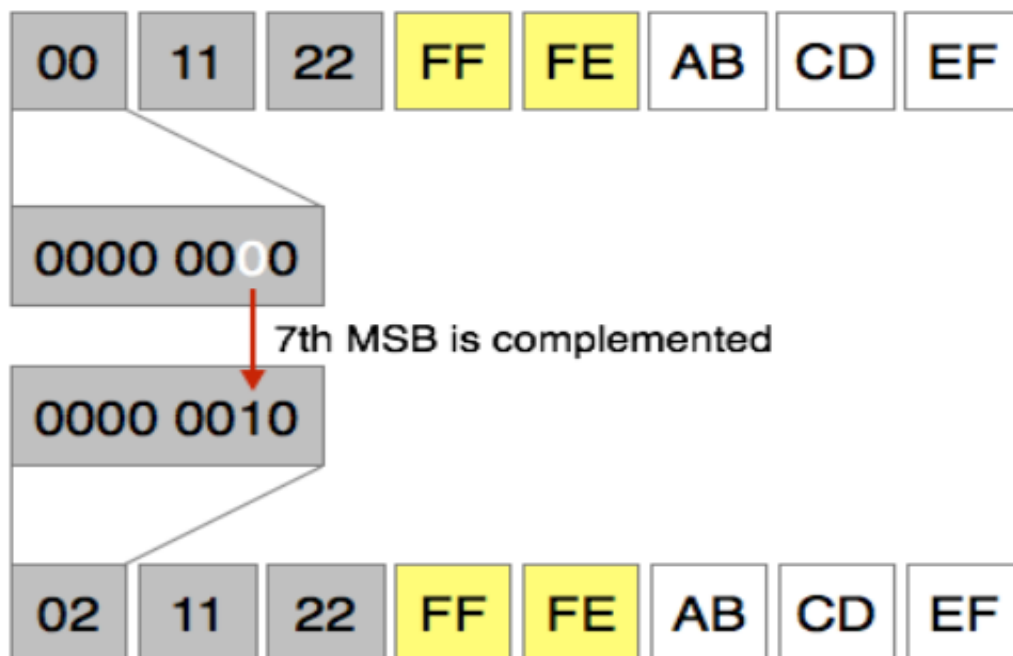


- Link local addresses** – Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ hosts (point to point) ενός link όπου θα μπορούσε να υπάρξει broadcast επικοινωνία (ένας σε όλους). Σημειωτέον: Ο Router δεν προωθεί ποτέ αυτές τις διευθύνσεις εκτός του link.

1111 1110 1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000	Interface ID
---	--------------

Αντιστοίχιση διευθύνσεων MAC

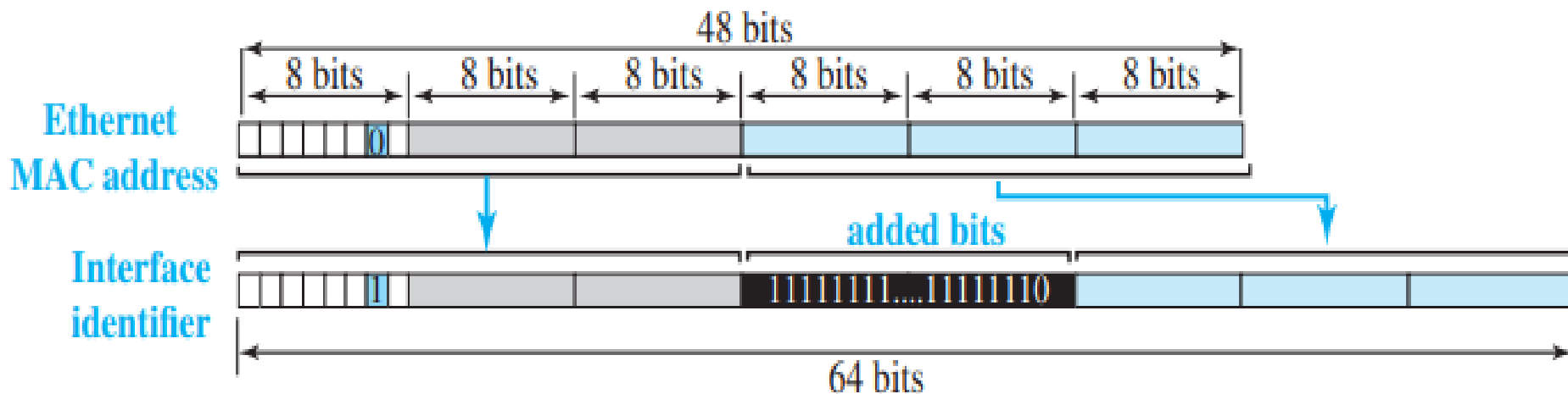
- Auto-configure of Interface ID - IEEE Extended Unique Identifier (EUI-64) format. Αντιστοίχιση μιας φυσικής διεύθυνσης (MAC address, 48 bits) στα τελευταία 64-bits (Interface ID)
- Ο host την χωρίζει σε δύο τμήματα των 24 bits και παρεμβάλλει 16 bits: **FFFE** ($16+48 = 64$)
- Το global/local κομμάτι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



