

Κεφάλαιο 11 – RH124

Συμπληρωματικές σημειώσεις

Γεώργιος Μαγκλάρας PhD

Associate Instructor

RedHat Academy

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής



‘Εννοιες δικτύων δεδομένων

- Το κεφάλαιο 11 του RH124 μιλάει κυρίως για διευθυνσιοδότηση (IP addressing), δρομολόγηση (routing) και παραμετροποίηση (configuration) των καρτών δικτύου στο Linux.
- Για να καταλάβουμε καλύτερα γιατί χρειαζόμαστε διευθυνσιοδότηση και δρομολόγηση, πρέπει να κατανοήσουμε τη βασική θεωρία του πως δουλεύει ένα σύγχρονο δίκτυο δεδομένων
 - Τι δρομολογούμε ακριβώς;
 - Πώς το δρομολογούμε και γιατί;
 - Ποιός ο ρόλος της διευθυνσιοδότησης;

Circuit versus packet switching

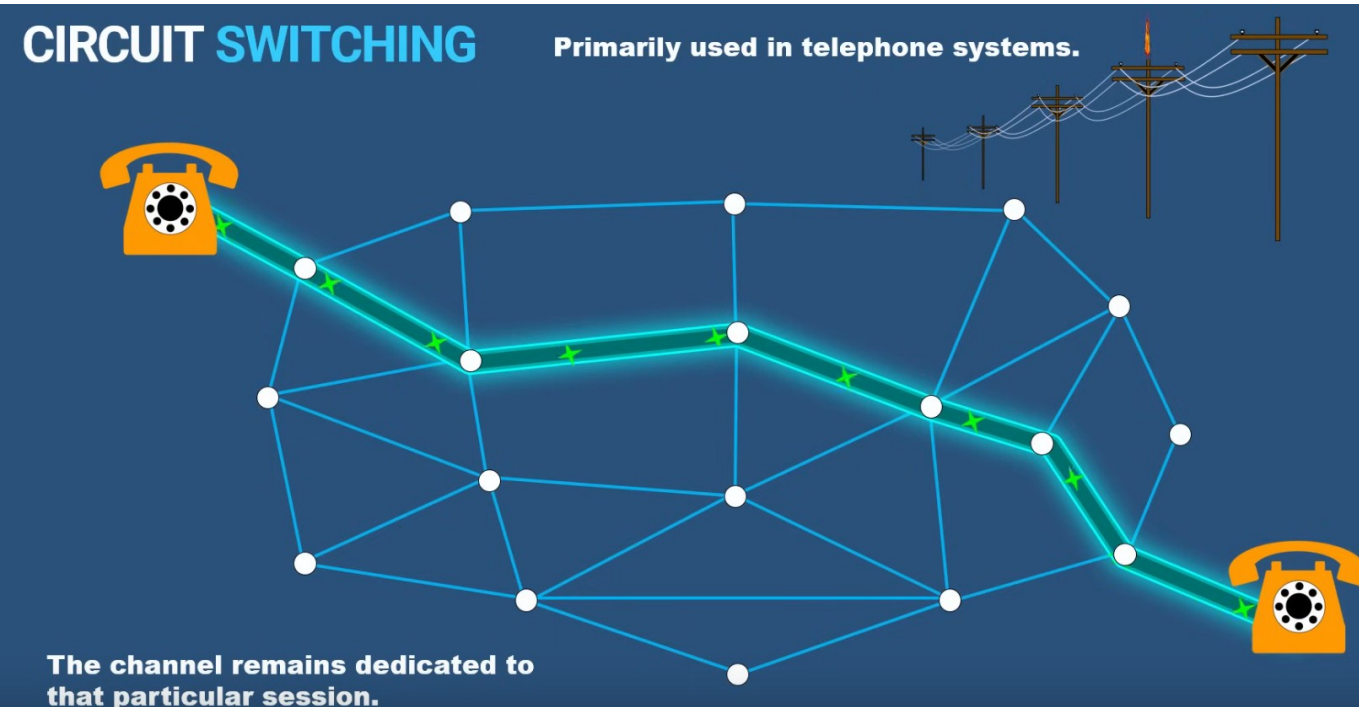
Όταν δύο συσκευές πρέπει να επικοινωνήσουν και να ανταλλάξουν πληροφορίες (φωνή και δεδομένα που μπορεί να μεταφραστούν σε εικόνα και ήχο), υπάρχουν δύο μέθοδοι για να δημιουργήσουμε το κανάλι της επικοινωνίας:

- Circuit switching (μεταγωγή κυκλώματος)
- Packet switching (μεταγωγή πακέτων)

Η πρώτη μέθοδος έχει τις ρίζες της στα πρώτα τηλεφωνικά δίκτυα.

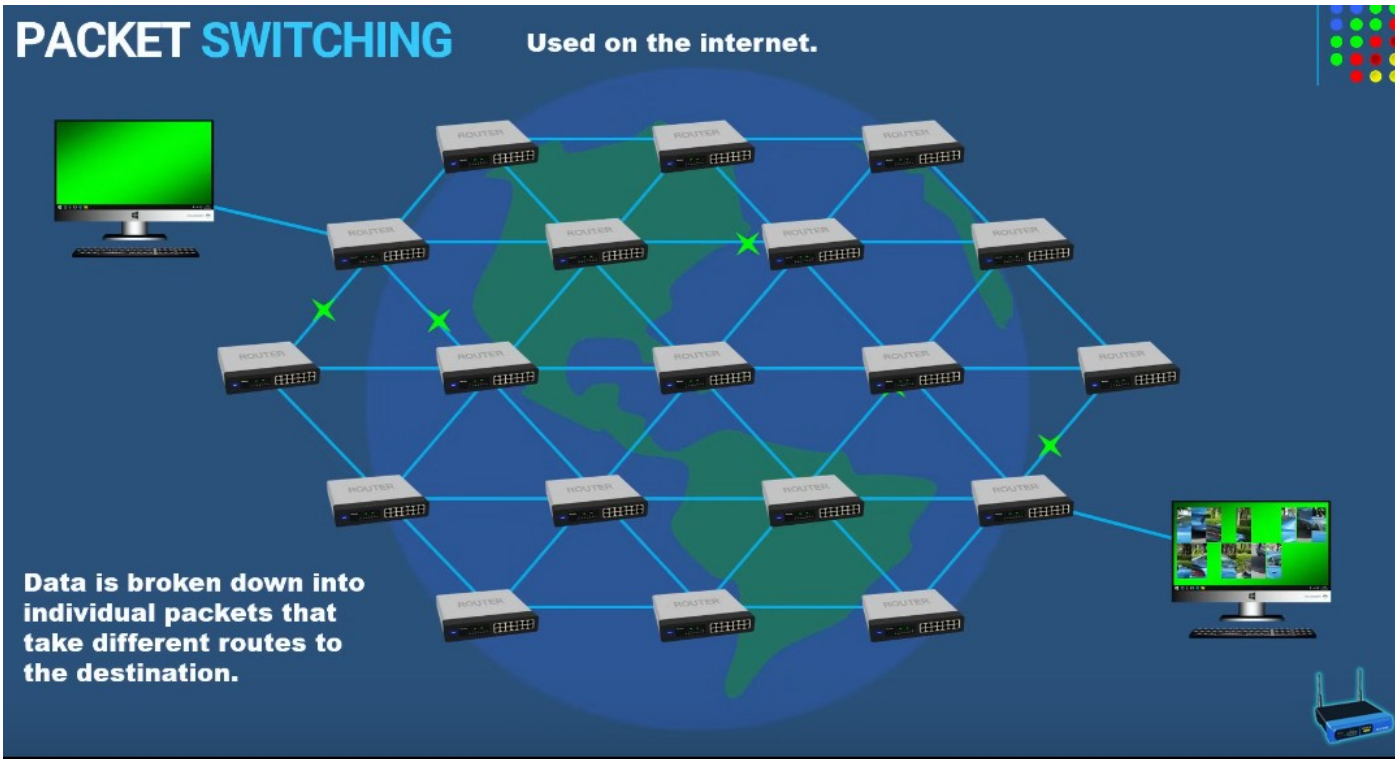
Η δεύτερη μέθοδος έχει τις ρίζες στη γέννηση του Διαδικτύου και είναι η πιο σύγχρονη.

