



ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Στρώμα δικτύου στο Internet



Παράδοση πακέτων IP

- Για να παραδοθεί ένα πακέτο IP εμπλέκονται δύο διαφορετικές διεργασίες:
 1. **Πρώθηση:** Πώς θα μεταφερθεί το πακέτο από τη διεπαφή εισόδου στη 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*

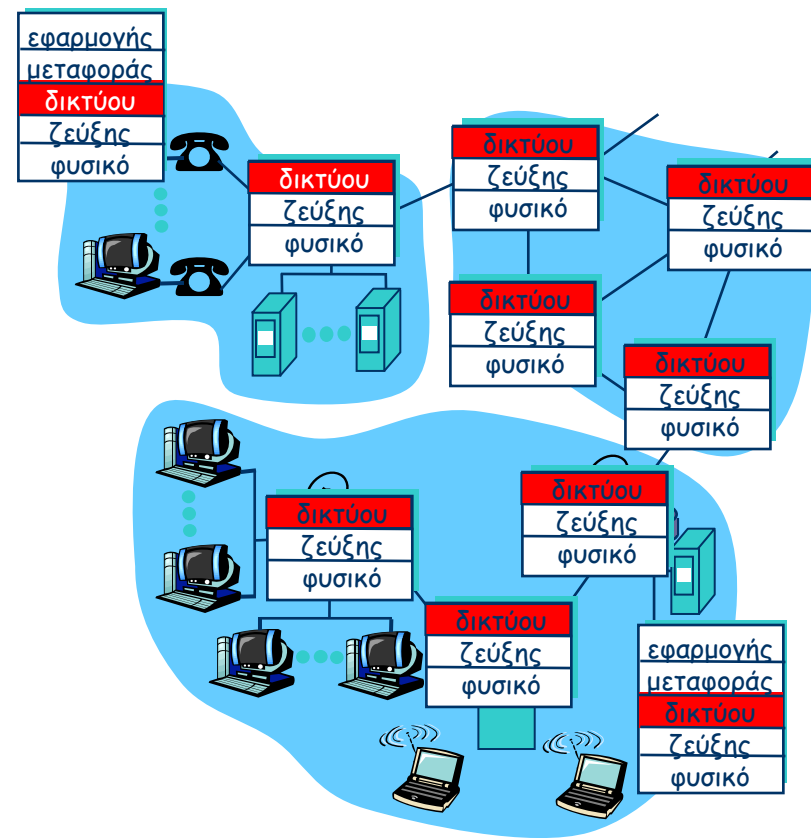
αναλογία:

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

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





Πρωτόκολλο IP

Εισαγωγή

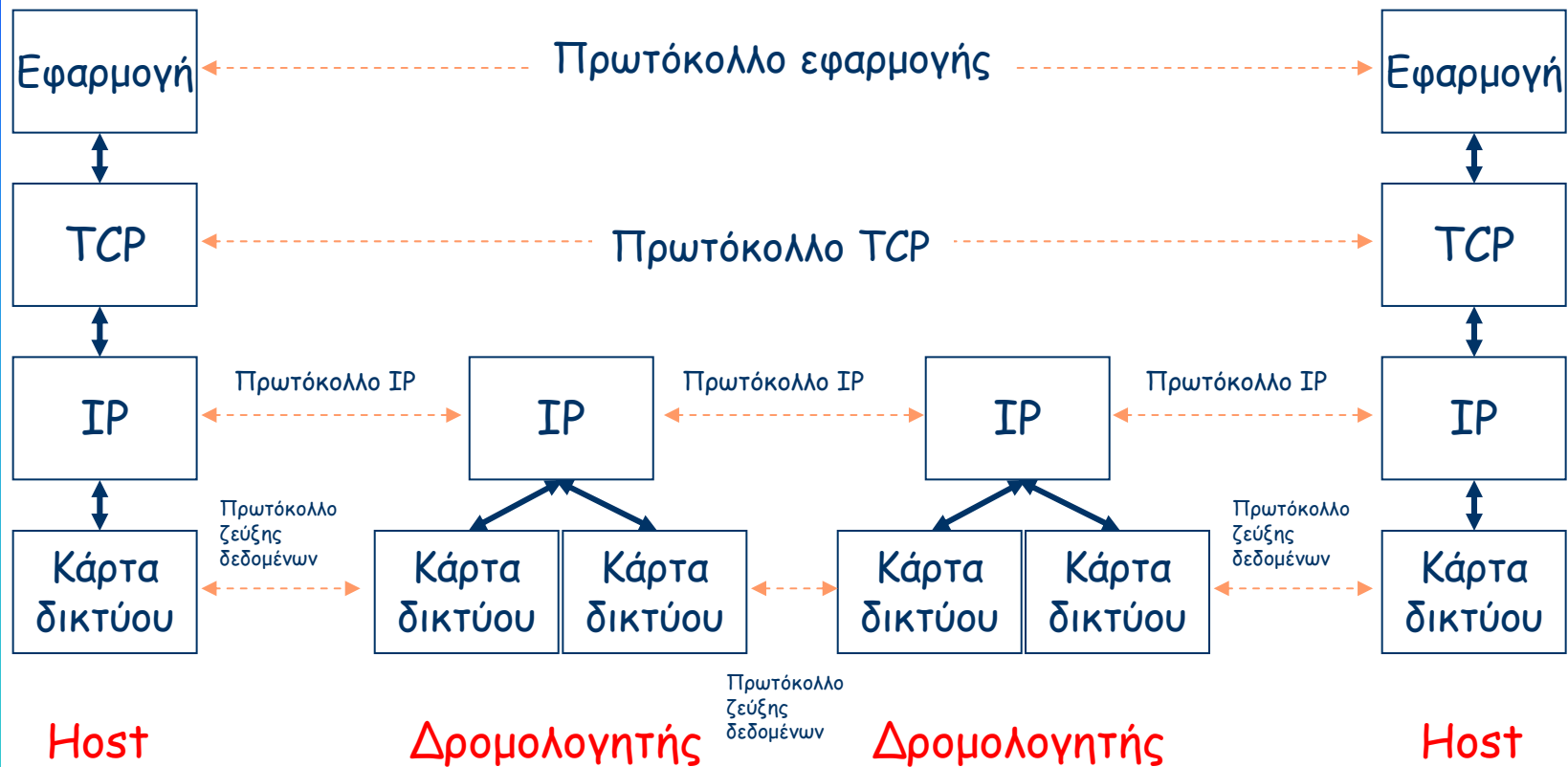


- Το IP (Internet Protocol) είναι το πρωτόκολλο του στρώματος δικτύου στο διαδίκτυο
- Η τρέχουσα έκδοση είναι η 4 (IPv4)
- Ορίζεται στο RFC 791



