



ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Στρώμα δικτύου στο Internet

Εισαγωγή

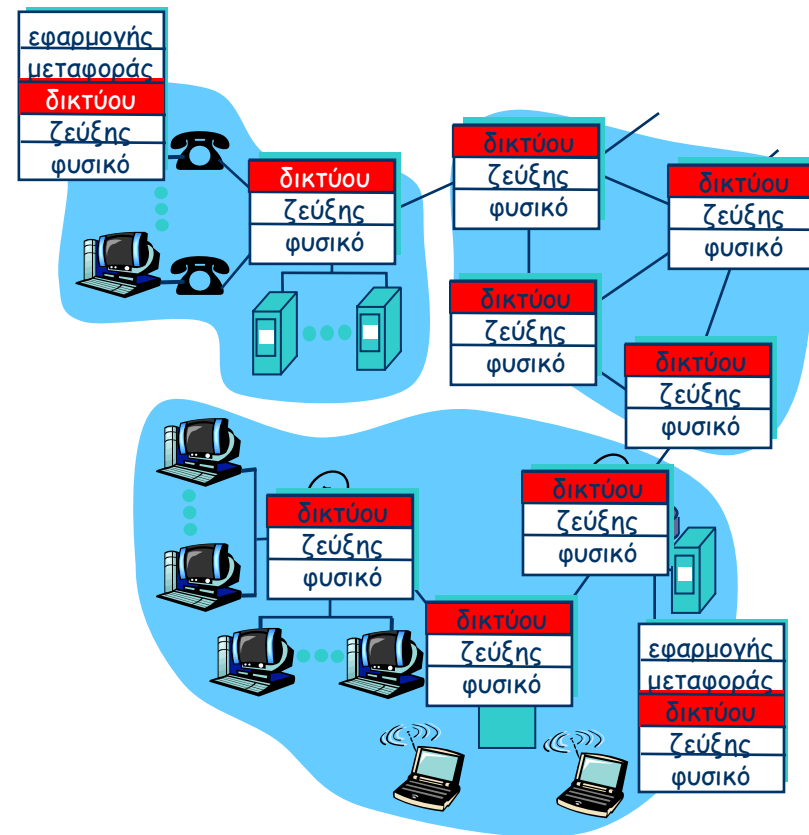


- Το IP (Internet Protocol) είναι το πρωτόκολλο του στρώματος δικτύου στο διαδίκτυο
- Η τρέχουσα έκδοση είναι η 4 (IPv4)
- Ορίζεται στο RFC 791

Στρώμα δικτύου



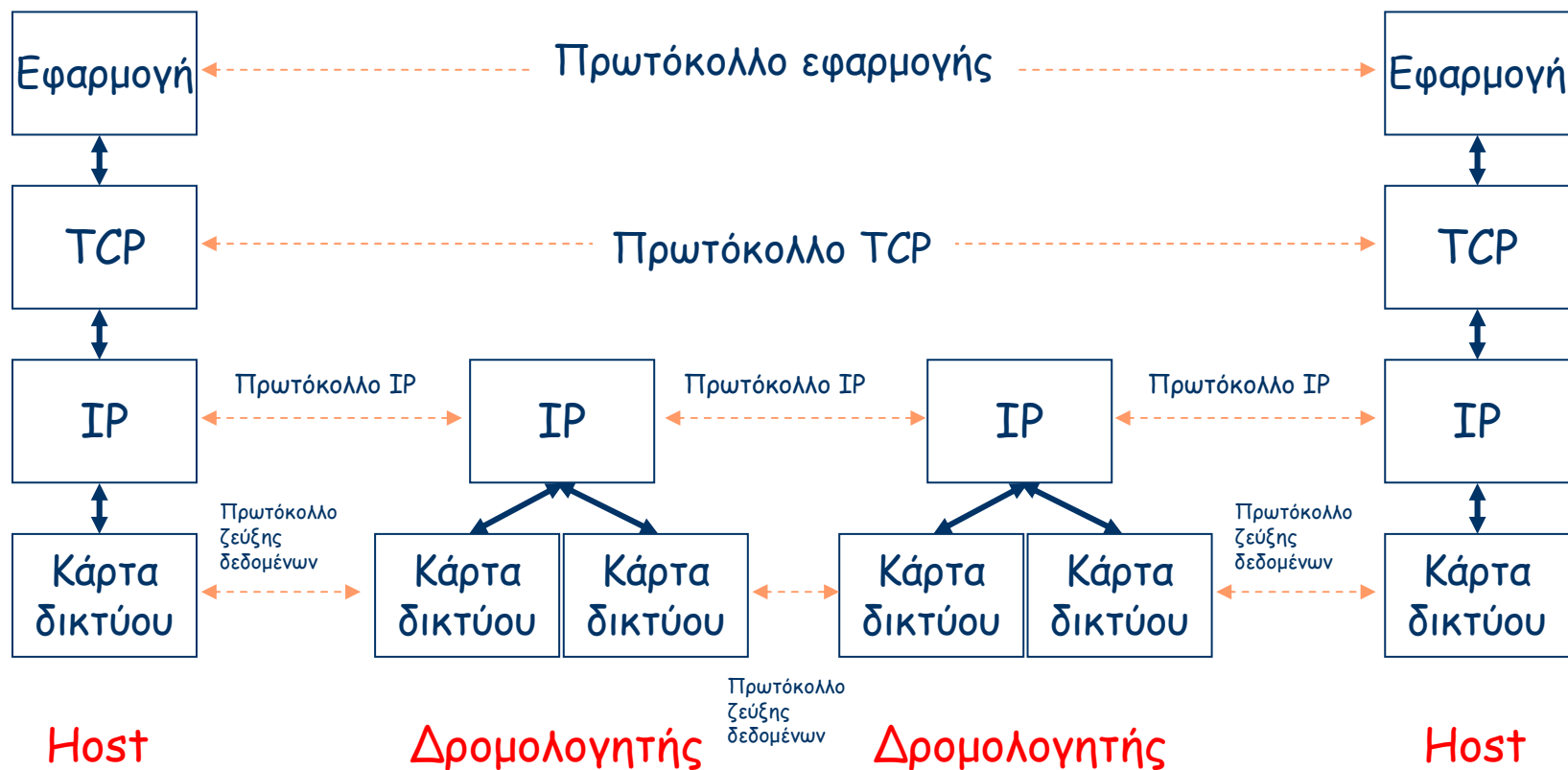
- Μεταφέρει τεμάχια (στρώματος μεταφοράς) από τον host πηγή προς τον host προορισμό
- Η πλευρά αποστολής ενθυλακώνει τα τεμάχια σε πακέτα
- Η πλευρά λήψης παραδίδει τα τεμάχια στο στρώμα μεταφοράς
- Πρωτόκολλα στρώματος δικτύου υπάρχουν σε **κάθε** host και δρομολογητή
- Ο δρομολογητής εξετάζει την επικεφαλίδα κάθε πακέτου IP που διέρχεται από αυτόν





Στρώμα δικτύου

Γενικό πλαίσιο

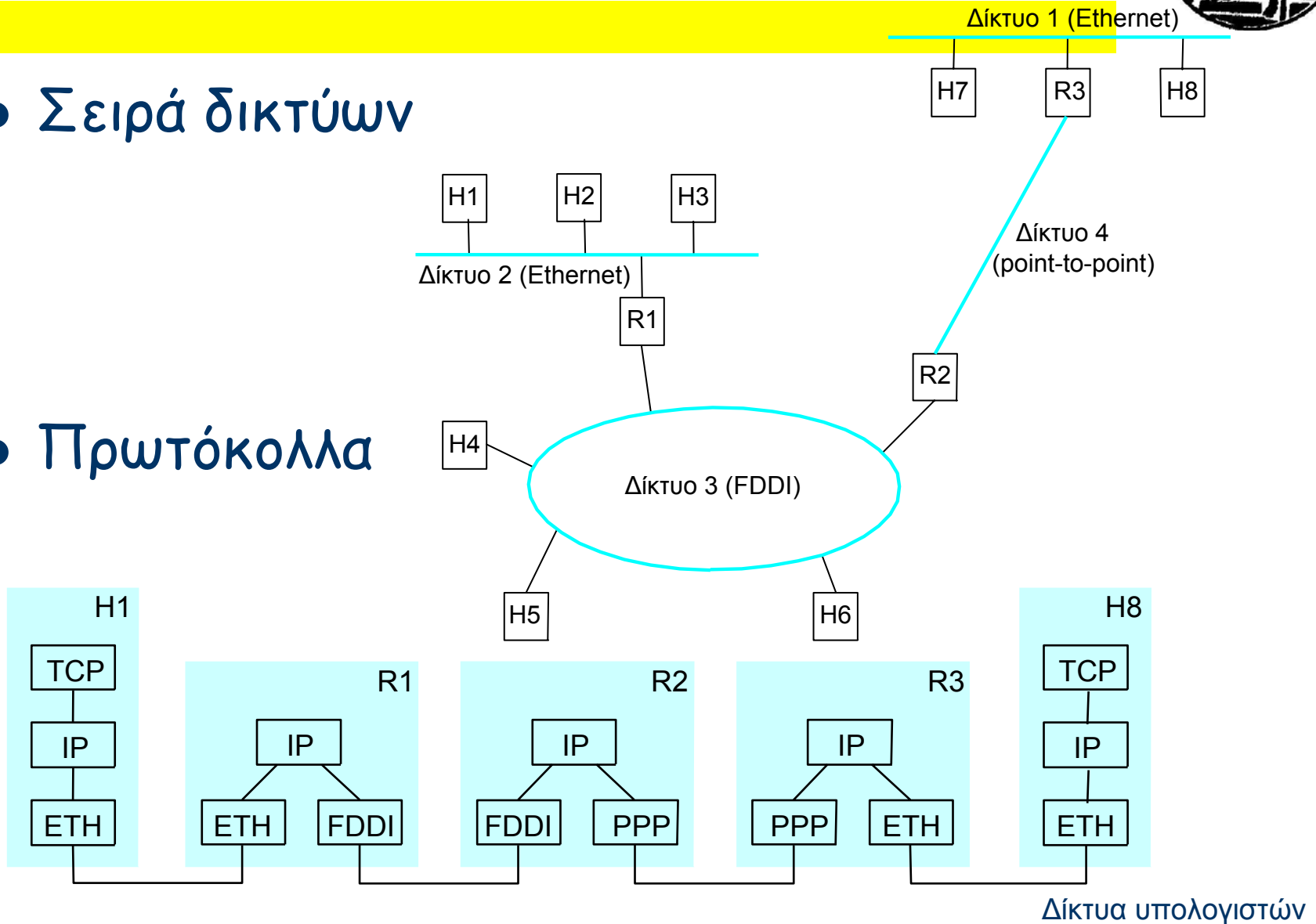


IP Internet



- Σειρά δικτύων

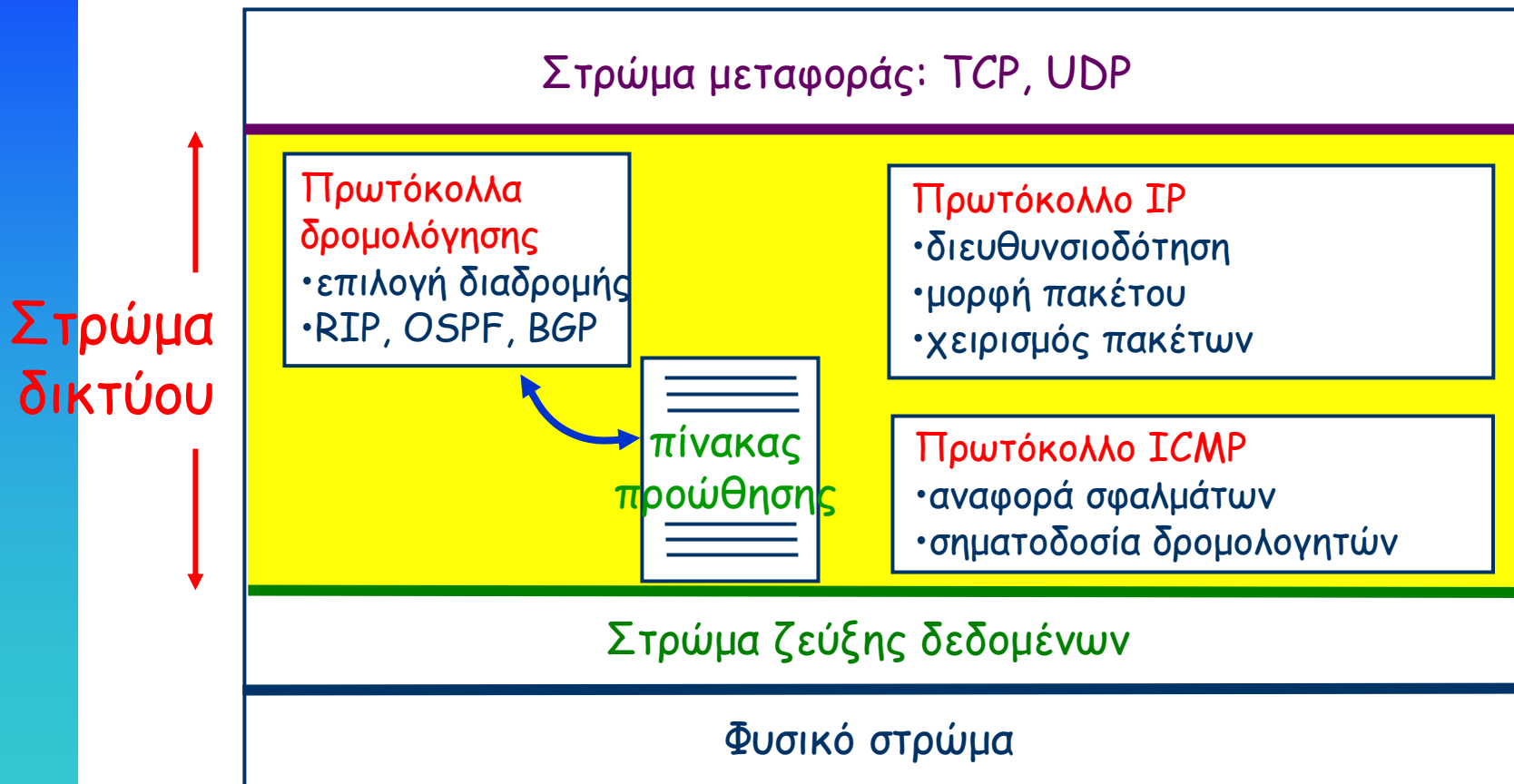
- Πρωτόκολλα



Το στρώμα δικτύου στο Internet



Λειτουργίες των host και των δρομολογητών στο στρώμα δικτύου:



