



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης

Ενότητα 6: MPLS: Αρχές λειτουργίας

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγικά στοιχεία για τη Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτόκολλων
- Περιγραφή παραδείγματος για την κατανόηση της λειτουργίας ενός δικτύου MPLS
- Παρουσίαση της βασικής ιδέας προώθησης πακέτων με βάση την τεχνολογία MPLS
- Περιγραφή των βασικών λειτουργιών των ετικετών



Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ❑ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ❑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ❑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ❑ ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ❑ FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- ❑ LABEL-SWITCHED PATH
- ❑ ΕΤΙΚΕΤΕΣ



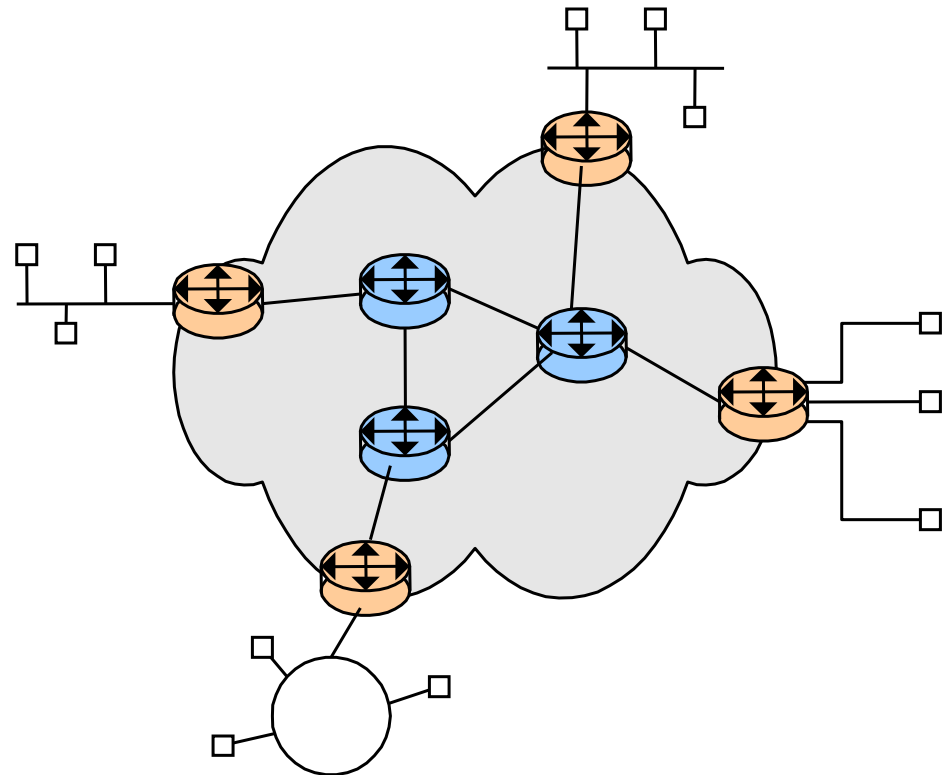
Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Συμβατικό Δίκτυο IP

- Δρομολογητές
 - Παρυφής (Edge)
 - Πυρήνα (Core)
- Δρομολόγηση
 - Hop-by-hop
 - Εξετάζει επικεφαλίδα επιπέδου 3 (IP)
- Υπηρεσία χωρίς σύνδεση



Δρομολόγηση σε Συμβατικό Δίκτυο IP (1/4)

- Κάθε δρομολογητής επιλέγει ανεξάρτητα τον επόμενο κόμβο κάθε πακέτου, βασιζόμενος στην επικεφαλίδα του πακέτου και στο αποτέλεσμα του αλγορίθμου της δρομολόγησης.
- Οι επικεφαλίδες των πακέτων περιέχουν πολύ περισσότερη πληροφορία από αυτήν που χρειάζεται για την επιλογή του επόμενου κόμβου. Η επιλογή του επόμενου κόμβου μπορεί να θεωρηθεί ως σύνθεση των δύο παρακάτω λειτουργιών:
 - Διαχωρισμός του συνόλου όλων των πιθανών πακέτων σε σύνολα: “Κλάσεις Ισοδύναμης Προώθησης - *Forwarding Equivalence Classes (FECs)*”.
 - Αντιστοίχιση κάθε συνόλου FEC σε έναν κόμβο.

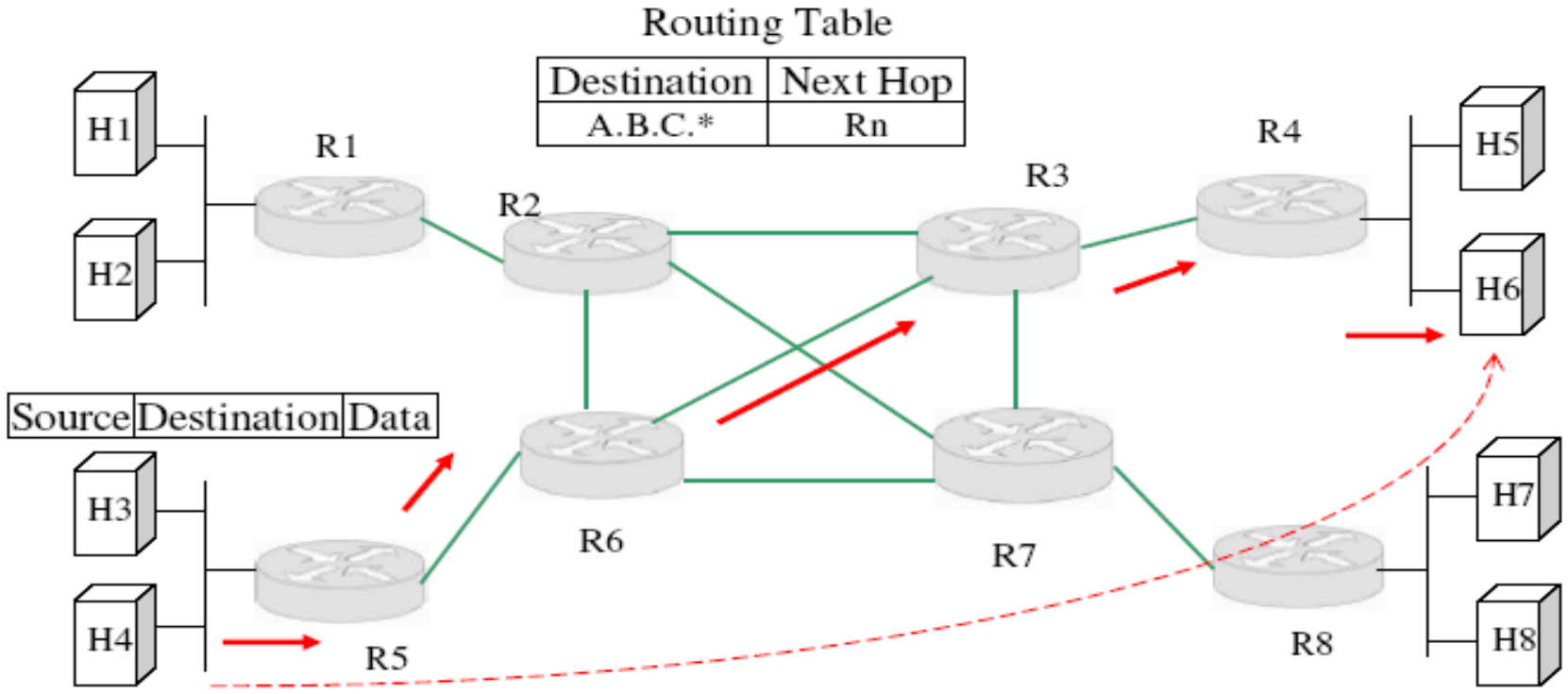


Δρομολόγηση σε Συμβατικό Δίκτυο IP (2/4)

