

# Προγραμματισμός Δικτύων – Ε-01

## 2η Διάλεξη

Διδάσκων: Νίκος Ντάρμος

<ntarmos@cs.uoi.gr>  
[<http://www.cs.uoi.gr/~ntarmos/Courses/NetworkProgramming/>]

Τμήμα Πληροφορικής  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



## Λεπτομέρειες πρωτοκόλλων διαδικτύου



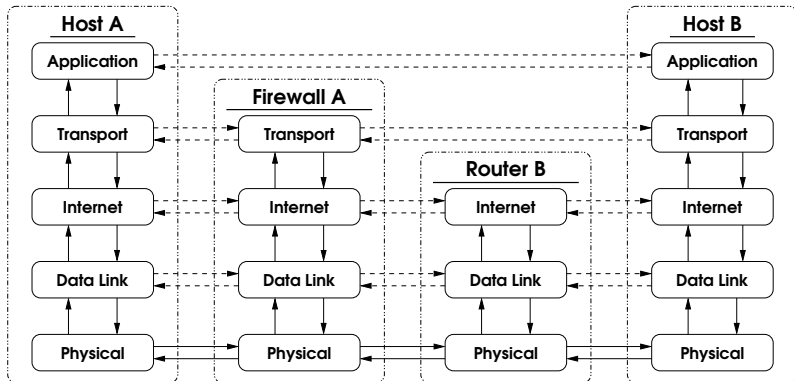
- Το μοντέλο «Tanenbaum».
- Τα πρωτόκολλα διαδικτύου.
  - Address Resolution Protocol (ARP).
  - Reverse Address Resolution Protocol (RARP).
  - Internet Protocol (IP).
  - Internet Control Message Protocol (ICMP).
  - Internet Group Management Protocol (IGMP).
  - Internet Protocol Security (IPsec).
  - User Datagram Protocol (UDP).
  - Transmission Control Protocol (TCP).
  - Stream Control Transmission Protocol (SCTP).



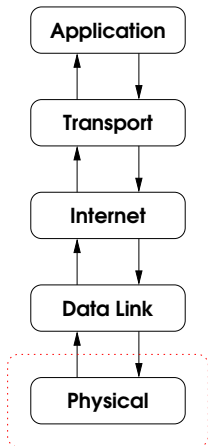
## Το μοντέλο «Tanenbaum»



## Το μοντέλο «Tanenbaum»



## Το μοντέλο «Tanenbaum»

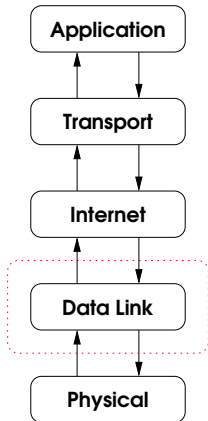


## Φυσικό Επίπεδο

- Υπεύθυνο για την μετάδοση των δεδομένων πάνω από το φυσικό μέσο.
  - Μέσο μετάδοσης (σύρματα χαλκού, οπτικές ίνες, ασύρματη διασύνδεση, κτλ.)
  - Διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση των δεδομένων (bits) από/σε ηλεκτρικούς/ηλεκτρομαγνητικούς/ οπτικούς παλμούς κτλ.
  - Παραδείγματα: WiFi, {U,S,F,SF,...}TP, ATM, ISDN, DSL, ....



## Το μοντέλο «Tanenbaum»

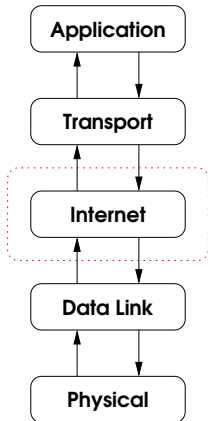


## Επίπεδο διασύνδεσης/ζεύξης δεδομένων

- Μετατροπή των bits από το φυσικό επίπεδο, σε πλαίσια (frames) για το επίπεδο Διαδικτύου και αντίστροφα.
- Προσφέρει:
  - Έλεγχο και διόρθωση λαθών χαμηλού επιπέδου.
  - Έλεγχο πολυπλεξίας και ροής χαμηλού επιπέδου (LLC).
  - Έλεγχο πρόσβασης μέσου (MAC).
- Παραδείγματα:
  - Go-Back-N, Selective Repeat, ...
  - HDLC, SLIP, PPP, ALOHA, CSMA/CD, CDMA, GSM, Ethernet, Token-Bus/Ring, ...
- Πρωτόκολλα:
  - ARP, RARP.



## Το μοντέλο «Tanenbaum»



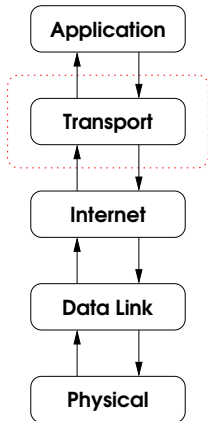
## Επίπεδο διαδικτύου

- Υπεύθυνο για τη δρομολόγηση δεδομένων ανάμεσα σε συσκευές του δικτύου.
  - Διευθυνσιοδότηση.
  - Δρομολόγηση (routing).
  - Ίδεατα κυκλώματα ή ασυνδεσμική επικοινωνία (μεταγωγή πακέτων).
  - Κατακερματισμός (fragmentation).
- Πρωτόκολλα:
  - IPv4, IPv6.
  - ICMP, IGMP.
  - OSPF, BGP.





## Το μοντέλο «Tanenbaum»

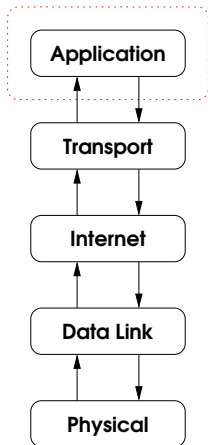


## Επίπεδο μεταφοράς

- Διαχειρίζεται συνδέσεις από άκρο σε άκρο.
- Προσφέρει:
  - Δημιουργία/καταστροφή σύνδεσης.
  - Πολυπλεξία.
  - Έλεγχο ροής υψηλού επιπέδου.
  - Συνδεσμική/ασυνδεσμική επικοινωνία.
- Πρωτόκολλα:
  - TCP, UDP, SCTP, ...



## Το μοντέλο «Tanenbaum»



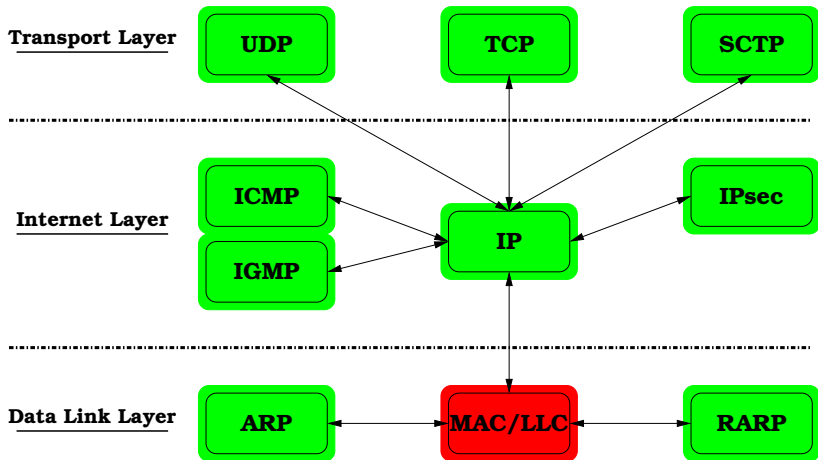
## Επίπεδο εφαρμογής

- Υλοποίηση της λογικής της εφαρμογής/υπηρεσίας.
- Καθορίζει:
  - Μοντέλα επεξεργασίας απομακρυσμένων αιτήσεων.
  - Αρχιτεκτονική των εφαρμογών.
  - Πρωτόκολλα επικοινωνίας δικτυακών εφαρμογών.
  - ...
- Παραδείγματα:
  - Pre-forking, thread pools, workers, polling, ...
  - Client-server, peer-to-peer, hybrid, ...
  - DNS, DHCP, HTTP, FTP, Telnet, SMTP, SSH, SSL/TLS, ...