Παράδοση πακέτων IP



- Για να παραδοθεί ένα πακέτο IP εμπλέκονται δύο διαφορετικές διεργασίες:
 1. **Πρώθηση:** Πώς θα μεταφερθεί το πακέτο από τη διεπαφή εισόδου στην διεπαφή εξόδου;
 2. **Δρομολόγηση:** Πώς θα βρεθούν και εγκατασταθούν οι πίνακες δρομολόγησης;
- Η πρώθηση πρέπει να γίνει όσο το δυνατό γρηγορότερα:
 - Στους δρομολογητές η λειτουργία υποστηρίζεται από το υλικό
 - Στους υπολογιστές αποτελεί μέρος του λειτουργικού συστήματος
- Η δρομολόγηση είναι χρονικά λιγότερο κρίσιμη

Αναλογία με μεταφορές



- *προώθηση*: μετακίνηση πακέτων από την είσοδο στην κατάλληλη έξοδο του δρομολογητή
- *δρομολόγηση*: προσδιορισμός της διαδρομής που θα ακολουθήσουν τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό
 - *Αλγόριθμοι δρομολόγησης*

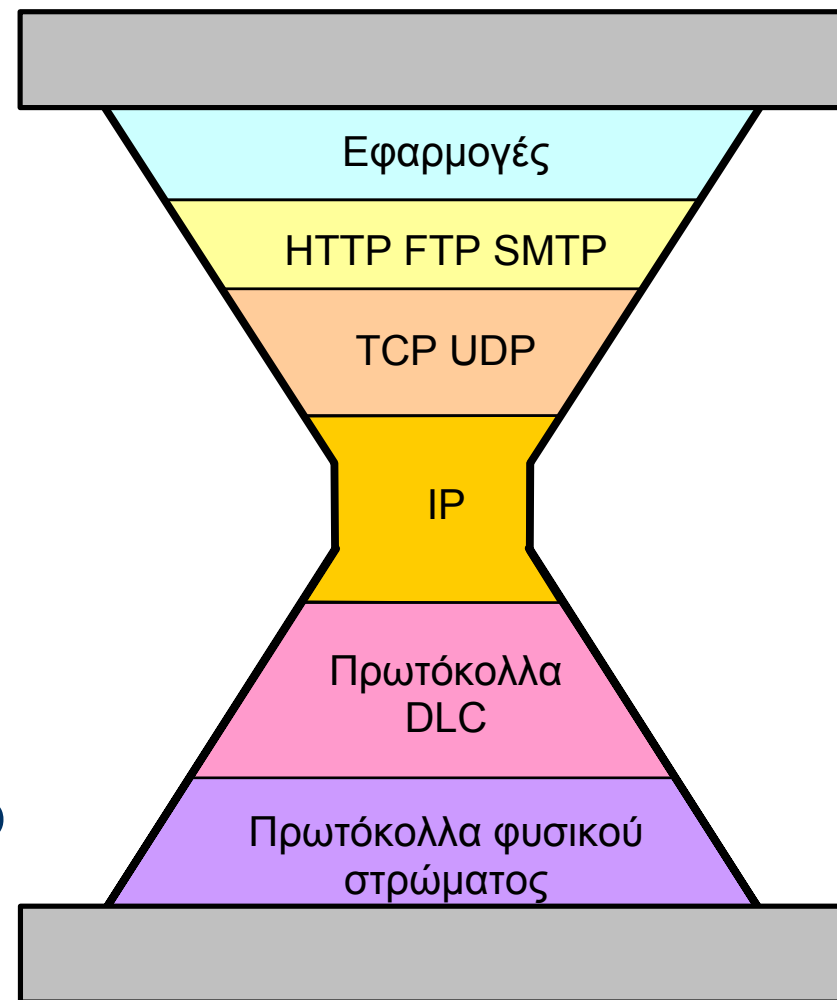
αναλογία:

- *δρομολόγηση*: η διαδικασία σχεδιασμού του ταξιδιού από την αρχή στον προορισμό
- *προώθηση*: η διαδικασία διέλευσης από μια διασταύρωση

IP: Η στενωπός της κλεψύδρας



- Το IP βρίσκεται στη μέση της αρχιτεκτονικής των πρωτοκόλλων του Διαδικτύου
 - Πολλά πρωτόκολλα ανωτέρων επιπέδων
 - Πολλά πρωτόκολλα κατωτέρων επιπέδων
 - Μόνο ένα πρωτόκολλο στο στρώμα δικτύου



Δίκτυα υπολογιστών



Υπηρεσίες που προσφέρει το ΙΡ

Υπηρεσία IP



- Η παρεχόμενη υπηρεσία είναι ελάχιστη
- Το πρωτόκολλο IP παρέχει αναξιόπιστη (unreliable) και χωρίς σύνδεση (connectionless) υπηρεσία "δεδομενογραμμάτων" (datagram)
- Το IP δεν εγγυάται ότι το προς μετάδοση πακέτο θα παραδοθεί, αλλά ότι θα προσπαθήσει για το καλύτερο (best effort)

Μοντέλο υπηρεσίας IP



- **Αναξιόπιστη:**
 - δεν προσπαθεί να επανακτήσει τα χαμένα πακέτα
- **Χωρίς σύνδεση:**
 - κάθε δεδομένογραμμα έχει την τύχη του
 - δρομολογείται ανεξάρτητα (περιέχει διεύθυνση παράδοσης)
 - το IP δεν αντιλαμβάνεται τη λογική σειρά αποστολής
- **Προσπάθεια για το καλύτερο:**
 - το IP δεν εγγυάται τίποτα για την υπηρεσία (καμία εγγύηση για διέλευση, καθυστέρηση, ...)

Μοντέλο υπηρεσίας IP



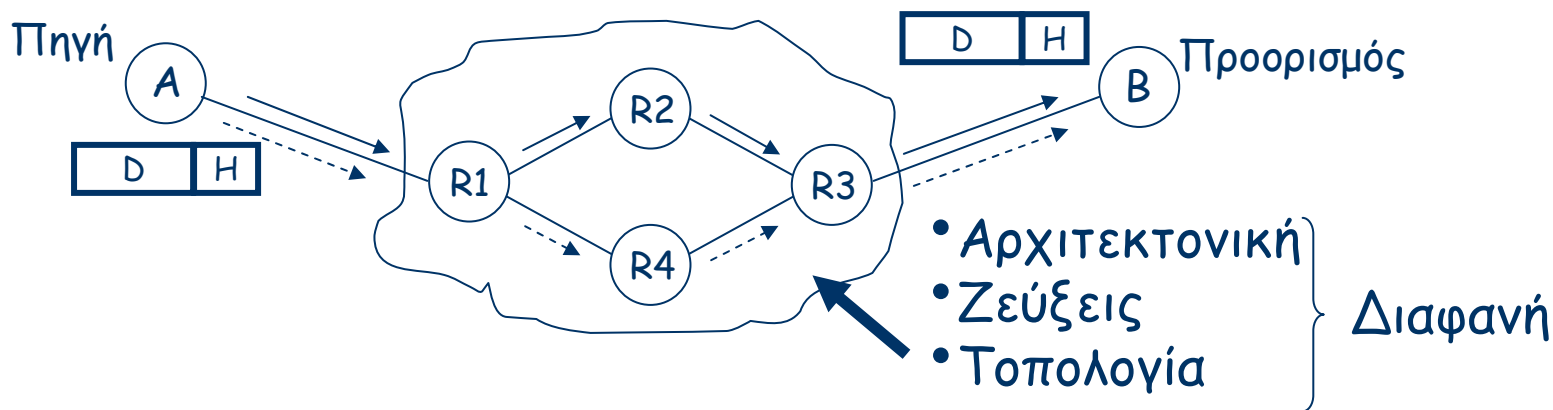
- ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ:
 - Απώλειες πακέτων
 - Παράδοση εκτός σειράς
 - Αντίγραφα πακέτων
 - Καθυστερημένη παράδοση
- Τα πρωτόκολλα ανωτέρων στρωμάτων θα ασχοληθούν με αυτά

Internet Protocol (IP)



- Χαρακτηριστικά

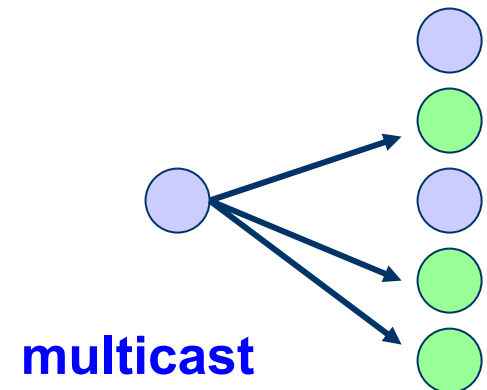
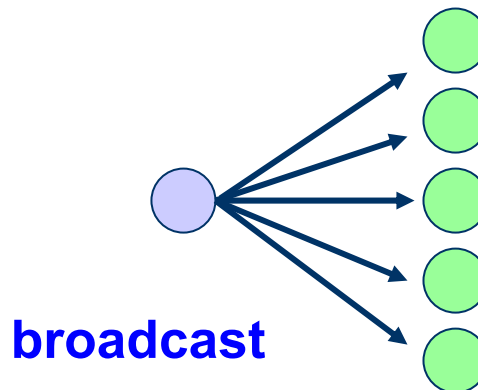
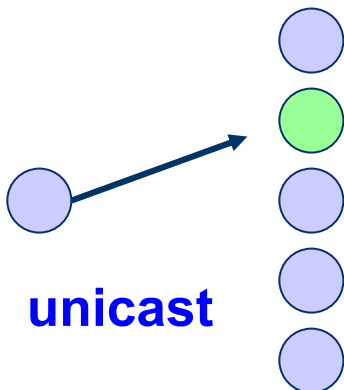
- **connectionless**: παράδοση εκτός σειράς
- **unreliable**: μπορεί να χάσει πακέτα ...
- **best effort**: ... μόνο εάν είναι ανάγκη
- **datagram**: τα καθένα δρομολογείται ξεχωριστά



Υπηρεσία IP



- Το IP υποστηρίζει υπηρεσίες:
 - ένας-προς-ένα (unicast)
 - ένας-προς-όλους (εκπομπή, broadcast)
 - ένας-προς-πολλούς (πολλαπλή διανομή, multicast)
- Η πολλαπλή διανομή IP υποστηρίζει και υπηρεσία πολλοί-προς-πολλούς
- Η πολλαπλή διανομή IP απαιτεί και άλλα πρωτόκολλα (IGMP, δρομολόγηση πολλαπλής διανομής)



Internet Protocol (IP)



