ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ - NETWORK MANAGEMENT

Μέθοδοι Δρομολόγησης στα Επίπεδα Πρωτοκόλλων του Internet
Routing Methods in Internet Protocol Layers

Επίπεδο 3 (IP) - Layer 3:
Host Routing, Interior Gateway Protocols (OSPF, IS-IS), Border Gateway Protocols (BGP)

Επίπεδο 2 (Medium Access Control, MAC) - Layer 2:
Ethernet Switches, Virtual Local Area Networks (VLANs), Spanning Tree Protocol (STP), Provider Backbone Bridges (PBB)

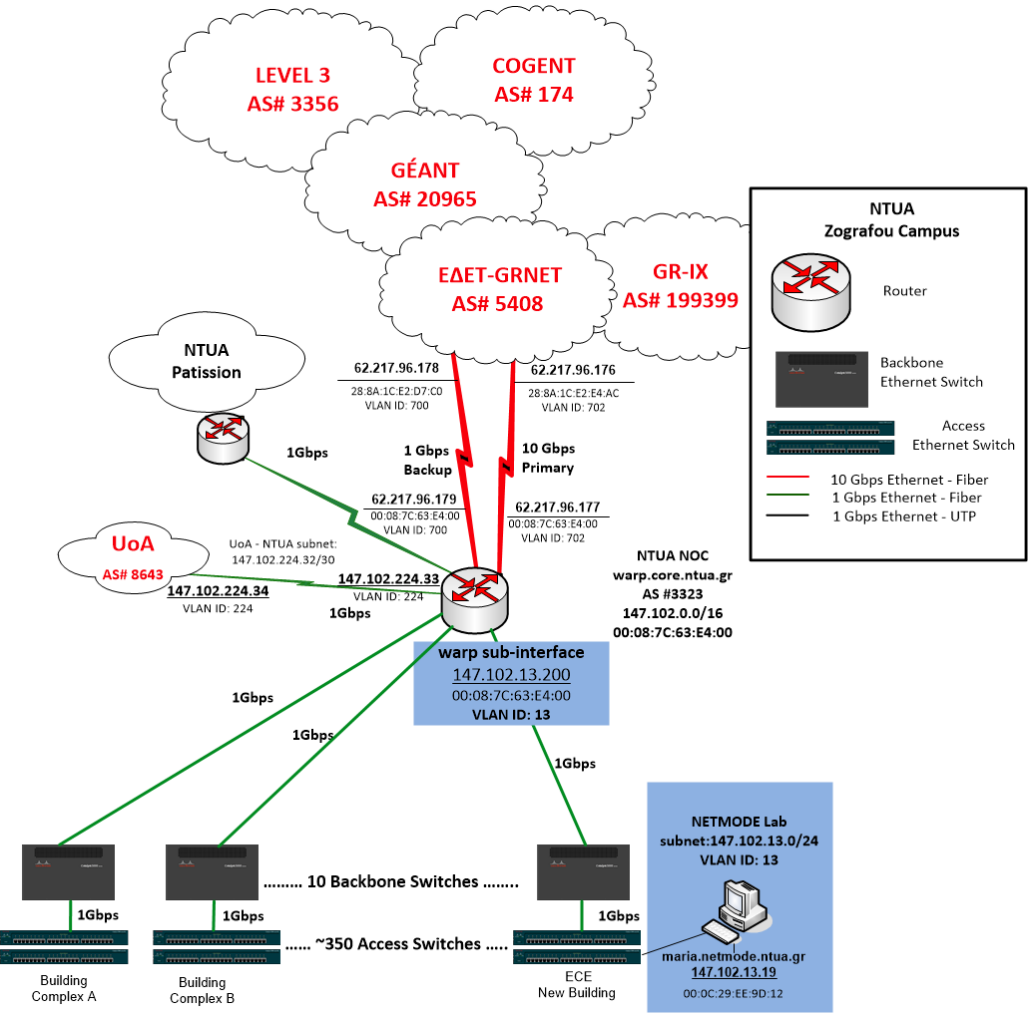
Επίπεδο 2.5 (MPLS) - Layer 2.5:
Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

Β. Μάγκλαρης
maglaris@netmode.ntua.gr
www.netmode.ntua.gr

9/11/2020

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ Ε.Μ.Π. *(επανάληψη)*

ntua.gr (147.102.0.0/16, ASN 3323)



ΠΡΟΣΟΧΗ

Οι πίνακες δρομολόγησης στο Internet για λόγους ομοιομορφίας είναι της μορφής:

- ***Prefix Δικτύου Τελικού Προορισμού :: IP Interface Εισόδου Επόμενου Κόμβου***

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Ο δρομολογητή του Ε.Μ.Π. ***147.102.224.33*** βρίσκει τον δρομολογητή του ΕΚΠΑ ***147.102.224.34*** σαν μέλος του υποδικτύου:

- **147.102.224.32/30** (*παροχή διευθύνσεων από Ε.Μ.Π.*)

Η γραμμή Ε.Μ.Π. – ΕΚΠΑ (όπως όλες οι γραμμές σε Δίκτυα Internet) ορίζεται σαν υποδίκτυο (prefix) με 4 τουλάχιστον διευθύνσεις IP:

- Υποδίκτυο: **147.102.224.32**
- Άκρο Ε.Μ.Π.: **147.102.224.33**
- Άκρο ΕΚΠΑ: **147.102.224.34**
- Broadcast: **147.102.224.35**

ΑΝΤΙ-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Ο δρομολογητή του Ε.Μ.Π. ***62.217.96.177*** βρίσκει τον δρομολογητή του ΕΔΕΤ ***62.217.96.176*** σαν μέλος του υποδικτύου:

- **62.217.96.176/31** (*παροχή διευθύνσεων από ΕΔΕΤ*)

ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΩΝ (Links between Routers) *(επανάληψη)*

- Για ομοιομορφία της δρομολόγησης, κάθε γραμμή ορίζεται (συνήθως) σαν δίκτυο με 4 τουλάχιστον διευθύνσεις (/30)