# Πρωτόκολλα διαδικτύου





## Πρωτόκολλα διαδικτύου: Επίπεδο διασύνδεσης/ζεύξης δεδομένων



## Γενικά

- Υπεύθυνο για τη μεταφορά πακέτων μέσα στα όρια ενός συγκεκριμένου φυσικού/λογικού δικτύου.
- Λειτουργεί μόνο για επικοινωνία συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε κοινό κανάλι/μέσο επικοινωνίας.
- Υπεύθυνο για την διάσπαση των δεδομένων του επιπέδου διαδικτύου σε πλαίσια (frames), την αντιμετώπιση σφαλμάτων μετάδοσης και τον έλεγχο ροής των δεδομένων στο δίκτυο.

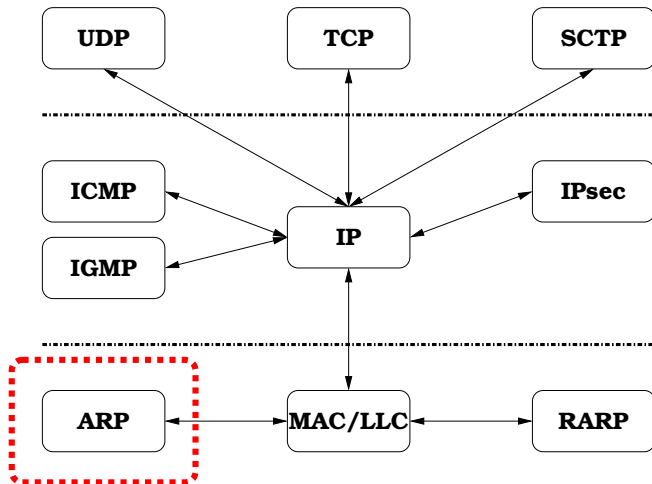


## Γενικά

- Κάθε κάρτα δικτύου έχει μία διεύθυνση υλικού (MAC address).
  - Για το Ethernet είναι 48-bits.
  - Ορίζεται από τον κατασκευαστή του υλικού.
  - Είναι μοναδική ανάμεσα σε όλες τις κάρτες.
  - ...μπορεί όμως να αλλαχθεί από το λογισμικό...
- Το επίπεδο διασύνδεσης γνωρίζει μόνο τις διευθύνσεις υλικού.
- Προβλήματα :
  - Πως ξέρει σε ποια διεύθυνση υλικού αντιστοιχεί μία διεύθυνση που του δίνει το επίπεδο διαδικτύου (IP address);
  - Σε ποιά διεύθυνση του επιπέδου διαδικτύου αντιστοιχεί μία διεύθυνση υλικού;
  - Λίστα με αντιστοιχίες όλων των διευθύνσεων IP και MAC του δικτύου;  
⇒ **Μή πρακτικό για μεγάλα δίκτυα!**



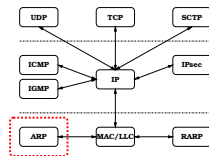
## Address Resolution Protocol





# Address Resolution Protocol

- Μεταφράζει διευθύνσεις επιπέδου διαδικτύου (π.χ. διευθύνσεις IP) σε διευθύνσεις επιπέδου διασύνδεσης (π.χ. διευθύνσεις MAC) (RFC 826).
- Λειτουργία:
  - Έστω κόμβος με διεύθυνση IP  $x.x.x.x$  που θέλει να επικοινωνήσει με τον κόμβο με διεύθυνση IP  $y.y.y.y$ .
  - 1 Ο  $x.x.x.x$  στέλνει σε όλους τους κόμβους του δικτύου (broadcast) ένα πακέτο: «όποιος έχει την IP διεύθυνση  $y.y.y.y$  ας το πει στον  $x.x.x.x$ ».
  - 2 Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα, ελέγχει αν έχει τη διεύθυνση αυτή στο επίπεδο διαδικτύου.
  - 3 Ο κόμβος στον οποίο τελικά ανήκει η διεύθυνση αυτή, απαντά απευθείας (unicast) στον αρχικό με ένα πακέτο: «ο  $y.y.y.y$  είναι στη MAC διεύθυνση  $zz.zz.zz.zz.zz$ ».



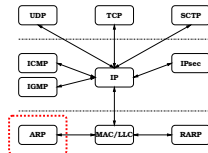
# Address Resolution Protocol

## Βελτιώσεις

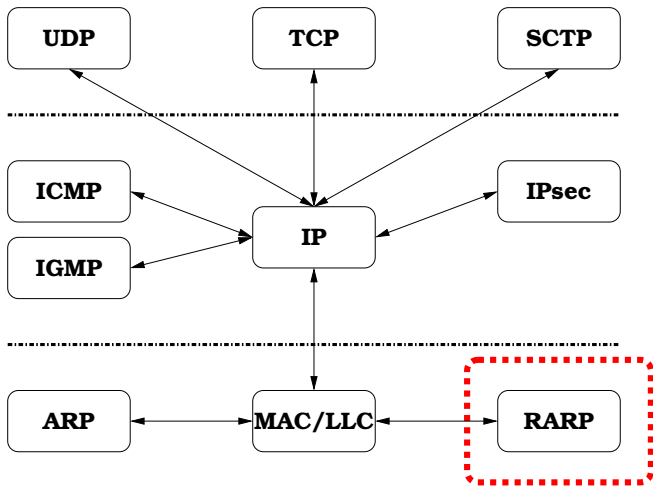
- Διατήρηση κρυφής μνήμης (cache) για τις αντιστοιχίες που επιστρέφει το ARP.
- Αποστολή της αντιστοιχίας IP↔MAC μαζί με την αίτηση.
- Αποστολή της αντιστοιχίας IP↔MAC σε όλους όταν ο κόμβος συνδέεται στο δίκτυο.

## Δρομολόγηση ανάμεσα σε διαφορετικά δίκτυα;

- **Πρόβλημα:** Τα πακέτα του ARP, ως πακέτα επιπέδου συνδέσμου, περιορίζονται σε ένα ιδεατό δίκτυο (δε δρομολογούνται).
- Λύση:
  - Proxy ARP.
  - Gateways.

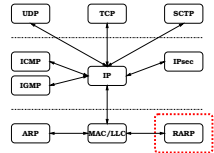


## Reverse Address Resolution Protocol



## Reverse Address Resolution Protocol

- Καθορίστηκε με το RFC 903.
- Χρησιμοποιεί την ίδια δομή πακέτου με το ARP.
- Ακολουθεί τα ίδια βήματα, εναλλάσσοντας τις διευθύνσεις MAC και IP.
- Απαιτεί την ύπαρξη ενός εξυπηρετητή RARP ανά τμήμα δικτύου.
- Αντικαταστάθηκε αρχικά από το BOOTP και ύστερα από το DHCP, τα οποία ωστόσο λειτουργούν σε ανώτερο επίπεδο.