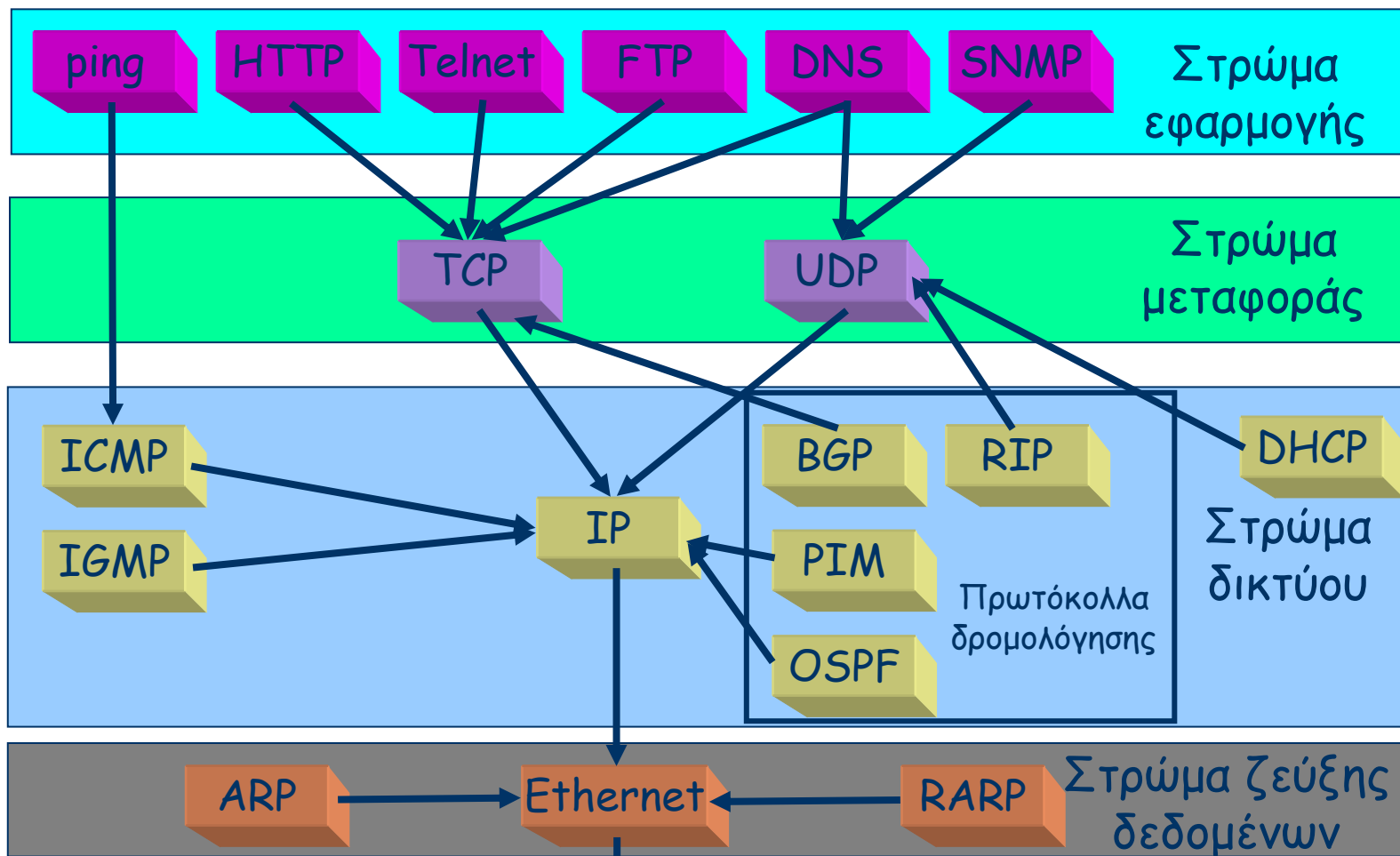
- Το IP είναι το ανώτερο στρώμα πρωτοκόλλου που υλοποιείται τόσο στους υπολογιστές όσο και στους δρομολογητές



Πρωτόκολλα στρώματος δικτύου στο Internet

- Το IP χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων
- Το Internet έχει αρκετά πρωτόκολλα ελέγχου στο στρώμα δικτύου
 - ICMP, IGMP, BOOTP, DHCP
- Η δρομολόγηση ακολουθεί πρωτόκολλα όπως:
 - RIP, OSPF, RIM, BGP (μπορεί να λειτουργούν πρωτόκολλα εφαρμογής, δηλ., πάνω από το στρώμα μεταφοράς)
- Για την επίλυση διευθύνσεων
 - ARP, RARP (λογικά τοποθετούνται στο στρώμα ζεύξης δεδομένων)

Αντιστοιχία στρωμάτων OSI και πρωτοκόλλων σουίτας TCP/IP



Κάρτα
δικτύου

Δίκτυα υπολογιστών

Χρόνος ζωής πακέτων IP



- Τα πακέτα μπορεί να περιφέρονται αενάως
 - Καταναλώνονται πόροι
 - Το πρωτόκολλο μεταφοράς δεν μπορεί να περιμένει αιωνίως
- Τα πακέτα IP έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής
 - Πεδίο TTL
 - Μόλις λήξει το πακέτο απορρίπτεται (δεν προωθείται)



Η επικεφαλίδα IP

Η επικεφαλίδα του IP version 4



0	4	8	16	19	24	31
Version	IHL	DS/ECN	Total Length			
Identification			Flags	Fragment Offset		
Time to Live		Protocol	Header Checksum			
Source IP Address						
Destination IP Address						
Options					Padding	

Μετάδοση του πακέτου IP



- Με ποια σειρά μεταδίδονται τα byte του πακέτου IP;
- Η μετάδοση είναι γραμμή προς γραμμή
- Για κάθε γραμμή:
 - 1. πρώτα μεταδίδονται τα bit 0-7
 - 2. μετά μεταδίδονται τα bit 8-15
 - 3. μετά μεταδίδονται τα bit 16-23
 - 4. μετά μεταδίδονται τα bit 24-31
- Αυτό αποκαλείται διάταξη byte δικτύου (**network byte order**) ή **big endian** ordering
- Πολλοί υπολογιστές αποθηκεύουν τους ακέραιους σε μορφή **little endian**



Big endian ή little endian

- Σύμβαση για τον τρόπο αποθήκευσης λέξεων με πολλά byte
- Π.χ. ένας ακέραιος των 4 byte
 - Byte3 Byte2 Byte1 Byte0

Little Endian

Αποθηκεύει το κατώτερης τάξης byte στην μικρότερη διεύθυνση μνήμης και το μεγαλύτερης τάξης byte στην μεγαλύτερη διεύθυνση

Base Address+0	Byte0
Base Address+1	Byte1
Base Address+2	Byte2
Base Address+3	Byte3

Big Endian

Αποθηκεύει το ανώτερης τάξης byte στην μικρότερη διεύθυνση μνήμης και το κατώτερης τάξης byte στην μεγαλύτερη διεύθυνση

Base Address+0	Byte3
Base Address+1	Byte2
Base Address+2	Byte1
Base Address+3	Byte0

Πεδία πακέτου IP (1)



- Έκδοση
 - Η τρέχουσα 4, ήταν 5 για το ST II, για το IP v6 είναι 6
- Internet header length (IHL)
 - Μήκος της επικεφαλίδας σε λέξεις των 32 bit
 - Περιλαμβανομένων των προαιρετικών επιλογών (το πολύ 60 byte)
 - Συνήθως 5 (20 byte) όταν δεν υπάρχουν επιλογές
- DS/ECN (Differentiated Services/Explicit Congestion Notification)
 - Καθορίζει τον τρόπο χειρισμού των πακέτων κατά τη διάβασή τους μέσω του δικτύου. Παλαιότερα αποκαλούνταν TOS (Type of Service). Ο ρόλος του άλλαξε, αλλά υπάρχει συμβατότητα προς τα πίσω
- Συνολικό μήκος (Total length)
 - του πακέτου σε byte (min 20, max 65.535)

Τύπος υπηρεσίας (TOS)



- Προτεραιότητα (Precedence)
 - 8 επίπεδα (3 bit)
- Καθυστέρηση (Delay)
 - Κανονική ή χαμηλή (1 bit)
- Διέλευση (Throughput)
 - Κανονική ή υψηλή (1 bit)
- Αξιοπιστία (Reliability)
 - Κανονική ή υψηλή (1 bit)
- Αχρησιμοποίητο (2 bit)
- Οι δρομολογητές συνήθως τα αγνοούσαν

Διαφοροποιημένες υπηρεσίες (Differentiated Services - DS)



- Κωδικό σημείο (Codepoint ή DSCP)
 - 64 κωδικοί (6 bit): τα bit από μόνα τους δεν σημαίνουν τίποτα
 - προσδιορίζει το επίπεδο υπηρεσίας
 - 'xxx000' συμβατότητα με τα παλιά (προτεραιότητα 5 ή 6 για μηνύματα δρομολόγησης)
 - 'xxxxx0' τυποποιημένες χρήσεις από IETF
 - 'xxxx11' προς πειραματισμό
 - 'xxxx01' προσωρινά προς πειραματισμό
- Ένδειξη συμφόρησης (Explicit Congestion Notification - ECN)
 - 2 bit (codepoints) στην επικεφαλίδα IP (ECT, CE) + 2 bit στην επικεφαλίδα TCP:
 - νέος μηχανισμός ανάδρασης για το TCP
 - '00' not-ECT (ECN Capable Transport)
 - '11' CE (Congestion Experienced)
 - '01' ECT (1)
 - '10' ECT (0)



Πεδία πακέτου IP (2)

- Ταυτότητα (Identification)
 - Μοναδική ταυτότητα πακέτου ανά host
 - Αυξάνει κάθε φορά που μεταδίδεται ένα πακέτο
 - Τίθεται από τον αποστολέα
 - Αντιγράφεται σε κάθε θραύσμα (όταν γίνεται θρυμματισμός)
 - Απαιτείται για τη συναρμολόγηση και αναφορά λαθών
- Σημαίες (Flags)
 - Το πρώτο bit είναι πάντα 0
 - Don't fragment bit (εάν τεθεί, τα δεδομένα δεν μπορούν να θρυμματισθούν)
 - More fragments bit (εάν τεθεί, ακολουθούν και άλλα, αλλιώς είναι το τελευταίο)
- Θέση θραύσματος (Fragmentation offset)
 - Θέση του θραύσματος εντός του αρχικού πακέτου (0 εάν δεν έχει θρυμματισθεί) σε **οκτάδες** byte

Θα επανέλθουμε → Θρυμματισμός, συναρμολόγηση

Πεδία πακέτου IP (3)



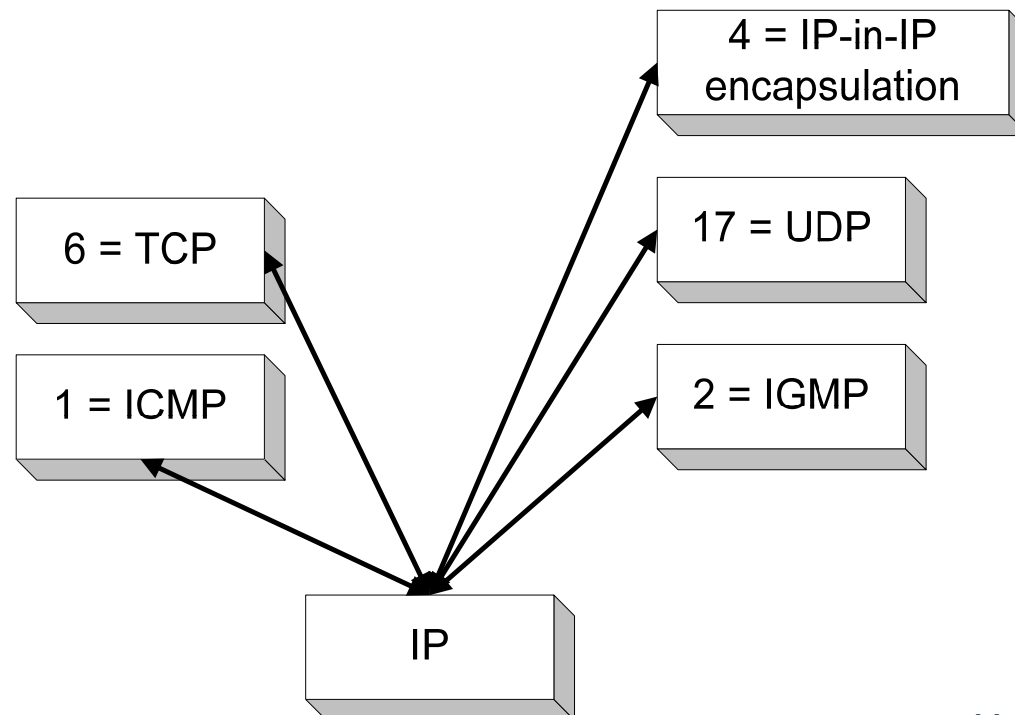
- Χρόνος ζωής (Time to live)
 - Μέγιστος αριθμός βημάτων μέχρι τον προορισμό
 - Η αρχική τίθεται από τον αποστολέα
 - Μειώνεται κατά ένα σε κάθε δρομολογητή
 - Εάν φτάσει το μηδέν το πακέτο απορρίπτεται
 - Μειώνεται κατά ένα, εάν το πακέτο καθυστερήσει στο δρομολογητή περισσότερο από 1 sec
 - Προλαμβάνει "αθάνατα" πακέτα, που τριγυρνούν αενάως

Πεδία πακέτου IP (4)



- Πρωτόκολλο (Protocol)

- Υποδεικνύει τον τύπο πρωτοκόλλου που περιλαμβάνεται στο πακέτο
- Σημείωση: μπορεί να δείχνει IP!