Στρώμα δικτύου

Γενικό πλαίσιο

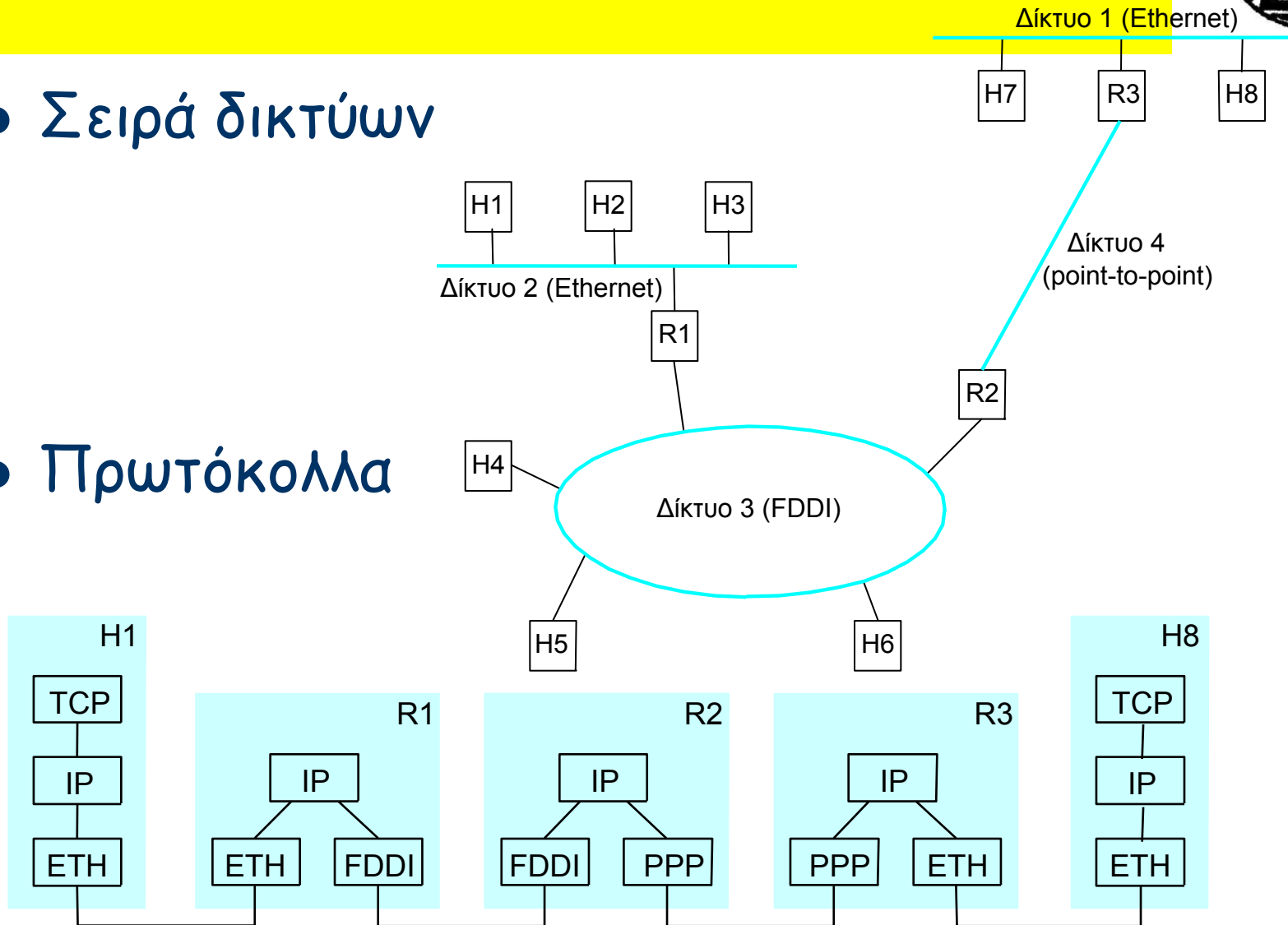


IP Internet



- Σειρά δικτύων

- Πρωτόκολλα



Internet Protocol (IP)