Circuit versus packet switching (2)



- Πρώτα φτιάχνουμε ένα φυσικό κύκλωμα μεταξύ των δύο συσκευών.
- Μετά τους λέμε επικοινωνήστε/ανταλλάξτε δεδομένα.
- Καθόλη τη διάρκεια της επικοινωνίας, το κύκλωμα παραμένει το ίδιο.
- Κατάλληλο κυρίως για φωνή
- Προσφέρει τη μικρότερη δυνατή χρονική καθυστέρηση στην επικοινωνία
- Έχει χαμηλή ανθεκτικότητα σε βλάβη του κυκλώματος

Circuit versus packet switching (3)



- Δεν έχουμε διακριτό κύκλωμα.
- η πληροφορία τμηματοποιείται σε πακέτα, ακολουθεί διαφορετικές διαδρομές μέχρι τον προορισμό της.
- Αλγόριθμοι καθορίζουν τη διαδρομή δυναμικά
- Κατάλληλη μέθοδος για δεδομένα
- Προσφέρει μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση στην επικοινωνία από τη διαμεταγωγή πακέτων.
- Έχει υψηλή ανθεκτικότητα σε βλάβες

Packet switching (Ιστορία)



The IBM SAGE Computer
Designed, Manufactured, and Installed by IBM for the United States Air Force.

- | | | |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 radar mappers | 4 command post | 7 magnetic core memory |
| 2 mapper console | 5 display console pattern | 8 typical computer frames |
| 3 operating console | 6 weapons direction | 9 magnetic tape memory |
| | | 10 magnetic drum memory |

‘Πόλεμος πάντων μὲν πατήρ ἐστι, πάντων δὲ βασιλεύς’ – Ηράκλειτος

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ σύνδεσε επικοινωνιακά ένα δίκτυο σταθμών ραντάρ. Το λεγόμενο SAGE (Semi Automatic Ground Environment) είχε ως σκοπό τη διαρκή επαγρύπνηση και αυτοματοποιημένη αντίδραση (σε περίπτωση πυρηνικού χτυπήματος απο την Σοβιετική Ένωση) των ΗΠΑ.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αυτών των ραντάρ έπρεπε να συνδέονται με ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που θα μπορούσε να αντέξει σε πυρηνικό (ή άλλο ευρείας κλίμακας) χτύπημα στην υποδομή των ΗΠΑ. Ήταν σαφές ότι η έως τότε ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία διαμεταγωγής κυκλώματος δεν ήταν επαρκώς ανθεκτική για αυτό το σκοπό.

Για αυτό το λόγο, με έρευνε που χρηματοδοτήθηκε ΚΑΙ απο το υπουργείο εθνικής άμυνας των ΗΠΑ καθώς και απο έρευνα Βρετανικών και άλλων επιστημόνων απο τον υπόλοιπο κόσμο καθιερώθηκε η τεχνολογία της διαμεταγωγής πακέτων (packet switching).

Πηγή φωτογραφίας: IBM

<https://www.ibm.com/history/sage>

Fact checking:

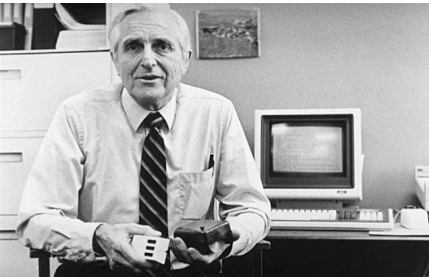
<https://www.youtube.com/watch?v=FZjDBJUutRE>

Packet switching (Ιστορία 2)

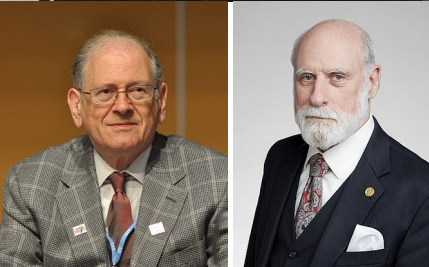


Ο [Leonard Kleinrock](#) μπροστά απο τον [interface message processor](#)

Η διαμεταγωγή πακέτων τμηματοποιεί την πληροφορία σε πακέτα συγκεκριμένης μορφής, δίνοντας τη δυνατότητα για μια πιο ελαστική και ανθεκτική μέθοδο επικοινωνίας που αποτελεί τη βάση του ψηφιακού κόσμου μας σήμερα.