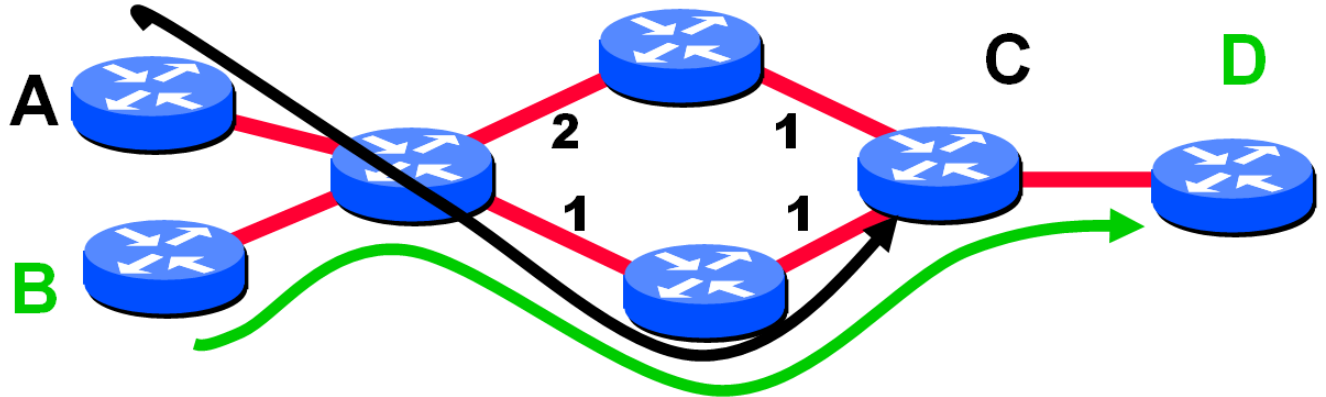
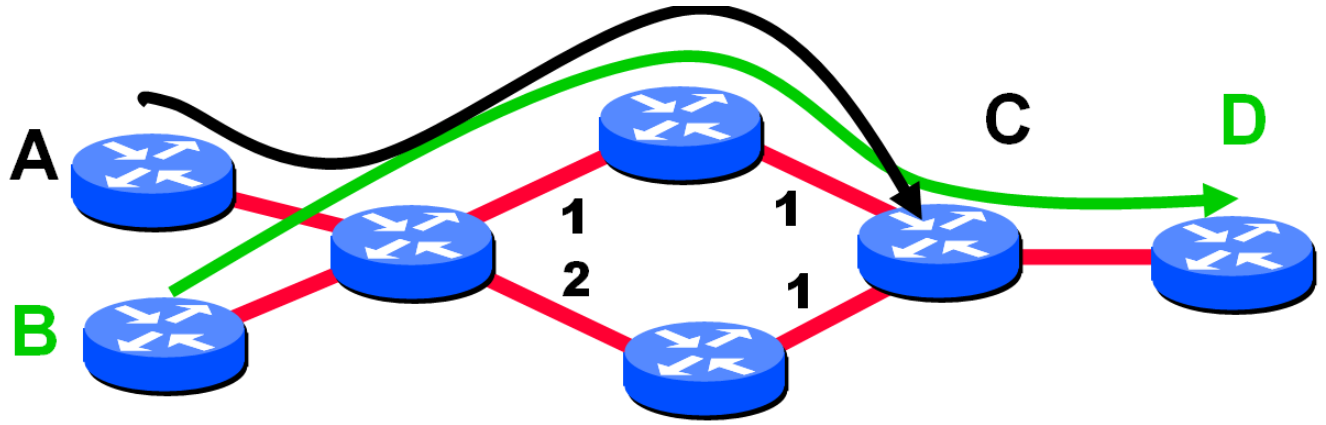
- Διαφορετικά πακέτα που ομαδοποιούνται στην ίδια FEC δεν είναι ευδιάκριτα. Ένας δρομολογητής θεωρεί ότι δύο πακέτα ανήκουν στις ίδιες FEC εάν η διεύθυνση προορισμού κάθε πακέτου έχει μεγαλύτερο ταίριασμα (longer match) με την διεύθυνση του πίνακα δρομολόγησης του συγκεκριμένου δρομολογητή.
- Ο δρομολογητής επαναλαμβάνει τις ίδιες ενέργειες για τα πακέτα που κατευθύνονται προς τον ίδιο προορισμό με αποτέλεσμα να υπάρχει σπατάλη χρόνου.



Δρομολόγηση σε Συμβατικό Δίκτυο IP (3/4)



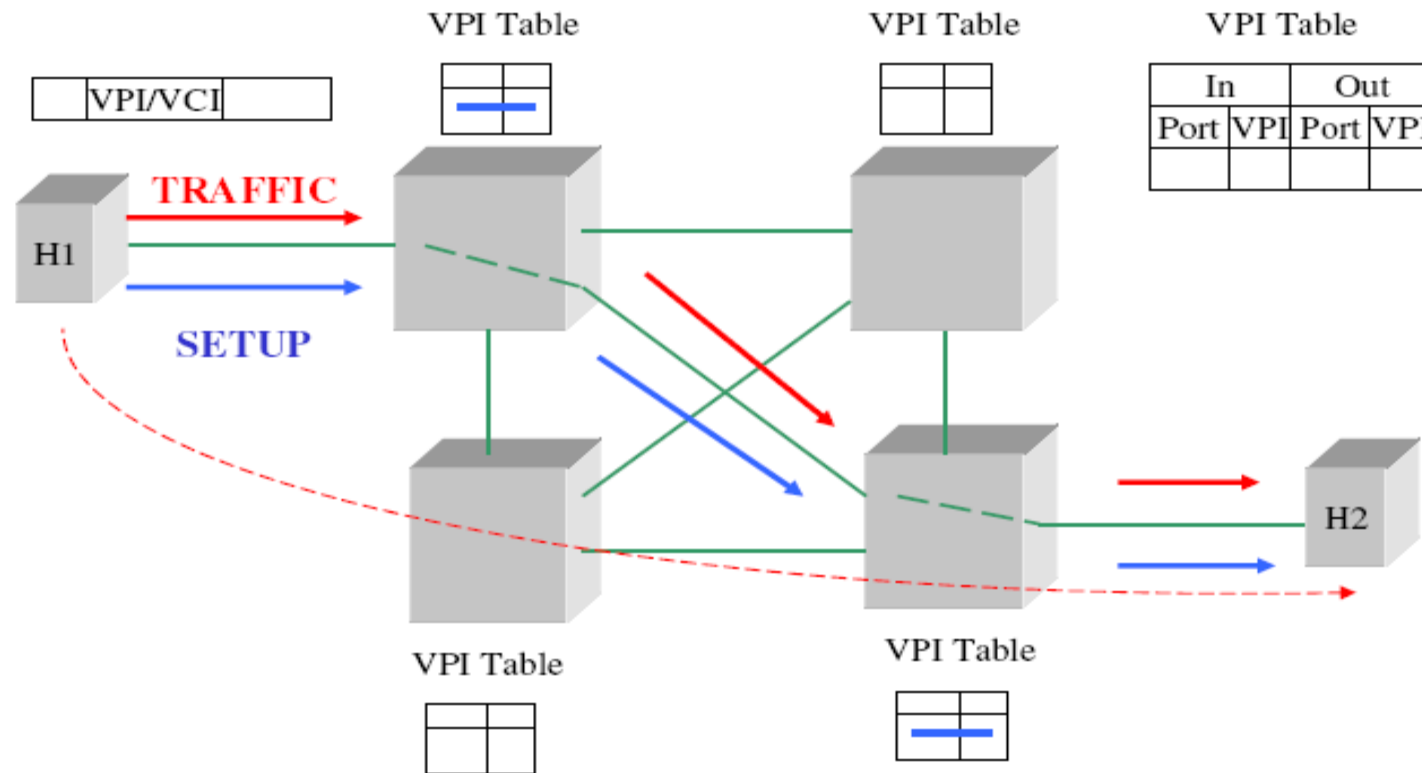
Δρομολόγηση σε Συμβατικό Δίκτυο IP (4/4)



Πρόβλημα: Τα βάρη (weights) των ζεύξεων προσελκύουν ή απωθούν όλη την κίνηση.



Δρομολόγηση σε Δίκτυο ATM



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS**
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Ορισμός του MPLS (1/3)

- Το Multi Protocol Label Switching (MPLS) είναι μια τεχνολογία δικτύων Προσανατολισμένη-σε-Σύνδεση (Connection-Oriented) η οποία βασίζεται σε ετικέτες και παρέχει αποδοτική ανάθεση, δρομολόγηση, προώθηση και μεταγωγή των ροών κίνησης μέσα στο δίκτυο.

Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτόκολλων

- **Μεταγωγή** αντί για δρομολόγηση
 - Υποδομή δικτύου προσανατολισμένου στη σύνδεση
- Κάνει χρήση **Ετικέτας** για την προώθηση των πακέτων
 - Είναι τεχνολογία προώθησης πακέτων που κάνει χρήση ετικετών (labels) για να αποφασίσει που θα προωθήσει τα εισερχόμενα πακέτα
- **Πολλαπλών Πρωτόκολλων**
 - Εφαρμόζεται μεταξύ επιπέδων 2 & 3 (data link & network)
 - Είναι ανεξάρτητη από πρωτόκολλα του επιπέδου 2 ή 3



Ορισμός του MPLS (2/3)

- Η τεχνολογία MPLS παρέχει λύσεις για τα παρακάτω προβλήματα του INTERNET:
- Ταχύτητα
- Κλιμάκωση (Scalability)
- Διαχείριση της Ποιότητας Εξυπηρέτησης (Quality of Service)
- Μηχανίκευση της Κίνησης (Traffic Engineering)

- MPLS μπορεί να λειτουργήσει σε δίκτυα ATM, Frame Relay και IP (IPv6).



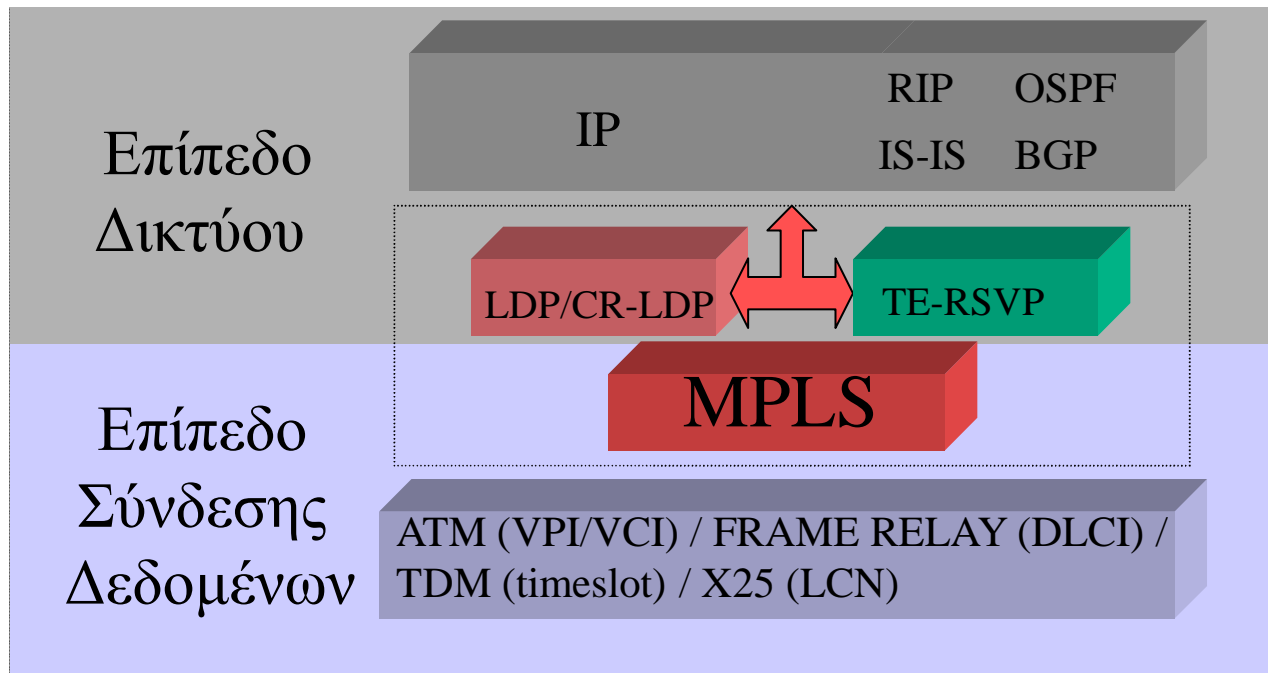
Ορισμός του MPLS (3/3)

- Η ανάθεση ενός πακέτου στην FEC γίνεται μόνο μια φορά, όταν το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο MPLS.
- Η FEC κωδικοποιείται με «ετικέτες» (μικρού και σταθερού μήκους).
- Τα πακέτα λαμβάνουν τις ετικέτες πριν γίνει η προώθησή τους. Όταν το πακέτο προωθείται στον επόμενο κόμβο, μαζί αποστέλλεται και η ετικέτα του.
- Από τη στιγμή που ένα πακέτο ανατίθεται σε μια FEC, δεν απαιτείται καμιά εξέταση της επικεφαλίδας του από τους επόμενους δρομολογητές. Όλη η προώθηση πραγματοποιείται βασιζόμενη μόνο σε επικεφαλίδες.



Διαστρωμάτωση του MPLS

Το MPLS χωρίζεται λογικά και λειτουργικά σε δύο κομμάτια ώστε να παρέχει την λειτουργικότητα της μεταγωγής ετικέτας σε ένα δίκτυο χωρίς σύνδεση.



Στοιχεία του MPLS (1/4)

- Δρομολογητής Μεταγωγής (Label Switching Router - LSR)
- Δρομολογητής Παρυφής (Label Edge Router - LER)
- Βάση Πληροφορίας Ετικέτας (Label Information Base - LIB)
- Κλάση Ισοδύναμης Προώθησης (Forward Equivalence Class - FEC)
- Μονοπάτι Μεταγωγής Ετικέτας (Label-Switched Path - LSP)
- Ετικέτα (Label)
- Μορφή Ετικέτας MPLS (MPLS Label Format)



Στοιχεία του MPLS (2/4)

- Δέσιμο Ετικέτας (Label Binding)
- Δημιουργία Ετικέτας (Label Creation)
- Χώρος Ετικέτας (Label Space)
- Κατανομή Ετικέτας (Label Distribution)
- Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών (Label Distribution Protocol - LDP)
- Συγχώνευση Ετικετών (Label Merging)



Στοιχεία του MPLS (3/4)

- Διατήρηση Ετικέτας (Label Retention)
- Έλεγχος Ετικέτας (Label Control)
- Μηχανισμός Σηματοδοσίας (Signaling Mechanism)
- Στοίβα Ετικέτας (Label Stack)
- Μηχανίκευση Κίνησης (Traffic Engineering)
- Δρομολόγηση Βασισμένη σε Περιορισμούς (Constraint-based Routing - CR)



Στοιχεία του MPLS (4/4)

- Μεταγωγή ετικέτας για προώθηση πακέτων
 - Ετικέτα (καθορισμένου μεγέθους) εισάγεται στο πακέτο όταν εισέρχεται σε δίκτυο MPLS
 - Σε κάθε LSR το πακέτο προωθείται με βάση την τιμή της ετικέτας
 - Το πακέτο αποστέλλεται με νέα τιμή στην ετικέτα
- Label Information Base (LIB)
 - Αντιστοιχίζει τις ετικέτες εισόδου-εξόδου στον LSR
- Label Switched Path (LSP)
 - Σταθερό μονοπάτι για δεδομένα που ορίζεται από την μεταβολή στις τιμές της ετικέτας
 - Το μονοπάτι καθορίζεται από την αρχική τιμή της ετικέτας
- Forward Equivalence Class (FEC)
 - Το πλήθος των πακέτων που προωθούνται με τον ίδιο τρόπο
 - Μία ή περισσότερες FECs μπορεί αντιστοιχηθούν σε ένα LSP.



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS**
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Βασική Αρχή του MPLS

- Λειτουργία προώθησης πακέτων σε συμβατικά δίκτυα IP
 - γίνεται ανά πακέτο
 - απαιτητική ως προς υπολογιστική ισχύ
 - Για το λόγο αυτό η τεχνολογία MPLS απλουστεύει τη δρομολόγηση
- Βασική ιδέα:
 - Οι δρομολογητές παρυφής εκτελούν κανονικά της λειτουργία της δρομολόγησης
 - οι δρομολογητές πυρήνα εκτελούν λειτουργία μεταγωγής, η οποία ως λειτουργία επιπέδου 2 είναι πιο γρήγορη



Λειτουργίες του MPLS

- Οι λειτουργίες του MPLS παραμένουν ανεξάρτητες από τα πρωτόκολλα των επιπέδων 2 και 3 και προσφέρουν:
- Τη διαχείριση των ροών κίνησης, όπως ροές ανάμεσα σε διαφορετικούς σταθμούς ή διαφορετικές εφαρμογές.
- Την αντιστοίχιση των διευθύνσεων IP σε απλές, σταθερού μήκους ετικέτες που χρησιμοποιούνται από διαφορετικές τεχνολογίες προώθησης και μεταγωγής πακέτων.
- Τη διεπαφή σε υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως είναι τα RSVP και OSPF.