Πεδία πακέτου IP (5)



- Άθροισμα ελέγχου επικεφαλίδας (Header checksum)
 - Προστατεύει την επικεφαλίδα, δεν καλύπτει τα δεδομένα
 - **Αλλάζει καθώς το πακέτο προχωρά, επειδή το TTL μειώνεται**
 - Επανελέγχεται και επανυπολογίζεται σε κάθε δρομολογητή
 - Άθροισμα συμπληρώματος ως προς ένα (16 bit) όλων των λέξεων 16 bit της επικεφαλίδας
 - Ο υπολογισμός ξεκινά με την τιμή 0

Πεδία πακέτου IP (6)



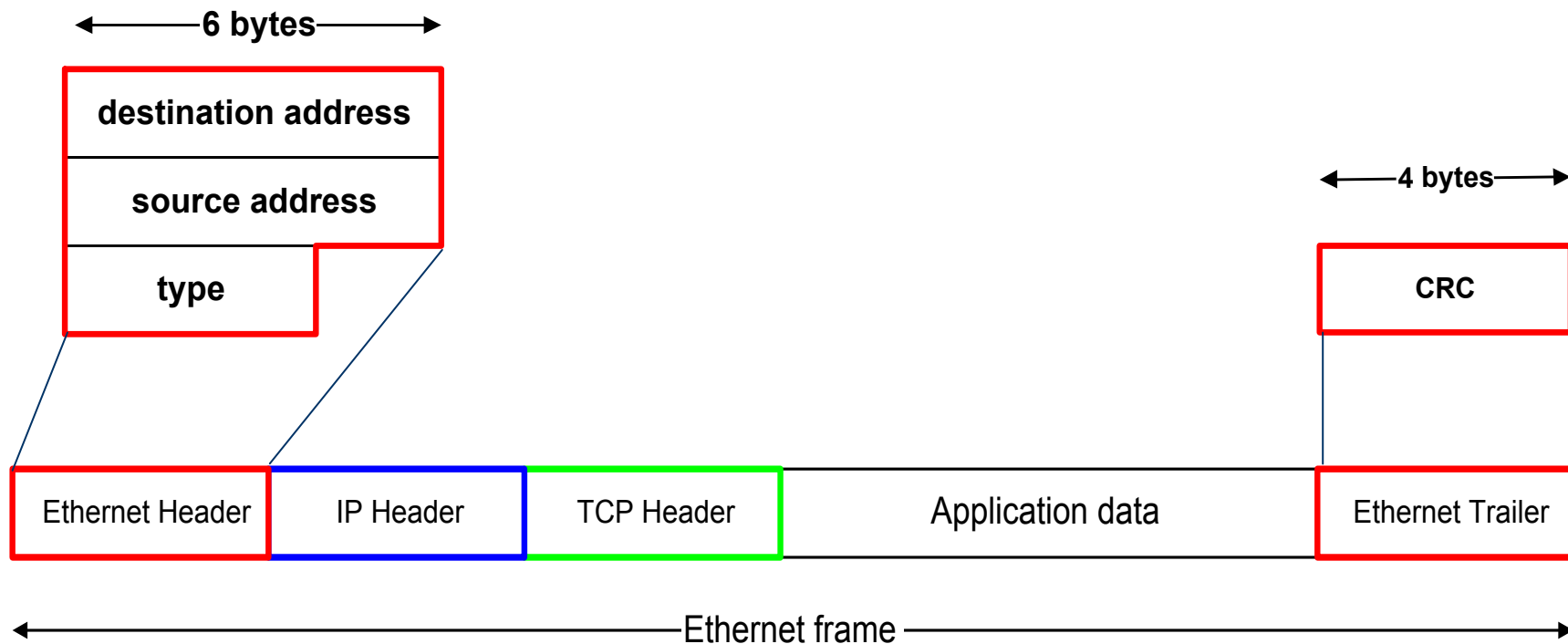
- Διεύθυνση πηγής (Source address)
 - Δεν αλλάζει κατά τη δρομολόγηση
 - Δεν γίνεται έλεγχος αυθεντικότητας
- Διεύθυνση προορισμού (Destination address)
 - Δεν αλλάζει συνήθως κατά τη δρομολόγηση
 - Αλλάζει σε περίπτωση δρομολόγησης πηγής

Πεδία πακέτου IP (7)

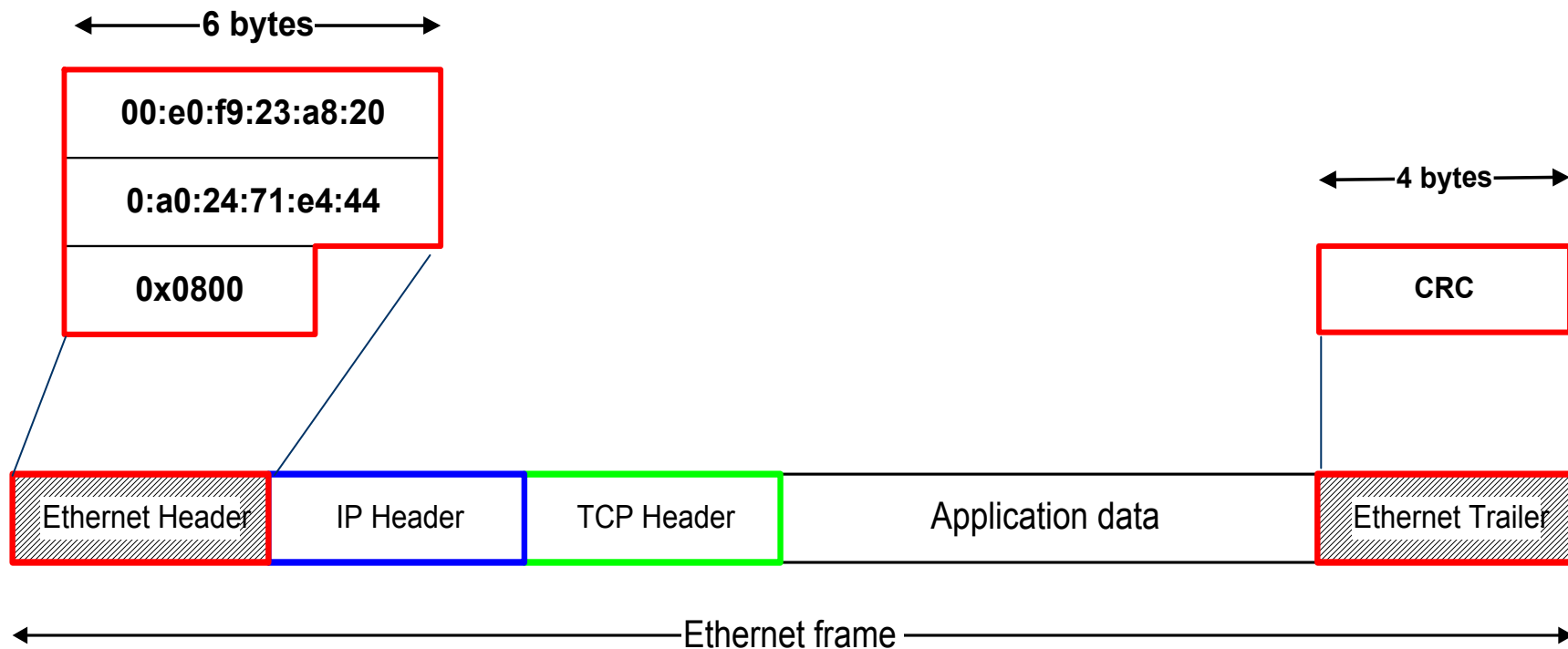


- Προαιρετικές επιλογές (Option data)
 - Ειδικά πακέτα που δεν ακολουθούν το "fast path" των δρομολογητών
 - Χρησιμοποιούνται σπανίως
 - Αντιγράφονται εν γένει κατά τον θρυμματισμό
- Παραγέμισμα (Padding)
 - των επιλογών για να συμπληρωθούν πολλαπλάσια του 4
- Δεδομένα (User data)
 - για το πρωτόκολλο ανωτέρου στρώματος
 - ακέραιος αριθμός byte
 - Μαχ μήκος πακέτου (περιλαμβανομένης της επικεφαλίδας)
65.535 byte

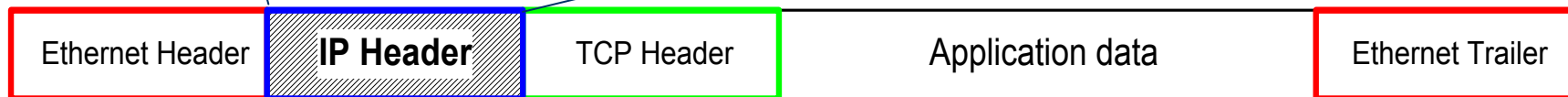
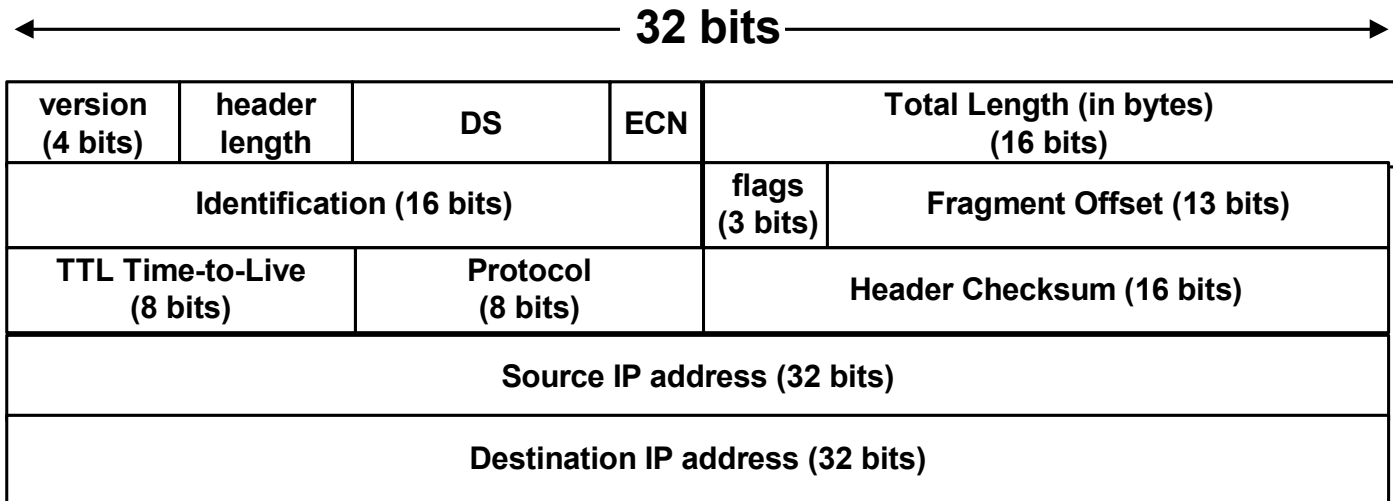
Παράδειγμα ενθυλάκωσης (1)



Επικεφαλίδα Ethernet για πακέτο IP

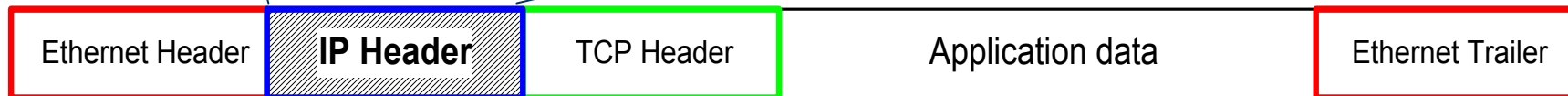
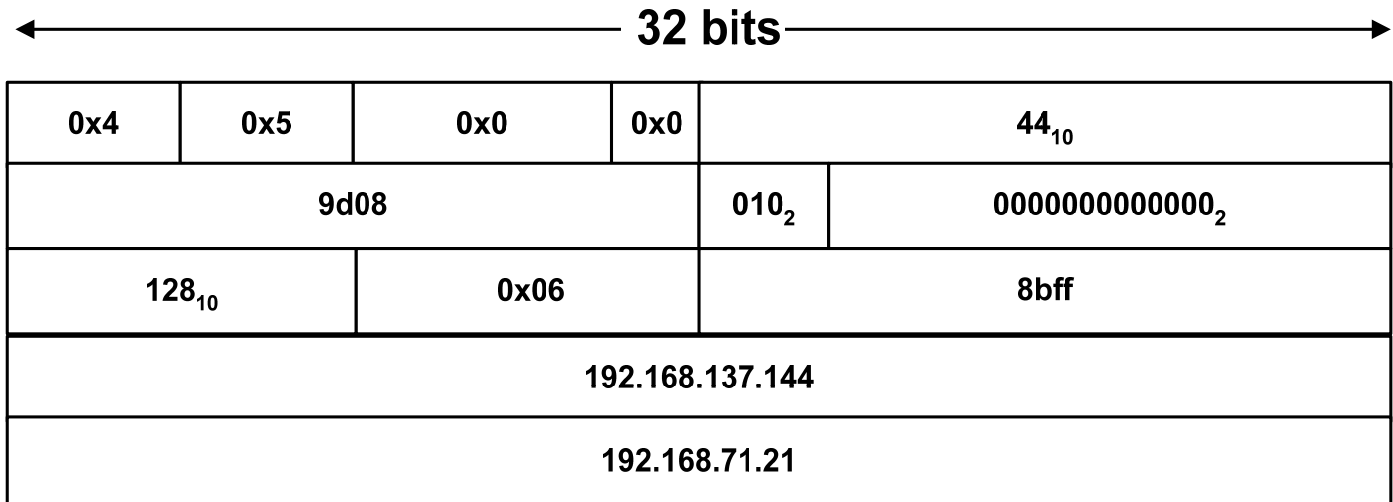