## Πρωτόκολλα διαδικτύου: Επίπεδο διαδικτύου

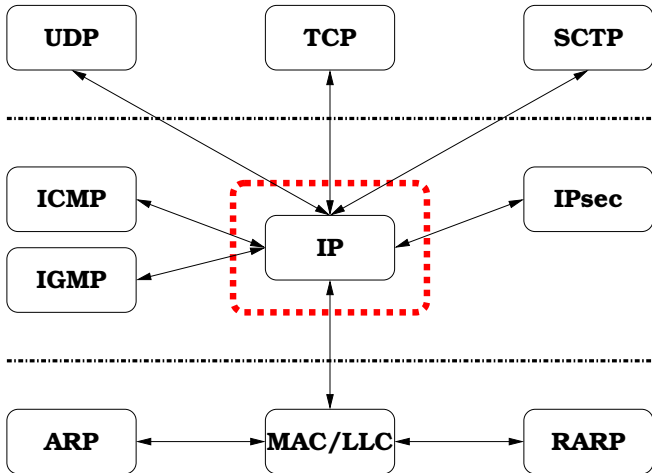


## Γενικά

- Υπεύθυνο για τη μεταφορά πακέτων πέρα από τα όρια ενός συγκεκριμένου φυσικού/λογικού δικτύου.
- Δημιουργεί συνδέσεις από κόμβο σε κόμβο, συνήθως πάνω από πολλά άλματα στο επίπεδο ζεύξης.
- Παρέχει υπηρεσίες δρομολόγησης, καθώς και ελέγχου και αντιμετώπισης προβλημάτων διαλειτουργικότητας χαμηλού επιπέδου.

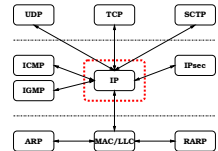


## Internet Protocol v4



## Γενικά

- Προδιαγράφηκε το Σεπτέμβριο του 1981.
  - RFC 791 (DARPA / USC/ISI).
- Σκοπός:
  - Η μεταγωγή πακέτων ανάμεσα σε συσκευές με προκαθορισμένες διευθύνσεις σταθερού μήκους.
  - Η παροχή υπηρεσιών διαλειτουργικότητας ανάμεσα σε δίκτυα διαφορετικής υλοποίησης επιπέδου διασύνδεσης.
- Χαρακτηριστικά:
  - Ασυνδεσμική επικοινωνία: μεταγωγή πληροφορίας σε ανεξάρτητα πακέτα (datagrams).
  - Μη αξιόπιστη επικοινωνία: δεν υπάρχει έλεγχος ορθής παράδοσης πακέτων.





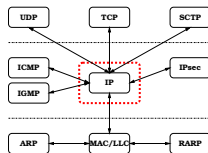
## Γενικά

### Προσφέρει:

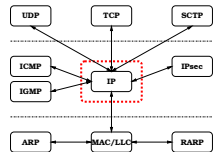
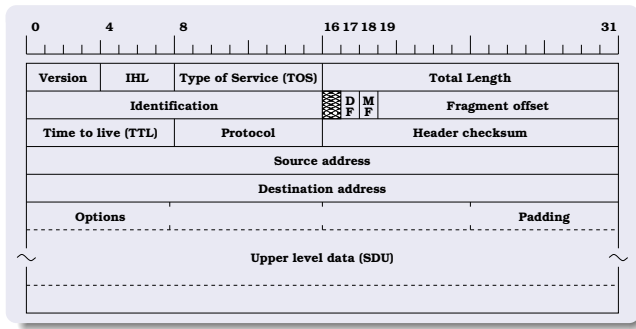
- Διευθυνσιοδότηση.
- Κατακερματισμό πακέτων.
- Δρομολόγηση.
- Έλεγχο συμφόρησης.

### Δεν προσφέρει:

- Έλεγχο απώλειας πακέτων.
- Έλεγχο παράδοσης διπλότυπων πακέτων.
- Παράδοση πακέτων με σωστή σειρά.
- Παράδοση πακέτων χωρίς αλλοιώσεις.

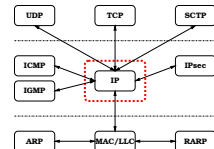
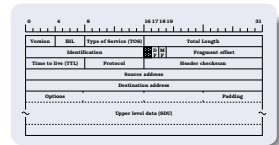


## Το PDU του IP



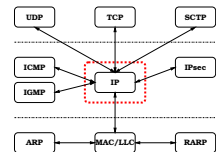
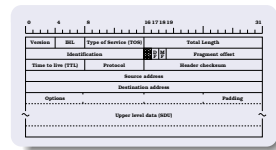
## Η κεφαλίδα του IP

- Τα δεδομένα μεταδίδονται σε σειρά **big-endian**.
- Version: Καθορίζει την έκδοση του IP στην οποία ανήκει το πακέτο (4 ή 6).
- IHL: Μέγεθος της κεφαλίδας του πακέτου (μεταβλητό).
- TOS: Καθορίζει απαιτήσεις της υπηρεσίας στην οποία ανήκει το πακέτο όσον αφορά την δρομολόγησή του (προτεραιότητα + καθυστέρηση, ρυθμοαπόδοση, αξιοπιστία) → επηρεάζει αποφάσεις δρομολόγησης και QoS.
- Total length: Συνολικό μέγεθος του PDU.



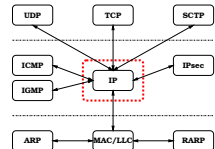
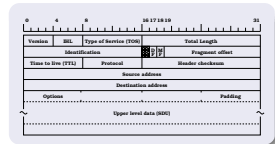
## Η κεφαλίδα του IP

- Identification: Ταυτοποιεί τμήματα κατακερματισμένων πακέτων (όλα τα τμήματα ενός PDU έχουν την ίδια τιμή σε αυτό το πεδίο).
- DF: Καθορίζει αν το πακέτο μπορεί να κατακερματιστεί (Don't Fragment).
- MF: Καθορίζει αν ένα τμήμα πακέτου είναι το τελευταίο του ή όχι (More Fragments).
- Fragment offset: Καθορίζει σε ποιά σημείο του αρχικού πακέτου ανήκει το τρέχον τμήμα.
- TTL: Μετρητής αριθμού αλμάτων (hops) που έχει κάνει το παρόν πακέτο – χρησιμοποιείται για έλεγχο συμφόρησης και ως συνθήκη τερματισμού δρομολόγησης.



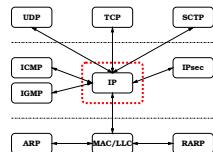
## Η κεφαλίδα του IP

- Protocol: Καθορίζει σε ποίο πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς ανήκει το μεταφερόμενο SDU.
- Header checksum: Χρησιμοποιείται για ανίχνευση λαθών στην **κεφαλίδα του πακέτου**.
- Source/Destination address: Οι IP διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη του πακέτου αντίστοιχα.
- Options: Προβλέφθηκε για πιθανές επεκτάσεις του πρωτοκόλλου (ασφάλεια, αυστηρή ή χαλαρή δρομολόγηση αποστολέα, καταγραφή διαδρομής, χρονοσφραγίδα). Πρέπει να έχει πάντα μέγεθος πολλαπλάσιο των 32 bits.