- Παράδειγμα: Μεταξύ ΕΜΠ **147.102.0.0/16** & Παν. Αθηνών **195.134.64.0/18** ορίζεται το «δίκτυο» **147.102.224.32/30**

  - Υποδίκτυο: **147.102.224.32/30**
  - Άκρο ΕΜΠ: **147.102.224.33/30**
  - Άκρο Παν. Αθηνών: **147.102.224.34/30**
  - Broadcast: **147.102.224.35/30**

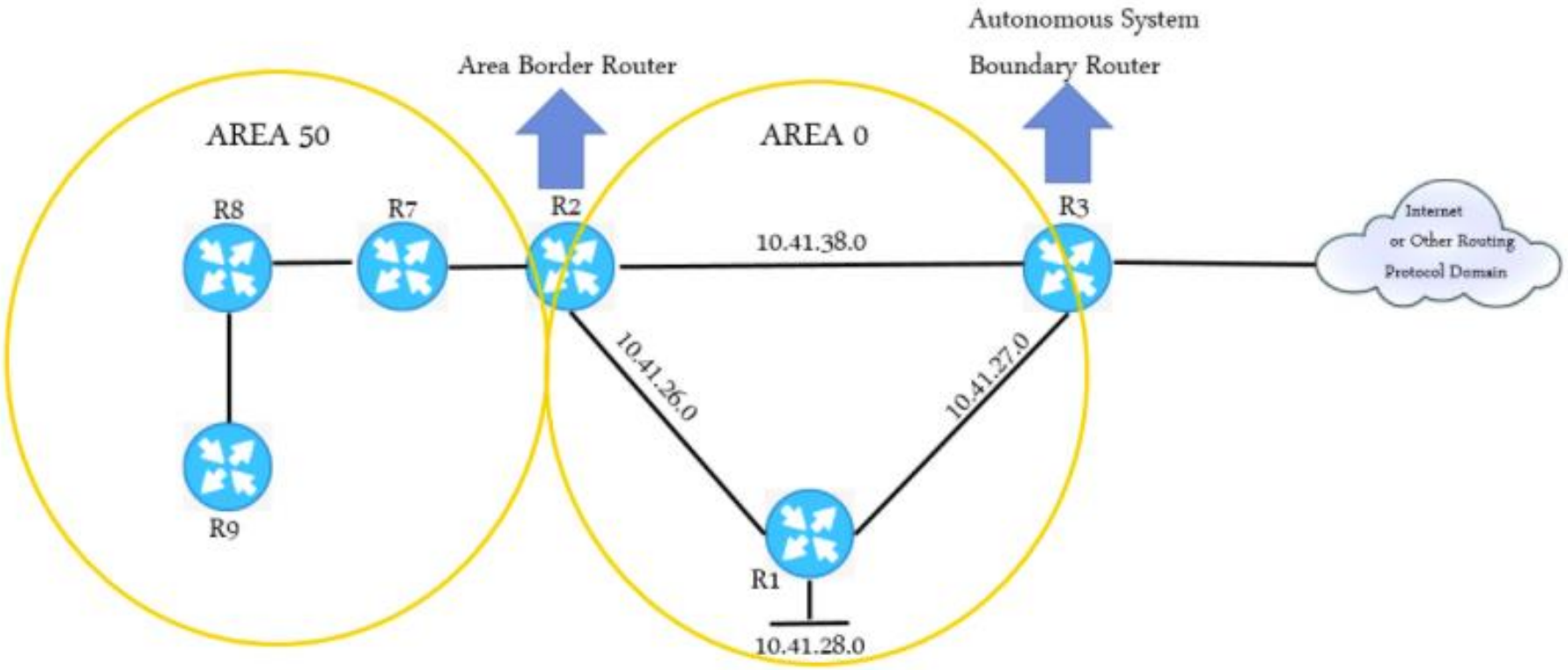
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΡΟΜΩΝ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 3 ΤΟΥ INTERNET *(επανάληψη)*

LS (Link State) - Αλγόριθμος Dijkstra

- Παράδειγμα εφαρμογής: **IGP - OSPF** (Open Shortest Path First)
  - **Link State Data Base** + αλγόριθμος **Dijkstra** στον κορμό Αυτόνομου Δικτύου (Core of an Autonomous System, OSPF Area 0):
  - Τρέχει σε όλους τους δρομολογητές κορμού που πρέπει να έχουν πλήρη & ενιαία εικόνα της κατάστασης - τοπολογίας του δικτύου για **συμβατότητα υπολογισμού πινάκων δρομολόγησης**
  - **Κόστος γραμμών** ανάλογο με την ταχύτητα ή οριζόμενα από τον Διαχειριστή
  - Ανακοινώσεις κατάστασης δρομολογητών κορμού (OSPF Area 0) και συνδέσεων: μέσω **LSA** (Link State Advertisements) **v2** για IPv4 ή **v3** για IPv6 (***IP signals*** χωρίς TCP/UDP transport layer)
  - **Ανανέωση LSA**: Ανά 30 min ή με αλλαγή κατάστασης ή αν εξαντληθούν 60 min
  - Στα περιφερειακά υποδίκτυα, **OSPF Stub Areas**: Στατική επιλογή **Default Gateway**

OSPF AREAS

https://networkel.com/ospf-protocol-ospf-basics-overview/



ABR: Area Border Router
ASBR: Autonomous System Boundary Router
LSA: Link State Advertisement
AREA 0: Backbone Area
AREA 50: Stub Area 50

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΡΟΜΩΝ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ 3 ΤΟΥ INTERNET

DV (Distance Vector) - Αλγόριθμος Bellman - Ford

- Παράδειγμα εφαρμογής: **EGP - BGP** (Border Gateway Protocol)
  - **e-BGP**: External BGP → Πίνακες σε Border Gateways με εκτιμήσεις ενδιαμέσων public AS's (έως 69.000) προς 880.000 prefixes (public δίκτυα - προορισμοί)
  - **i-BGP**: Internal BGP (μεταξύ δρομολογητών κορμού ενός AS)
  - Για προορισμούς ενθυλακωμένους σε πολλαπλά prefixes: Προτίμηση βάσει **longest prefix match**
  - Υπολογισμός **reachability & AS paths** ανά prefix σε Border Gateways: Με βάση **advertisements** (***TCP signals***) από γειτονικά AS's και αλγόριθμο δρομολόγησης **Bellman-Ford**
  - Επιλογή μεταξύ εναλλακτικών δρόμων για προώθηση πακέτων στον forwarding table των Border Gateways με βάση διαχειριστικές πολιτικές (**weight, preferences**…)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