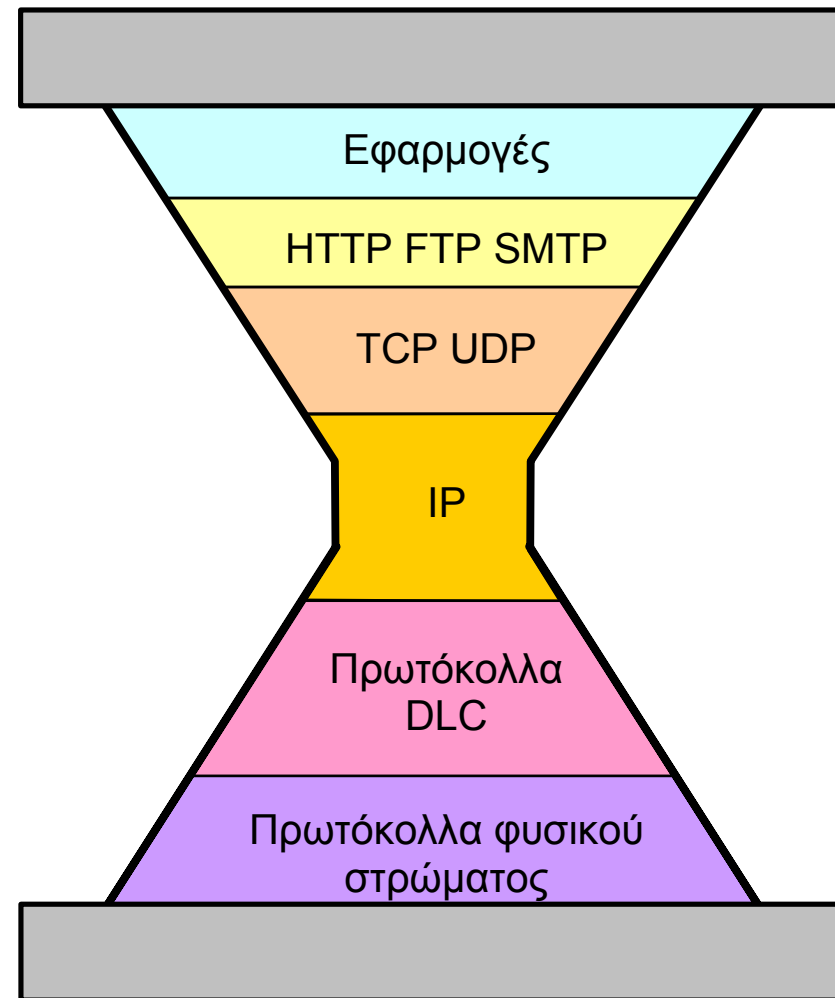


- Το IP είναι το ανώτερο στρώμα πρωτοκόλλου που υλοποιείται τόσο στους υπολογιστές όσο και στους δρομολογητές



IP: Η στενωπός της κλεψύδρας

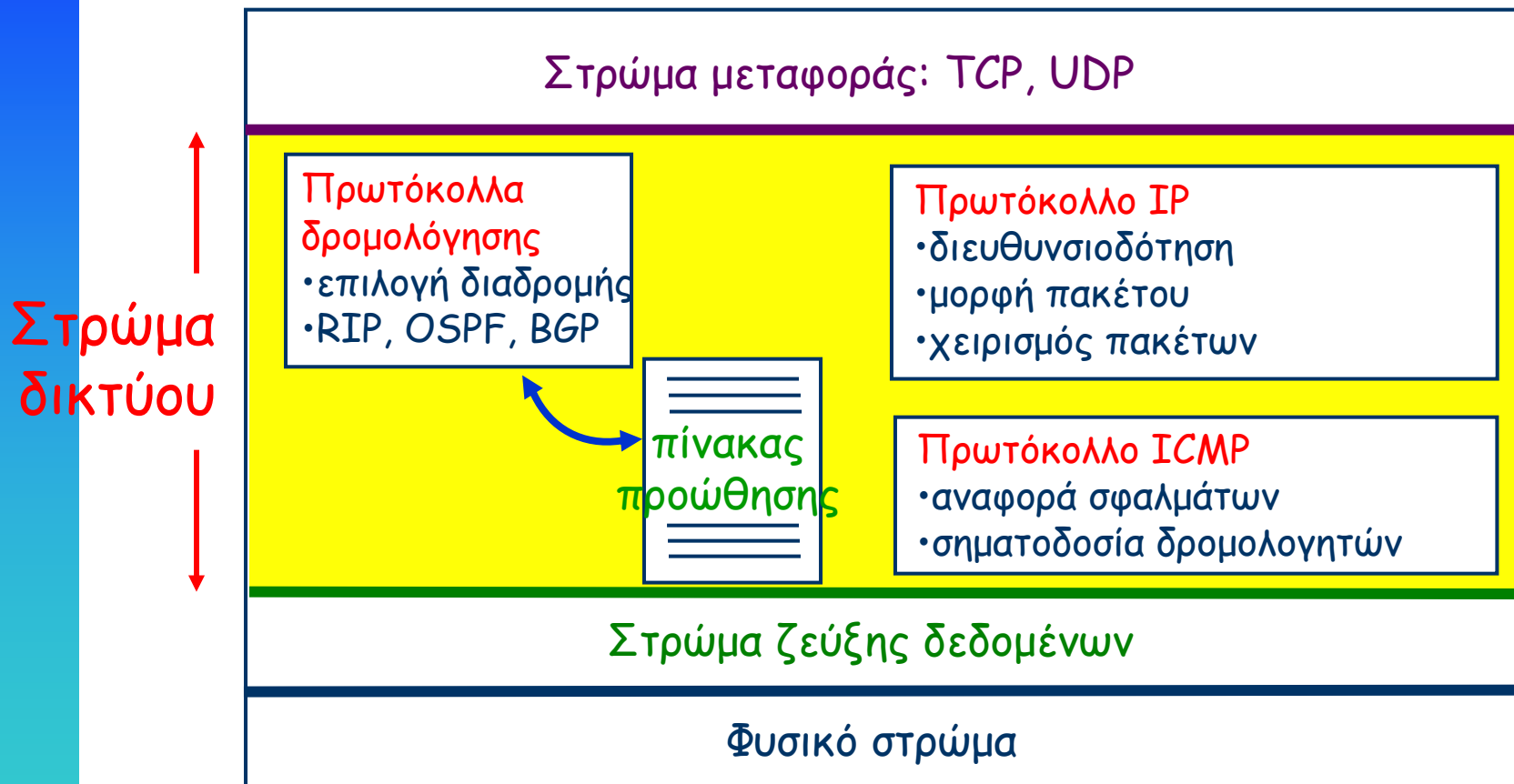
- Το IP βρίσκεται στη μέση της αρχιτεκτονικής των πρωτοκόλλων του Διαδικτύου
 - Πολλά πρωτόκολλα ανωτέρων επιπέδων
 - Πολλά πρωτόκολλα κατωτέρων επιπέδων
 - Μόνο ένα πρωτόκολλο στο στρώμα δικτύου



Το στρώμα δικτύου στο Internet



Λειτουργίες των host και των δρομολογητών στο στρώμα δικτύου:

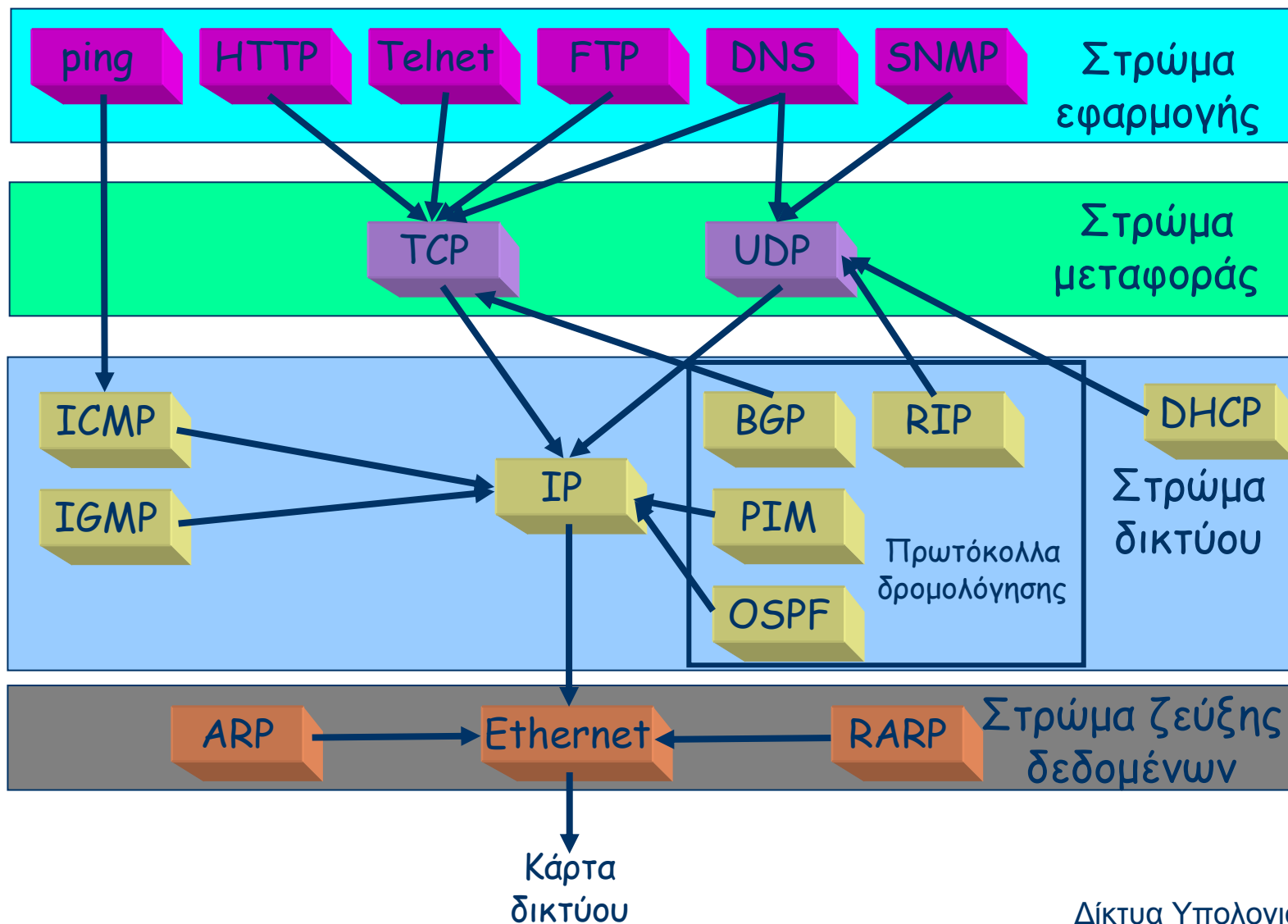


Πρωτόκολλα στρώματος δικτύου στο Internet



- 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 ως 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





Υπηρεσίες που προσφέρει το IP

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

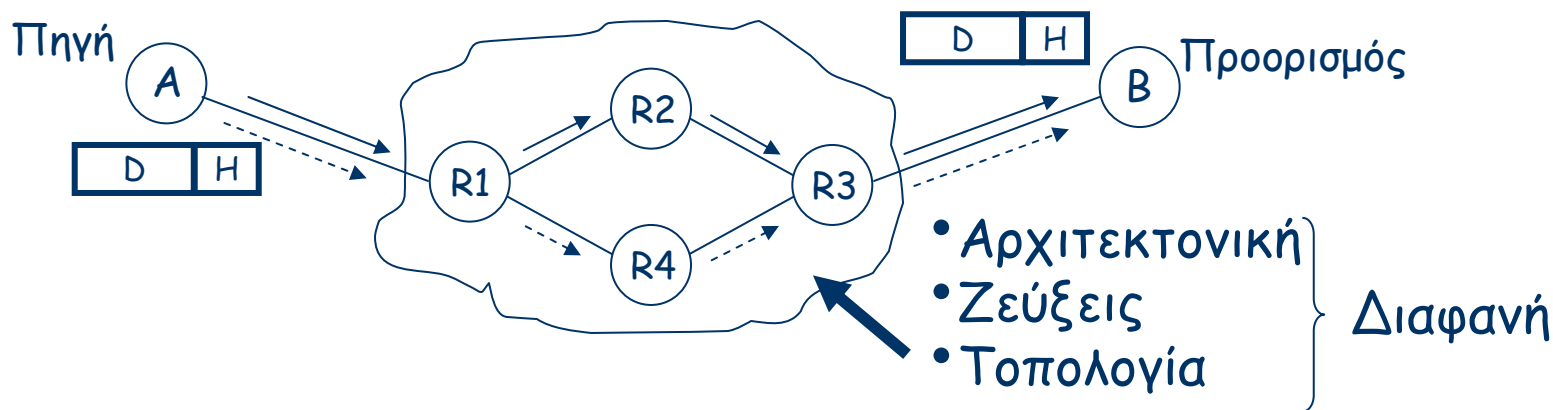
- ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ:
 - Απώλειες πακέτων
 - Παράδοση εκτός σειράς
 - Αντίγραφα πακέτων
 - Καθυστερημένη παράδοση
- Τα πρωτόκολλα ανωτέρων στρωμάτων θα ασχοληθούν με αυτά

Internet Protocol (IP)