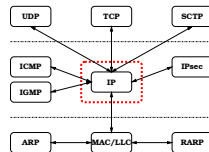
## Κατακερματισμός

- MTU: το μέγεθος του μεγαλύτερου πακέτου που υποστηρίζει κάποιο επίπεδο δικτύου.
  - Ορίζεται είτε από τον κατασκευαστή του υλικού με βάση κάποια στάνταρντ, είτε από το λογισμικό κατά τη σύνδεση του κόμβου στο δίκτυο, είτε βάσει σχεδιαστικών επιλογών.
- Το IP επιτρέπει λειτουργία πάνω από διαφορετικές υλοποιήσεις επιπέδου διασύνδεσης μέσω του **κατακερματισμού** (fragmentation – RFC 791) και **επανασύνθεσης** (reassembly – RFC 815) των πακέτων.
  - Μεγάλα πακέτα: ⇒ Καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης και καλύτερη ρυθμοαπόδοση για γρήγορες ζεύξεις.
  - Μικρά πακέτα: ⇒ Μεγαλύτερη καθυστέρηση (latency) για αργές ζεύξεις.



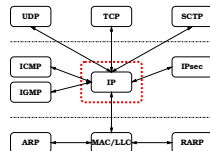
## Κατακερματισμός

- Όταν ένας δρομολογητής ανιχνεύσει ότι ένα πακέτο που προωθεί προορίζεται για δίκτυο με μικρότερο MTU από το πακέτο, μπορεί:
  - α' Να απορρίψει το πακέτο και να επιστρέψει στον αποστολέα του μήνυμα «πολύ μεγάλο πακέτο».
  - β' Να κατακερματίσει το πακέτο ώστε να χωράει στο MTU του επόμενου δικτύου.
- Ζητήματα:
  - Ποιός κάνει την επανασύθεση;
  - Τι γίνεται αν ένα τμήμα χαθεί/καταστραφεί;
- Απαντήσεις:
  - Πρακτικά τόσο οι δρομολογητές όσο και οι κόμβοι παραλήπτες.
  - Path MTU Discovery (RFC 1191), Packetization Layer Path MTU Discovery (RFC 4821), MSS clamping.



## Διευθυναοδότηση

- Κάθε συσκευή έχει μία 32-bit διεύθυνση.
  - Συνήθως αναπαρίσταται ως τετράδα 8-bit δεκαδικών αριθμών:  $a.b.c.d$ , με  $a-d \in [0, 255]$ .
- Ο χώρος διευθύνσεων ελέγχεται από την αρχή IANA (Internet Assigned Numbers Authority)
- Κάθε διεύθυνση χωρίζεται στο τμήμα δικτύου (network) και στο τμήμα υπολογιστή/συσκευής (host).
  - Διαχωρισμός με βάση τη «μάσκα υποδικτύου» (subnet mask)  $\Rightarrow$  Bitwise AND διεύθυνσης και μάσκας υποδικτύου μας δίνει το τμήμα δικτύου.
  - Η μικρότερη διεύθυνση αντιστοιχεί στο δίκτυο (network address) ενώ η μεγαλύτερη σε όλες τις συνδεδεμένες συσκευές (broadcast address).
- Η δρομολόγηση ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών δικτύων γίνεται με βάση την πρώτη.



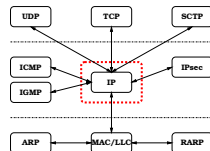


## Διευθυνσιοδότηση

- Ως το 1993: διαχωρισμός με βάση «τάξεις» (classful design).

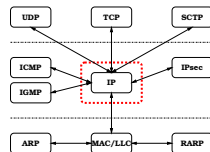
Τάξη (Class)	Πρόθεμα Διευθύνσεων	Μάσκα υποδικτύου	Πλήθος δικτύων	Μέγεθος δικτύων
A	0xxxxxxx	255.0.0.0	128	16,777,214
B	10xxxxxx	255.255.0.0	16,384	65,534
C	110xxxxx	255.255.255.0	2,097,152	254
D	1110xxxx	χρησιμοποιείται για multicast		
E	1111xxxx	δεν χρησιμοποιείται		

- Μετά το 1993: Classless Inter-Domain Routing (CIDR – RFC 1517, 1518 και RFC 1519).
  - Μάσκα υποδικτύου μεταβλητού μήκους (VLSM).
  - Οι διευθύνσεις πρέπει πάντα να γράφονται μαζί με τη μάσκα υποδικτύου τους.
  - Επιτρέπει «συνάθροιση» συνεχόμενων υποδικτύων.
  - Ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες των χρηστών.

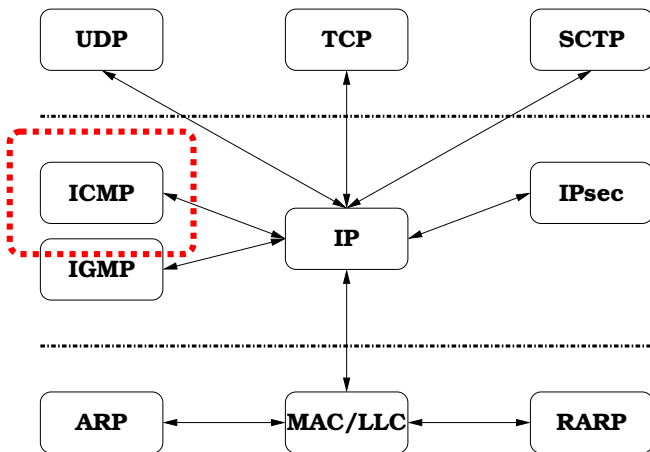


## Διευθυνσιοδότηση

- Δεσμευμένες διευθύνσεις:
  - 127/8: «loopback» δίκτυο.
  - 10/8, 172.16/12, 192.168/16: ιδιωτικά δίκτυα,
  - 169.254/16: link-local δίκτυο.
- Παραδείγματα διευθύνσεων:
  - zeus:
    - Διεύθυνση IP: 195.130.121.11.
    - Μάσκα υποδικτύου: 255.255.255.0 (= 24).
    - Διεύθυνση δικτύου: 195.130.121.0 (/24).
    - Διεύθυνση broadcast: 195.130.121.255.
    - Πιθανές διευθύνσεις: 195.130.121.[1 – 254].
  - dummy:
    - Διεύθυνση IP: 123.45.67.89.
    - Μάσκα υποδικτύου: 255.255.255.224 (= 27).
    - Διεύθυνση δικτύου: 123.45.67.64 (/27).
    - Διεύθυνση broadcast: 123.45.67.95.
    - Πιθανές διευθύνσεις: 123.45.67.[65 – 94].



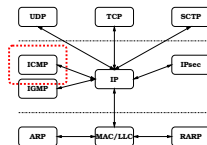
# Internet Control Message Protocol



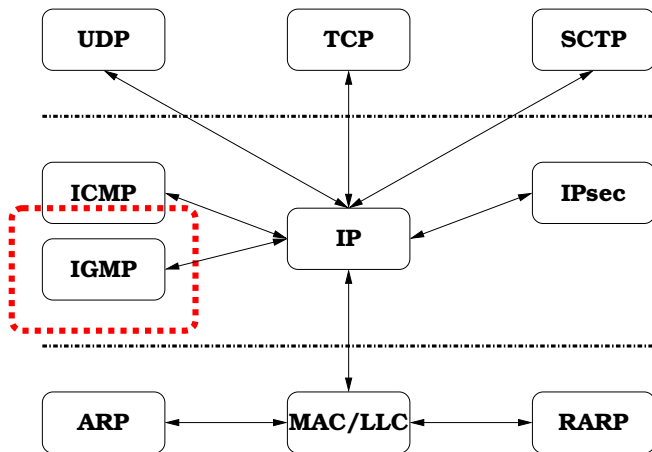
# Internet Control Message Protocol

- Καθορίστηκε στο RFC 792.
- Παρέχει μηχανισμούς αναφοράς σφαλμάτων και ελέγχου λειτουργίας των συνδέσεων IP.
- Τα πακέτα έχουν «τύπο» και «κωδικό».
- Κυριότεροι τύποι μηνυμάτων ICMP:

A/A	Τύπος	Περιγραφή
8/0	echo{req/rep}	«Ζεις;»/«Ζω!»
3	unreach	«Μη προσπελάσιμος προορισμός»
4	squench	«Απώλεια πακέτων, πιο σιγά»
5	redir	«Υπάρχει συντομότερη διαδρομή»
11	timex	«Υπέρβαση χρόνου!»
12	paramprob	«Άκυρη κεφαλίδα»
13/13	time{req/rep}	«Συγχρονισμός ρολογιών»
17/18	mask{req/rep}	«Εύρεση μάσκας δικτύου»
30	trace	«Καταγραφή διαδρομής»

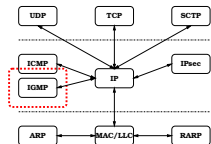


# Internet Group Management Protocol

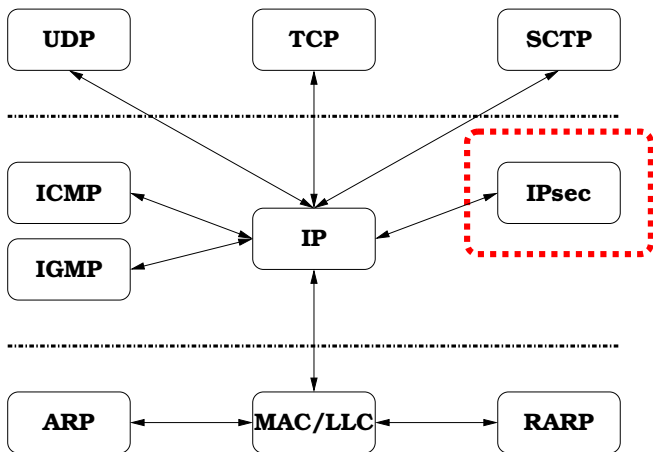


# Internet Group Management Protocol

- Καθορίζεται στα RFC 1112, 2236 και 3376.
- Σχεδόν ανάλογο του ICMP αλλά για multicasting.
- Χειρίζεται τη δημιουργία ομάδων multicast και την ενημέρωση των εμπλεκόμενων δρομολογητών.

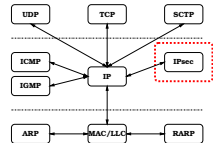


## Internet Protocol Security



## Internet Protocol Security

- Μία από τις μεθόδους υλοποίησης Ιδιωτικών Ιδεατών Δικτύων (VPN).
- Προσφέρει αυθεντικότητα και κρυπτογράφηση των δεδομένων **στο επίπεδο διαδικτύου**.
- Αποτελείται από πρωτόκολλα για:
  - Ανταλλαγή κλειδιών αυθεντικότητας και κρυπτογράφησης ⇒ IKE/IKEv2.
  - Παροχή εγγυήσεων ακεραιότητας και αυθεντικότητας πακέτων καθώς και αποφυγή επιθέσεων επανάληψης (replay attacks) ⇒ AH.
  - Ενθυλάκωση και κρυπτογράφηση δεδομένων ⇒ ESP.
  - Συμπίεση δεδομένων ⇒ IPcomp.
- Μπορεί να κρυπτογραφεί ή/και να ελέγχει την αυθεντικότητα τόσο μόνο του SDU (transport mode) όσο και ολόκληρου του PDU (tunnel mode) του IP.





## Πρωτόκολλα διαδικτύου: Επίπεδο μεταφοράς



## Γενικά

- Υπεύθυνο για την μεταφορά δεδομένων από και προς τις εφαρμογές/υπηρεσίες του κάθε κόμβου.
- Προσφέρει:
  - Αξιόπιστη επικοινωνία πάνω από ένα αναξίοπιστο δίκτυο.
  - Διαφανή μετατροπή των δεδομένων σε πακέτα προς επεξεργασία από το επίπεδο διαδικτύου.
  - Εγκαθίδρυση και καταστροφή συνδέσεων και συνεδριών από άκρο σε άκρο.
  - Πολυπλεξία ροής δεδομένων για υποστήριξη πολλαπλών αποστολέων/παραληπτών σε κάθε κόμβο.
  - Έλεγχο ροής και συμφόρησης.
  - Αντιμετώπιση σφαλμάτων μετάδοσης.
  - Ανίχνευση διπλότυπων πακέτων.
  - Αντιμετώπιση παράδοσης πακέτων εκτός σειράς.
  - Λειτουργία με ή χωρίς σύνδεση.
  - Ενιαία πλατφόρμα για τις εφαρμογές που απαιτούν δικτυακή επικοινωνία.



## Πολυπλεξία

### Πρόβλημα

- Πολλές εφαρμογές σε κάθε κόμβο του δικτύου που θέλουν να στείλουν ή να λάβουν δεδομένα.
- Δεδομένου ενός εισερχόμενου πακέτου, πως ξέρουμε σε ποιά εφαρμογή/διεργασία να το παραδώσουμε;

### Λύση

- Αντιστοίχιση μία ιδεατής θύρας (port) σε κάθε διεργασία.
  - Κάθε θύρα ταυτοποιείται από έναν αριθμό 16-bit (0-65535).
  - Ανάθεση θυρών τόσο για διεργασίες που αποστέλουν όσο και για διεργασίες που λαμβάνουν δεδομένα.
  - Το ζεύγος <διεύθυνση IP:αριθμός θύρας> ορίζει ένα άκρο επικοινωνίας (socket).
  - Η αρχή IANA έχει επίσης καθορίσει ένα σύνολο από αντιστοιχίες θυρών σε συγκεκριμένες υπηρεσίες (δείτε το /etc/protocols).

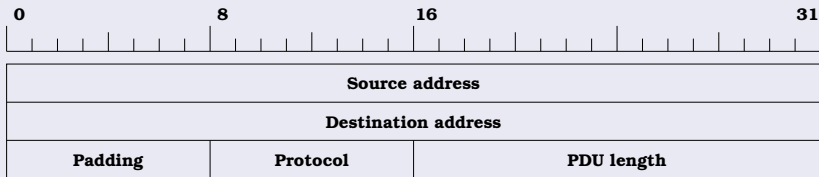


## Βασικά πρωτόκολλα

- Η ροή πληροφορίας από τα ανώτερα επίπεδα διασπάται διαφανώς σε μικρότερα πακέτα (PDUs).
- Κάθε πακέτο αυτού του επιπέδου χρησιμοποιεί μια ψευδο-κεφαλίδα (pseudo-header) για έλεγχο λαθών/αλλοιώσεων.
- Η ψευδο-κεφαλίδα «προστίθεται» από το επίπεδο διαδικτύου (IP) και προηγείται του αντίστοιχου PDU.
- Βασικότερα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς:
  - UDP: User Datagram Protocol.
  - TCP: Transmission Control Protocol.
  - SCTP: Stream Control Transmission Protocol.