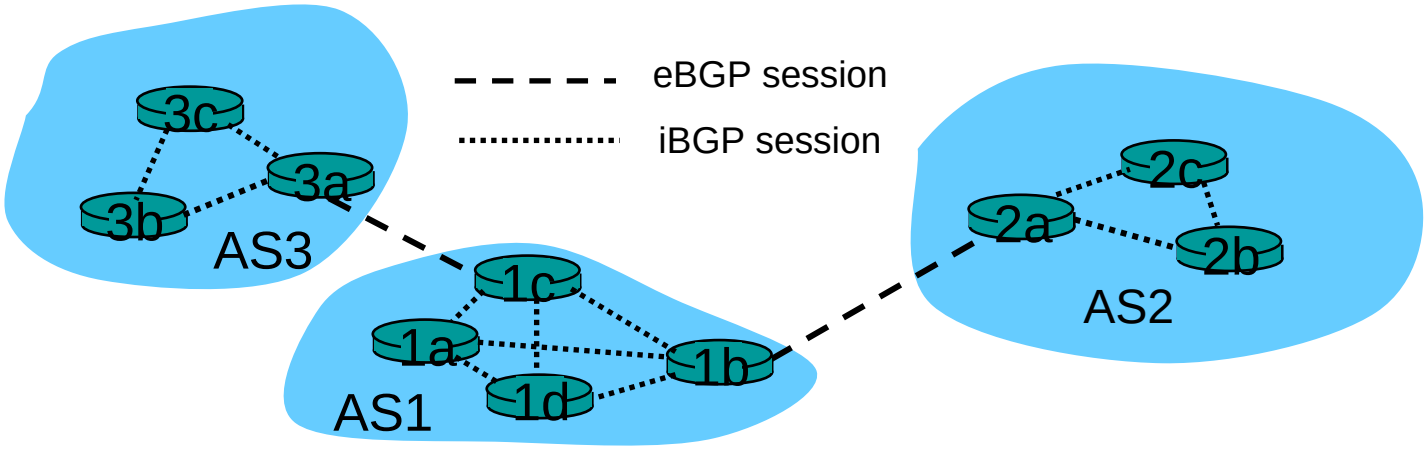
Inter-AS Routing, Σηματοδοσία BGP

- Οι πίνακες δρομολόγησης **RIB** (Routing Information Base) προς τα 880,000 δημόσια **prefixes** (δίκτυα) στο Internet, τηρούνται στην ηλεκτρονική μνήμη των συνοριακών δρομολογητών (**border routers**) των 69,000 Αυτόνομων Συστημάτων (**AS**)
- Ένας border router μπορεί να μην καταγράφει πληροφορία για προορισμούς τους οποίους *«βλέπει»* **αποκλειστικά** μέσω άλλου AS υψηλότερης ιεραρχίας (π.χ. Ε.Μ.Π. – GRNET) ή να συναθροίζει (**aggregate**) διαδοχικά prefixes (δίκτυα προορισμούς)
- Η πληροφορία για τα δίκτυα (prefixes) που *«βλέπει»* ένας border router από τις επιλογές εξόδου του, τηρείται σε πίνακα **NLRI** (Network Layer Reachability Information) που ανανεώνεται μέσω της σηματοδοσίας BGP
- Η σηματοδοσία (***signaling επιπέδου ελέγχου***) του **BGP** υλοποιείται από Control Messages που διακινούνται με πρωτόκολλο TCP για αξιόπιστο έλεγχο κυκλοφορίας (flow control). Οι εντολές ελέγχου του BGP είναι:
  - **OPEN:** ανοίγει TCP σύνδεση στο γείτονα (peer) και προαιρετικά ταυτοποιεί το απέναντι άκρο
  - **UPDATE:** ανακοινώνει νέα path ή αποσύρει (withdraws) παλαιότερα
  - **KEEPALIVE:** κρατάει την σύνδεση ανοιχτή σε περίπτωση που δεν υπάρχουν UPDATES ή ACK σε αίτηση OPEN
  - **NOTIFICATION:** ανακοίνωση σφαλμάτων σε προηγούμενα μηνύματα ή για να κλείσει η σύνδεση

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ BGP

- Τα ζεύγη από συνοριακούς δρομολογητές (BGP peers) ανταλλάσουν πληροφορίες δρομολόγησης (routing info) πάνω από ημι-σταθερές συνδέσεις TCP: ***BGP sessions***
  - Οι BGP sessions δεν χρειάζεται να αντιστοιχίζονται σε φυσικές συνδέσεις links

- Όταν το AS2 ανακοινώνει ένα πρόθεμα (prefix υποδικτύου προορισμού) προς AS1:
  - Το AS2 ***υπόσχεται*** ότι θα προωθεί πακέτα με διεύθυνση προορισμού που να ανήκει στο δεδομένο prefix
  - Το AS2 μπορεί να συναθροίσει (aggregate) prefixes υποδικτύων στις ανακοινώσεις του