Παράδειγμα ενθυλάκωσης (2)



← Ethernet frame →

Επικεφαλίδα IP



Ethernet frame



Προαιρετικές επιλογές

- IHL: min 5 (20 byte), max 15 (60 byte), επομένως το πολύ 40 byte για προαιρετικές επιλογές. Οι πιο συνήθεις:
 - Source Routing
 - Record Route
 - Time stamp
- Μήκος επιλογής (ανάλογα με τον κωδικό επιλογής)
 - Σταθερό ('0' End of List, '1' No operation για ευθυγράμμιση)
 - Μεταβλητό
- Το πεδίο κωδικού επιλογής περιέχει 3 υπο-πεδία
 - κωδικός επιλογής (1 byte)
 - Copy (1 bit): εάν τεθεί η επιλογή αντιγράφεται σε κάθε θραύσμα
 - Option class (2 bit): '00' έλεγχος, '10' μέτρηση, '01', '11' αχρησιμοποίητο
 - Option number (5 bit) αριθμός

Copy	Option Class	Option Number
------	--------------	---------------

Προαιρετικές επιλογές



- Ασφάλεια (Security)
 - Καθορίζει το πόσο απόρρητο είναι το πακέτο (στρατιωτικές εφαρμογές)
- Δρομολόγηση πηγής (Source routing)
 - Δείχνει τη διαδρομή που θα ακολουθηθεί
- Καταγραφή διαδρομής (Record Route)
 - κάθε δρομολογητής επισυνάπτει την IP διεύθυνσή του
- Χρονική σφραγίδα (Time stamp)
 - κάθε δρομολογητής επισυνάπτει μαζί με την διεύθυνσή του και μια χρονική σφραγίδα

Δρομολόγηση πηγής (Source routing)



- Αυστηρή (strict=9): δείχνει την ακριβή διαδρομή
- Χαλαρή (loose=3): δείχνει ενδιάμεσους κόμβους
- Η επικεφαλίδα περιέχει ένα δείκτη και μια λίστα διευθύνσεων IP που δείχνουν του ενδιάμεσους δρομολογητές
- Η IP διεύθυνση προορισμού αντικαθίσταται από την διεύθυνση IP της λίστας
- Ο δείκτης ενημερώνεται για την επόμενη διεύθυνση
- Το μέγεθος της επικεφαλίδας δεν αλλάζει

Code=131/137	Length	Pointer	IP addr of 1 st hop
IP address of 1 st hop			IP addr of 2 nd hop
IP address of 2 nd hop			...
...			EOL



Καταγραφή διαδρομής (Record route)

- Ο αποστολέας καθορίζει το μήκος της επικεφαλίδας IP και βάζει τον δείκτη να δείχνει την πρώτη άδεια θέση 4 byte
- Κάθε ενδιάμεσος θέτει την IP διεύθυνσή του στην άδεια θέση και αυξάνει τον δείκτη
- Εάν ο χώρος της επιλογής στην επικεφαλίδα γεμίσει, τα πακέτα απλώς προωθούνται
- Μόνο 40 byte διαθέσιμα, άρα καταγράφονται το πολύ 9 βήματα

Code=7	Length	Pointer	1 st IP address
1 st IP address			2 nd IP address
2 nd IP address			...
...			EOL



Χρονική σφραγίδα (Time stamp)

- Καταγράφει την άποψη των δρομολογητών για τον χρόνο και εάν ζητηθεί την IP διεύθυνσή τους
- Ο χρόνος σε msec από τα μεσάνυχτα UT
- Το πεδίο επιλογών περιλαμβάνει μετά τον δείκτη, overflow counter [4 bit] και flag [4 bit]
 - overflow: # δρομολογητών που δεν έγραψαν στην επικεφαλίδα λόγω έλλειψης χώρου
 - flag: '0' μόνο χρόνοι, '1' κόμβοι+χρόνοι, ή '3' χρόνοι για επιλεγμένους κόμβους

Code=68	Length	Pointer	Overflow	Flags
1 st IP address				
1 st time stamp				
...				



Μορφή πακέτου IPv4





Θρυμματισμός και συναρμολόγηση



Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP

- Το μέγιστο μήκος πακέτου IP είναι 65.535 byte, αλλά συνήθως το πρωτόκολλο στρώματος ζεύξης δεδομένων επιβάλλει ένα κατά πολύ μικρότερο όριο
- Για παράδειγμα:
 - τα πλαίσια Ethernet έχουν μέγιστο μήκος δεδομένων 1500 byte
→ πακέτα IP που ενθυλακώνονται σε πλαίσια Ethernet δε μπορεί να είναι μεγαλύτερα των 1500 byte
- Το όριο μέγιστου μεγέθους πακέτου IP, που επιβάλλει το πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων αποκαλείται **μέγιστη μονάδα μεταφοράς (MTU - maximum transmission unit)**
- διαφορετικοί τύποι ζεύξης δεδομένων, διαφορετικές MTU
 - Ethernet: 1500 802.3: 1492 802.5: 4464
 - FDDI: 4352 ATM AAL5: 9180 PPP: 296

Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP



- Τι συμβαίνει εάν το μέγεθος του πακέτου IP υπερβαίνει την MTU;
 - το πακέτο IP θρυμματίζεται σε μικρότερα κομμάτια
 - από ένα πακέτο προκύπτουν αρκετά κομμάτια
 - τα src, dest, id προσδιορίζουν το πακέτο
 - offset, length, more bit προσδιορίσουν τη σειρά των κομματιών
- Τι συμβαίνει εάν η διαδρομή περιλαμβάνει δίκτυα με διαφορετικές MTU;
 - ο θρυμματισμός μπορεί να γίνει στον είτε αποστολέα είτε στους ενδιάμεσους δρομολογητές
 - ένα πακέτο μπορεί να θρυμματισθεί πολλές φορές
 - η "συναρμολόγηση" του αρχικού πακέτου γίνεται μόνο στον τελικό προορισμό!!



Ποια πεδία εμπλέκονται στον θρυμματισμό;

- Κάθε κόμβος του διαδικτύου πρέπει να είναι σε θέση να προωθεί πακέτα των 68 byte χωρίς θρυμματισμό
 - Η επικεφαλίδα μπορεί να είναι 60 byte και το ελάχιστο θραύσμα είναι 8 byte
- Κάθε host στο διαδίκτυο πρέπει να μπορεί να λαμβάνει πακέτα μέχρι 576 byte είτε ολόκληρα είτε μετά από συναρμολόγηση των θραυσμάτων
 - δεδομένα 512 byte + επικεφαλίδες 64 byte
- Συνίσταται οι host να στέλνουν πακέτα μεγαλύτερα των 576 byte μόνο εάν υπάρχει βεβαιότητα ότι ο παραλήπτης μπορεί να τα δεχθεί

version	header length	DS	ECN	total length (in bytes)			
Identification				0	D F	M F	Fragment offset
time-to-live (TTL)		protocol		header checksum			



Ποια πεδία εμπλέκονται στον θρυμματισμό;

Identification

- όταν το πακέτο θρυμματίζεται η τιμή της παραμένει η ίδια για όλα τα κομμάτια

Flags

- DF = 1: το πακέτο δεν μπορεί να θρυμματισθεί και πρέπει να απορριφθεί εάν η MTU δεν επαρκεί
- MF = 1: αυτό το πακέτο είναι κομμάτι (θραύσμα) και ακολουθεί άλλο ένα κομμάτι