Ο [Douglas Engelbart](#)



Οι [Robert Kahn](#) και [Vint Cerf](#)

Packet switching

Open Systems Interconnect (OSI) model

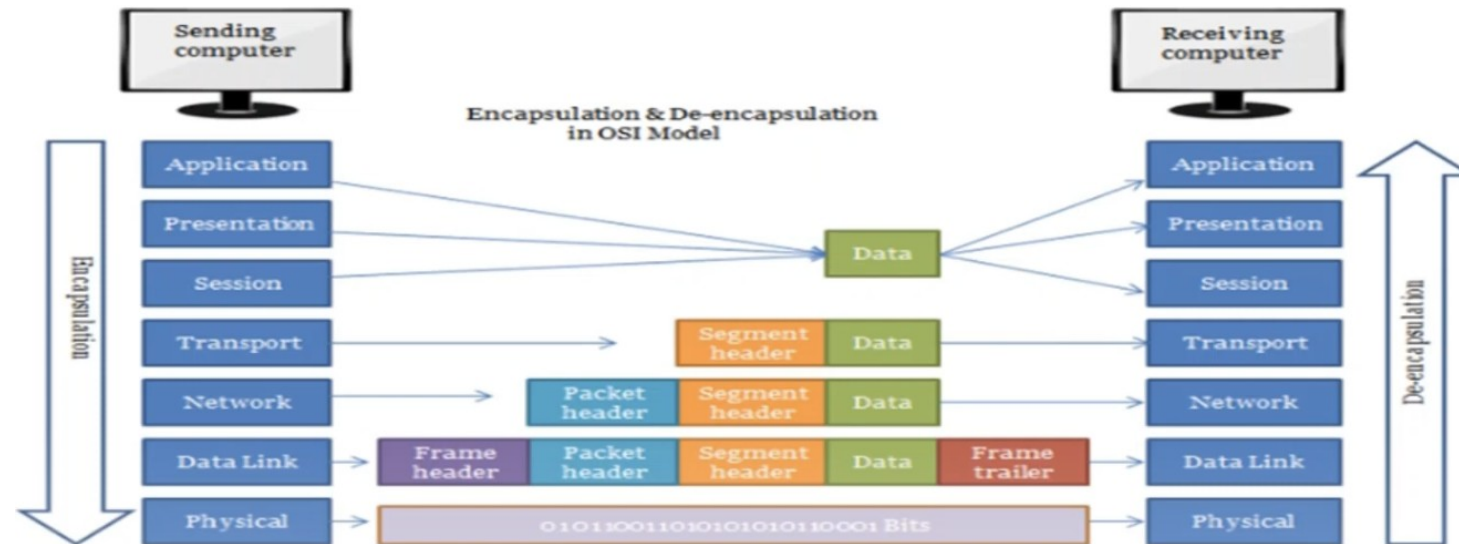
Layer		Protocol data unit (PDU)	Function ^[26]
Host layers	7 Application	Data	High-level protocols such as for resource sharing or remote file access, e.g. HTTP .
	6 Presentation		Translation of data between a networking service and an application; including character encoding , data compression and encryption/decryption
	5 Session		Managing communication sessions , i.e., continuous exchange of information in the form of multiple back-and-forth transmissions between two nodes
	4 Transport	Segment	Reliable transmission of data segments between points on a network, including segmentation , acknowledgement and multiplexing
Media layers	3 Network	Packet, Datagram ^[27]	Structuring and managing a multi-node network, including addressing , routing and traffic control
	2 Data link	Frame	Transmission of data frames between two nodes connected by a physical layer
	1 Physical	Bit, Symbol	Transmission and reception of raw bit streams over a physical medium

- Θεωρητικό μοντέλο
- Σήμερα κυριαρχεί το μοντέλο του TCP/IP που έχει μόνο 4 απο τα 7 στρώματα του OSI.
- Η υλοποίηση του διαδικτυακού λογισμικού ακολουθεί κυρίως τη δομή των στρωμάτων TCP/IP.

«---Αντικείμενο του κεφαλαίου 11 του RH123

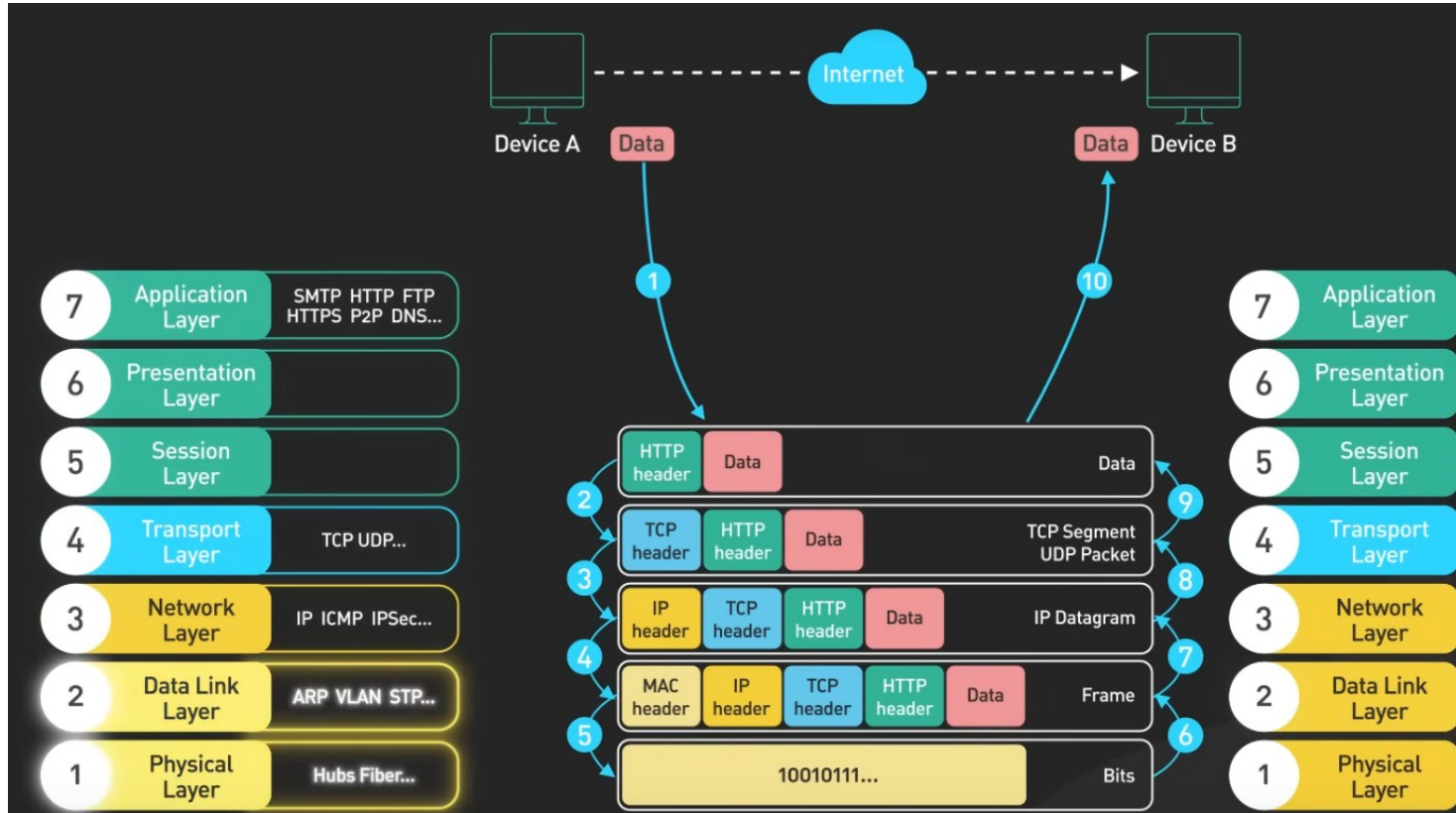
Packet switching (2)