MPLS Domain

- Το MPLS domain είναι ένα σύνολο από κόμβους που εκτελούν τις λειτουργίες δρομολόγησης και προώθησης μέσα σε ένα δίκτυο MPLS.
- Το MPLS domain μπορεί να χωριστεί σε Πυρήνα του MPLS (MPLS Core) και Παρυφή του MPLS (MPLS Edge).
 - Το MPLS Core αποτελείται από κόμβους που γειτνιάζουν μόνο με κόμβους MPLS.
 - Το MPLS Edge αποτελείται από κόμβους που γειτνιάζουν και με κόμβους MPLS, αλλά και με άλλους κόμβους.



Κόμβοι στο MPLS (1/3)

- Διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες των LSRs ανάλογα με την θέση τους στην τοπολογία του δικτύου MPLS:
- LSR εισόδου (ingress LSR): επεξεργάζεται την κίνηση που εισέρχεται στο MPLS domain.
- LSR διέλευσης (transit LSR): επεξεργάζεται την κίνηση μέσα στο MPLS domain.
- LSR εξόδου (egress LSR): επεξεργάζεται την κίνηση που εξέρχεται από το MPLS domain.
- LSR παρυφής (edge LSR ή Label Edge Router - LER): είναι μια κοινή ονομασία για τα LSRs εισόδου και εξόδου.



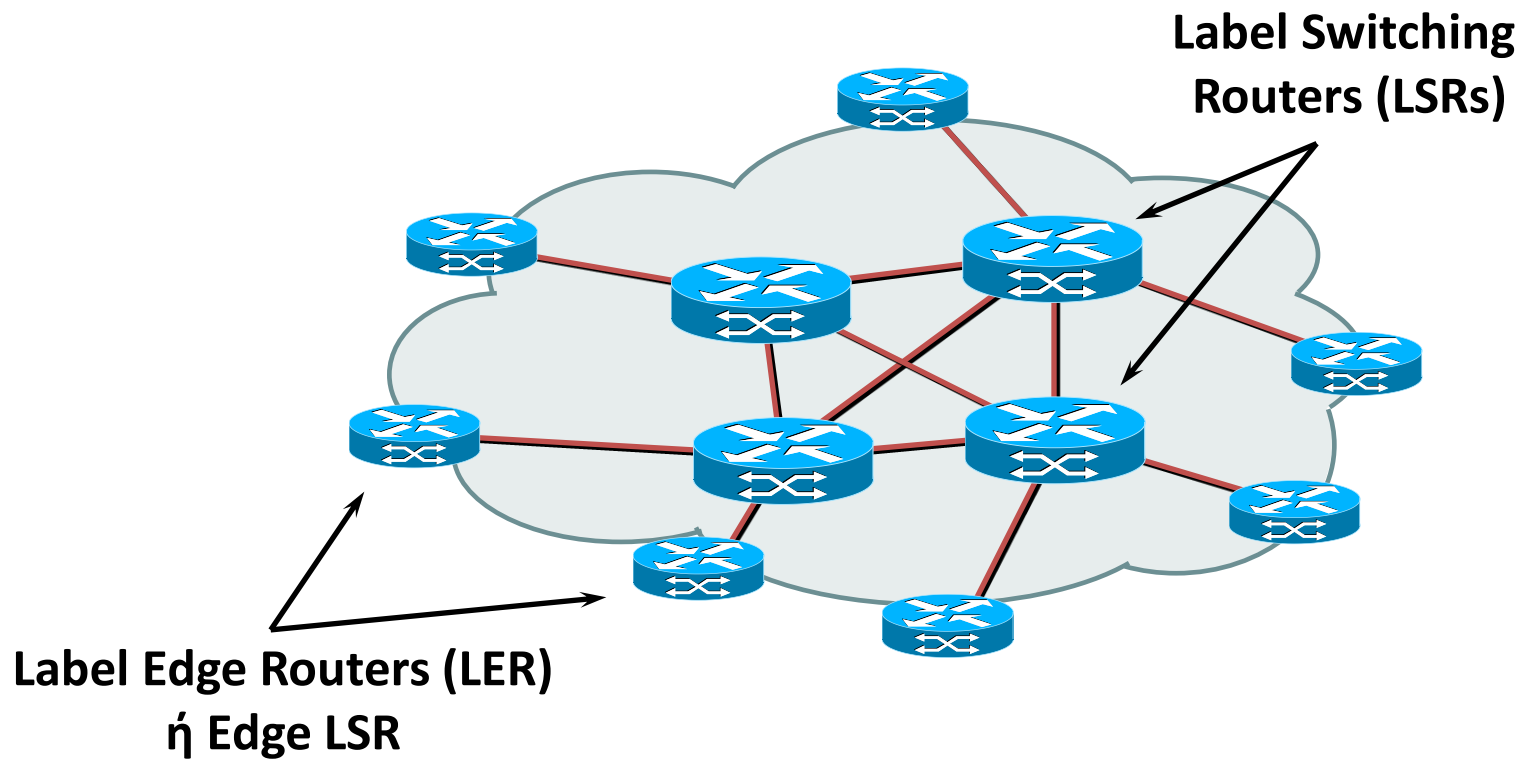
Κόμβοι στο MPLS (2/3)

- Ένας LSR παρυφής κάνει τις παρακάτω λειτουργίες:
- Αναγνωρίζει την κλάση ισοδύναμης προώθησης βάσει της διεύθυνσης προορισμού και ίσως και την ποιότητα υπηρεσίας (η ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να αναγνωρισθεί κοιτάζοντας την οκτάδα TOS της επικεφαλίδας του πακέτου IP)
- Βρίσκει την κατάλληλη ετικέτα από το πίνακα δρομολόγησης ετικέτας
- Τοποθετεί την ετικέτα στο πακέτο και το προωθεί στον επόμενο κόμβο
- Ένας LSR διέλευσης κάνει τις εξής λειτουργίες:
- Χρησιμοποιεί την ετικέτα (εισόδου) ως δείκτη στον πίνακα δρομολόγησης ετικέτας για να βρει τη θύρα εξόδου και τη ετικέτα εξόδου.
- Ανταλλάσσει την ετικέτα εισόδου με την ετικέτα εξόδου
- Προωθεί το πακέτο στον επόμενο κόμβο



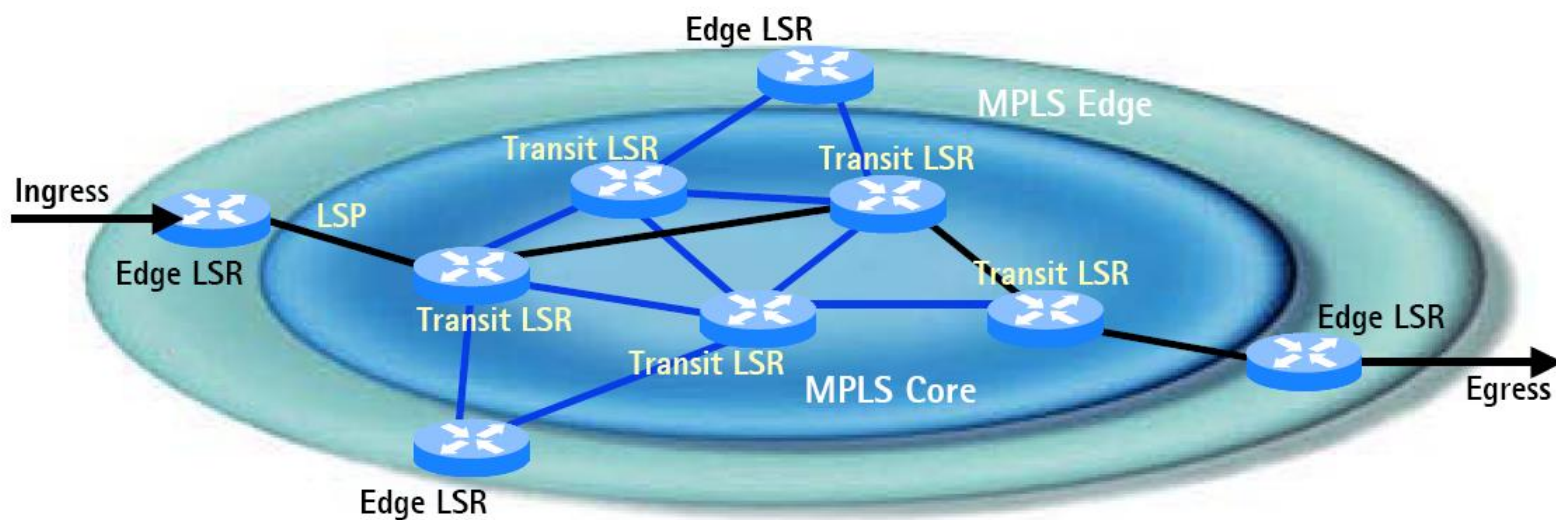
Κόμβοι στο MPLS (3/3)

LERs Υποστηρίζουν πολλαπλές θήρες συνδεδεμένες σε διαφορετικά δίκτυα (π.χ. Ethernet, Frame Relay, ATM).