Fragment offset

- Θέση του πεδίου δεδομένων του τρέχοντος θραύσματος στο αρχικό πακέτο

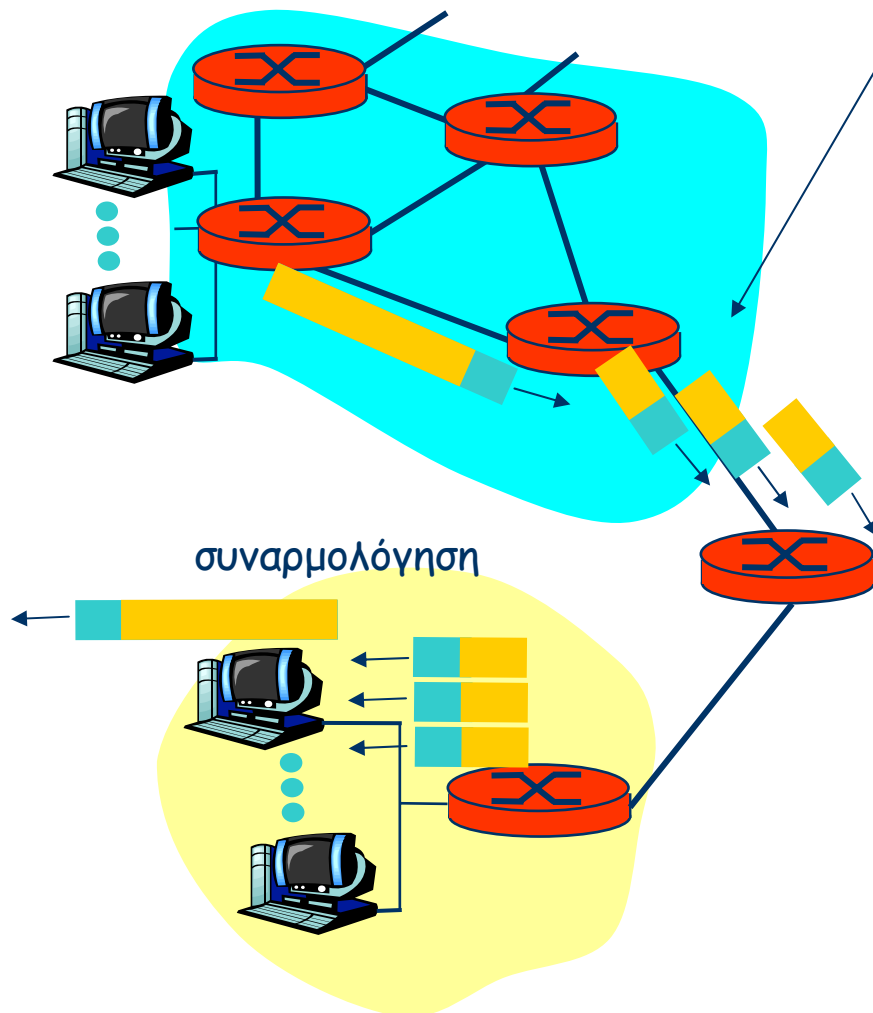
Total length

- Συνολικό μήκος του τρέχοντος θραύσματος

Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP



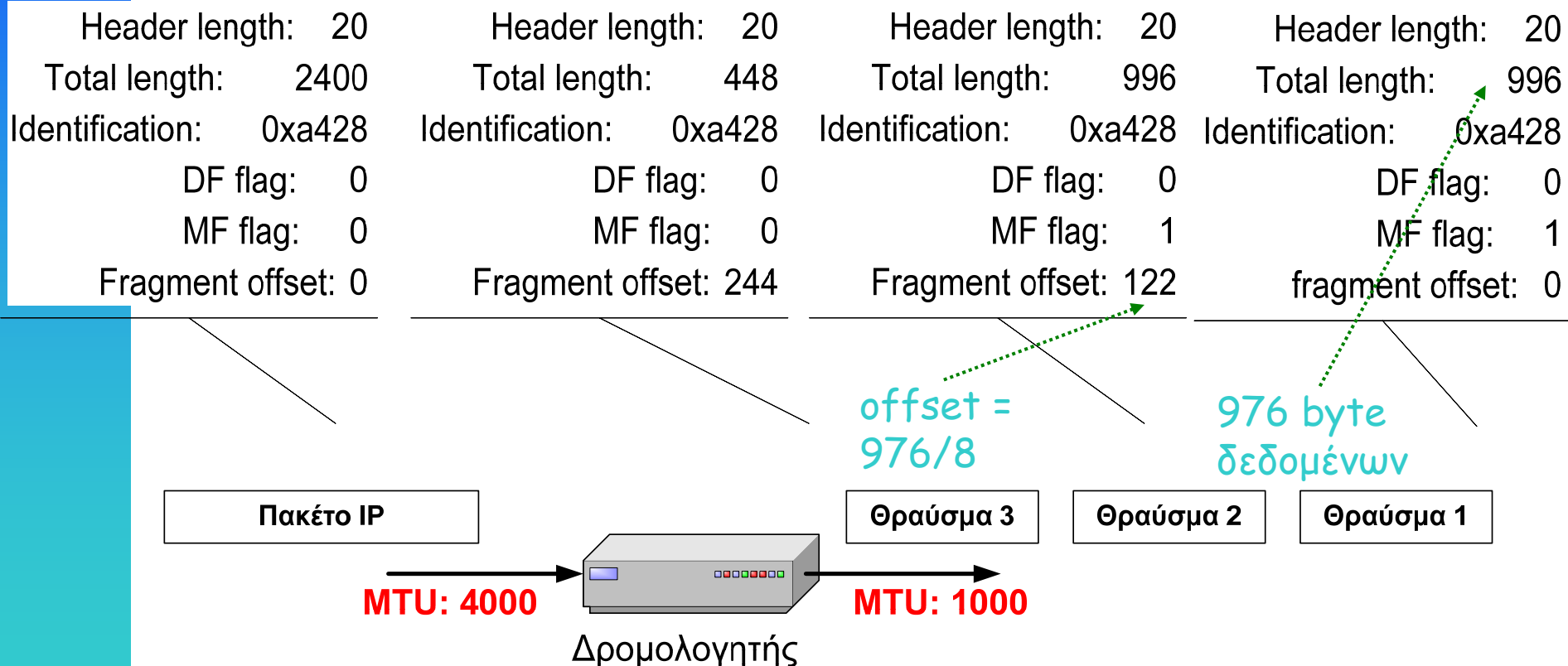
Θρυμματισμός:
in: ένα μεγάλο πακέτο
out: 3 θραύσματα





Παράδειγμα Θρυμματισμού

- Πακέτο μήκους 2400 byte πρέπει να θρυμματισθεί για να διέλθει από δίκτυο με MTU των 1000



Προσδιορισμός μήκους Θραύσματος



- Θυμηθείτε ότι για το offset διατίθενται 13 bit και η θέση του θραύσματος μετριέται σε οκτάδες byte
- Επειδή στο παράδειγμα η επικεφαλίδα είναι 20 byte, απομένουν 980 byte για δεδομένα
- Ο μεγαλύτερος διαιρέσιμος με 8 αριθμός που είναι μικρότερος του 980 είναι ο 976
- Άρα το offset είναι 122

Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP



- Θρυμματισμός μόνο εάν είναι αναγκαίο ($MTU < \text{πακέτο}$)
- Αποφυγή θρυμματισμού από την πηγή
- Τα κομμάτια είναι αυτόνομα πακέτα IP
- Τα κομμάτια μπορεί να (ξανα)θρυμματισθούν
- Η συναρμολόγηση γίνεται στον προορισμό, όχι στους ενδιάμεσους δρομολογητές
 - Ανεξάρτητη δρομολόγηση
 - Μειωμένες ανάγκες μνήμης

Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP



- Χαμένα Θραύσματα δεν αναζητούνται
 - Εάν χαθεί ένα, χάνεται και το πακέτο IP
 - Εκπνοή χρόνου αναμένοντας Θραύσμα
- Ο χρόνος για συναρμολόγηση
 - καθορίζεται όταν ληφθεί το πρώτο κομμάτι
 - εάν λήξει προτού ληφθούν όλα, το πακέτο απορρίπτεται και στέλνεται μήνυμα ICMP στον αποστολέα
- Θρυμματισμός μπορεί να συμβεί οπουδήποτε το πακέτο είναι μεγαλύτερο από την MTU (ακόμα και για τοπική παράδοση)



Αποφυγή Θρυμματισμού

- Για να αποφευχθεί ο θρυμματισμός, οι host ανακαλύπτουν την μικρότερη MTU (path MTU discovery)
- Path MTU είναι η ελάχιστη των MTU κατά μήκος της διαδρομής
- Εάν μήκος πακέτου < Path MTU, δεν έχουμε θρυμματισμό!
- Πώς γίνεται?
 - Στέλνοντας πακέτα διαφορετικών μεγεθών ώσπου να μην χρειάζεται θρυμματισμός κατά τη διαδρομή (DF=1 στην επικεφαλίδα IP)
 - Εάν είναι δυνατό, το λέει το δίκτυο (ICMP)



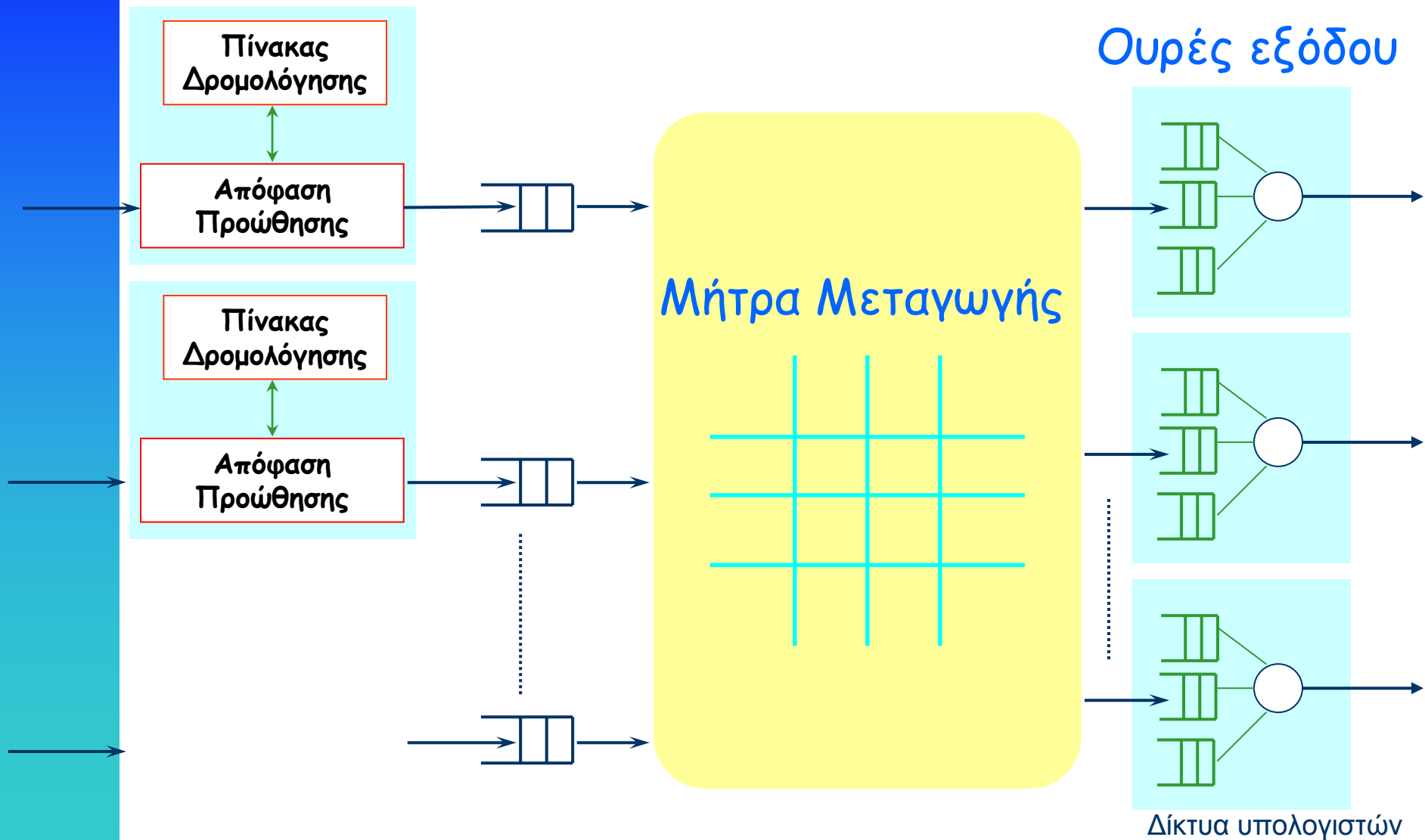
Προώθηση πακέτων IP

Αρχιτεκτονική δρομολογητών

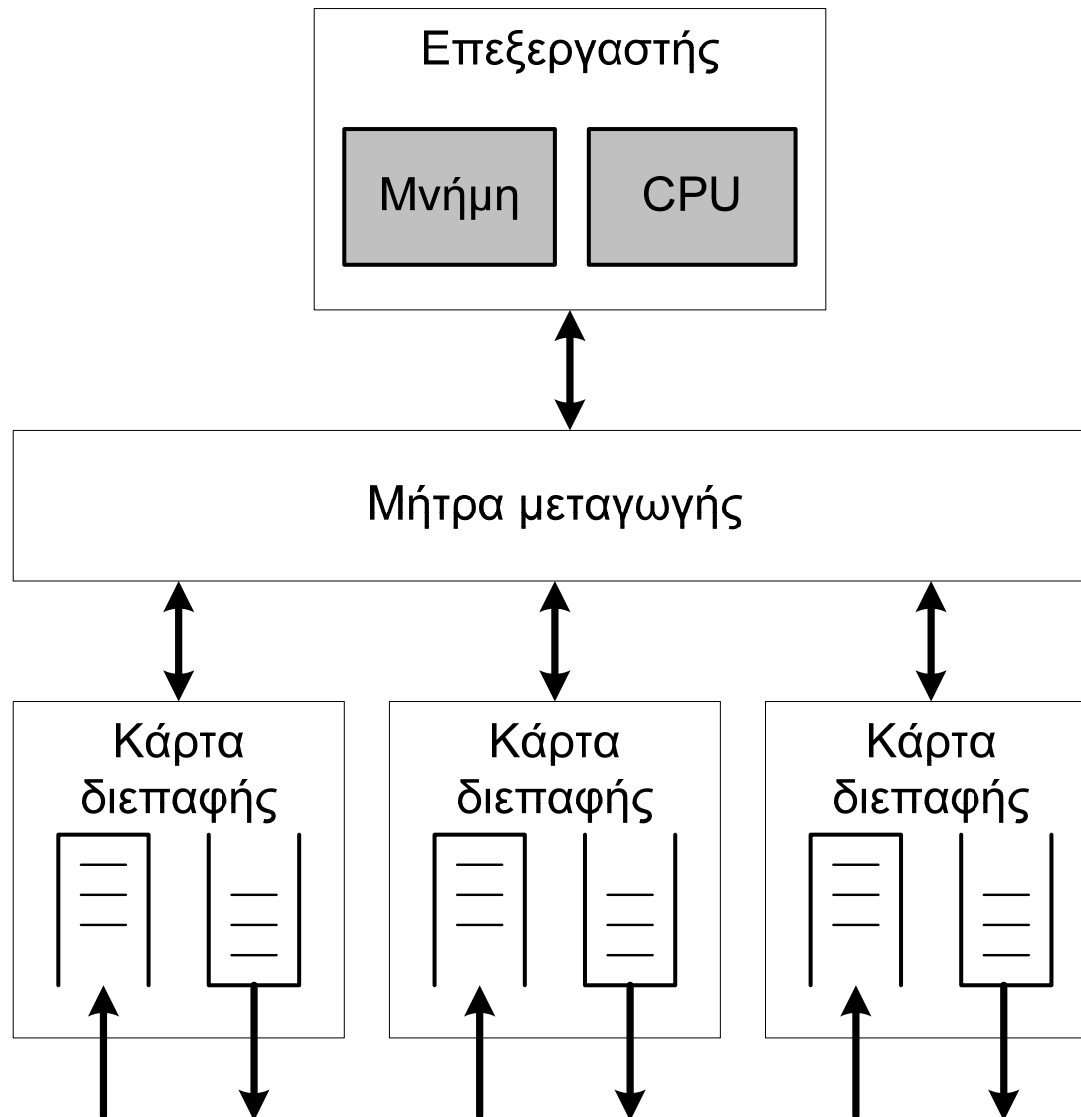


- Δύο βασικές λειτουργίες
 - Εκτέλεση των αλγορίθμων δρομολόγησης (RIP, OSPF, BGP)
 - Προώθηση των πακέτων από την γραμμή εισόδου στη γραμμή εξόδου

