

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ - NETWORK MANAGEMENT

Δρομολόγηση στα Επίπεδα Πρωτοκόλλων του Internet Routing 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

Νέα Κτίρια ΣΗΜΜΥ - Αίθουσα Συνεδριάσεων Β.3.21

7/11/2022

**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 δρομολογητής 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.)

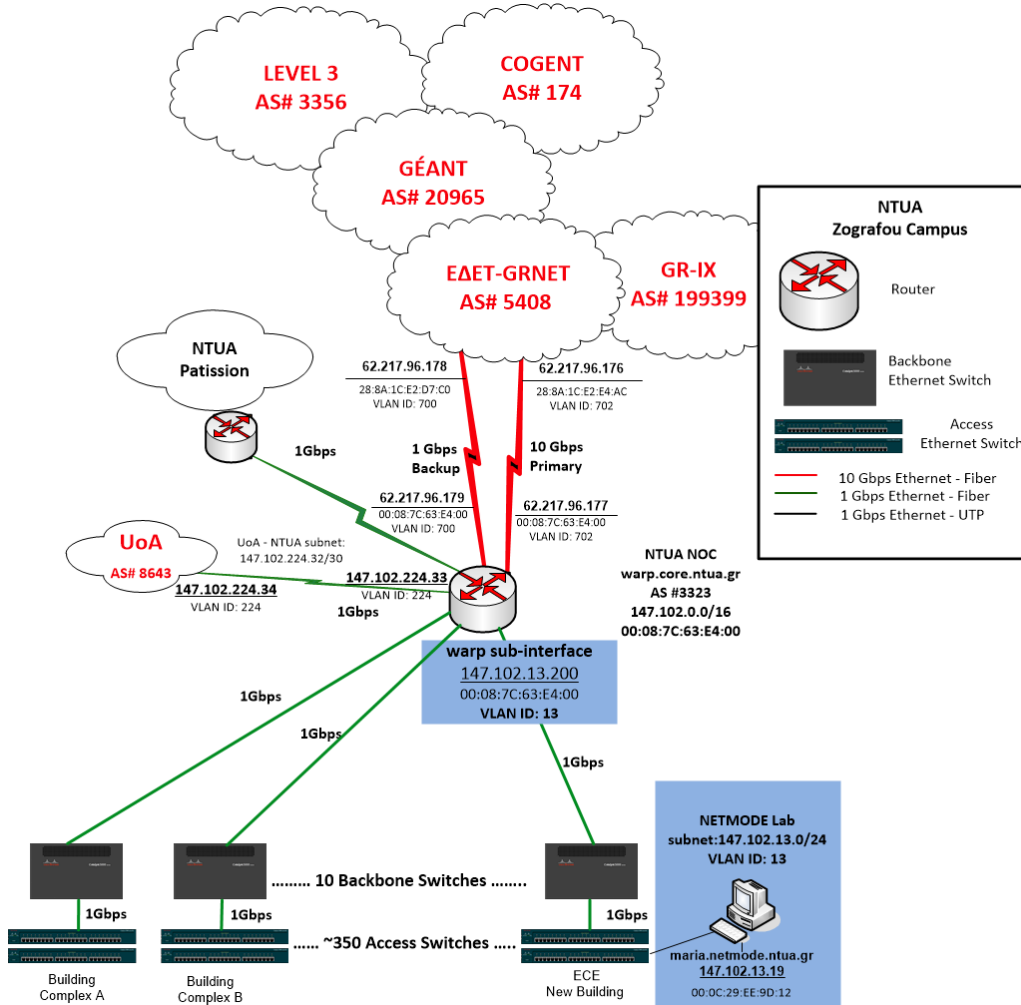
Η γραμμή Ε.Μ.Π. – ΕΚΠΑ (όπως όλες οι γραμμές σε Δίκτυα Internet) ορίζεται σαν υποδίκτυο (prefix) με 4 τουλάχιστον διευθύνσεις IP:

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

ANTI-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

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

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



ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Intra-AS Routing, 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 - ΕΠΙΠΕΔΟ 3 (IP)

(επανάληψη)