Αντιστοίχιση διευθύνσεων MAC

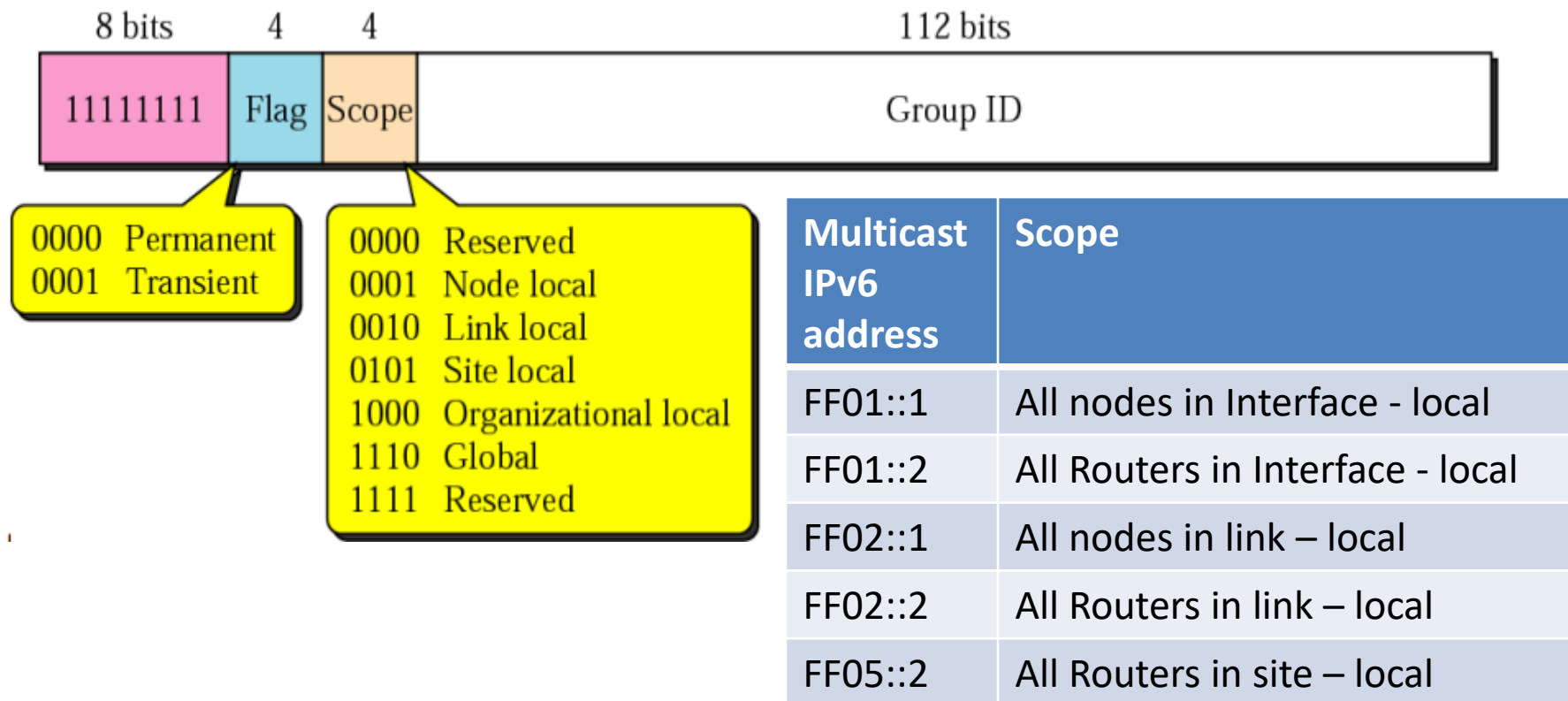
Παράδειγμα με bits

- Αντιστοίχιση 48-bit MAC διεύθυνσης σε 64-bit αναγνωριστικό διεπαφής (Interface ID)
 - Αλλαγή του local/global bit σε 1
 - Πρόσθεση 16 bit: 1111111111111110 ή FFFE₁₆.



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

Stateless Address Auto-Configuration (SLAAC) IPv6

- Για την σύνδεση και επικοινωνία Η/Υ στο Διαδίκτυο, απολύτως ελάχιστη απαίτηση είναι η εκχώρηση μιας **διεύθυνσης IP** και μιας μάσκας υποδικτύου (**subnetmask**).
- Πρόσθετες παράμετροι δικτύου (προεπιλεγμένη πύλη (**Gateway**) και διακομιστής **DNS**), βοηθούν στην επέκταση των δυνατοτήτων επικοινωνίας του Η/Υ.
- Αυτές οι παράμετροι πρέπει να ρυθμιστούν είτε **χειροκίνητα** είτε να εκχωρηθούν μέσω του πρωτοκόλλου **DHCP**.
- Υπάρχει αυτόματη διαδικασία, η **Stateless Address Auto-Configuration (SLAAC)**, με την οποία ένας Η/Υ μπορεί να λάβει διεύθυνση **IPv6** χωρίς καμία παρέμβαση από διαχειριστή. Μπορεί να είναι αυτόνομη διαδικασία ή σε συνδυασμό με DHCPv6. **Stateless** σημαίνει ότι δεν υπάρχει κεντρική παρακολούθηση από server για την εκχώρηση των διευθύνσεων IPv6.
- Εκχωρείται μια **link-local address**, ανταλλάσσονται μηνύματα, εκχωρείται μια **global διεύθυνση IPv6** και διασφαλίζεται ότι η επιλεγείσα διεύθυνση είναι **μοναδική** ανιχνεύοντας διπλότυπες διευθύνσεις (Duplicate Address Detection –DAD).