Τοπολογία Δικτύου MPLS

Όταν ένα πακέτο IP διατρέχει το MPLS domain, ακολουθεί μια προκαθορισμένη διαδρομή (την LSP), ανάλογα με την FEC στην οποία είχε ανατεθεί το πακέτο όταν μπήκε στο MPLS domain.

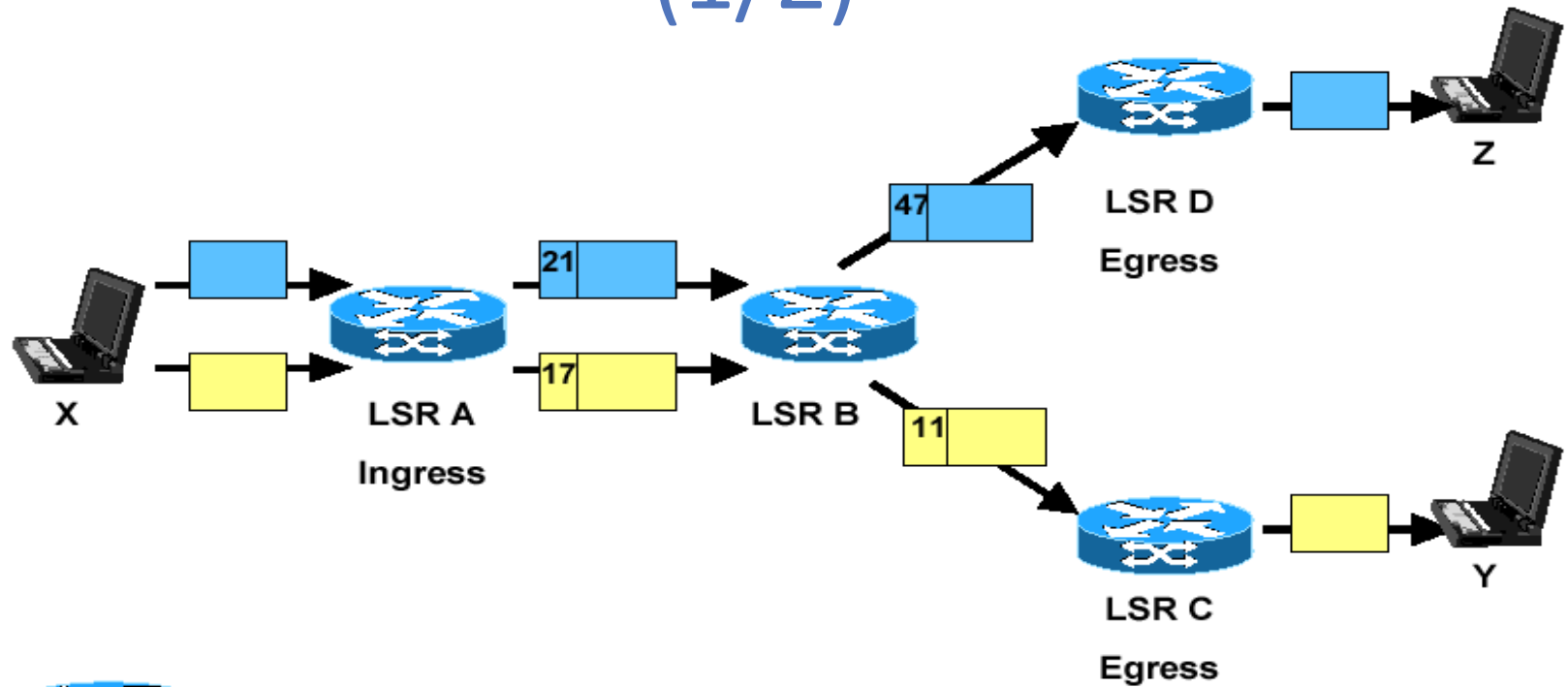


Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS**
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Παράδειγμα Λειτουργίας Δικτύου MPLS (1/2)



Label Switching Router



Data Packet with Direction of Flow and Numbered Label



IP Host System

Παράδειγμα Λειτουργίας Δικτύου MPLS

(2/2)

- Δυο ροές δεδομένων από το τερματικό Χ, μια προς τον Υ, και μια προς τον Ζ που αποτελούν τα δυο LSPs.
- Ο LSR A είναι το σημείο εισόδου στο δίκτυο MPLS για τα δεδομένα από το τερματικό Χ. Όταν αυτός λάβει πακέτα από τον Χ, ο LSR A προσδιορίζει την FEC για κάθε πακέτο, συμπεραίνει ποιο LSP να χρησιμοποιήσει και προσθέτει μια ετικέτα στο πακέτο. Ο LSR A τότε προωθεί το πακέτο στο κατάλληλο σημείο προσαρμογής (interface) για το LSP.
- Ο LSR B είναι ένας ενδιάμεσος LSR. Αυτός παίρνει κάθε πακέτο με ετικέτα που λαμβάνει και χρησιμοποιεί το ζευγάρι {εισερχόμενο σημείο προσαρμογής, τιμή ετικέτας} για να αποφασίσει για το ζευγάρι {εξερχόμενο σημείο προσαρμογής, τιμή ετικέτας} με το οποίο θα προωθήσει το πακέτο.
- Οι LSR C και LSR D λειτουργούν σαν δρομολογητές εξόδου από το δίκτυο MPLS. Εκτελούν το ίδιο ψάξιμο όπως οι ενδιάμεσοι LSRs, αλλά το ζευγάρι {εξερχόμενο σημείο προσαρμογής, τιμή ετικέτας} μαρκάρει το πακέτο σαν να εξέρχεται από το LSP. Αφαιρούν τις ετικέτες από τα πακέτα και τα προωθούν χρησιμοποιώντας δρομολόγηση επιπέδου 3.



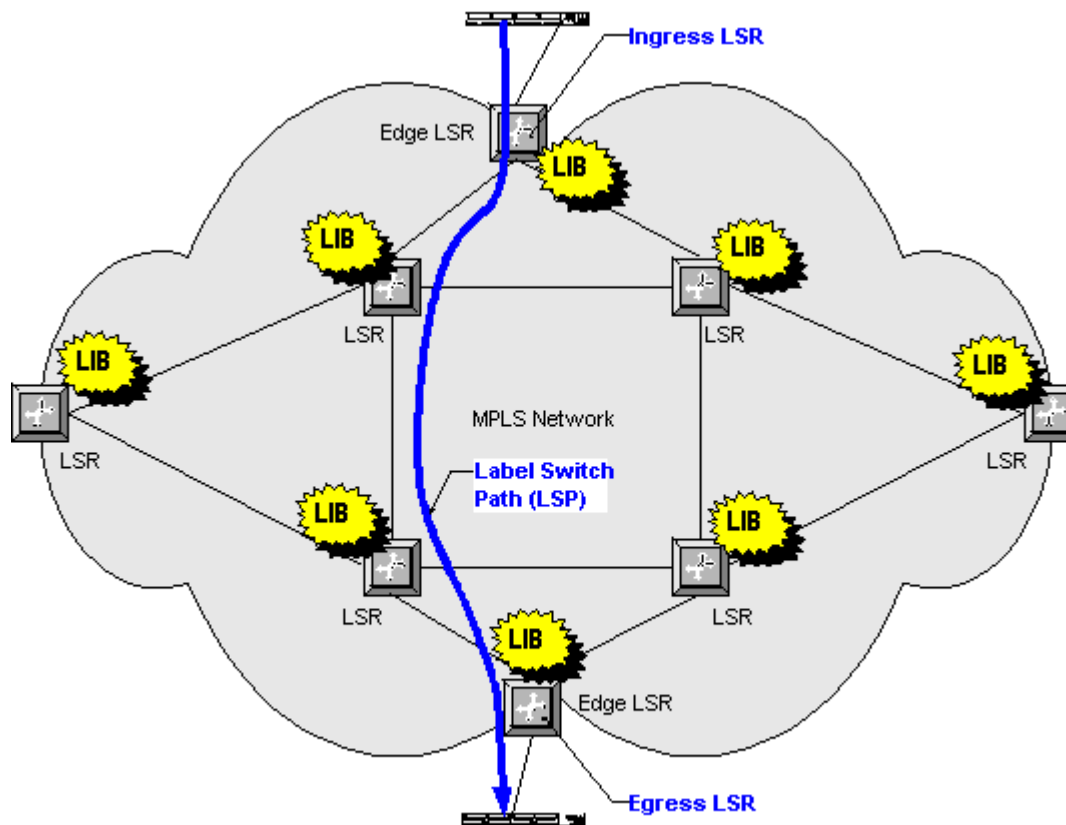
Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ**
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Βάση Πληροφορίας Ετικέτας (LIB)

Κάθε LSR δημιουργεί έναν πίνακα που ονομάζεται **Label Information Base (LIB)** και καθορίζει πώς πρέπει να προωθείται ένα πακέτο.