PDU (Protocol Data Unit)



- Το 'πακέτο' μπορεί να σημαίνει διάφορα:
 - Packet
 - Datagram
 - Frame
- Η γενική έννοια του πακέτου (PDU) είναι ένας μηχανισμός που μπορεί να ενθυλακώνει τη δομή δεδομένων κάθε στρώματος (encapsulation) πριν την εκπομπή του από το φυσικό μέσο εκπομπής.
- Μετά τη λήψη του PDU από το φυσικό μέσο εκπομπής, ο δέκτης θα αποδομήσει (απο-ενδυλάκωση – de-encapsulation) αντίστροφα για να φτάσει στην αρχική πληροφορία

Packet switching (3)

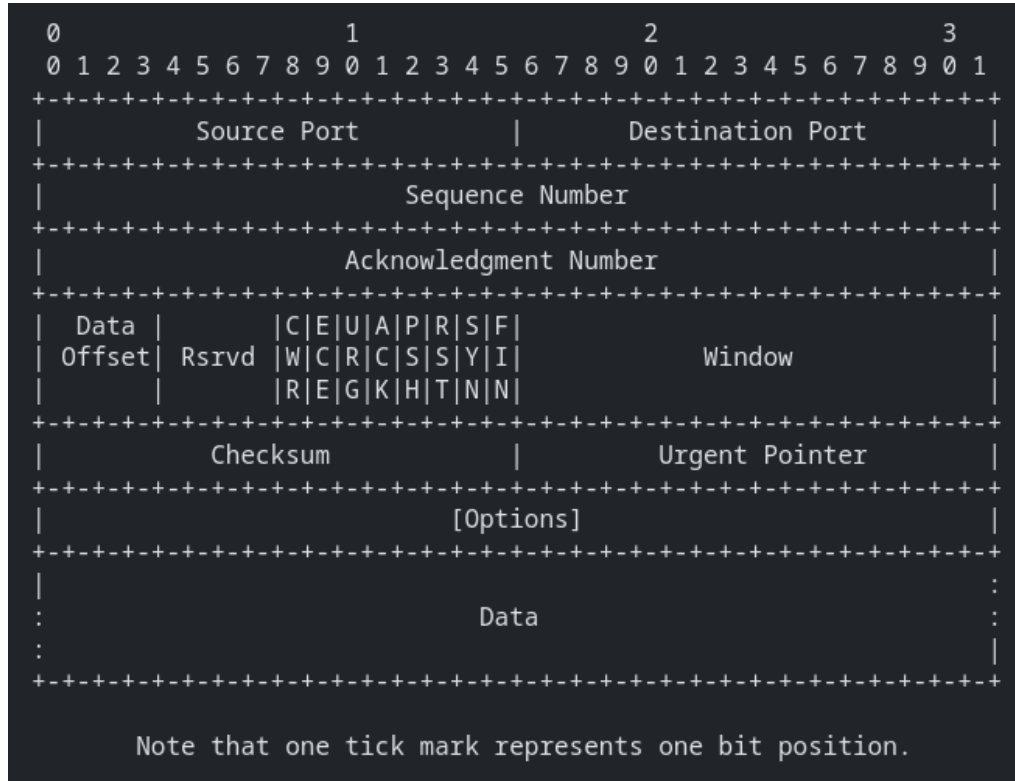


- Στοιβά TCP/IP
- Όταν ένας κόμβος A στέλνει, αρχίζουμε από την εφαρμογή και κάθε στρώμα προς τα κάτω προσθέτει πληροφορίες για να γίνει η δρομολόγηση του πακέτου.
- Όταν λάβει το συναρμολογημένο PDU ο κόμβος B, σταδιακά θα το αποδομεί αντίστροφα (προς τα πάνω) για να μπορέσει να αποδώσει τα δεδομένα στη σωστή εφαρμογή.

Διαδικτυακό πρωτόκολλο

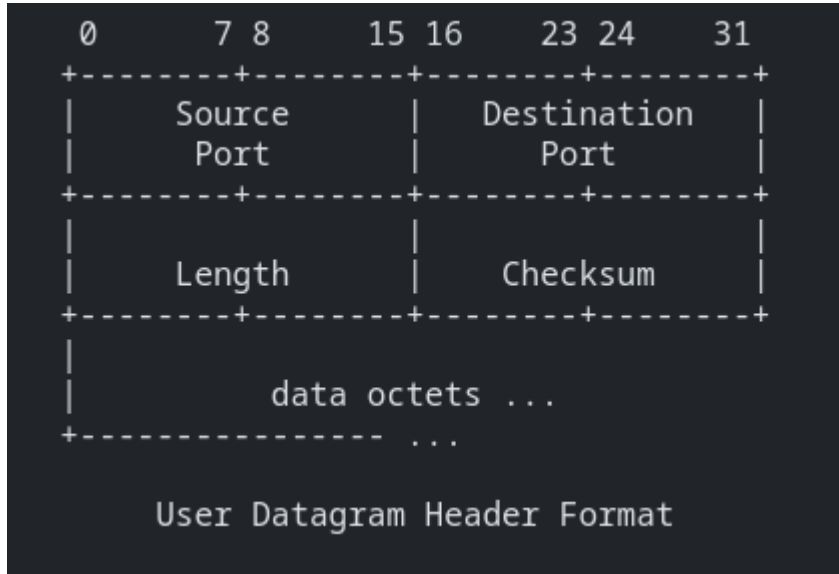
- Πρωτόκολλο: Ένας καλώς ορισμένος μηχανισμός που έχει
 - Δομή δεδομένων
 - Αλγόριθμο που περιγράφει
 - Πως τα δεδομένα ενθυλακώνονται στο πακέτο (PDU)
 - Πως τα δεδομένα θα απο-ενθυλακωθούν απο το πακέτο (PDU) και θα επεξεργαστούν
- Υπάρχει **πληθώρα πρωτοκόλλων** για τις διαδικτυακές λειτουργίες.
- Η διαδικασία καθορισμού και τεκμηρίωσης των διαδικτυακών πρωτοκόλλων βρίσκεται στα λεγόμενα κείμενα **RFC (Request For Comments)** του Internet Engineering Task Force (IETF), που αποτελούν πολύτιμο εργαλείο αναφοράς για τη λειτουργία τους.