- **DV: Distance Vector** (αλγόριθμος **Bellman-Ford**)
 - Interior Gateway Protocol - IGP: **RIP** (Routing Information Protocol) - *δεν εφαρμόζεται πλέον*
 - Exterior Gateway Protocol - EGP: **BGP** (Border Gateway Protocol)
- **LS: Link State** (αλγόριθμος **Dijkstra**)
 - IGP: **OSPF** (Open Shortest Path First): Link State Data Base + αλγόριθμος Dijkstra στον κορμό Αυτόνομου Δικτύου (Core of an Autonomous System - AS)
 - Κόστος γραμμών δικτύου: Ανάλογα με την ταχύτητα ή οριζόμενα από τον Διαχειριστή
 - Ανανέωση κόστους γραμμών μέσω **LSA** (Link State Advertisement) κάθε 30 min (default) ή λόγω μεταβολής κατάστασης. Μετά από 60 min (time out) χωρίς LSA η γραμμή διαγράφεται
 - Σε περιφερειακά υποδίκτυα (stub areas): Default G/W
 - Για δίκτυα εκτός AS: Ανακοινώσεις εντός AS μέσω i-BGP

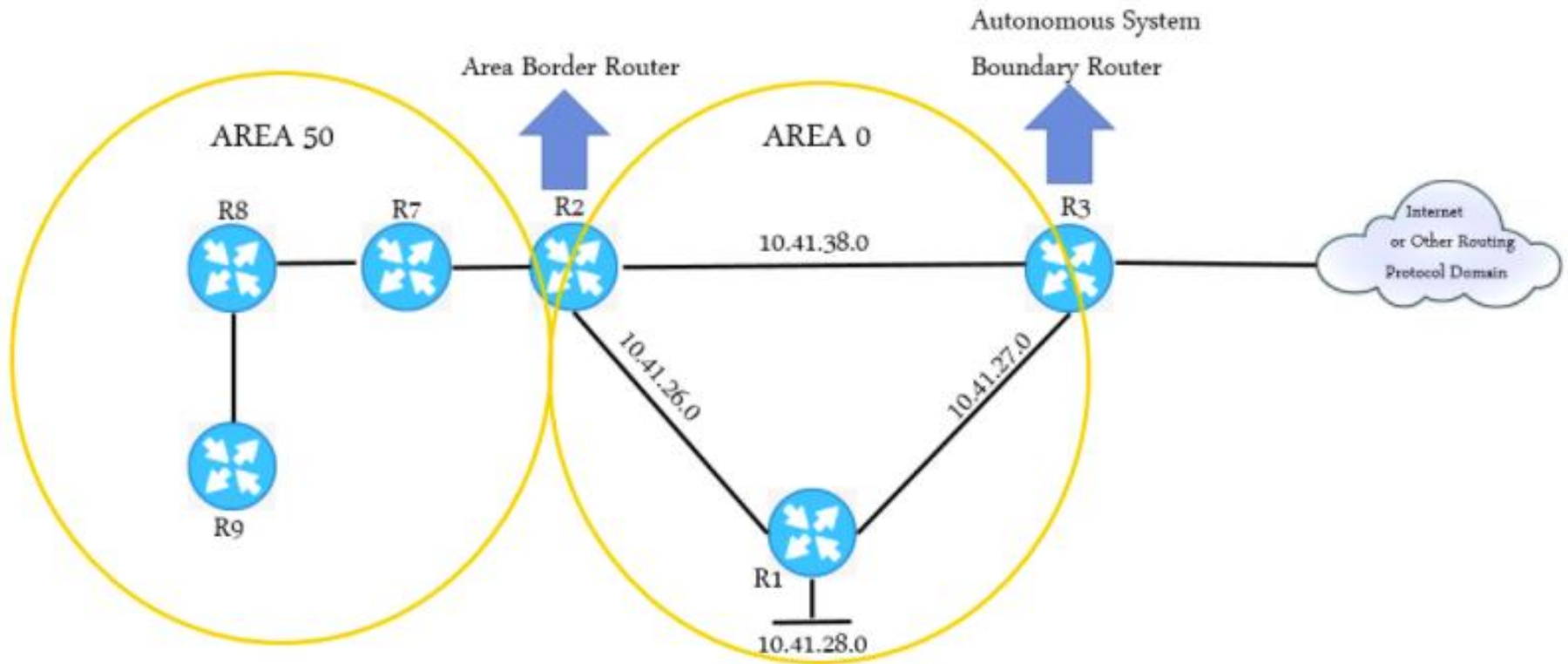
IGP – OSPF (Open Shortest Path First)