SLAAC IPv6 process (1)

A. Link-local IPv6 address assignment

Μόλις ένας Η/Υ συνδεθεί σε ένα δίκτυο IPv6, δημιουργεί αυτόματα τη δική του IPv6 **link-local address** (fe80::/64), τοπικής εμβέλειας (π.χ. Cisco EUI-64, Windows τυχαία). Μόλις διασφαλιστεί η μοναδικότητα (μέσω DAD) και ενεργοποιηθεί η τοπική διεύθυνση σύνδεσης στη διεπαφή, ο Η/Υ επικοινωνεί μέσω του **Neighbor Discovery (ND) protocol** για να αποκτήσει μια **unique global unicast IPv6 address**.

B. Router solicitation (RS) and Router advertisement (RA)

Ο Η/Υ με τη νεοαποκτηθείσα link-local address στέλνει ένα μήνυμα RS ζητώντας από οποιονδήποτε δρομολογητή που μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο LAN segment ένα IPv6 global unicast prefix. Η **FF02::2 (all routers) multicast address** χρησιμοποιείται ως προορισμός του μηνύματος RS. Δηλαδή μόνο δρομολογητές IPv6 θα λάβουν το RS.

Μόλις ο δρομολογητής λάβει το μήνυμα RS, απαντά με ένα μήνυμα RA, διαφημίζοντας το δικό του global prefix καθώς και το μήκος του προθέματος δικτύου (π.χ. 2001:1::/64). Το RA χρησιμοποιεί τη διεύθυνση link-local του δρομολογητή στη διεπαφή του ως διεύθυνση αποστολέα και τη multicast address **FF02::1 (all-host)** ως προορισμό.