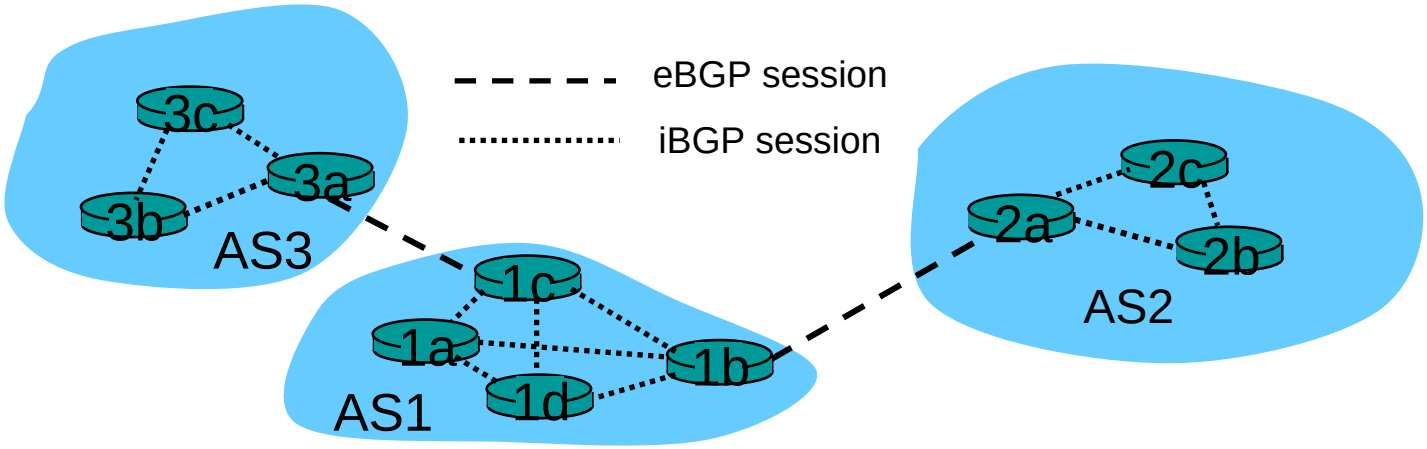


ΔΙΑΝΟΜΗ BGP REACHABILITY INFO

- Με χρήση σύνδεσης TCP, το πρωτόκολλο **eBGP (*external BGP*)** μεταξύ των border gateways 3a και 1c στέλνει ***prefix reachability info*** της AS3 στην AS1
  - 1c μπορεί να χρησιμοποιήσει **iBGP (*internal BGP*)** για διανομή νέων *prefix reachability info* σε όλους τους δρομολογητές κορμού της AS1
  - 1b μπορεί να ξανα-ανακοινώσει νέο *prefix reachability info* στο AS2 πάνω από σύνδεση eBGP μεταξύ 1b-to-2a

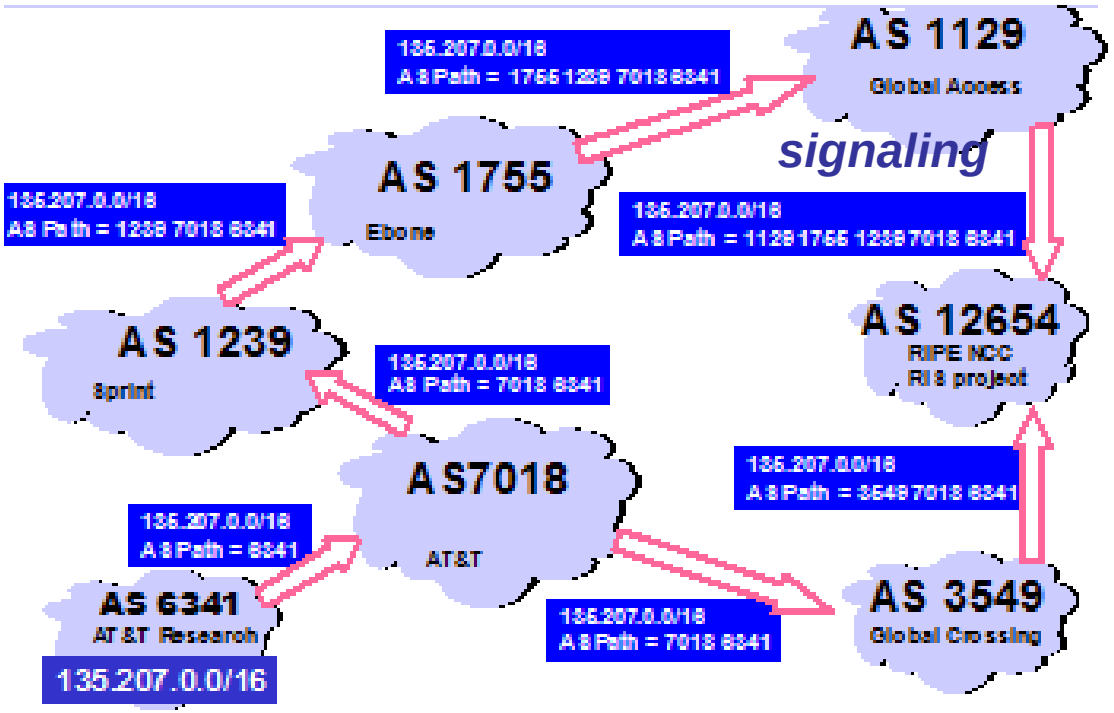
- Ένας δρομολογητής όταν μαθαίνει νέο *network prefix*, δημιουργεί routing entry στο πίνακα προώθησης (*forwarding table*)

- Οι δρομολογητές που μετέχουν στο iBGP μέσα σε μια AS πρέπει να είναι απ' ευθείας διασυνδεμένοι (***fully connected iBGP routers***)



ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ 135.207.0.0/16 ΜΕΣΩ BGP

(από παρουσίαση του Timothy G. Griffin, AT&T Research, Paris 2002)



BGP 4: RFC 4271
Signaling over
TCP Port 179

iBGP: Internal BGP (pass inter-AS peering to intra-AS fully connected routers)

eBGP: External BGP (between AS's over direct router inter-AS links)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2 - MAC/LINK LAYER

ETHRNET & ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ VLAN (IEEE 802.1Q)

IP ROUTER
warp.core.ntua.gr

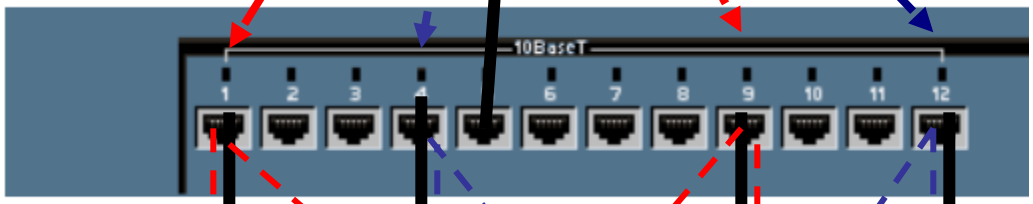
00:08:7c:63:e4:00
DG: 147.102.13.200
DG:147.102.3.200