LS (Link State): Αλγόριθμος Dijkstra (επανάληψη)

- **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

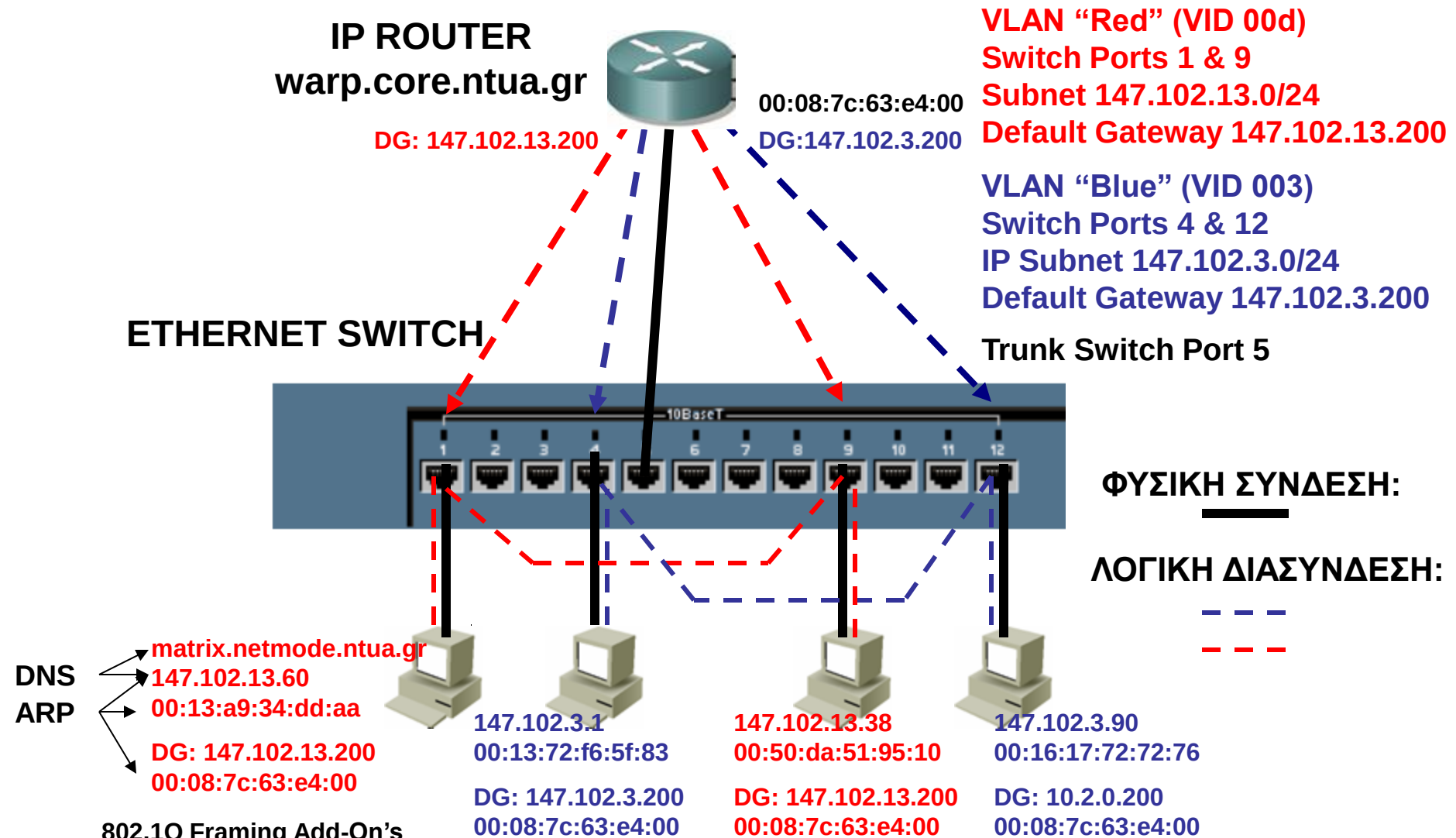
EGP - BGP (Border Gateway Protocol)