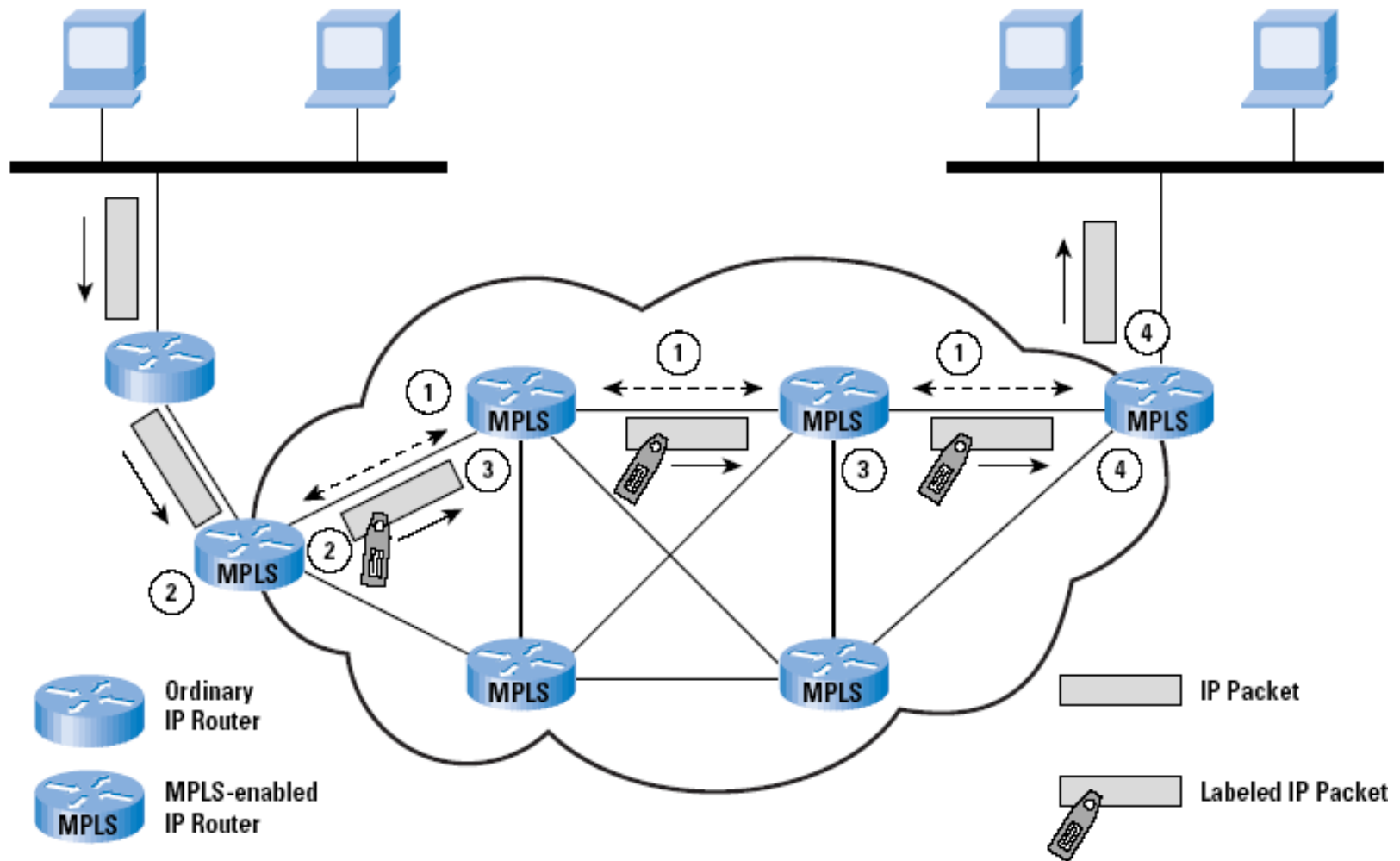


Βασική Ιδέα Προώθησης Πακέτων

- Λειτουργία προώθησης πακέτων στο IP
 - γίνεται ανά πακέτο
 - απαιτητική ως προς υπολογιστική ισχύ
 - Για το λόγο αυτό η τεχνολογία MPLS απλουστεύει την προώθηση πακέτων
- Βασική ιδέα:
 - Οι δρομολογητές απόληξης εκτελούν κανονικά λειτουργία δρομολόγησης
 - οι δρομολογητές πυρήνα εκτελούν λειτουργία μεταγωγής, η οποία ως λειτουργία επιπέδου 2 είναι πιο γρήγορη



Παράδειγμα Προώθησης Πακέτων



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS**
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ

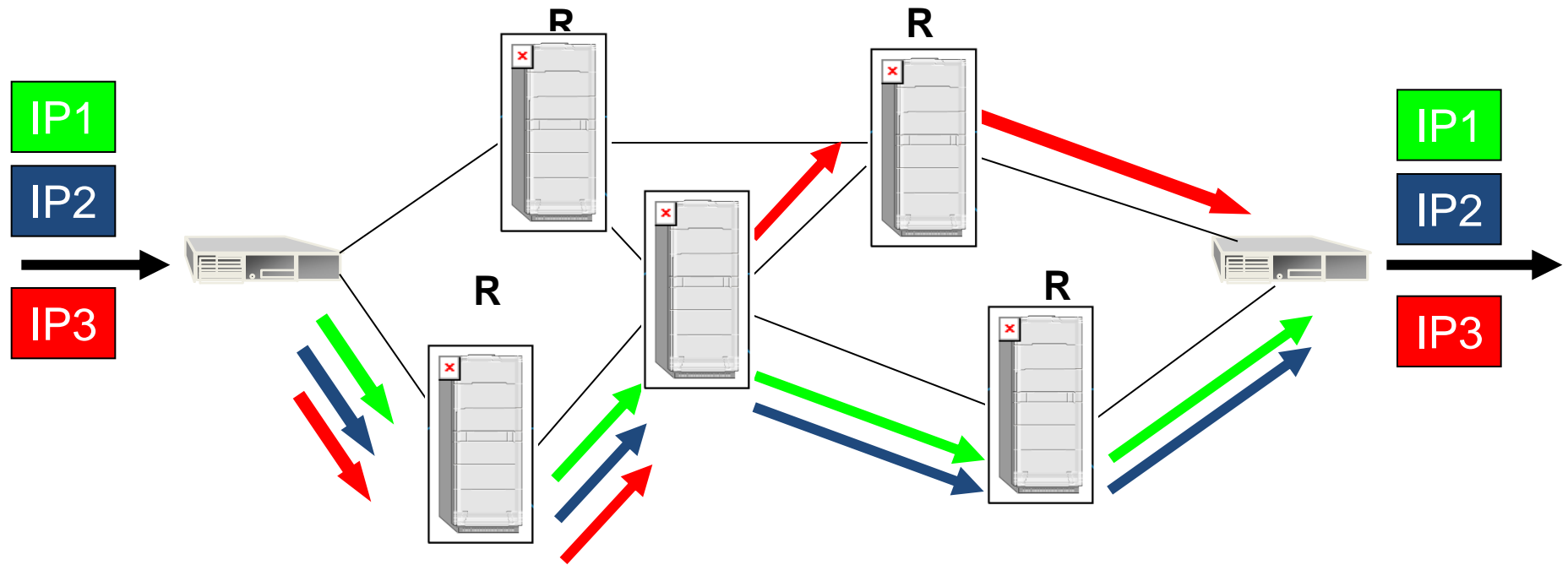


Forward Equivalence Class (1/2)

- Μια FEC αντιπροσωπεύει μια ομάδα από πακέτα που μοιράζονται τις ίδιες απαιτήσεις/αντιμετώπιση για τη μεταφορά τους.
- Η ανάθεση ενός συγκεκριμένου πακέτου σε μια FEC γίνεται μόνο μια φορά, στον LER εισόδου.
- Μια FEC ορίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης (service requirements) ενός συνόλου πακέτων.