VLAN "Red" (VID 00d)
Switch Ports 1 & 9
Subnet 147.102.13.0/24
Default Gateway 147.102.13.200

VLAN "Blue" (VID 003)
Switch Ports 4 & 12
IP Subnet 147.102.3.0/24
Default Gateway 147.102.3.200

ETHERNET SWITCH

Trunk Switch Port 5



ΦΥΣΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ:

ΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ:

DNS
ARP

matrix.netmode.ntua.gr
147.102.13.60
00:13:a9:34:dd:aa

DG: 147.102.13.200
00:08:7c:63:e4:00

147.102.3.1
00:13:72:f6:5f:83

DG: 147.102.3.200
00:08:7c:63:e4:00

147.102.13.38
00:50:da:51:95:10

DG: 147.102.13.200
00:08:7c:63:e4:00

147.102.3.90
00:16:17:72:72:76

DG: 10.2.0.200
00:08:7c:63:e4:00

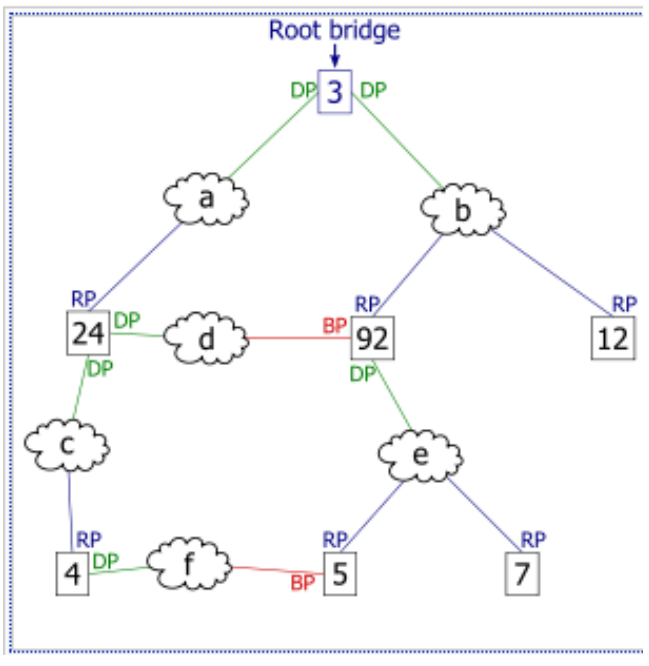
802.1Q Framing Add-On's
TPID: Tag Protocol ID
PCP: Priority Code Point
CFI: Canonical Format Identifier
VID: VLAN ID (< 4096)

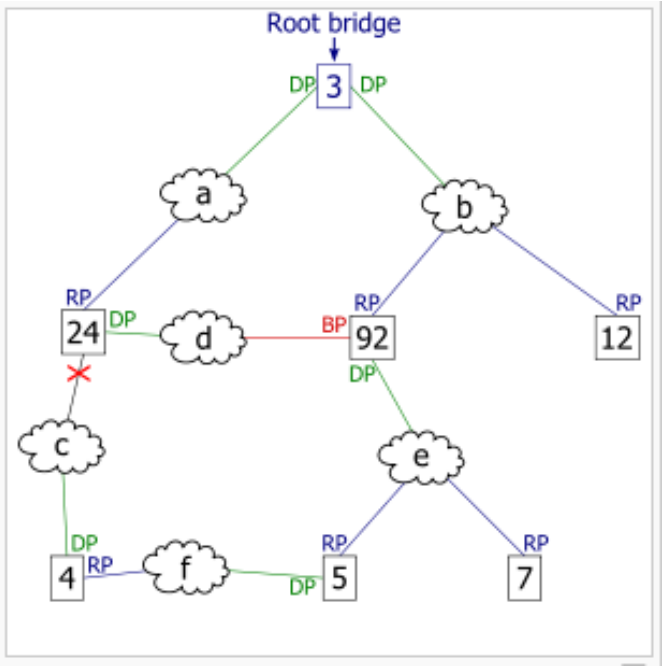
MAC Address ETHERNET II	TPID	PCP	CFI	VID	IP, TCP/UDP, Data
	16 bits	3 bits	1 bit	12 bits	

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΝΔΡΙΚΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΕΩΝ ETHERNET (1/2)

Spanning Tree Protocol - STP, IEEE 802.1D

- Εξέλιξη των Αλγορίθμων Διάρθρωσης Διαφανών Γεφυρών **Spanning Tree Protocol (STP) for Transparent Ethernet Bridges → STP Ethernet Switches**
- ***Radia Perlman***, DEC & MIT 1985 http://www1.cs.columbia.edu/~ji/F02/ir02/p44-perlman.pdf
- Αναδιαμόρφωση Spanning Tree http://en.wikipedia.org/wiki/Spanning_tree_protocol
- **Χρόνος Αντίδρασης σε Βλάβη: ~ 60 sec**