Transport TCP header



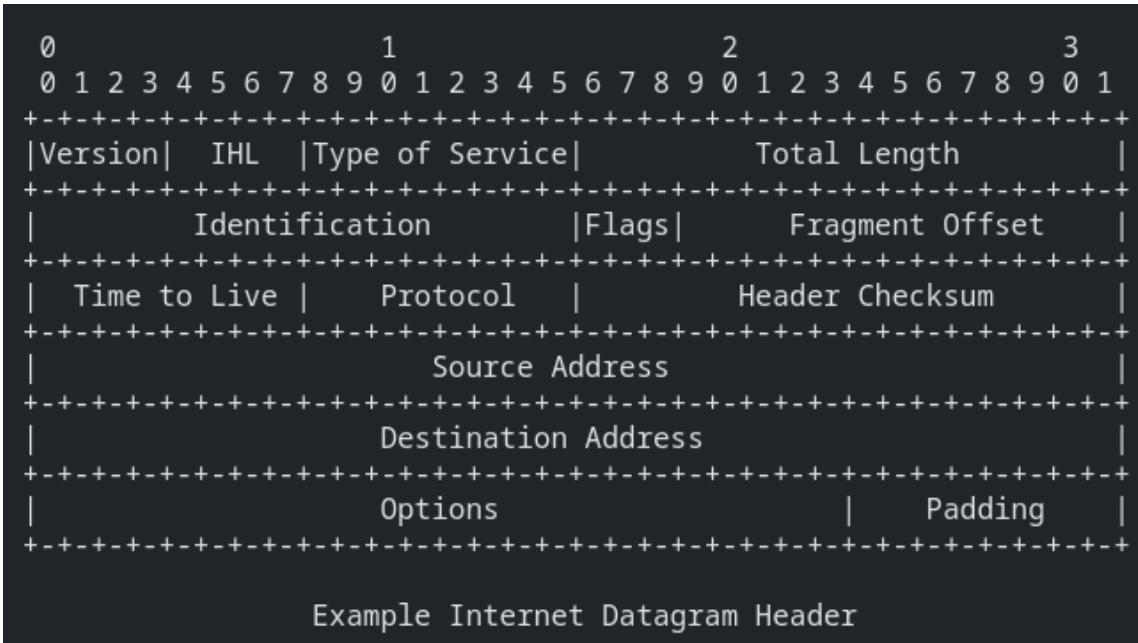
- [RFC 9293](#)
- Source/Destination port: 16 bit, καθορίζουν ποια εφαρμογή στέλνει και ποια πρέπει να πάρει τα δεδομένα.
- Sequence number: Ο αριθμός ακολουθίας επιτρέπει στο δέκτη να διατηρήσει τη σειρά με την οποία εστάλησαν τα πακέτα (δε τα λαμβάνει πάντοτε με την σειρά που εστάλησαν)
- Acknowledgement number: Επιτρέπει στον δέκτη και τον πομπό/αποστολέα να καθορίζουν/γνωρίζουν τι έχει παραληφθεί και τι όχι.
- Checksum: Στάλθηκαν τα δεδομένα σωστά;
- Data: Τα δεδομένα που ενθυλακώνονται απο το Application layer.
- TCP → αξιόπιστο αλλά έχει μεγάλη επιβάρυνση σε υπολογιστικούς πόρους και χρονική καθυστέρηση.

Transport UDP header



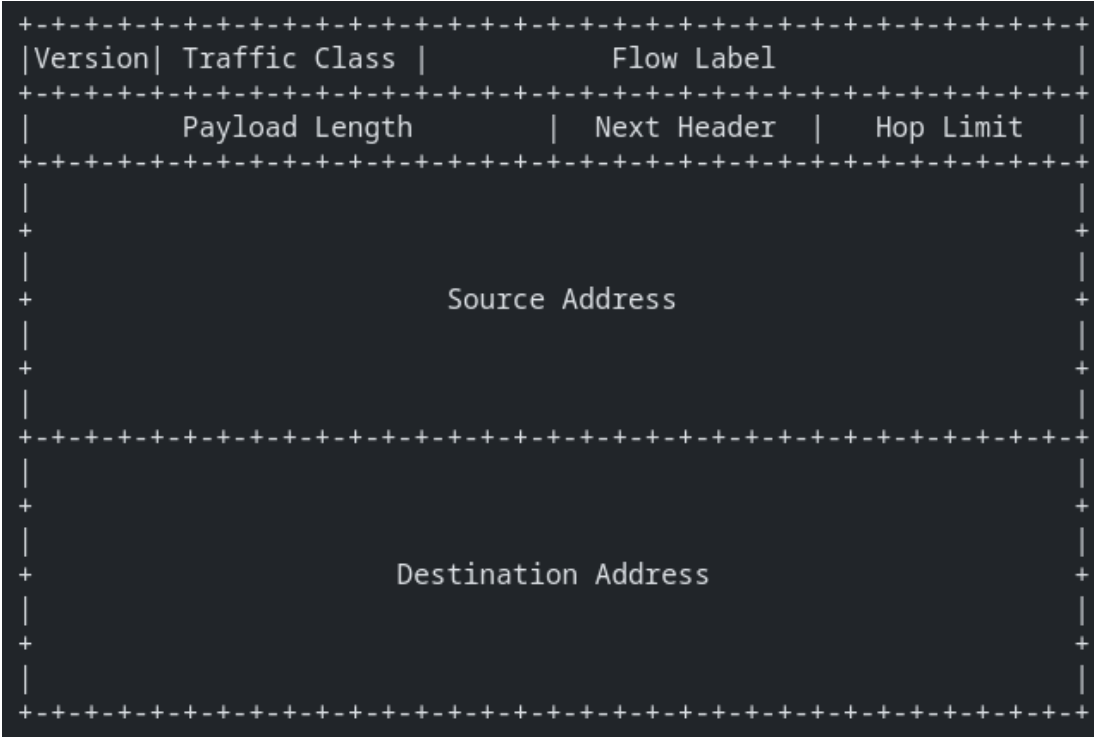
- [RFC 793](#)
- Source/Destination port: 16 bit, καθορίζουν ποια εφαρμογή στέλνει και ποια πρέπει να πάρει τα δεδομένα.
- Checksum: Στάλθηκαν τα δεδομένα σωστά;
- Data octets: Τα δεδομένα που ενθυλακώνονται απο το Application layer.
- UDP → Δεν έχει τους μηχανισμούς αξιοπιστίας του TCP αλλά έχει συγκριτικά ελάχιστη επιβάρυνση σε υπολογιστικούς πόρους και πολύ μικρότερη χρονική καθυστέρηση.