- Χαρακτηριστικά

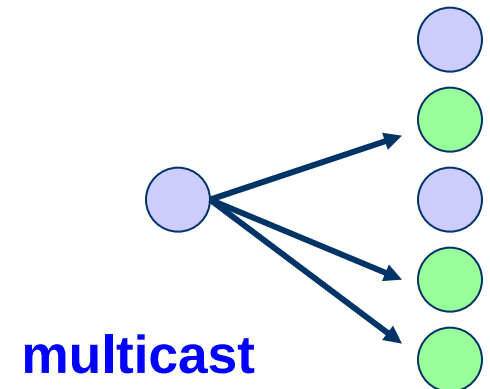
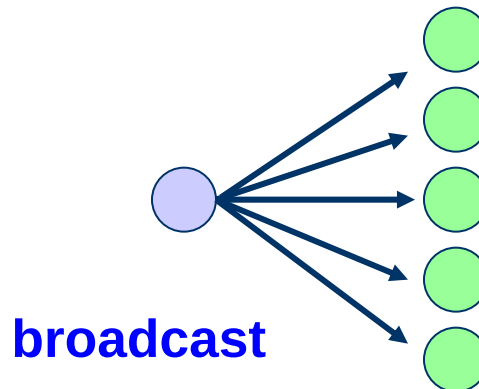
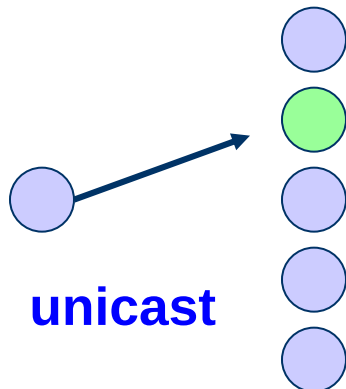
- **connectionless**: παράδοση εκτός σειράς
- **unreliable**: μπορεί να χάσει πακέτα ...
- **best effort**: ... μόνο εάν είναι ανάγκη
- **datagram**: τα καθένα δρομολογείται ξεχωριστά



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)





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 στη μικρότερη διεύθυνση μνήμης και το μεγαλύτερης τάξης byte στη 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 στη μικρότερη διεύθυνση μνήμης και το κατώτερης τάξης byte στη μεγαλύτερη διεύθυνση

Base Address+0

Byte3

Base Address+1

Byte2

Base Address+2

Byte1

Base Address+3

Byte0

Επεξεργαστές Intel

Επεξεργαστές Motorola



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

Χρόνος ζωής πακέτων IP



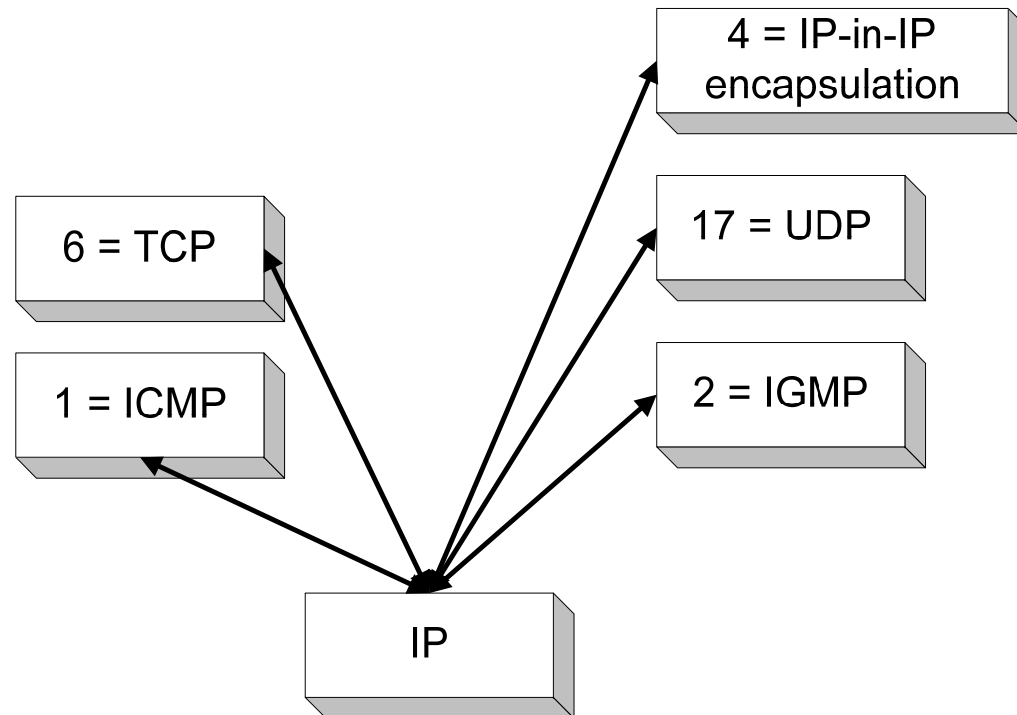
- Τα πακέτα μπορεί να περιφέρονται αενάως
 - Καταναλώνονται πόροι
 - Το πρωτόκολλο μεταφοράς δεν μπορεί να περιμένει αιωνίως
- Τα πακέτα IP έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής
 - Πεδίο TTL προλαμβάνει τα "αθάνατα" πακέτα, που τριγυρνούν αενάως
 - Μόλις λήξει το πακέτο απορρίπτεται (δεν προωθείται)



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
 - Μακ μήκος πακέτου (περιλαμβανομένης της επικεφαλίδας)
65.535 byte