DV (Distance Vector): Αλγόριθμος Bellman - Ford (επανάληψη)

- 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 με σηματοδοσία BGP (εντολές **OPEN**, **UPDATE**, **KEEPALIVE**, **NOTIFICATION**)
- Υπολογισμός **reachability & AS paths** ανά **prefix** σε **Border Gateways**: Με βάση **advertisements (TCP signals)** από γειτονικά AS's και αλγόριθμο δρομολόγησης **Bellman-Ford**
- Για προορισμούς ενθυλακωμένους σε πολλαπλά prefixes: Προτίμηση βάσει **longest prefix match**
- Επιλογή μεταξύ εναλλακτικών δρόμων για προώθηση πακέτων στον forwarding table των Border Gateways με βάση διαχειριστικές πολιτικές (**weight**, **preferences**...)
- **e-BGP**: External BGP → Πίνακες **RIB** (Routing Information Base). Τηρούνται στην ηλεκτρονική μνήμη των **border gateways** με εκτιμήσεις ενδιαμέσων public AS's (έως 78.000) προς 900.000 **prefixes** (public δίκτυα – προορισμοί στο Internet)
- **i-BGP**: Internal BGP (μεταξύ δρομολογητών κορμού ενός AS)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2 - MAC/LINK LAYER

ETHERNET & ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ VLAN (IEEE 802.1Q)

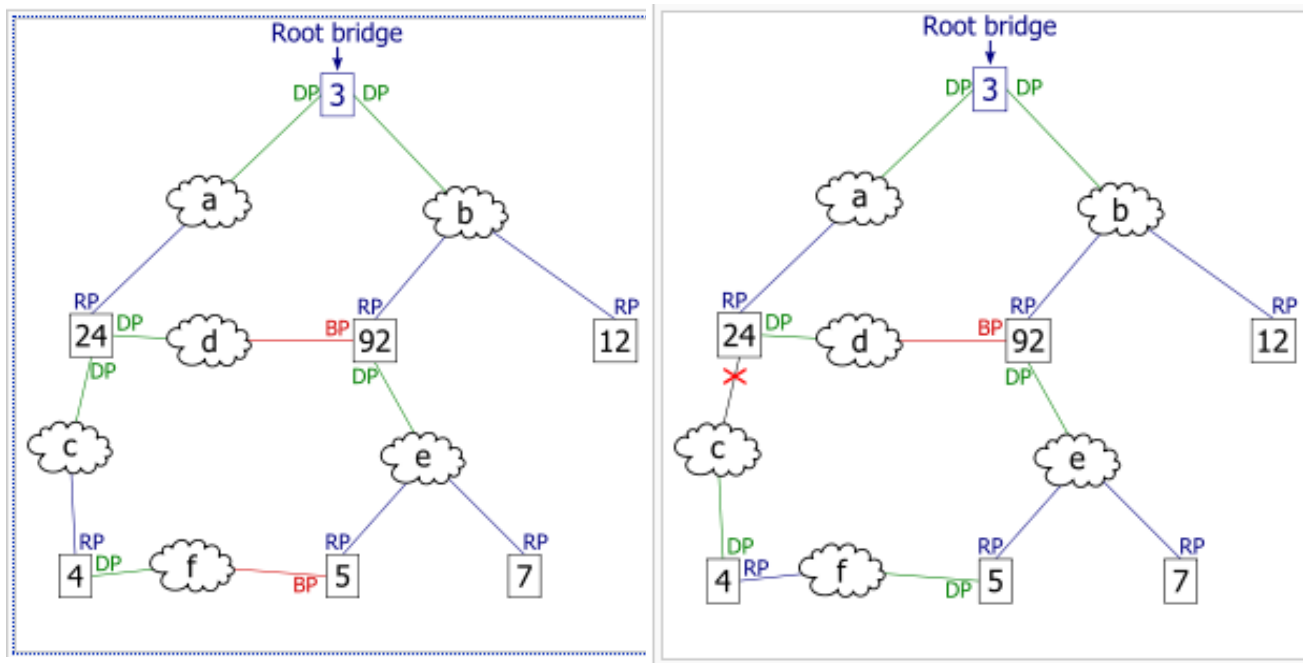


MAC Address ETHERNET II	TPID	PCP	CFI	VID	IP, TCP/UDP, Data
	16 bits	3 bits	1 bit	12 bits	