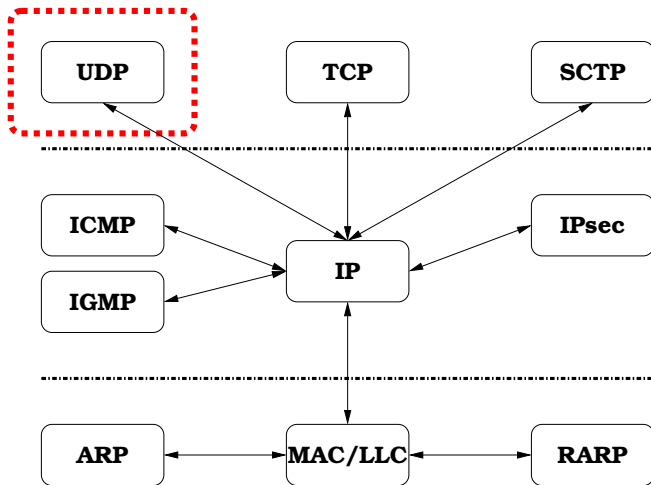
## Η ψευδοκεφαλίδα του TCP/IP



- Source address: IP διεύθυνση αποστολέα.
- Destination address: IP διεύθυνση παραλήπτη.
- Padding: Μηδενικά bytes ώστε η ψευδοκεφαλίδα να έχει μέγεθος ακέραιο πολλαπλάσιο των 4 bytes.
- Protocol: Πρωτόκολλο του PDU που ακολουθεί (TCP, UDP, SCTP, κτλ.)
- PDU length: Μέγεθος του PDU που ακολουθεί.

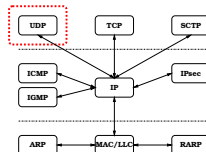


## User Datagram Protocol



## Γενικά

- Προδιαγράφηκε το 1980 στο RFC 768.
- Παρέχει **ασυνδεσμική** (connectionless) επικοινωνία.
- Αντιμετωπίζει την πληροφορία σαν τμήματα (datagrams).
- Δεν προσφέρει:
  - Έλεγχο απώλειας πακέτων.
  - Παράδοση πακέτων με σωστή σειρά.
  - Έλεγχο παράδοσης διπλότυπων πακέτων.
  - Έλεγχο ροής ή συμφόρησης  
⇒ Datagram Congestion Control Protocol  
(DCCP – RFC 4340).



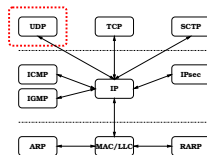
## Γενικά

- Πλεονεκτήματα:

- «Γρήγορο»: δεν απαιτεί την εγκαθίδρυση σύνδεσης πριν την αποστολή δεδομένων ή την αποδοχή ή αναμετάδοση πακέτων.
- Μηδαμινές απαιτήσεις μνήμης: ο αποστολέας δεν διατηρεί πληροφορίες για τα πακέτα που απέστειλε και ο παραλήπτης δεν τα αποθηκεύει πριν τα προωθήσει στα ανώτερα επίπεδα.
- Εύκολο στην υλοποίηση.

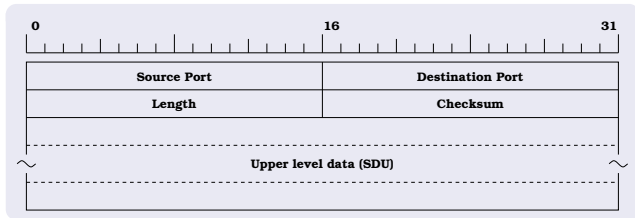
- Χρησιμοποιείται από:

- Εφαρμογές μετάδοσης φωνής και βίντεο.
- Εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- Υπηρεσίες όπως DNS, SNMP, DHCP, RIP, διάφορα πρωτόκολλα peer-to-peer, κτλ.

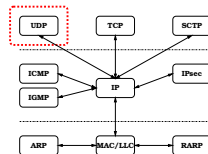




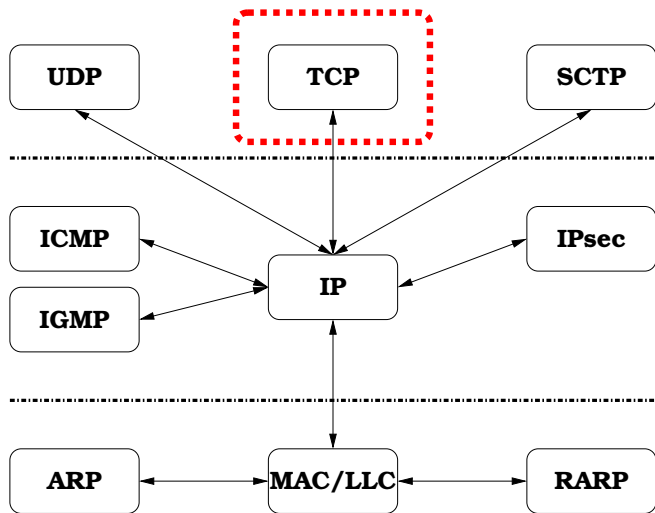
## Το PDU του UDP



- Source port: Η θύρα στην οποία θα δεχθεί τυχόν απαντήσεις ο αποστολέας, αλλιώς 0.
- Destination port: Η θύρα του παραλήπτη.
- Length: Το μήκος του PDU, μαζί με την κεφαλίδα.
- Checksum: Έλεγχος ακεραιότητας της ψευδοκεφαλίδας, της κεφαλίδας και του SDU.

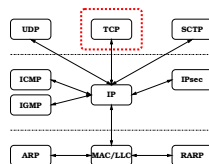


## Transmission Control Protocol



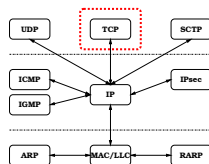
## Γενικά

- Προδιαγράφηκε το 1980 στο RFC 761.
- Παρέχει συνδεσμωτική (connection-oriented) επικοινωνία.
- Αντιμετωπίζει την πληροφορία ως ροή (byte stream).
- Προσφέρει:
  - Αξιόπιστη, αμφίδρομη επικοινωνία πάνω από αξιόπιστα και αναξιόπιστα δίκτυα.
  - Επανάληψη αποστολής για πακέτα που δεν παραδόθηκαν στον παραλήπτη τους εντός χρονικού ορίου.
  - Επανάσυνθεση αρχικής ακολουθίας πακέτων (παράδοση πακέτων με τη σειρά που στάλθηκαν).
  - Έλεγχο παράδοσης διπλότυπων πακέτων.
  - Έλεγχο ροής και συμφόρησης.

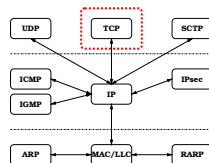
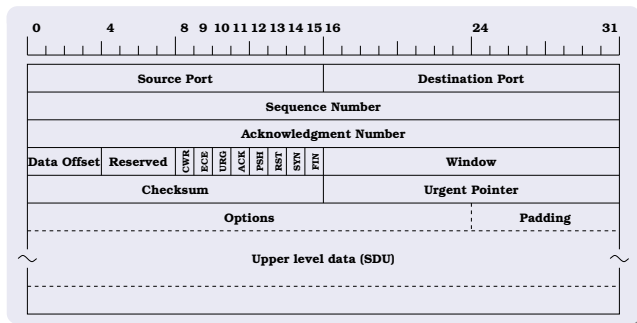


# Transmission Control Protocol

- Πλεονεκτήματα:
  - Αξιόπιστο: εγγυάται την ορθή και πλήρη παράδοση των δεδομένων, χωρίς απώλειες ή διπλότυπα.
  - Παρέχει έλεγχο ροής και συμφόρησης.
- Μειονεκτήματα:
  - Απαιτεί χρόνο για εγκαθίδρυση σύνδεσης πριν την αποστολή δεδομένων.
  - Απαιτεί επιβεβαίωση λήψης κάθε ξεχωριστού πακέτου.
  - Απαιτεί την αποθήκευση τμημάτων πακέτων που φτάνουν εκτός σειράς έως ότου συμπληρωθεί το αρχικό πακέτο.
  - Ακατάλληλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου ή με απαιτήσεις χρόνου (π.χ. μετάδοση φωνής/βίντεο).
- Χρησιμοποιείται από:
  - Εφαρμογές μεταφοράς αρχείων.
  - Αλληλεπιδραστικές εφαρμογές.
  - Υπηρεσίες όπως WWW, e-mail, FTP, SSH, κτλ.