IPv4 header



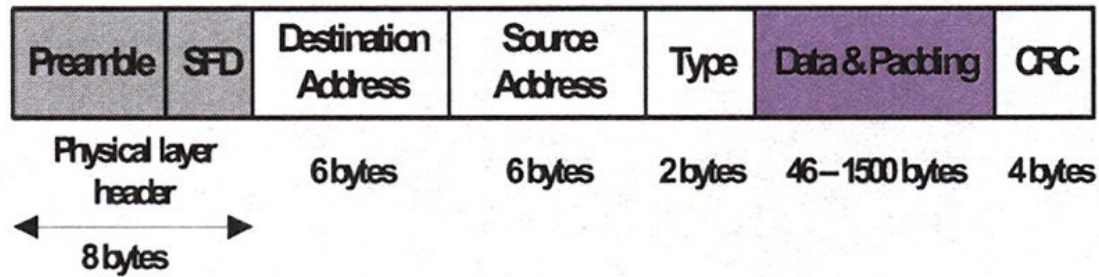
- [RFC 791](#)
- Version: IPv4
- IHL: Το μέγεθος του Header σε 32 bit words.
- Type of Service: Διαφορές επιλογές για αξιοπιστία και ταχύτητα δρομολόγησης δεδομένων
- Time To Live (TTL): Η διάρκεια ζωής του πακέτου σε δευτερόλεπτα ή αριθμό μεταβάσεων απο ρούτερ.
- Source και Destination address: 32 bitες IP διευθύνσεις που επιτρέπουν στο πρωτόκολλο να μας δώσει $2^{32} = 4,294,967,296$ μοναδικές διευθύνσεις
- Padding: Τα δεδομένα που ενθυλακώνονται απο το Transport layer, μαζί με επιπρόσθετα μηδενικά, για να είναι πάντα το μέγεθος των δεδομένων πολλαπλάσιο των 32 bit.

IPv6 header



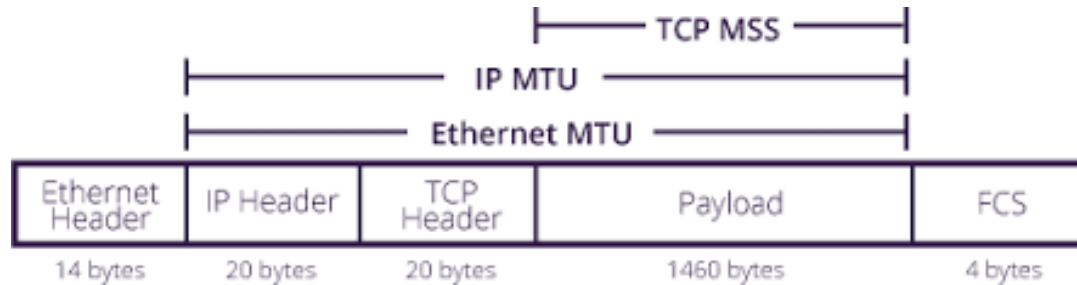
- **RFC 8200**
- Version: IPv6
- Traffic Class: 8-bit που καθορίζουν μηχανισμούς κανονισμούς συμφόρησης της κυκλοφορίας πακέτων με βάση διάφορα κριτήρια
- Flow Label: 20-bit πεδίο που κατατάσσει ροές δεδομένων
- Payload length: Το μέγεθος των ενθυλακωμένων δεδομένων σε bytes/octets.
- Hop limit: Η διάρκεια ζωής του πακέτου σε αριθμό μεταβάσεων από τους router.
- Source και Destination address: 128 bits IP διευθύνσεις που επιτρέπουν στο πρωτόκολλο να μας δώσει $2^{128} = 3.4 \times 10^{38}$ μοναδικές διευθύνσεις (340 τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων τρισεκατομμύρια)

Ethernet frame format



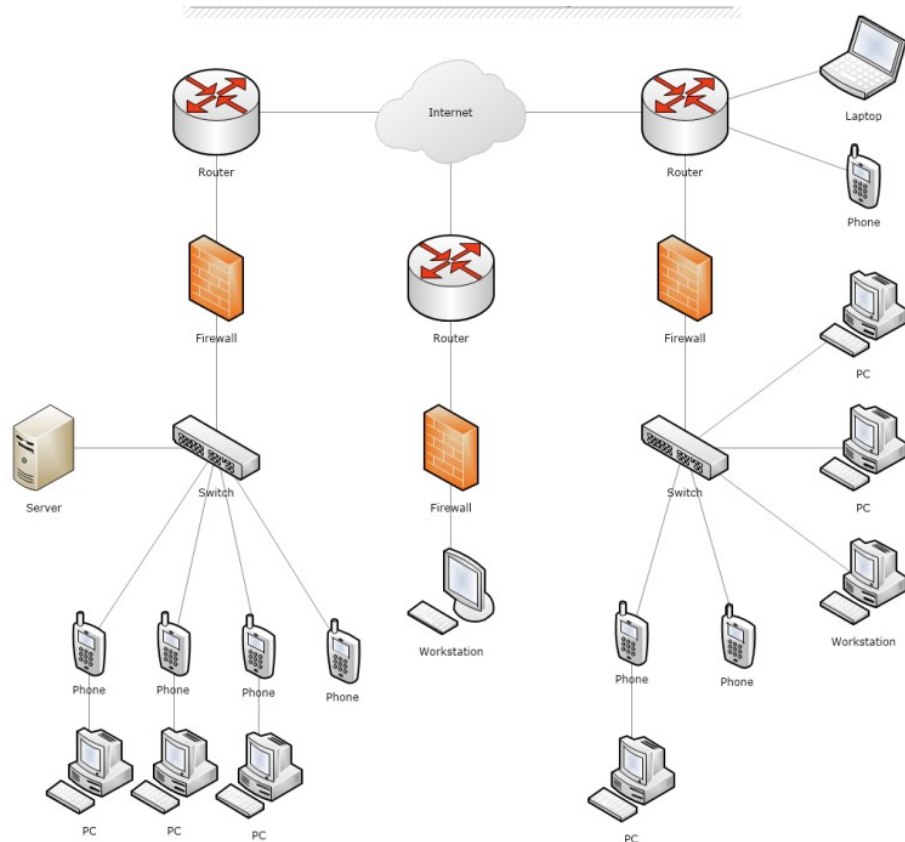
- Preamble: 56-bit ακολουθία 1 και 0 για συγχρονισμό μεταξύ του πομπού και δέκτη
- Start Frame Delimiter (SFD): Σπάει την ακολουθία του 1 και 0 και σηματοδοτεί την πραγματική αρχή του Ethernet frame
- Destination and address: 48 bitες MAC διευθύνσεις. Μην τις μπερδέψετε με τις διευθύνσεις IP. Αυτές οι διευθύνσεις επιτρέπουν τη δρομολόγηση του Ethernet Frame σε επίπεδο τοπικού δικτύου/broadcast domain. Μοναδικές για κάθε κάρτα δικτύου. Το Ethernet έχει τη δική του διευθυνσιοδότηση.