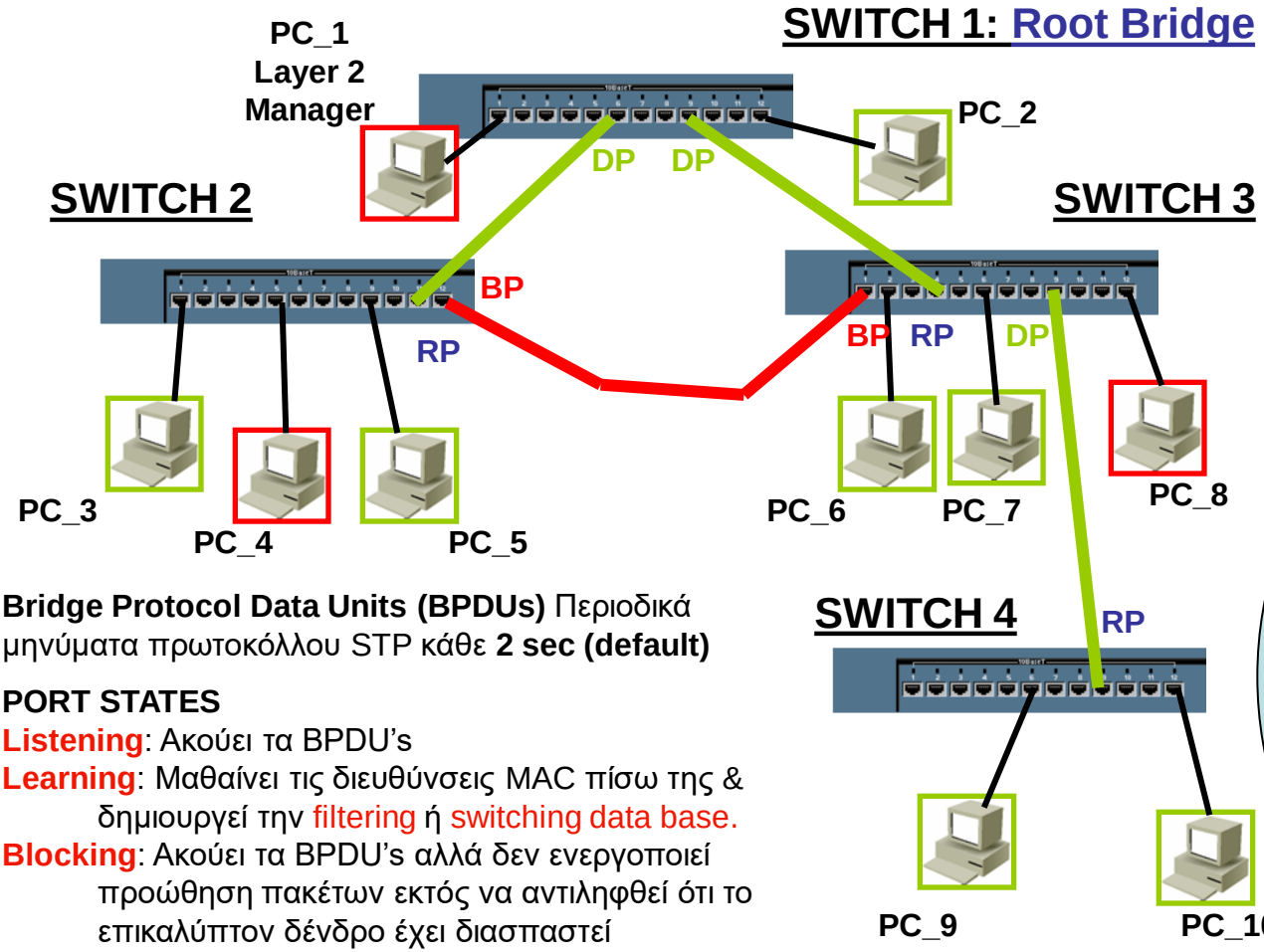
Γέφυρες (Bridges, Switches):
3 (**Root**), 24, 92, 4, 5, 7, 12

Τοπικά δίκτυα Ethernet:
a, b, c, d, e, f

RP: Root Port
DP: Designated Port
BP: Blocking Port

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΝΔΡΙΚΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΕΩΝ ETHERNET (2/2)

Spanning Tree Protocol - STP, IEEE 802.1D



RP: Root Port
DP: Designated Port
BP: Blocked Port

Ενεργή σύνδεση

Ανενεργή σύνδεση

Γνωστό στο Switch 4

Άγνωστο στο Switch 4
Aging: **300 sec (default)**

Bridge Protocol Data Units (BPDUs) Περιοδικά μηνύματα πρωτοκόλλου STP κάθε **2 sec (default)**

PORT STATES

Listening: Ακούει τα BPDU's

Learning: Μαθαίνει τις διευθύνσεις MAC πίσω της & δημιουργεί την filtering ή switching data base.

Blocking: Ακούει τα BPDU's αλλά δεν ενεργοποιεί προώθηση πακέτων εκτός να αντιληφθεί ότι το επικαλύπτον δένδρο έχει διασπαστεί

Forwarding: Ακούει τα BPDU's και προωθεί κανονικά τα πακέτα

Disabled: Μη ενεργή

Forwarding Data Base per Switch Port

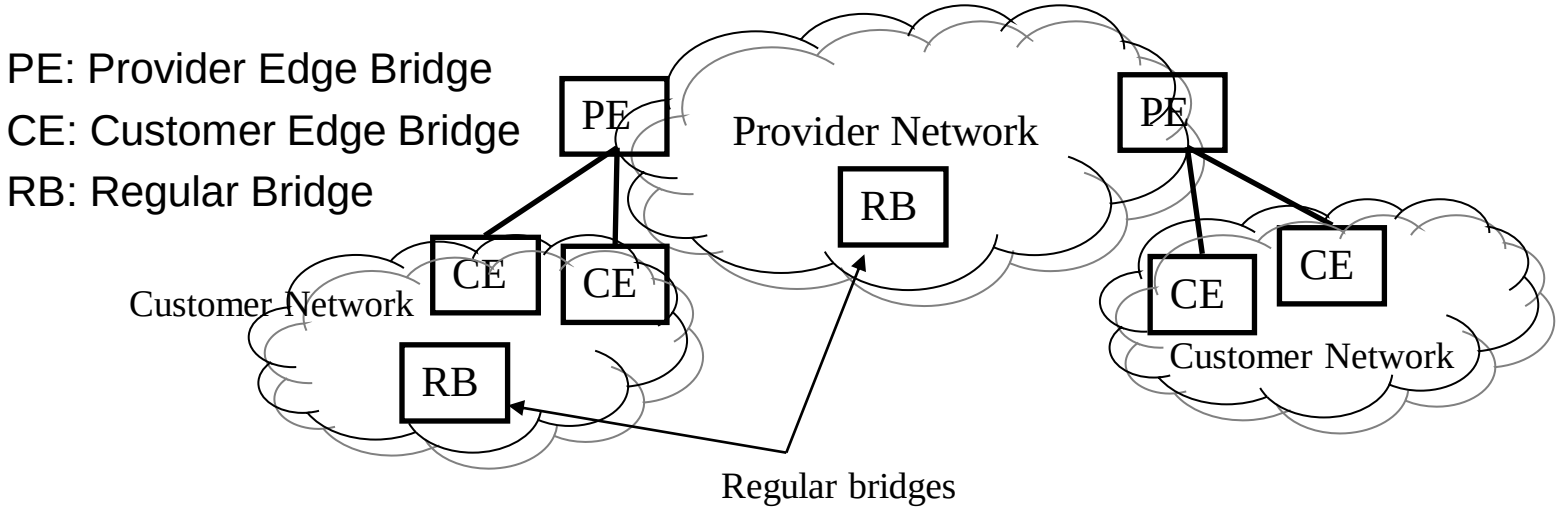
Forward to **RP** **(port 9)** MAC frames to known destinations, e.g. PC_6, PC_7, PC_2, PC_3, PC_5 (**RP**: port from which it last heard them prior to aging)