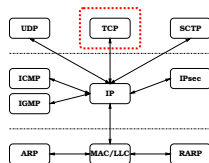
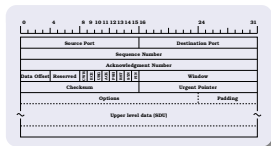


## Το PDU του TCP



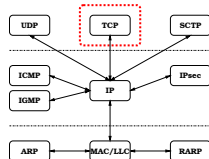
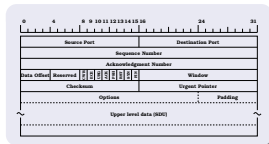
## Η κεφαλίδα του TCP

- Source port: ο αριθμός θύρας του αποστολέα.
- Destination port: ο αριθμός θύρας του παραλήπτη.
- Sequence number: αριθμός σειράς του πρώτου byte στο πακέτο.
- Acknowledgment number: περιέχει τον επόμενο αριθμό σειράς που περιμένει να λάβει ο παραλήπτης.
- Data offset: μέγεθος της κεφαλίδας του TCP.
- Reserved: δεσμευμένο για μελλοντική χρήση (=0).



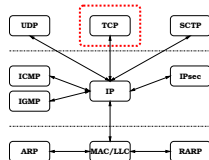
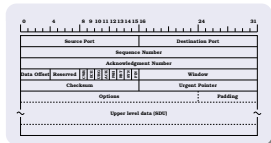
## Η κεφαλίδα του TCP

- CWR: «Μείωση του παραθύρου συμφόρησης».
- ECE: «Κόμβος ικανός για ειδοποίηση συμφόρησης (ECN)».
- URG: «Το πακέτο περιέχει επείγοντα δεδομένα. Συμβουλέψου το πεδίο urgent pointer».
- ACK: «Το πακέτο περιέχει επιβεβαίωση λήψης. Συμβουλέψου το πεδίο acknowledgment number».
- PSH: «Στείλε τα δεδομένα τώρα».
- RST: «Επανασύνδεση».
- SYN: «Συγχρονισμός αριθμών σειράς».
- FIN: «Τέλος ροής δεδομένων από τον αποστολέα».



## Η κεφαλίδα του TCP

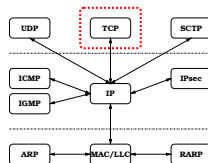
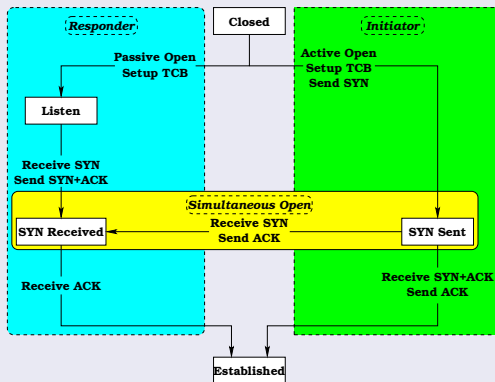
- Window: μέγεθος παραθύρου λήψης (για έλεγχο συμφόρησης).
- Checksum: έλεγχος ακεραιότητας ψευδοκεφαλίδας, κεφαλίδας και SDU.
- Urgent pointer: δείκτης στο τελευταίο byte επειγόντων δεδομένων, αν το πεδίο URG είναι 1.
- Options: υλοποιεί διάφορες προαιρετικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου (επιλεκτική επιβεβαίωση, αλλαγή μεγέθους παραθύρου, αλλαγή μεγέθους τμήματος (MSS) κτλ.)
- Padding: Εγγυάται ότι το μέγεθος του πεδίου options θα είναι πάντα ακέραιο πολλαπλάσιο των 4 bytes.





## Αλγόριθμος σύνδεσης

- Σκοπός: τα δύο άκρα να αρχικοποιήσουν τις πληροφορίες της σύνδεσης.

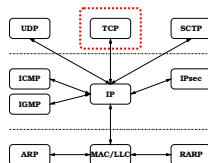
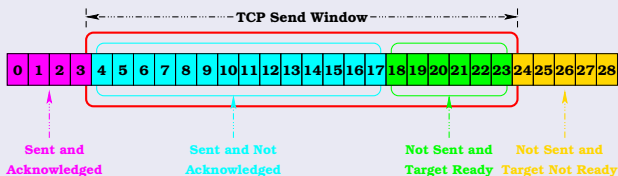


- 3-way handshake ή 2x 2-way handshake;



## Μετάδοση

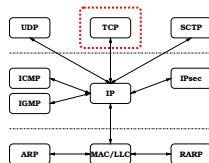
- Κάθε πακέτο που μεταδίδεται έχει έναν αριθμό σειράς (= αριθμός του πρώτου byte στο SDU).
- Για κάθε πακέτο που παραδίδεται, επιστρέφεται πακέτο επιβεβαίωσης (ACK) με αριθμό σειράς ίσο με τον αριθμό του πρώτου byte στο επόμενο SDU.
- Επανάληψη αποστολής πακέτου αν δεν επιβεβαιωθεί εντός χρονικού ορίου (παράθυρο επανεκπομπής).
- Exponential Back-Off σε περίπτωση λαθών.
- Το μέγεθος του παραθύρου κοινοποιείται από τον παραλήπτη στον αποστολέα (πεδίο window).



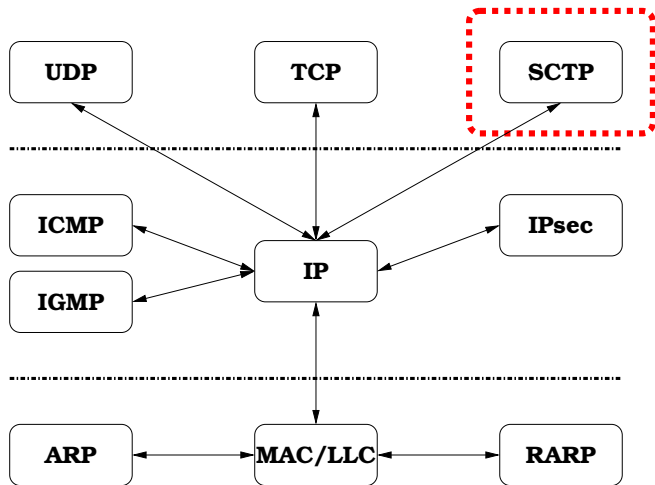


## Αποσύνδεση

- Η κατάσταση TIME\_WAIT υπάρχει για να «αδειάσει» το δίκτυο από πακέτα (δεδομένων ή μή) της σύνδεσης.
  - Πακέτα που έχουν καθυστερήσει ή διπλότυπα παλαιότερων πακέτων.
  - Πακέτα επιβεβαίωσης (ειδικά το LAST-ACK).
- MSL είναι η μέγιστη διάρκεια ζωής ενός πακέτου στο δίκτυο (Maximum Segment Life) (=2' στα RFC 761, 793 )
  - Καθορίζεται από το λειτουργικό σύστημα (=2' σε Linux, 1' σε SunOS, 30" σε \*BSD, κτλ.