Maximum Transmission Unit (MTU)



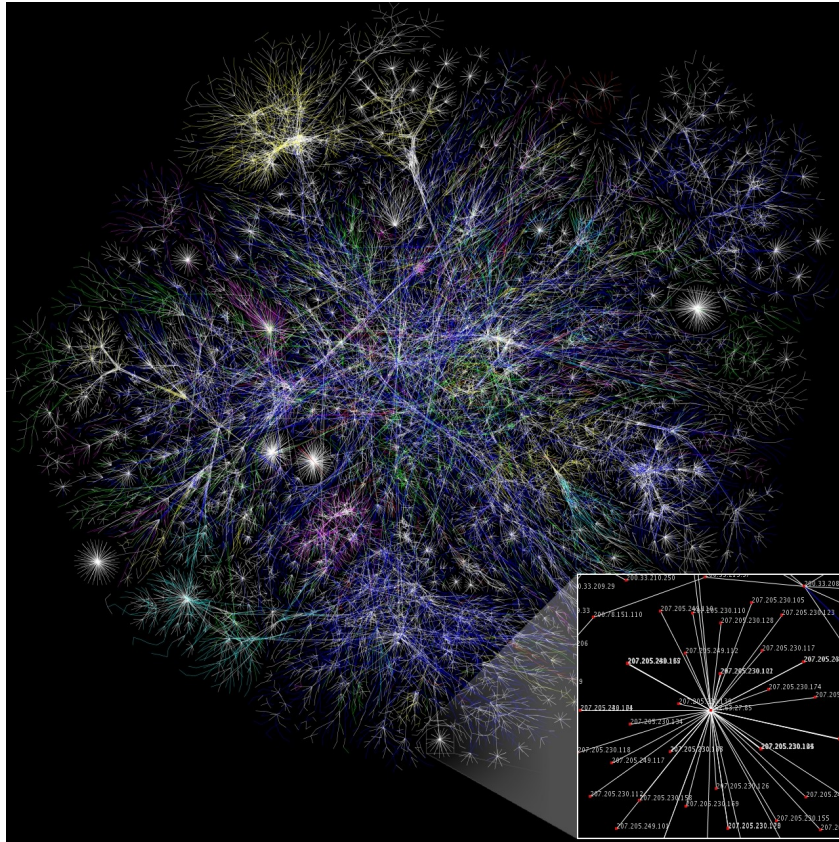
- Το μέγιστο μέγεθος σε bytes του ενθυλακωμένου φορτίου που μπορούμε να αποθηκεύσουμε σε ένα πακέτο
- Για το Ethernet frame που ενθυλακώνει έναν τυπικό IP και TCP header είναι ερήμην 1500 bytes (jumbo frames → 9000 bytes) για ένα πραγματικό φορτίο των 1460 bytes (επιβάρυνση 40 bytes).
- Εάν το payload είναι ≤ 1460 bytes, όλα καλά.
- Εάν το payload > 1460 bytes θα πρέπει να σπαστεί σε παραπάνω από 1 πακέτα, τα οποία θα έχουν αριθμό κομματιού (Fragment Offset, βλέπε slide 14). Αυτό λέγεται IP Fragmentation.
- Η έννοια του να καθορίζει κάποιος το Maximum Segment Size (MSS), δηλαδή πόσο μεγάλο είναι το payload που δίνει το Transport Layer στο IP πακέτο έχει άμεση σχέση με τη διαδικτυακή απόδοση μιας εφαρμογής.

Διαγράμματα δικτύων



- **Switch**: Δρομολογεί κυρίως με βάση το MAC address στο Ethernet frame. (Link Layer). Σήμερα τα switches μπορούν να δρομολογήσουν και με βάση το Network Layer (IP address με Layer 3 switches)
- **Router**: Δρομολογεί με βάση το Network Layer (IP address)
- **Firewall**: Ελέγχει τη ροή των πακέτων με βάση το IP, την πόρτα TCP/UDP και άλλες παραμέτρους για λόγους ασφαλείας.
- **Unicast traffic**: Ένα PC στέλνει κάτι στο server και ο server απαντά στο ίδιο PC.
- **Broadcast traffic**: Ένα PC στέλνει κάτι σε όλες τους κόμβους του switch. Παράδειγμα: ARP μηνύματα
- **Multicast traffic**: Ένας server στέλνει κάτι σε συγκεκριμένο αριθμό PC, αλλά όχι σε όλα. Παράδειγμα: IPTV, IP Cameras

Τοπολογία και Παγκόσμιο Διαδίκτυο



Η πολυπλοκότητα της τοπολογίας του Παγκόσμιου Διαδικτύου αναδεικνύει την αναγκαιότητα της ύπαρξης των αλγορίθμων δρομολόγησης (routing algorithms) για την εύρυθμη λειτουργία του.