Αρχιτεκτονική δρομολογητών



Υλικό δρομολογητών

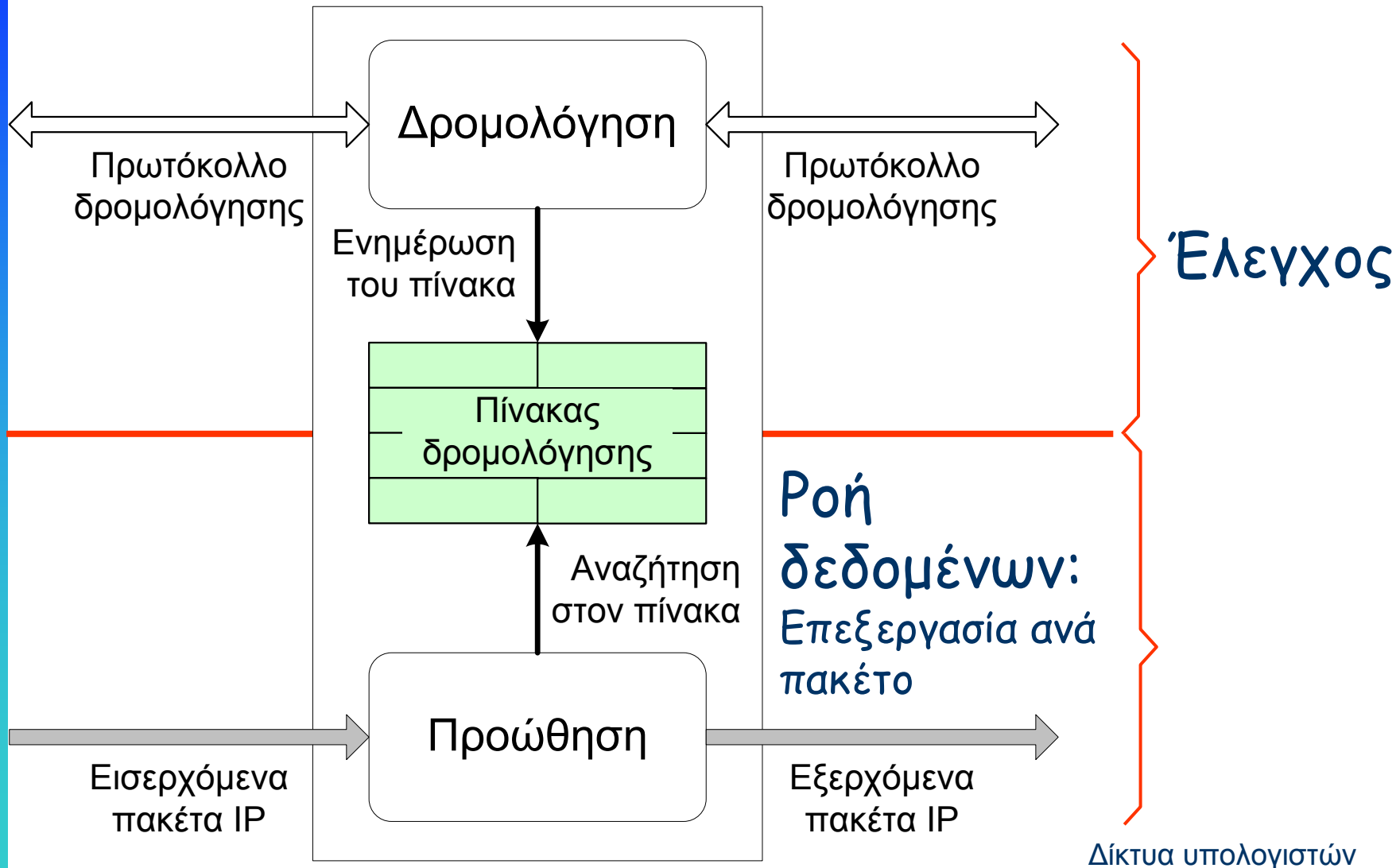


Υλικό δρομολογητών



- Το υλικό περιλαμβάνει:
 - Τις δικτυακές διεπαφές
 - Τη μήτρα μεταγωγής και
 - Τον επεξεργαστή
- **Δρομολογητές PC:**
 - Η μήτρα μεταγωγής είναι ο δίαυλος PCI
 - Οι δικτυακές διεπαφές είναι οι κάρτες Ethernet
 - Η προώθηση και η δρομολόγηση γίνονται από τον κεντρικό επεξεργαστή
- **Εμπορικοί δρομολογητές:**
 - Η μήτρα μεταγωγής είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο μεταγωγής
 - Οι δικτυακές διεπαφές είναι προηγμένες κατασκευές υλικού
 - Ο επεξεργαστής είναι υπεύθυνος για τις λειτουργίες ελέγχου
 - Σχεδόν όλη η λειτουργία προώθησης γίνεται στις διεπαφές

Λειτουργίες δρομολογητή



Σχέση δρομολόγησης με προώθηση



Οι λειτουργίες δρομολόγησης περιλαμβάνουν:

- Τον προσδιορισμό των διαδρομών
- Την ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης
- Την εφαρμογή των πρωτοκόλλων δρομολόγησης
- Στους εμπορικούς δρομολογητές εκτελούνται από τον κεντρικό επεξεργαστή του δρομολογητή (*route processor*)

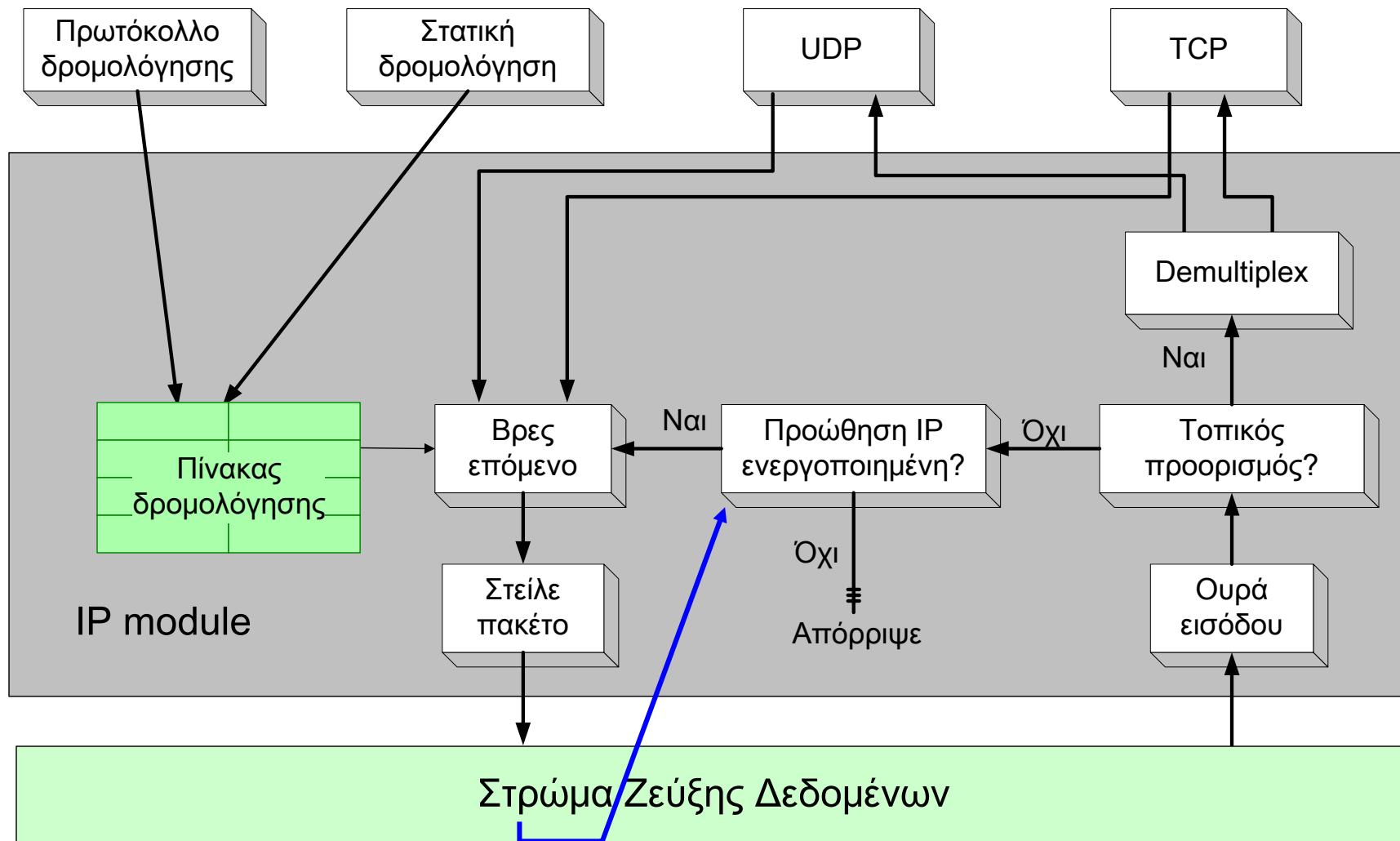
Η προώθηση αποτελεί επεξεργασία σε επίπεδο πακέτων IP

- Στους εμπορικούς δρομολογητές γίνεται κατανεμημένα
- Το μεγαλύτερο μέρος στο υλικό των διεπαφών

Σχέση δρομολόγησης με προώθηση



Πρώθηση πακέτου IP



Δρομολογητής: ενεργοποιημένη
Υπολογιστής: απενεργοποιημένη

Δίκτυα υπολογιστών

Πρώθηση πακέτου IP



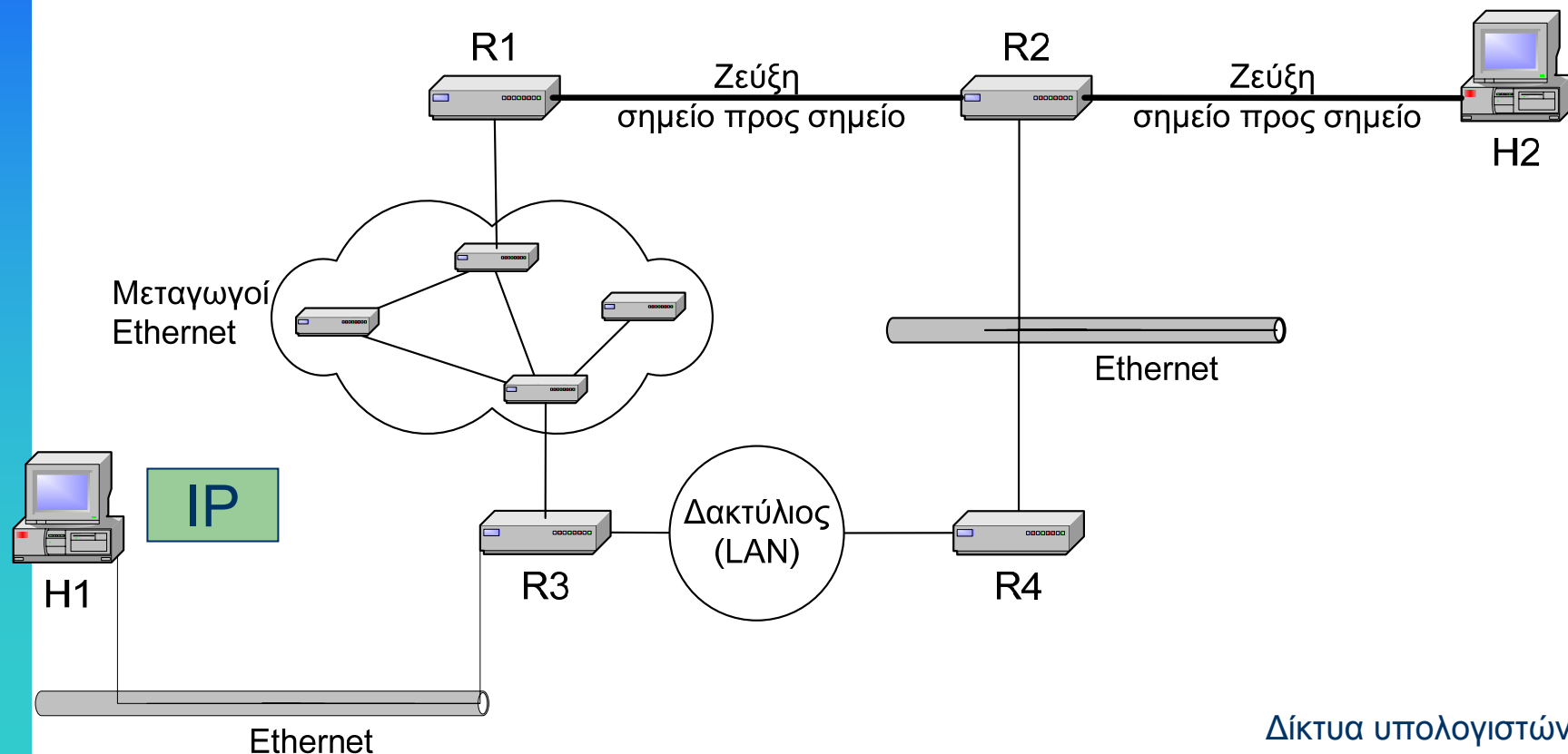
- Η επεξεργασία των πακέτων IP στους δρομολογητές και υπολογιστές είναι παρόμοια
- Βασική διαφορά: Η πρώθηση IP είναι ενεργοποιημένη στους δρομολογητές, ενώ είναι συνήθως απενεργοποιημένη στους υπολογιστές
- **Ενεργοποιημένη πρώθηση IP**
→ εάν το πακέτο δεν προορίζεται για το τοπικό σύστημα, θα αποσταλεί σε κάποιο άλλο
- **Απενεργοποιημένη πρώθηση IP**
→ εάν το πακέτο δεν προορίζεται για το τοπικό σύστημα, θα απορριφθεί