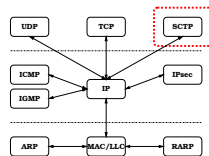


## Stream Control Transmission Protocol



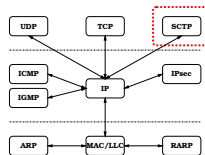
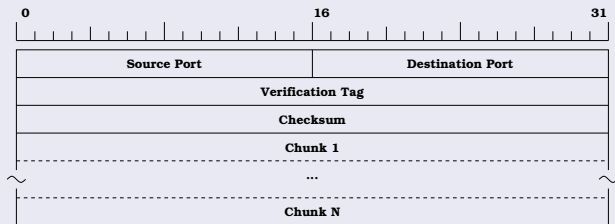
## Γενικά

- Εισήχθει το 2002 (RFC 3286) και προδιαγράφηκε το 2007 στο RFC 4960.
- Σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογές IP τηλεφωνίας.
- Προσφέρει:
  - Όπως και το TCP, μεταφορά δεδομένων με επιβεβαιώσεις, χωρίς λάθη και διπλότυπα.
  - Όπως και το UDP, μεταφορά δεδομένων σε πακέτα (datagrams) και όχι ως ροή.
  - Κατακερματισμό των δεδομένων ώστε να συμφωνούν με αποφάσεις εξεύρεσης MTU του μονοπατιού δρομολόγησης.
  - Παράδοση εν σειρά μηνυμάτων σε πολλές ροές, με παράδοσή τους κατά σειρά άφιξης.
  - Προεραπική συνάθροιση πολλών μηνυμάτων των ανώτερων επιπέδων σε ένα PDU.
  - Υποστήριξη πολλαπλών αποστολέων και παραληπτών για κάθε σύνδεση (multi-homing).
  - Υποστήριξη για αποφυγή συμφόρησης και ανθεκτικότητα σε επιθέσεις κατάκλισης και «μεταμφίησης».

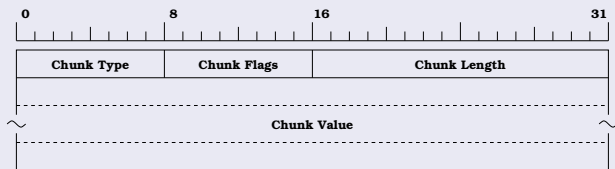


## Το PDU του SCTP

### Βασική δομή του PDU του SCTP

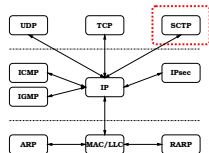
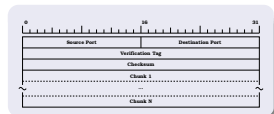


### Βασική δομή των τμημάτων (chunks) του SCTP



## Η κεφαλίδα του SCTP

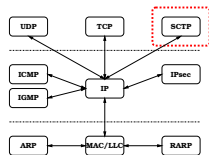
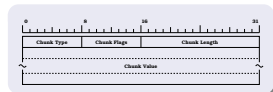
- Source port: ο αριθμός θύρας του αποστολέα.
- Destination port: ο αριθμός θύρας του παραλήπτη.
- Verification tag: χρησιμοποιείται για να επαληθεύει την ταυτότητα του αποστολέα ενός πακέτου.
- Checksum: έλεγχος ακεραιότητας κεφαλίδας και chunks.
  - Το SCTP **δεν** συμπεριλαμβάνει την ψευδοκεφαλίδα στον υπολογισμό του checksum.
  - Χρησιμοποιεί σαφώς ισχυρότερο αλγόριθμο υπολογισμού του checksum του πακέτου από τα IP, UDP και TCP.
  - Χρησιμοποιεί το πεδίο verification tag για να αντιμετωπίσει λάθος δρομολόγησης, αντί για την ψευδοκεφαλίδα.





## SCTP chunks

- Οι διάφορες λειτουργίες (π.χ. δημιουργία σύνδεσης, καταστροφή σύνδεσης, ρύθμιση ροής, έλεγχος συμφόρησης, κτλ.) επιτελούνται με ειδικά chunks αντί με πεδία στη βασική κεφαλίδα.
- Chunk type: υποδεικνύει τον τύπο των δεδομένων στο πεδίο chunk value. Δυνατές τιμές είναι «Έναρξη/επιβεβαίωση έναρξης και λήξη/επιβεβαίωση λήξης σύνδεσης», «έλεγχος/επιβεβαίωση συνδεσιμότητας», «επιλεκτική επιβεβαίωση πακέτων», κτλ.  
 Τα 2 σημαντικότερα bits του πεδίου αυτού καθορίζουν τι γίνεται αν ο παραλήπτης δεν αναγνωρίζει τον τύπο του εκάστοτε πακέτου.
- Chunk flags: εξαρτάται από τον τύπο του chunk, αλλιώς παίρνει τιμή 0 και αγνοείται..
- Chunk length: το μέγεθος του chunk μαζί με την κεφαλίδα του αλλά χωρίς την βασική κεφαλίδα του PDU.



## Η συνολική εικόνα



## Η συνολική εικόνα

- Έστω εφαρμογή A που τρέχει στην θύρα  $\theta_\alpha$  στον κόμβο με διεύθυνση α.α.α.α επικοινωνεί μέσω TCP με εφαρμογή B που τρέχει στη θύρα  $\theta_\beta$  στον κόμβο με διεύθυνση β.β.β.β.
- 1 Το επίπεδο TCP διασπά τα δεδομένα της εφαρμογής σε segments, προσθέτει την κεφαλίδα του και το δίνει στο επίπεδο IP.
- 2 Το IP διασπά, αν χρειάζεται, τα πακέτα του TCP σε datagrams ή/και fragments, προσθέτει την κεφαλίδα του και ελέγχει αν ο παραλήπτης είναι στο τοπικό δίκτυο. Αν ναι, το επόμενο βήμα θα είναι ο β.β.β.β, αλλιώς το υπολογίζει από τους πίνακες δρομολόγησης.
- 3 Αν η MAC διεύθυνση του επόμενου βήματος δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιεί το ARP για να την βρεί και παραδίδει το πακέτο στο επίπεδο ζεύξης.
- 4 Το επίπεδο ζεύξης δημιουργεί ένα Ethernet frame, προσθέτει την κεφαλίδα του και το αποστέλει στο μέσο.
- 5 Το επίπεδο ζεύξης στο επόμενο βήμα αφαιρεί την κεφαλίδα του, και προωθεί το πακέτο στο IP.
- 6 Το IP ελέγχει αν το πακέτο προορίζεται για αυτόν τον κόμβο. Αν όχι (router), επιστρέφει στο βήμα 2. Αν ναι, αφαιρεί την κεφαλίδα του και προωθεί το πακέτο στο TCP.
- 7 Το TCP (αφού επιβεβαιώσει τη λήψη του πακέτου), εντοπίζει την κατάλληλη εφαρμογή από τον αριθμό θύρας του πακέτου, αφαιρεί την κεφαλίδα του και παραδίδει τα δεδομένα.



## Στο επόμενο μάθημα...

- Η μετάβαση στο IPv6.
- Βασικά πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής στο διαδίκτυο.
  - DNS.
- Εισαγωγή στα BSD sockets.