SLAAC IPv6 process (2)

C. Global unicast address configuration

Ο Η/Υ τώρα ξέρει το **network prefix** και το **μήκος του προθέματος**. Το μόνο που απομένει είναι να καθορίσει τα 64 bits Interface ID (δηλ. host part), π.χ. EUI-64 ή τυχαία (π.χ. ::2). Έτσι λοιπόν έχουμε εκχωρήσει στον Η/Υ την διεύθυνση IPv6: 2001:1::2/64.

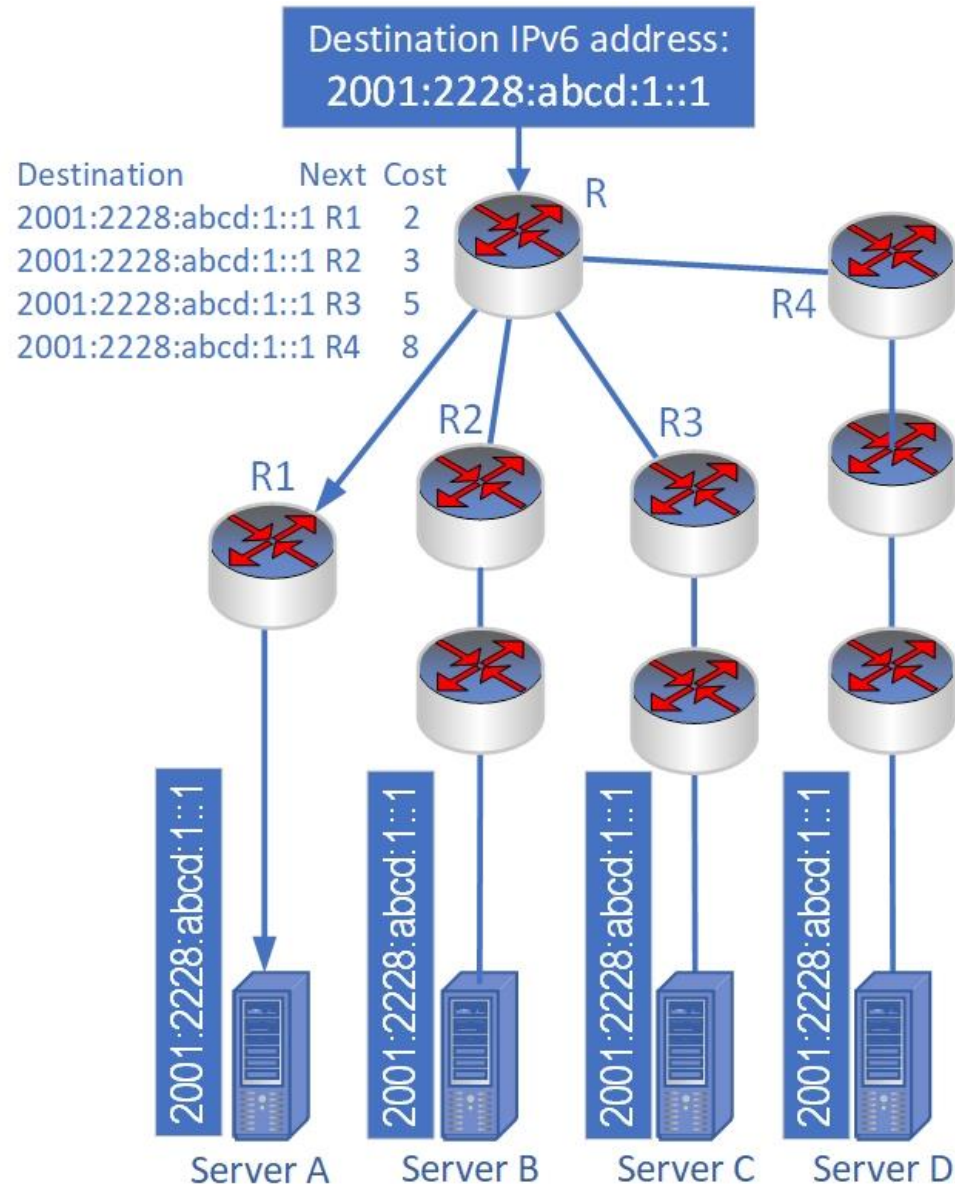
Ο δρομολογητής ενδεχομένως να καθορίσει τη δική του διεύθυνση ως προεπιλεγμένη πύλη (Default Gateway) για τον Η/Υ, ανάλογα με το αν ρυθμίσουμε τον δρομολογητή να το κάνει ή όχι. Εάν το κάνει, τότε θα μοιραστεί τη δική του IPv6 link-local address της διεπαφής του (με την οποία επικοινωνεί με τον Η/Υ) ως προεπιλεγμένη πύλη (Default Gateway).