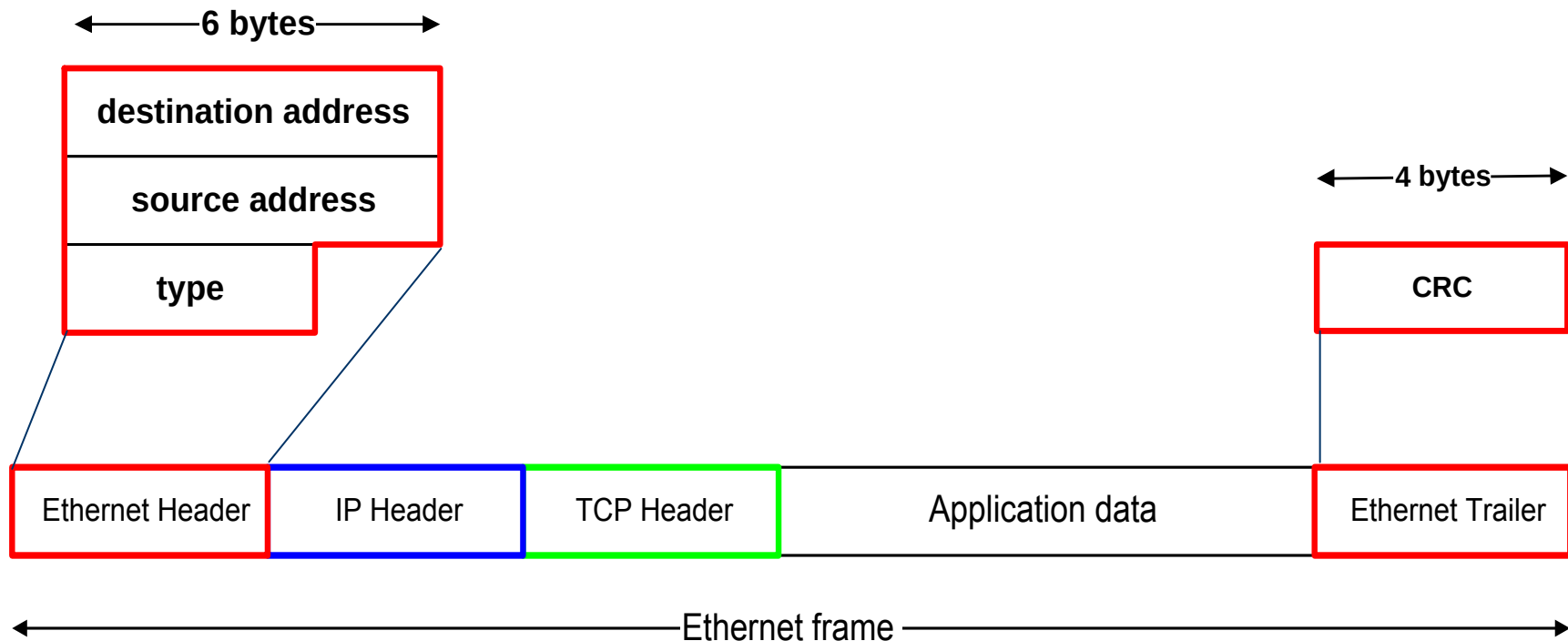


Μορφή πακέτου IPv4

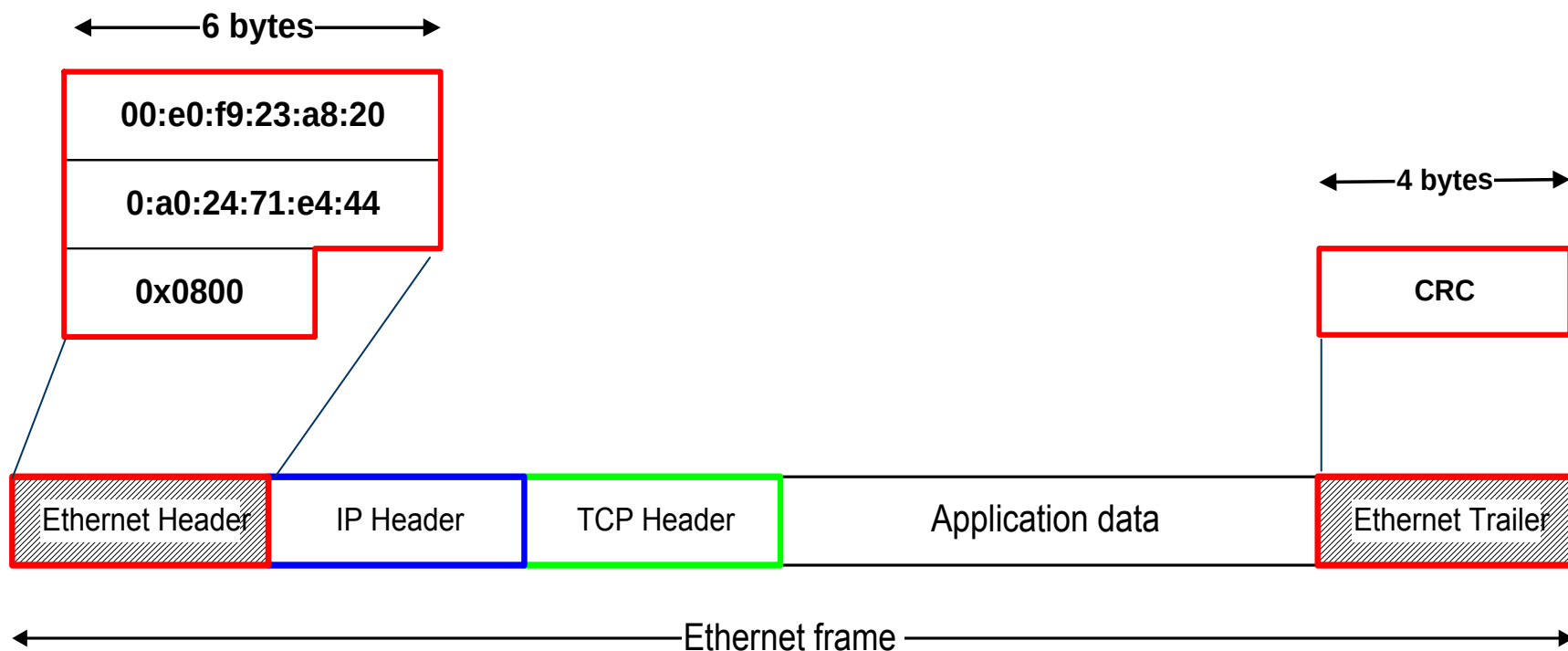




Παράδειγμα ενθυλάκωσης (1)