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**



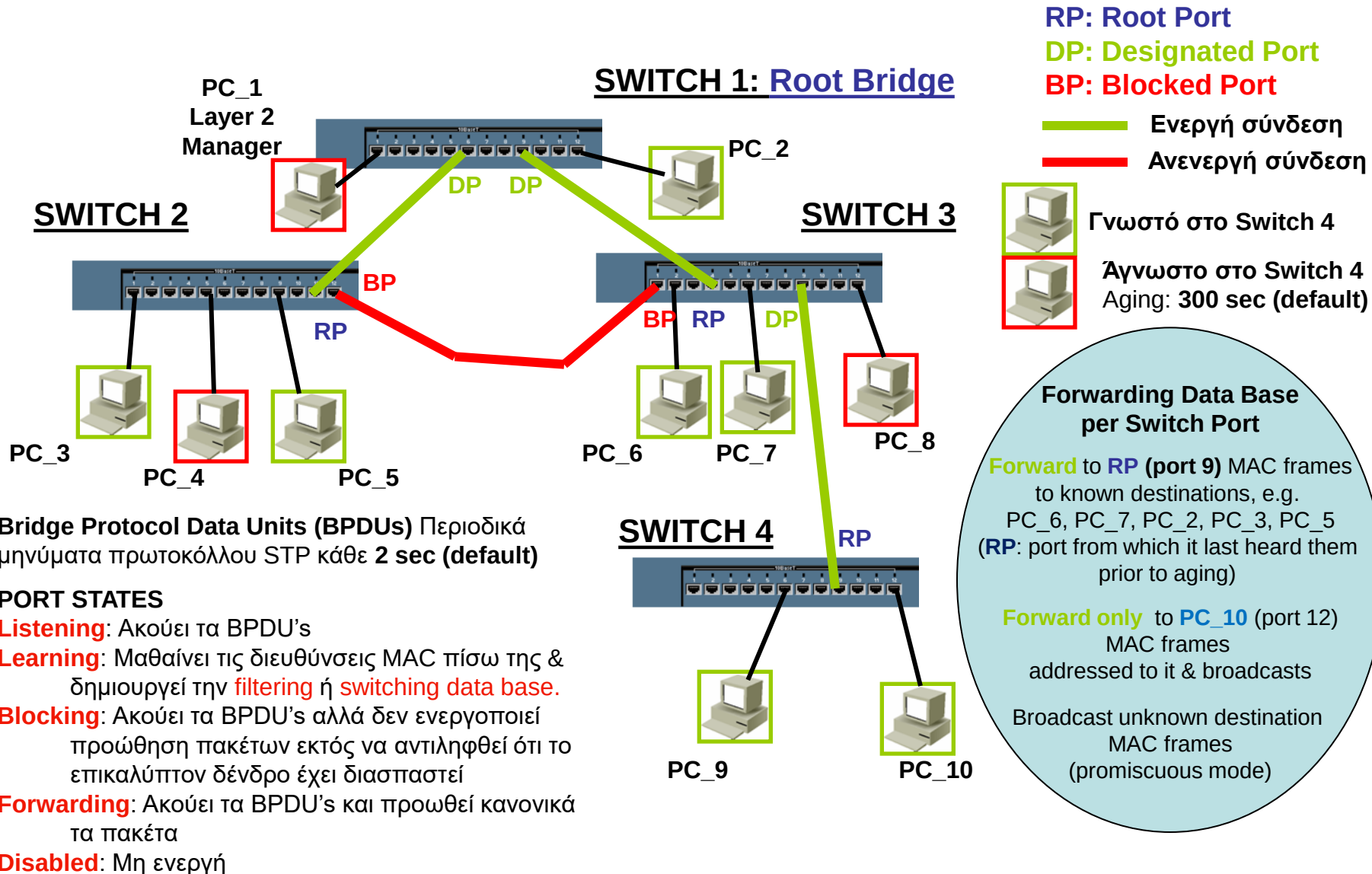
Γέφυρες (Bridges, Switches):
3 (**Root**), 24, 92, 4, 5, 7, 12