Forward only to **PC_10** (port 12) MAC frames addressed to it & broadcasts

Broadcast unknown destination MAC frames (promiscuous mode)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2 ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΟΧΩΝ

Provider Backbone Bridges – PBB (mac-in-mac, IEEE 802.1ah)

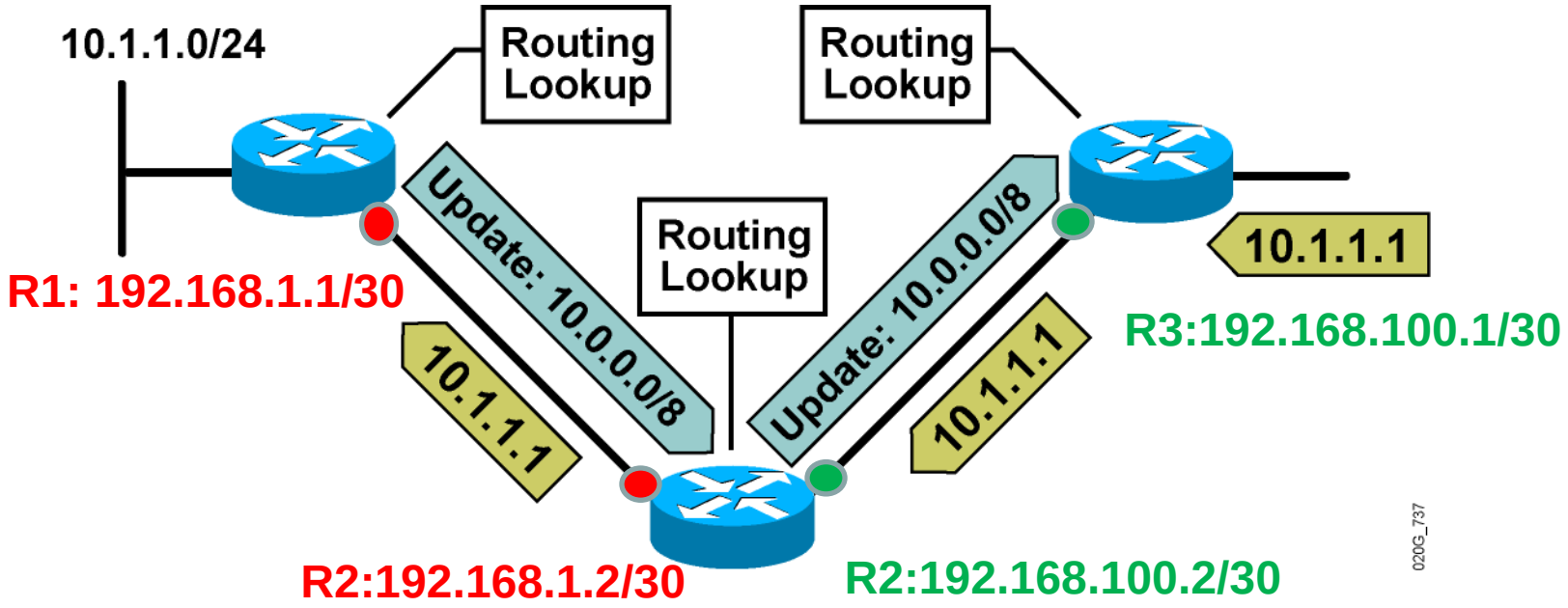


IEEE 802.1ah (2008): Επέκταση Ethernet **LAN**'s (***IEEE 802.3z: 1 GigE, IEEE 802.3ae: 10 GigE***) σε Μητροπολιτικά Δίκτυα **MAN** & Δίκτυα Κορμού Ευρείας Περιοχής **WAN** (***1-10-40-100 GigE***)

- Τυποποίηση πρωτοκόλλων **VPLS**, **mac-in-mac** και **QinQ** tunnels για επέκταση VLAN's μεταξύ τοπικών δικτύων LAN's μέσω Layer 2 VPNs
- Προς συρρίκνωση τοπολογίας επιπέδου 3 → collapsed backbone με μηχανισμούς μεταφοράς επιπέδου 2: **10-100 Gig *point-to-point* Ethernet transport**