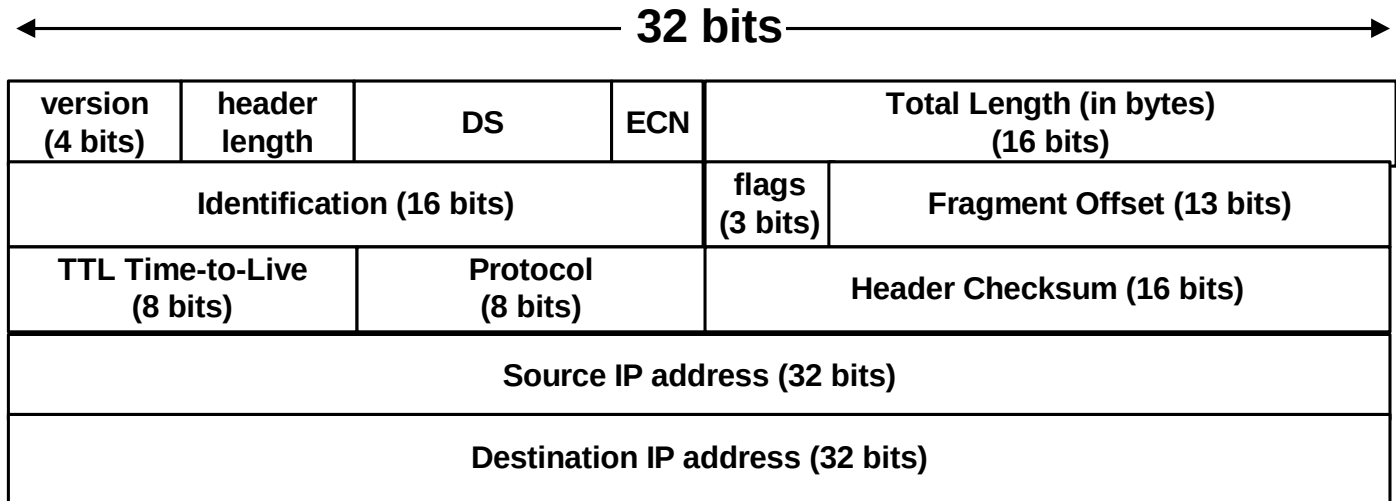


Επικεφαλίδα Ethernet για πακέτο IP



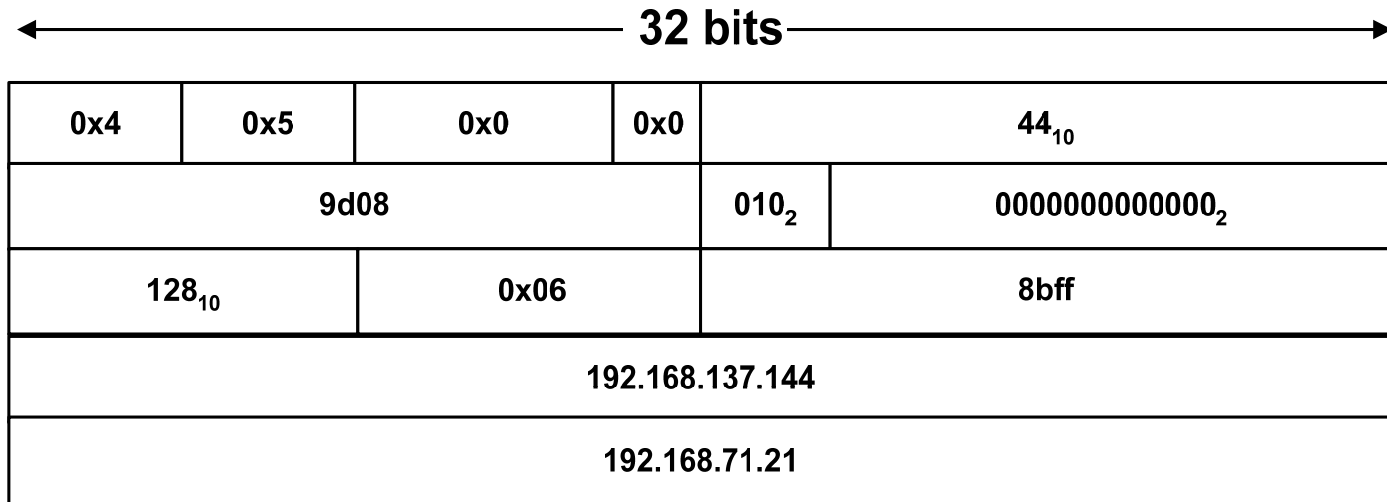


Παράδειγμα ενθυλάκωσης (2)



← 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
- 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: πλήθος 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				
...				