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^η έκδοση (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;

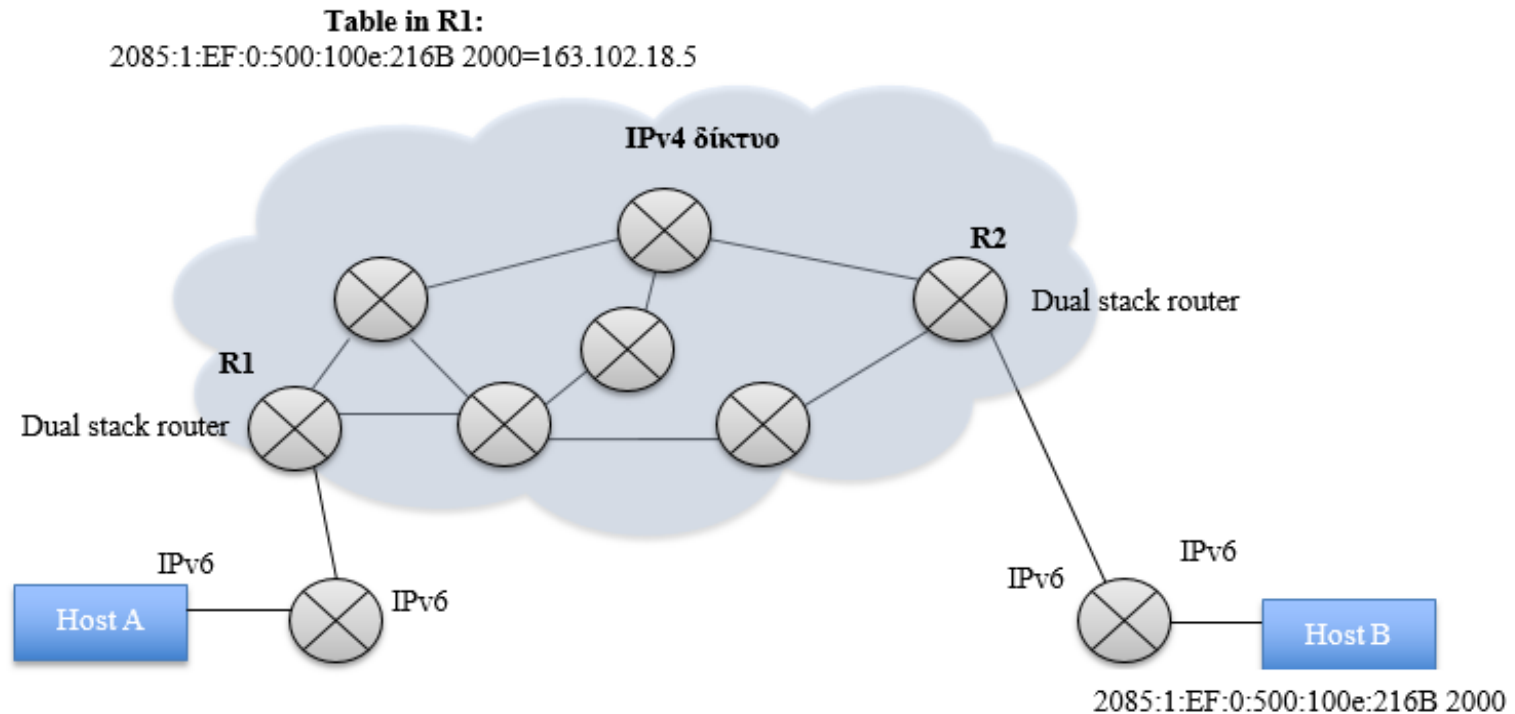
Απάντηση

- 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^ο bit του πρώτου octet από 0 σε 1 και προσθέτουμε 2 octets FFFE.
- ❑ $F5 = 11110101 \rightarrow 11110111 = F7$
 $\rightarrow F7A9:23FF:FE14:7AD2$