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

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

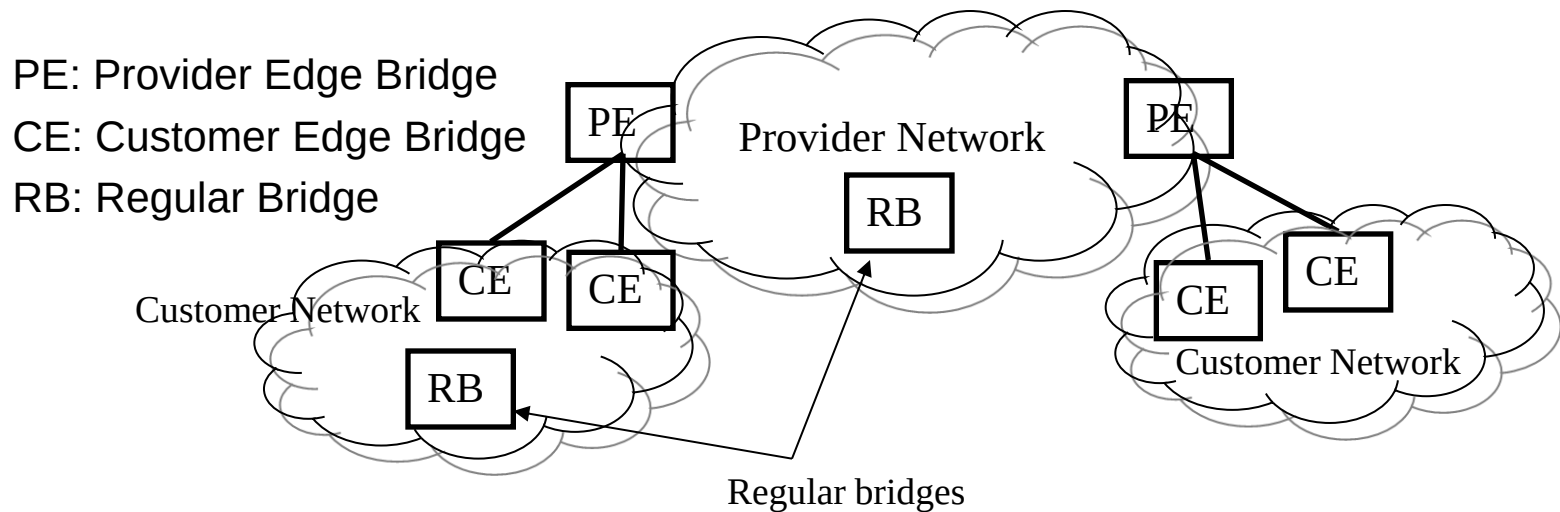
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΝΔΡΙΚΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΕΩΝ ETHERNET (2/2)

Spanning Tree Protocol - STP, IEEE 802.1D



ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2 ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΟΧΩΝ

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

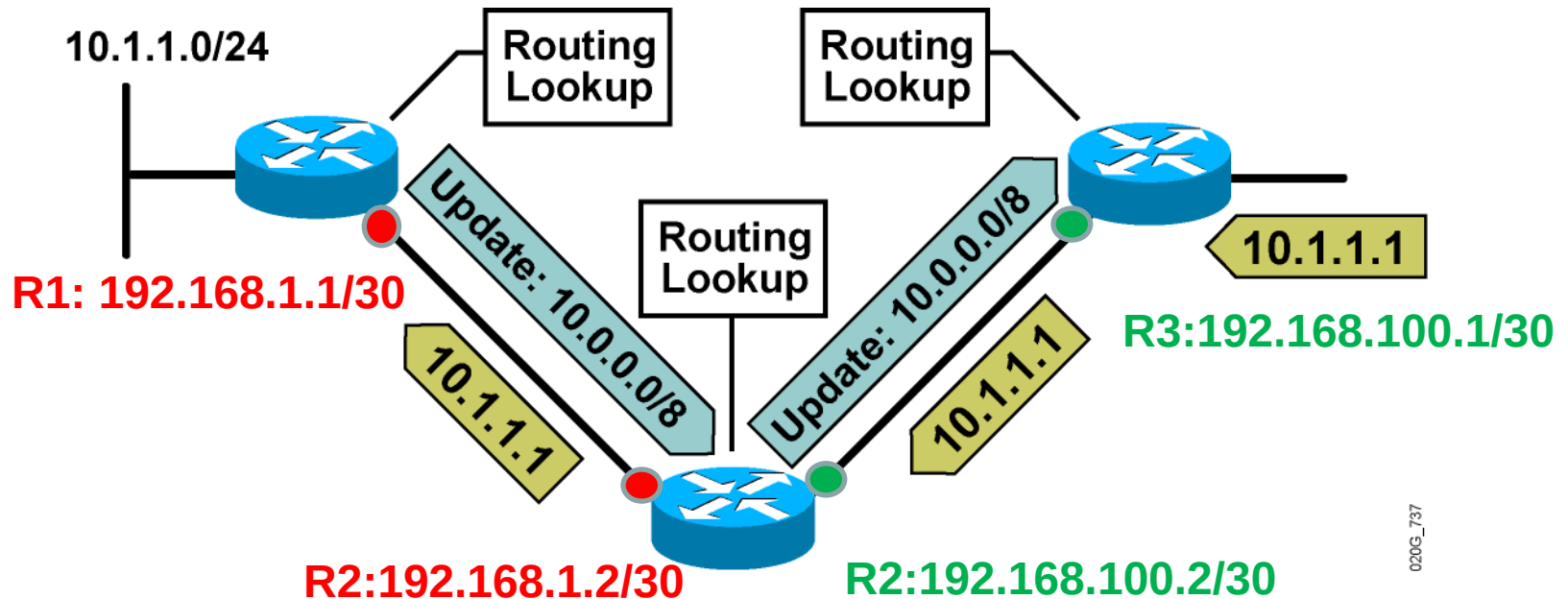


IEEE 802.1ah (2008): Επέκταση Ethernet **LAN's** (**IEEE 802.3z: 1 GigE, IEEE 802.3ae: 10 GigE**) σε Μητροπολιτικά Δίκτυα **MAN** & Δίκτυα Κορμού Ευρείας Περιοχής **WAN** (**1-10-40-100 GigE**)