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3

http://labjarkom.ilkom.unsri.ac.id/userfiles/MPLS-1.ppt



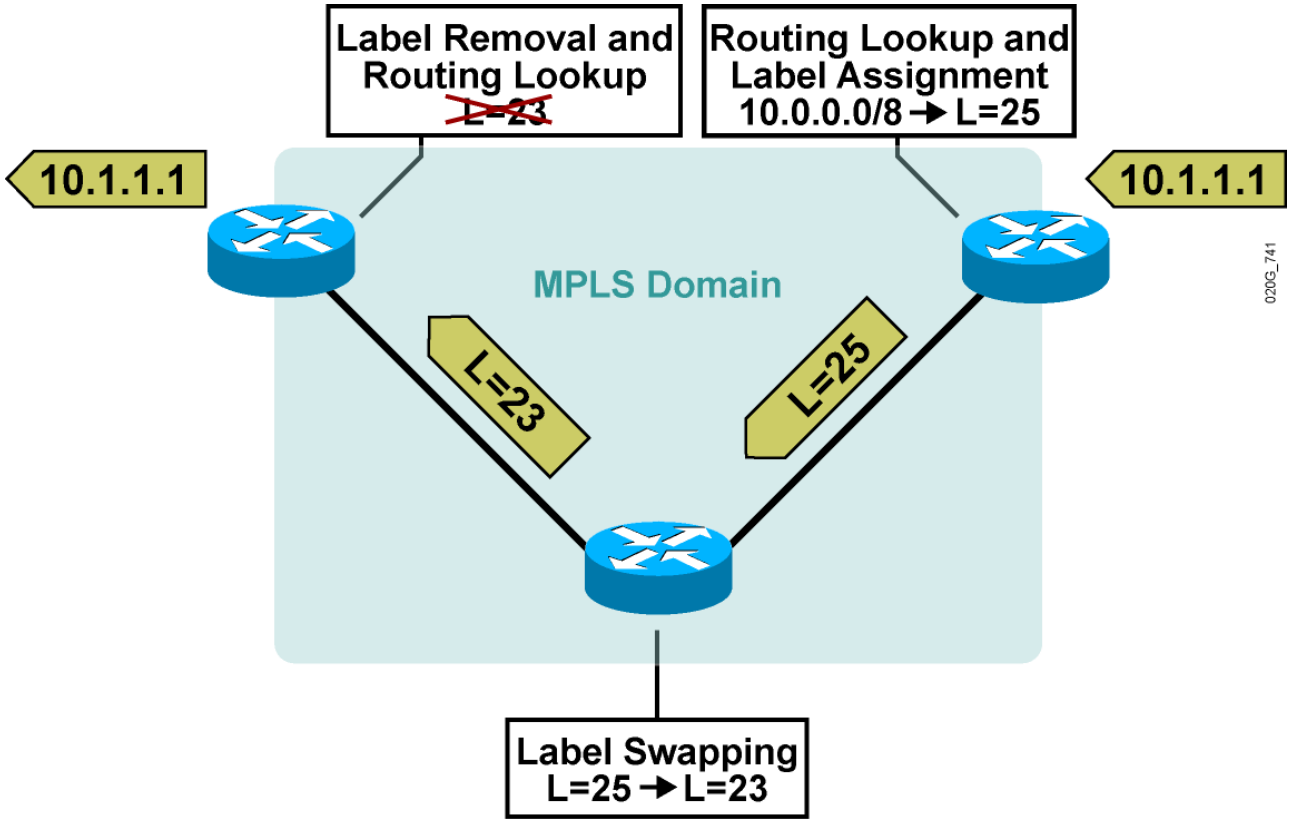
Σε κάθε κόμβο κάθε πακέτο δρομολογείται στο interface του επόμενου κόμβου IP με βάση το longest prefix match της διεύθυνσης IP τελικού προορισμού στον πίνακα δρομολόγησης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ Router 2 (R2)

Destination Network	Next-Hop
10.1.1.0/24	192.168.1.1
10.0.0.0/8	192.168.1.1

Longest-prefix match (24bits)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.5:
MPLS (Multi-Protocol Label Switching)

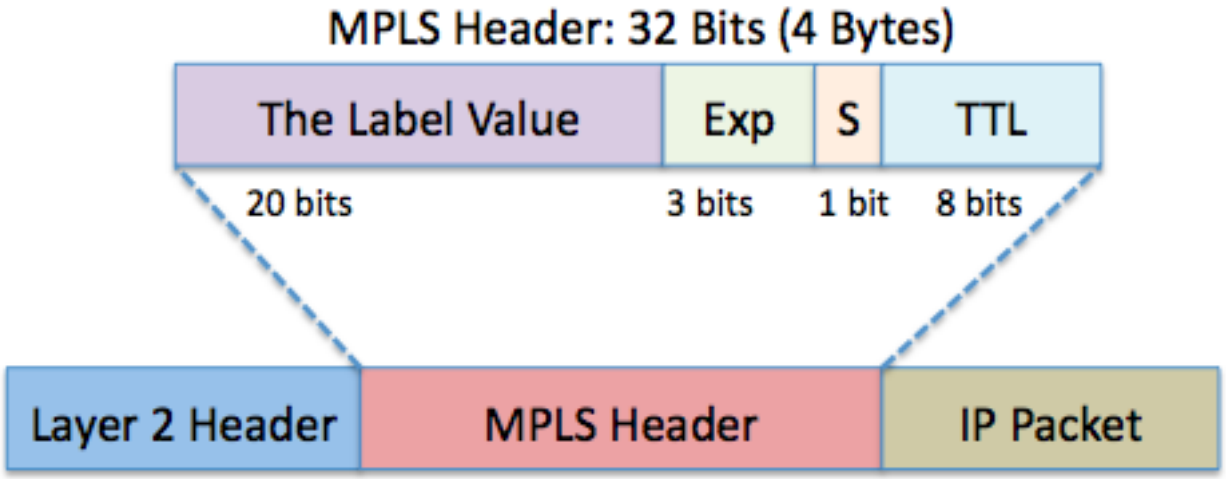


MPLS core routers : Label Switch Router – LSR
Αντικαθιστούν (swap) Labels
Προωθούν τα πακέτα με βάση πίνακες δρομολόγησης ανά Label

MPLS edge routers: Edge LSR, Label Edge Router – LER
Εισάγουν/διαγράφουν επικεφαλίδες MPLS
Δρομολογούν με βάση πίνακες δρομολόγησης IP και Labels

MPLS HEADER

http://blog.ine.com/2010/02/21/the-mpls-forwarding-plane/



- **Label :** Label value (0 to 15 are reserved for special use) assigned to **source & destination IP (flows) (traffic engineering option)**
- **Exp :** Experimental Use
- **S :** Bottom of Stack (set to 1 for the last entry in the label)
- **TTL :** Time To Live