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

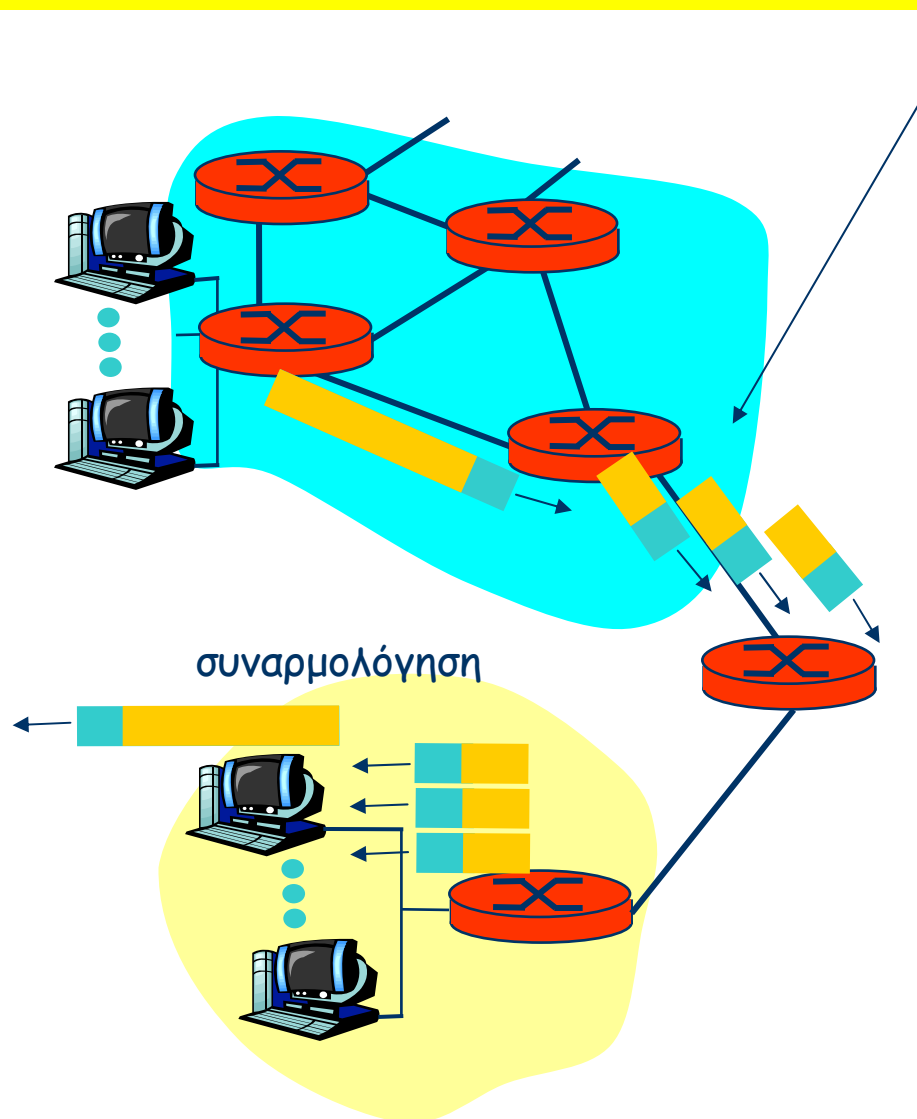


Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP

- 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!!



Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP



Θρυμματισμός:
in: ένα μεγάλο πακέτο
out: 3 θραύσματα

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

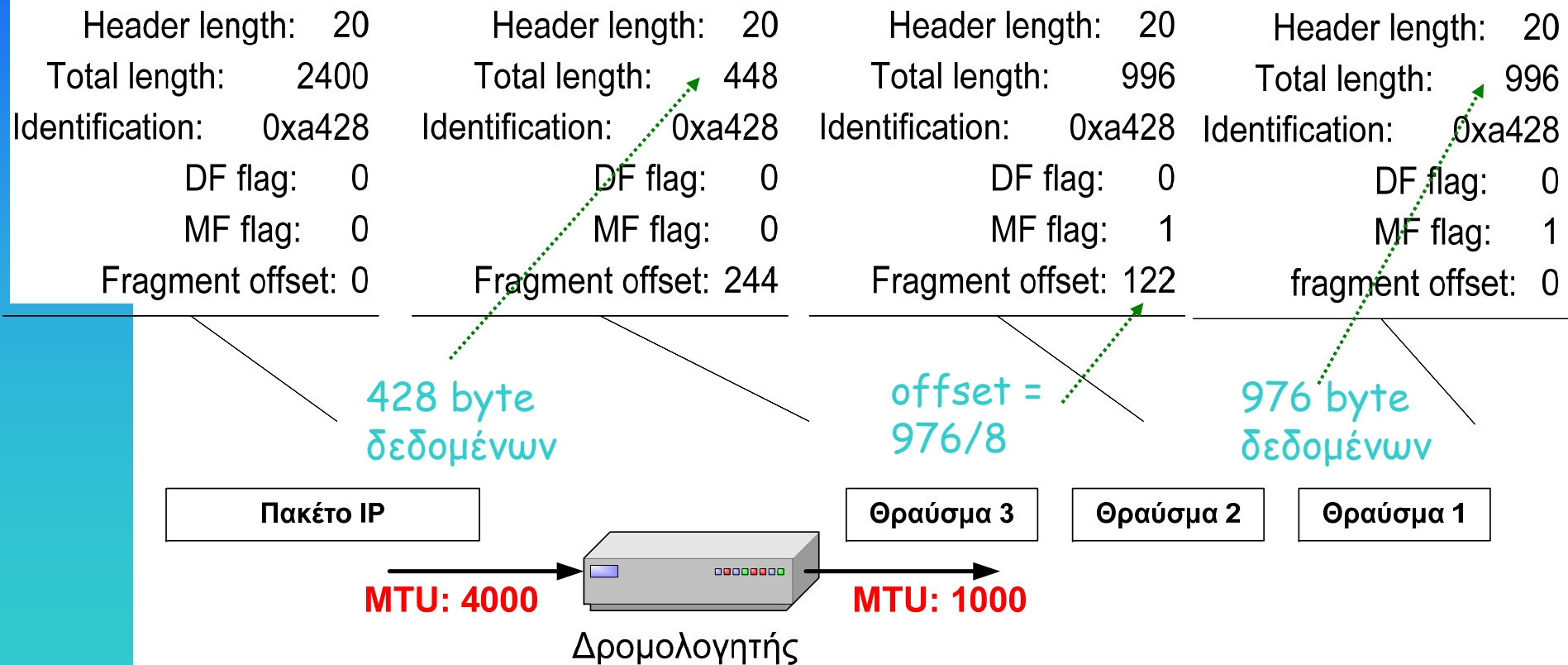
Total length

- Συνολικό μήκος του τρέχοντος θραύσματος



Παράδειγμα Θρυμματισμού

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





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 του πρώτου θραύσματος είναι 0 και το μήκος του πακέτου $976+20=996$
 - το offset του δεύτερου θραύσματος είναι $976/8=122$ και το μήκος του πακέτου 996, τέλος
 - το offset του τρίτου θραύσματος είναι $122+122=244$ και το μήκος του πακέτου είναι $428+20=448$
 - $2400-20-976-976=428$ τα δεδομένα που απομένουν από το αρχικό πακέτο μήκους 2400



Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP

- Θρυμματισμός μόνο εάν είναι αναγκαίο (MTU < πακέτο)
- Αποφυγή θρυμματισμού από την πηγή
- Τα θραύσματα είναι αυθύπαρκτα πακέτα IP
- Τα θραύσματα 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)



Θρυμματισμός και συναρμολόγηση στο IP

- 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
time-to-live (TTL)		protocol		header checksum		



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)!