- 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>



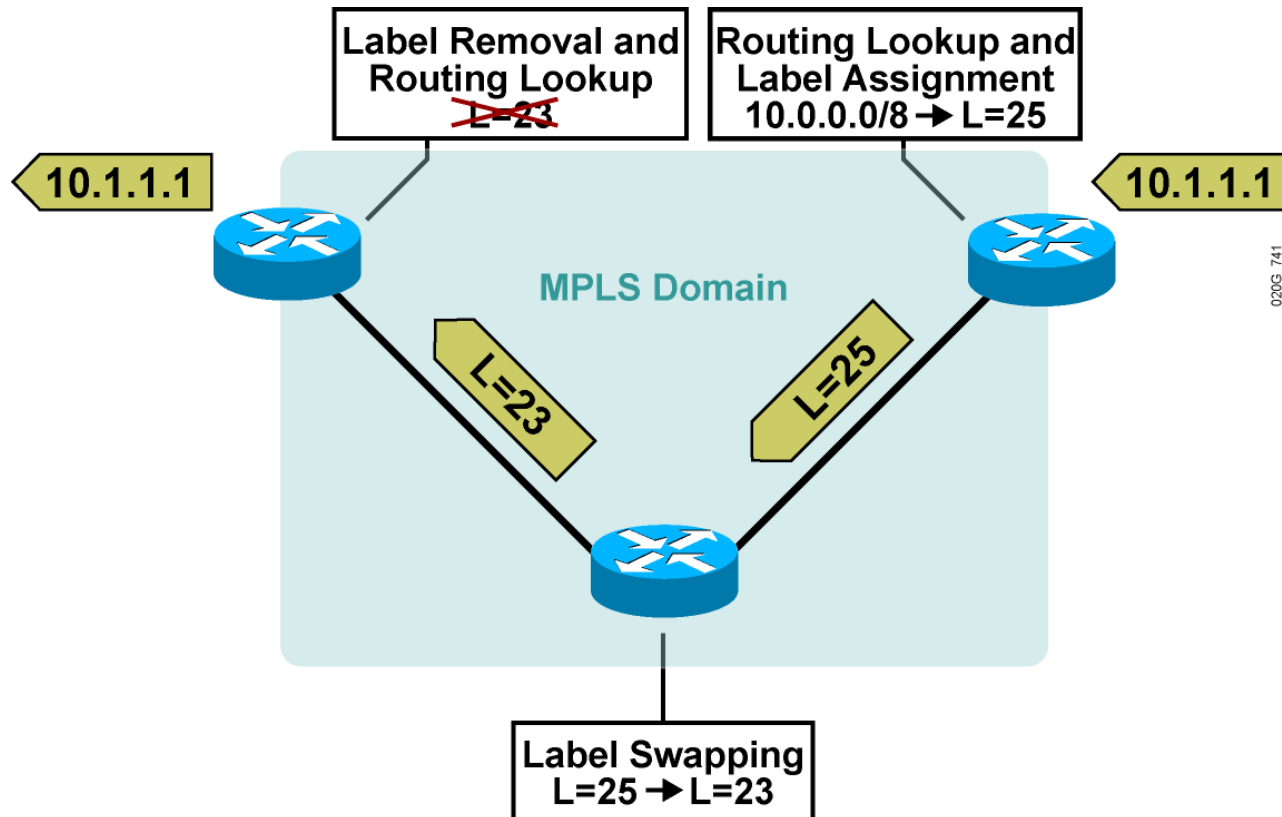
Σε κάθε κόμβο κάθε πακέτο δρομολογείται στο interface του επόμενου κόμβου IP με βάση το longest prefix match της διεύθυνσης IP τελικού προορισμού στον πίνακα δρομολόγησης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ Router 2 (R2)

Destination Network	Next-Hop	Longest-prefix match (24bits)
10.1.1.0/24	192.168.1.1	
10.0.0.0/8	192.168.1.1	

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2.5

MPLS (Multi-Protocol Label Switching)

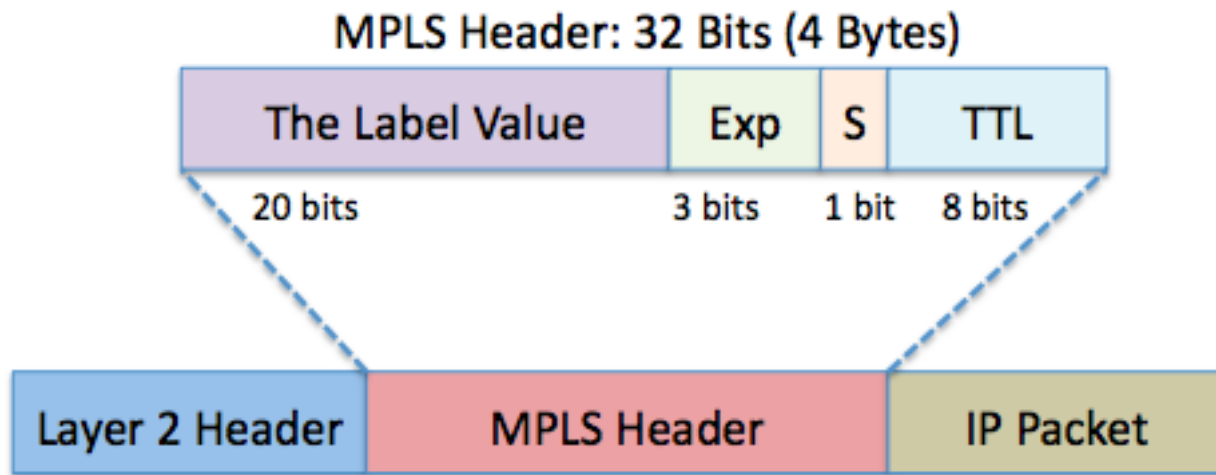


MPLS core routers : Label Switch Router – LSR
Αντικαθιστούν (swap) Labels
Πρωθούν τα πακέτα με βάση πίνακες δρομολόγησης ανά Label

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