Πρώθηση ενός πακέτου IP

- Όψη στο στρώμα ζεύξης δεδομένων:

- Το δίκτυο είναι μια συλλογή τοπικών δικτύων (LAN) ή ζεύξεων σημείο προς σημείο ή μεταγωγικών δικτύων που διασυνδέονται μέσω δρομολογητών

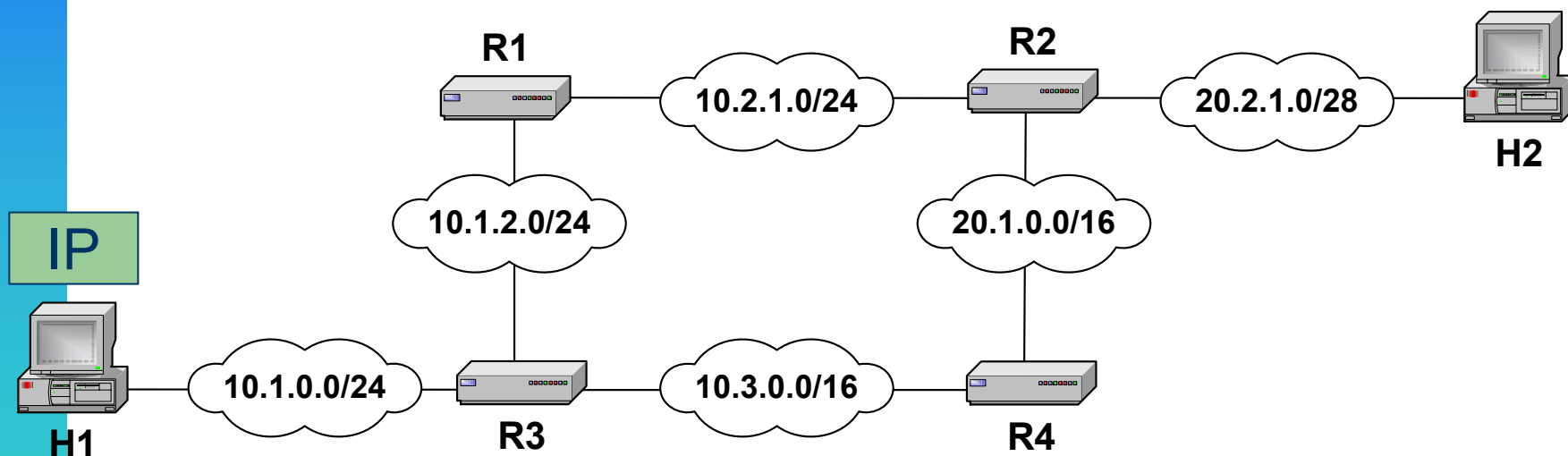




Πρώθηση ενός πακέτου IP

- Όψη στο στρώμα IP :

- Το δίκτυο IP είναι μια λογική οντότητα με ένα αριθμό δικτύου
- Αναπαριστάνουμε το δίκτυο IP με "σύννεφο"
- Η προώθηση των πακέτων βλέπει τα σύννεφα και αγνοεί τις ζεύξεις



Παραδοχές για από άκρο σε άκρο παράδοσης πακέτων



- Για να παραδοθεί επιτυχώς ένα πακέτο IP πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:
 - Η διεύθυνση δικτύου (το μέρος δικτύου της διεύθυνσης IP) πρέπει να αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό δίκτυο ζεύξης στρώματος δεδομένων (το αντίστροφο δεν είναι αλήθεια!)
 - Οι δρομολογητές και υπολογιστές που έχουν την ίδια διεύθυνση δικτύου πρέπει να μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας μέσω του στρώματος ζεύξης δεδομένων
 - Κάθε δίκτυο ζεύξης στρώματος δεδομένων συνδέεται με τουλάχιστον ένα άλλο δίκτυο ζεύξης στρώματος δεδομένων μέσω δρομολογητή

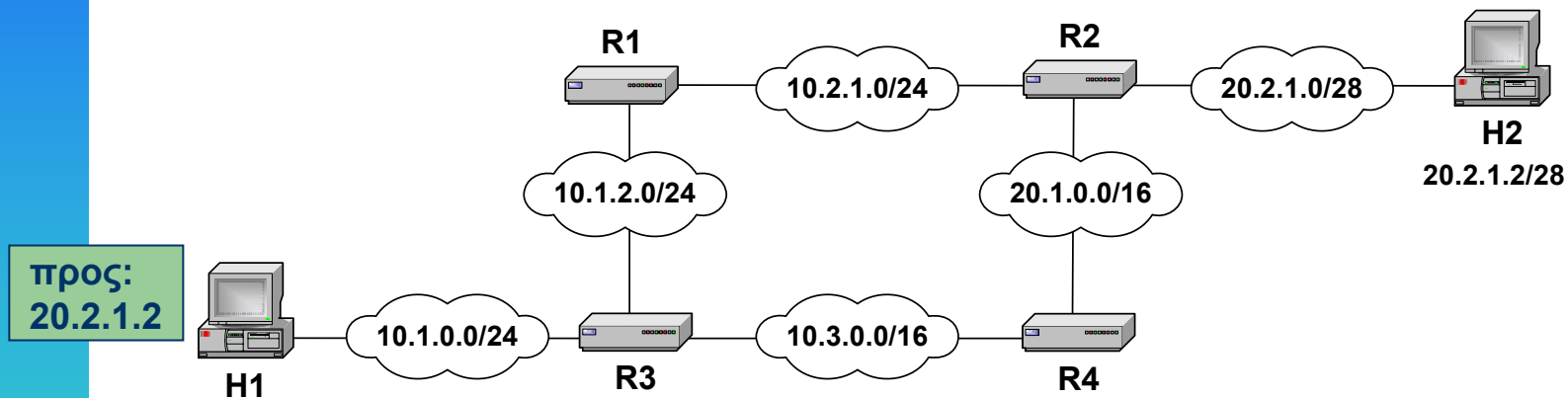
Πρώθηση βάση πινάκων δρομολόγησης



Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	R3
10.1.2.0/24	απευθείας
10.2.1.0/24	απευθείας
10.3.1.0/24	R3
20.2.0.0/16	R2
30.1.1.0/28	R2

Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	R1
10.1.2.0/24	R1
10.2.1.0/24	απευθείας
10.3.1.0/24	R4
20.1.0.0/16	απευθείας
20.2.1.0/28	απευθείας

Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	R2
10.1.2.0/24	R2
10.2.1.0/24	R2
10.3.1.0/24	R2
20.1.0.0/16	R2
20.2.1.0/28	απευθείας



Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	απευθείας
10.1.2.0/24	R3
10.2.1.0/24	R3
10.3.1.0/24	R3
20.1.0.0/16	R3
20.2.1.0/28	R3

Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	απευθείας
10.1.2.0/24	απευθείας
10.2.1.0/24	R4
10.3.1.0/24	απευθείας
20.1.0.0/16	R4
20.2.1.0/28	R4

Προορισμός	Επ. Βήμα
10.1.0.0/24	R3
10.1.2.0/24	R3
10.2.1.0/24	R2
10.3.1.0/24	απευθείας
20.1.0.0/16	απευθείας
20.2.1.0/28	R2



Πίνακας δρομολόγησης

- Κάθε δρομολογητής διατηρεί ένα **πίνακα δρομολόγησης** που δείχνει πώς προωθούνται τα απερχόμενα πακέτα
- Εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης
 1. **Διεύθυνση προορισμού**: πού πηγαίνει το πακέτο IP;
 2. **Επόμενο βήμα**: πώς θα αποσταλεί το πακέτο IP;
 3. **Διεπαφή**: ποια είναι η θύρα εξόδου;
- Το επόμενο βήμα και η διεπαφή συνήθως συμπτύσσονται σε μια στήλη
- Οι πίνακες δρομολόγησης ορίζονται έτσι ώστε τα πακέτα να πλησιάζουν τον προορισμό τους



Πίνακας δρομολόγησης

Προορισμός	Επόμενο βήμα	Διεπαφή
10.2.1.0/24	απευθείας	eth0
10.1.2.0/24	R1	eth1
20.2.1.0/28	απευθείας	serial0
10.3.1.0/24	R4	eth1
20.1.0.0/16	απευθείας	eth1

Τα πακέτα IP μπορούν να παραδοθούν "**απευθείας**", δηλαδή, ο προορισμός βρίσκεται σε απευθείας συνδεδεμένο υποδίκτυο ή να προωθηθούν σε άλλο **δρομολογητή** για προορισμό σε όχι απευθείας συνδεδεμένο υποδίκτυο

Επεξεργασία πακέτου IP σε δρομολογητή



- Ο δρομολογητής  λαμβάνει ένα πακέτο IP
1. Εγκυρότητας επικεφαλίδας IP
 2. Επεξεργασία επιλογών στην επικεφαλίδα IP
 3. Διεύθυνση IP προορισμού
 4. Αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης
 5. Μείωση TTL
 6. Θρυμματισμός (εάν απαιτείται)
 7. Υπολογισμός του πεδίου ελέγχου
 8. Μετάδοση προς το επόμενο βήμα
 9. Αποστολή μηνύματος ICMP (εάν απαιτείται)

Αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης



- Η αναζήτηση εκτελείται όταν απαιτείται η αποστολή ενός πακέτου IP
- Χρησιμοποιείται η διεύθυνση IP του προορισμού ως **κλειδί** για την αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης
- Το αποτέλεσμα της αναζήτησης είναι η διεύθυνση IP του επόμενου βήματος και/ή το όνομα της διεπαφής

Διεύθυνση προορισμού	Επόμενο βήμα/διεπαφή
διεύθυνση δικτύου ή διεύθυνση υπολογιστή ή διεύθυνση βρόχου επιστροφής ή προκαθορισμένη πύλη	διεύθυνση IP του δρομολογητή στο επόμενο βήμα ή όνομα δικτυακής διεπαφής

Τύποι εγγραφών πίνακα δρομολόγησης



- **Διαδρομή προς δίκτυο**
 - Η διεύθυνση προορισμού είναι μια διεύθυνση δικτύου (π.χ., 10.0.2.0/24)
 - Οι περισσότερες εγγραφές είναι διαδρομές προς δίκτυα
- **Διαδρομή προς υπολογιστή**
 - Η διεύθυνση προορισμού είναι η διεύθυνση μιας διεπαφής (π.χ., 10.0.1.2/32)
 - Για ορισθούν διαδρομές προς συγκεκριμένους υπολογιστές
- **Προκαθορισμένη διαδρομή**
 - Όταν δεν υπάρχει ταίριασμα με άλλη εγγραφή
 - Ο δρομολογητής της προκαθορισμένης διαδρομής είναι η προκαθορισμένη πύλη
- **Διεύθυνση βρόχου επιστροφής**
 - Εγγραφή για τη διεύθυνση 127.0.0.1
 - Δηλώνει ως επόμενο βήμα τη διεπαφή του βρόχου επιστροφής (lo0)

Αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης: ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος



- **Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος:**

αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης της εγγραφής που ταιριάζει και έχει διεύθυνση IP με το μεγαλύτερο πρόθεμα

1. Αναζήτηση ταιριάσματος όλων των 32 bit
2. Αναζήτηση ταιριάσματος των 31 bit
- ...
32. Αναζήτηση ταιριάσματος με 0 bit

- **Διαδρομή προς υπολογιστή, Διεύθυνση βρόχου επιστροφής**
→ ταίριασμα των 32 bit

- **Προκαθορισμένη διαδρομή (0.0.0.0/0)**
→ ταίριασμα των 0 bit

- Πακέτο IP προς 147.102.38.50



Διεύθυνση προορισμού	Επόμενο βήμα
10.0.0.0/8	R1
147.102.0.0/16	R2
147.102.64.0/20	R3
147.102.192.0/20	R3
147.102.38.0/24	R4
147.102.38.56/32	R3
0.0.0.0/0	R5

- Το ταίριασμα με μεγαλύτερο πρόθεμα της διεύθυνσης 147.102.38.50 είναι με 24 bit στην εγγραφή 1 147.102.38.0/24



- Θα αποσταλεί στον δρομολογητή R4

Δίκτυα υπολογιστών