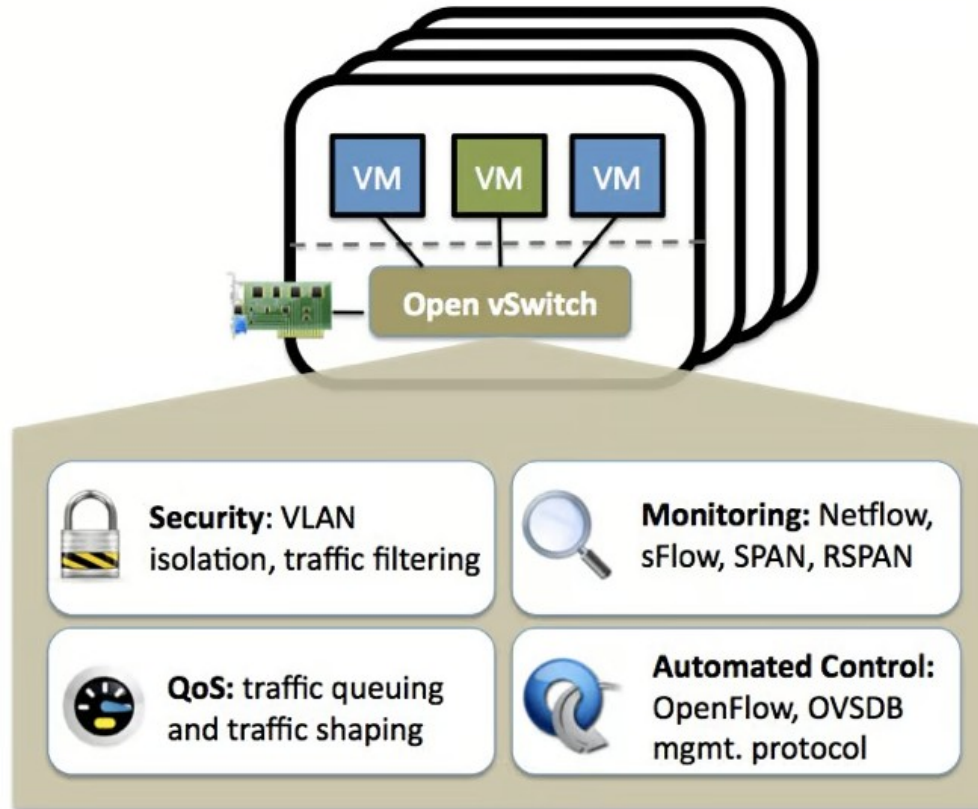
Δε θα τους εξετάσουμε στο RH124, να ξέρετε όμως ότι υπάρχουν:

[Interior Gateway Protocol](#)

[Border Gateway Protocol](#)

Η τεχνολογία διαμεταγωγής πακέτων (packet switching), τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms) μαζί με το Domain Name System (DNS) αποτελούν τα δομικά στοιχεία του Παγκόσμιου Διαδικτύου (Internet).

Software Defined Networking



IPv4 addressing

IP Address:

192.168.5.3 = 11000000.10101000.00000101.00000011

Μετατροπή απο Δεκαδικό σε Δυαδικό

$$192 = 2^7 + 2^6$$

$$168 = 2^7 + 2^5$$

$$5 = 2^2 + 2^0$$

$$3 = 2^1 + 2^0$$

Netmask:

255.255.255.0 = 11111111.11111111.11111111.00000000

11000000.10101000.00000101.00000011

Prefix: /24

Network **Host**



```
georgios@rhell0testa:~$ ipcalc 192.168.5.3/24
Address:      192.168.5.3
Network:      192.168.5.0/24
Netmask:      255.255.255.0 = 24
Broadcast:    192.168.5.255

Address space: Private Use
HostMin:      192.168.5.1
HostMax:      192.168.5.254
Hosts/Net:    254
georgios@rhell0testa:~$
```

Η subnet mask (masking operation) καθορίζει που σταματάει η ταυτότητα του δικτύου και που αρχίζει η ταυτότητα του κόμβου: Ο κόμβος αριθμού 3 του δικτύου 192.168.5.0. Καθορίζει επίσης και τα πόσους κόμβους μπορεί να έχει ένα δίκτυο. (CIDR)

Στην πράξη χρησιμοποιούμε subnet calculators, όπως το ipcalc.

IPv4 addressing (2)

Name	CIDR block	Address range	Number of addresses	Classful description
24-bit block	10.0.0.0/8	10.0.0.0 – 10.255.255.255	16 777 216	Single Class A
20-bit block	172.16.0.0/12	172.16.0.0 – 172.31.255.255	1 048 576	Contiguous range of 16 Class B blocks
16-bit block	192.168.0.0/16	192.168.0.0 – 192.168.255.255	65 536	Contiguous range of 256 Class C blocks

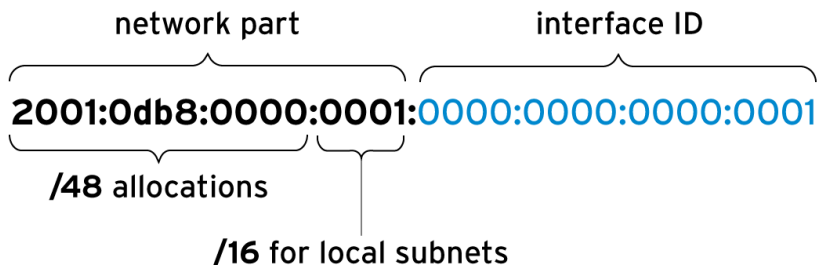
Στο IPv4, 18 εκατομμύρια διευθύνσεις IP έχουν κρατηθεί για χρήση σε τοπικά/ιδιωτικά δίκτυα.

Αυτές οι διευθύνσεις ΔΕΝ μπορούν να δρομολογηθούν στο παγκόσμιο διαδίκτυο.

IPv6 addressing

IPv6 address is **2001:db8:0:1::1/64**

Allocation from provider is **2001:db8::/48**



```
georgios@rhel10testa:~$ ipcalc 2001:db8:0:10::1/64
Full Address: 2001:0db8:0000:0010:0000:0000:0000:0001
Address:      2001:db8:0:10::1
Full Network: 2001:0db8:0000:0010:0000:0000:0000:0000/64
Network:      2001:db8:0:10::/64
Netmask:      ffff:ffff:ffff:ffff:: = 64

Address space: Documentation
HostMin:      2001:db8:0:10::
HostMax:      2001:db8:0:10:ffff:ffff:ffff:ffff
Hosts/Net:    2^(64) = 18446744073709551616
georgios@rhel10testa:~$
```

Παρατηρείστε πως παραλείπονται τα συνεχή μηδενικά για να γίνεται πιο ευανάγνωστη η διεύθυνση IP.

Η δομή του IPv6 header χρησιμοποιεί μόνιμα ένα στάνταρ prefix (/64) για τη subnet mask. Επειδή αυτό είναι πάρα πολύ μεγάλο για τον αριθμό δικτύων, οι πάροχοι διευθύνσεων χρησιμοποιούν στην πράξη 48 από αυτά τα 64 bits για το δίκτυο που δρομολογείται παγκόσμια. Τα υπόλοιπα 16 από τα 64 bit χρησιμοποιούνται για δρομολόγηση σε τοπικά υποδίκτυα (65536 υποδίκτυα). Η διευθυνσιοδότηση γίνεται συνεπώς διαφορετικά από το CIDR του IPv4.

Ερωτήσεις