Forward Equivalence Class (2/2)



Στο παραπάνω δίκτυο τα πακέτα IP 1&2 ανήκουν στην ίδια FEC, ενώ το IP3 σε μια διαφορετική FEC.



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH**
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ



Label-Switched Path (1/3)

- Μέσα σε ένα MPLS domain, για ένα δεδομένο πακέτο, εγκαθίσταται ένα LSP (μια ακολουθία από LSRs), ώστε το πακέτο να ταξιδέψει με βάση μια FEC. Το LSP είναι μιας κατεύθυνσης (η κίνηση επιστροφής πρέπει να ακολουθήσει άλλο LSP).
- Το LSP εγκαθίσταται πριν από τη μετάδοση των δεδομένων, από:
 - Δρομολόγηση από-κόμβο-σε-κόμβο (hop-by-hop): Όμοια με τη δρομολόγηση IP, κάθε LSR επιλέγει ανεξάρτητα τον επόμενο κόμβο για μια δεδομένη FEC, με χρήση οποιουδήποτε διαθέσιμου πρωτοκόλλου δρομολόγησης, όπως είναι OSPF και PNNI (ιδιωτική διεπαφή από-δίκτυο-σε-δίκτυο στο ATM).
 - Ρητή δρομολόγηση (Explicit routing): Ο LER εισόδου καθορίζει μια λίστα με κόμβους τους οποίους διατρέχει το LSP. Το μονοπάτι πιθανόν να μην είναι βέλτιστο. Κατά μήκος του μονοπατιού μπορούν να δεσμεύονται πόροι για να διασφαλίσουν την απαιτούμενη Ποιότητα Εξυπηρέτησης στην κίνηση δεδομένων. Έτσι, μπορούν να παρέχονται διαφοροποιημένες υπηρεσίες με χρήση ροών βασισμένων σε πολιτικές ή μεθόδους διαχείρισης δικτύων.



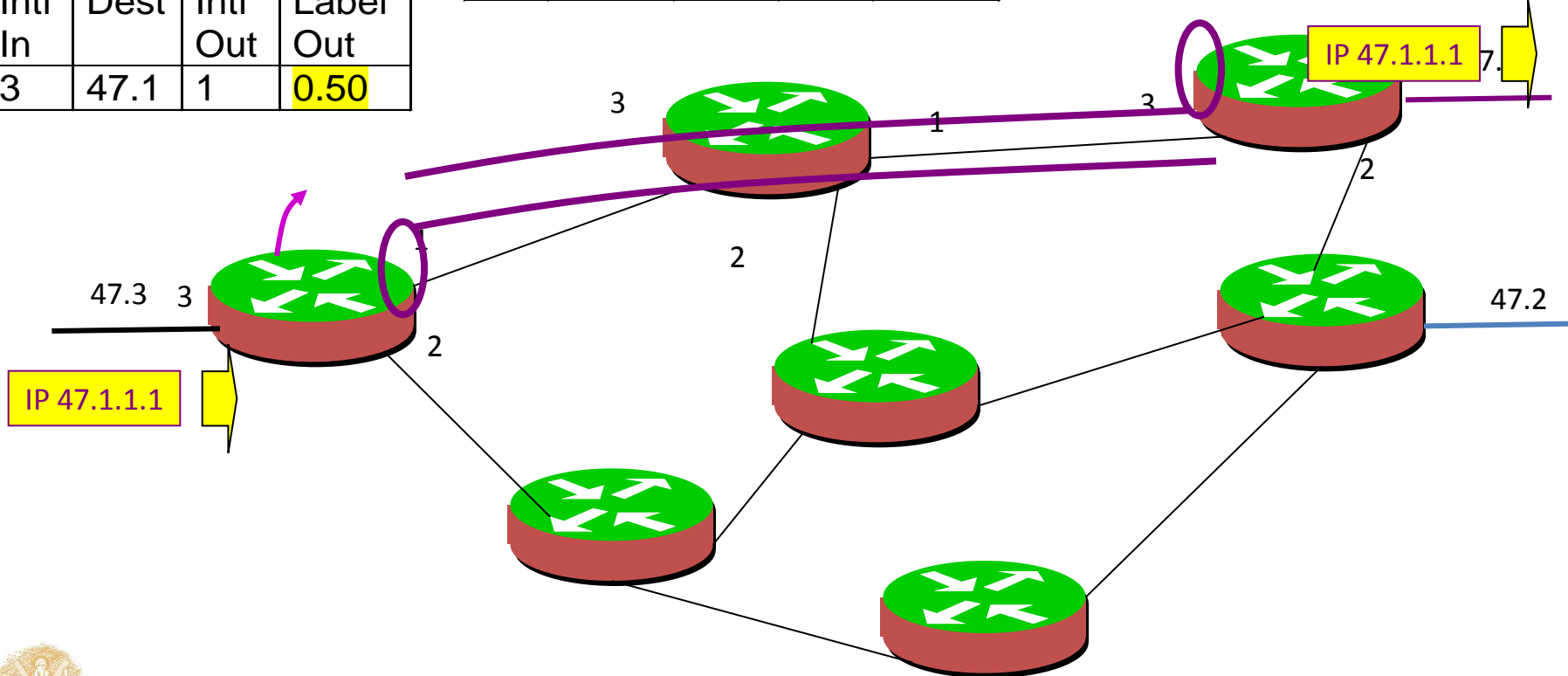
Label-Switched Path (2/3)

Μεταγωγή στο MPLS

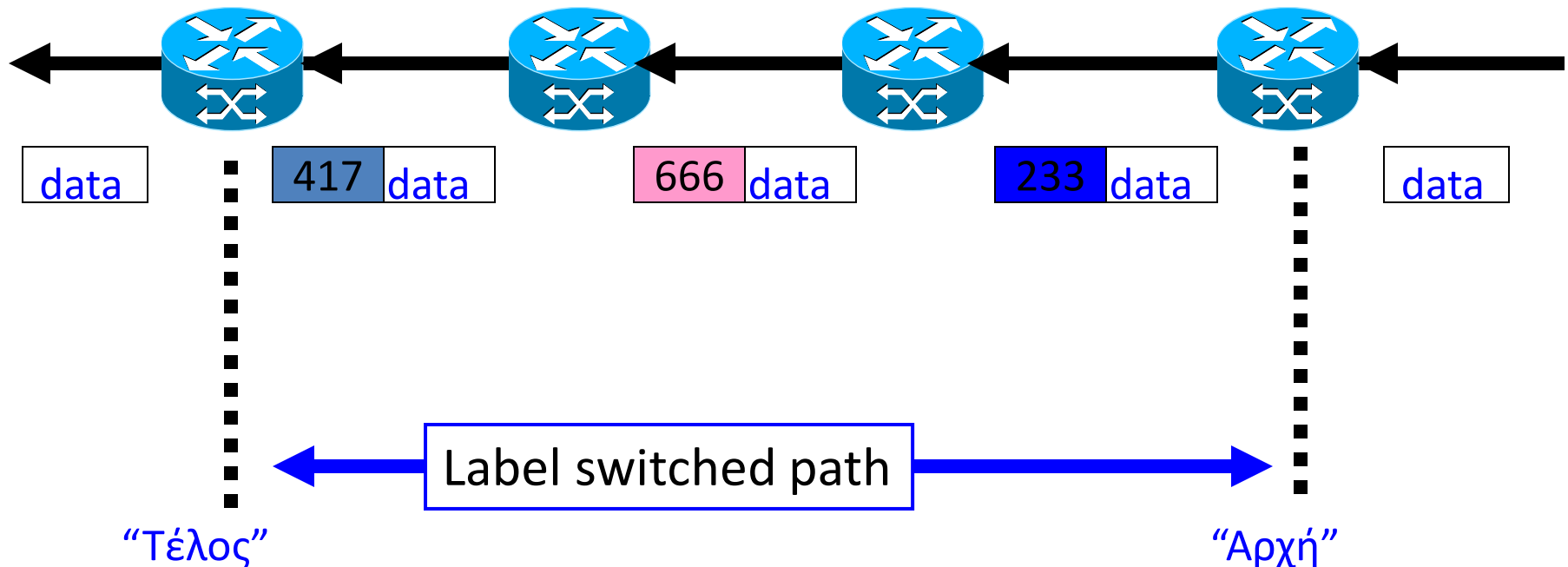
Intf In	Dest	Intf Out	Label Out
3	47.1	1	0.50

Intf In	Label In	Dest	Intf Out	Label Out
3	0.50	47.1	1	0.40

Intf In	Label In	Dest	Intf Out
3	0.40	47.1	1



Label-Switched Path (3/3)



Οι επικεφαλίδες των δεδομένων (data) δεν χρειάζεται να ελεγχθούν μέσα στο LSP.

Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ IP
- ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ MPLS
- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ MPLS
- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ MPLS
- ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ
- FORWARD EQUIVALENCE CLASS
- LABEL-SWITCHED PATH
- ΕΤΙΚΕΤΕΣ**



ΕΤΙΚΕΤΕΣ

- Ετικέτα: ένας μικρός, σταθερού μήκους προσδιοριστής που προσδιορίζει την FEC που ανατίθεται σε ένα πακέτο.
- Μόλις ένα πακέτο αντιστοιχιστεί σε μια FEC, στο πακέτο ανατίθεται μια ετικέτα.
- Μόλις στο πακέτο ανατεθεί μια ετικέτα, η προώθηση/μεταγωγή του πακέτου βασίζεται στην ετικέτα αυτή.
- Η ετικέτα ανατίθεται σε ένα πακέτο από τον LSR εισόδου, και αφαιρείται από τον LSR εξόδου. Επομένως, οι συσκευές έξω από το MPLS domain δεν την βλέπουν.
- Μια ετικέτα μεταφέρεται/ενσωματώνεται στην επικεφαλίδα του Layer-2 του πακέτου.
- Η τιμή της ετικέτας έχει μόνο τοπική σημασία. Δηλαδή, αναφέρεται μόνο σε μετακίνηση του πακέτου μεταξύ των LSRs.
- Οι τιμές της ετικέτας εξάγονται από το κατώτερο επίπεδο, δηλαδή από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (data link layer). Στα δίκτυα ATM, τα VPIs/VCIIs μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ετικέτες.



Μορφή της Ετικέτας (Label Format)



Μια ετικέτα των 32-bit περιέχει τα παρακάτω πεδία:

- **20-bit label (0-19):** Η πραγματική ετικέτα.
- **3-bit πειραματικό (EXPerimental) πεδίο (20-22):**
Χρησιμοποιείται για τη δήλωση μιας κλάσης υπηρεσίας (π.χ. IP).
- **Βυθός-της-στοίβας (Bottom-of-stack) bit (23):** MPLS επιτρέπει την εισαγωγή πολλαπλών ετικετών. Το bit αυτό προσδιορίζει εάν η ετικέτα αυτή είναι η τελευταία ετικέτα του πακέτου.
- **8-bit Χρόνος ζωής (time-to-live) (TTL) (24-31):** Εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό με το πεδίο TTL της επικεφαλίδας IP.



Δέσιμο Ετικέτας (1/2)

Δέσιμο (Binding) είναι η διαδικασία ανάθεσης Ετικέτας σε μια FEC.

Ένα πακέτο ανατίθεται σε μια FEC σύμφωνα με την διεύθυνση προορισμού του στο επίπεδο δικτύου. Η αντίστοιχη Ετικέτα όμως, δεν είναι μια κωδικοποίηση της διεύθυνσης αυτής.

Η αποφάσεις ανάθεσης της Ετικέτας βασίζονται στα παρακάτω κριτήρια:

- Δρομολόγηση σημείου-προς-σημείο (Unicast)
- Μηχανίκευση κίνησης (Traffic engineering)
- Δρομολόγηση σημείου-προς-πολλαπλά-σημεία (Multicast)
- Ιδεατό Ιδιωτικό Δίκτυο (Virtual Private Network -VPN)
- Ποιότητα Εξυπηρέτησης (Quality-of-Service – QoS)



Δέσιμο Ετικέτας (2/2)

Ένας LSR πρέπει να μπορεί να εξασφαλίσει ότι μπορεί να ερμηνεύει μοναδικά τις ερχόμενες ετικέτες. Όταν LSR 1 μεταδίδει ένα πακέτο στον LSR 2, αυτοί συμφωνούν ότι θα χρησιμοποιείται η Ετικέτα L εάν το πακέτο ανήκει στην FEC F.

Αυτό σημαίνει ότι η L γίνεται «εξερχόμενη ετικέτα» του LSR 1 και «εισερχόμενη ετικέτα» του LSR 2. Προφανώς, και οι δύο αντιπροσωπεύουν την FEC F.

Η ετικέτα L δεν αντιπροσωπεύει αναγκαστικά όλα τα πακέτα της FEC F, αλλά μόνο αυτά που μεταφέρονται από τον LSR 1 στον LSR 2.

Ο LSR 2 δεν πρέπει να συμφωνήσει με τον LSR 3 να δέσει την L σε μια διαφορετική FEC E, εκτός και αν ο LSR 2 έχει την δυνατότητα να αναγνωρίζει αν η ετικέτα L λαμβάνεται από τον LSR 1 ή από τον LSR 3.



Χώροι Ετικέτας (Label Spaces)

Ένας LSR διακρίνει τις ακόλουθες δύο κατηγορίες για το δέσιμο FEC – Ετικέτας:

- **Ανά Πλατφόρμα** - Οι τιμές των ετικετών είναι μοναδικές κατά μήκος ολόκληρου του LSP. Οι ετικέτες που ανατίθενται, προέρχονται από μια κοινή δεξαμενή. Δύο ετικέτες που έχουν κατανεμηθεί σε διαφορετικές διεπαφές δεν πρέπει να έχουν ίδια τιμή.
- **Ανά Διεπαφή** – Σύνολα ετικετών αντιστοιχίζονται με διεπαφές. Για τις διεπαφές ορίζονται δεξαμενές πολλαπλών ετικετών. Οι τιμές των ετικετών που παρέχονται σε διαφορετικές διεπαφές μπορούν να είναι ίδιες.



Δημιουργία Ετικέτας (Label Creation)

Μέθοδος βασισμένη σε τοπολογία (Topology-based method):
χρησιμοποιεί κανονική επεξεργασία των πρωτοκόλλων
δρομολόγησης (όπως είναι OSPF και BGP).

Μέθοδος βασισμένη σε αιτήσεις (Request-based method):
χρησιμοποιεί την επεξεργασία της κίνησης ελέγχου βασισμένης σε
αιτήσεις (όπως είναι RSVP).

Μέθοδος βασισμένη σε κίνηση (Traffic-based method):
χρησιμοποιεί τη λήψη ενός πακέτου για την ανάθεση και την
κατανομή μιας ετικέτας.

Οι μέθοδοι βασισμένες σε τοπολογία και αιτήσεις είναι μέθοδοι
ελεγχόμενου δεσίματος ετικέτας και προτιμώνται λόγω των
χαρακτηριστικών προχωρημένης κλιμάκωσης (advanced scaling)
που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα MPLS.

Κατανομή Ετικετών (Label Distribution)

- BGP: Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως είναι το BGP έχουν βελτιωθεί για να μεταφέρουν (piggyback) την πληροφορία της ετικέτας μέσα στα περιεχόμενα του πρωτοκόλλου.
- RSVP: Μπορεί επίσης να υποστηρίξει το piggyback για την ανταλλαγή των ετικετών.
- LDP: Το Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικέτας (Label Distribution Protocol - LDP) έχει οριστεί για τη ρητή σηματοδότηση και διαχείριση του χώρου ετικέτας. Αυτό αντιστοιχίζει τους unicast IP προορισμούς σε ετικέτες.
- CD-LDP: Το LDP έχει επεκταθεί για να υποστηρίζει ρητή δρομολόγηση βασισμένη σε απαιτήσεις QoS και CoS (Class of Service).
- PIM: Το σχήμα Protocol-Independent Multicast χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση των ετικετών σε multicast καταστάσεις.



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, **Μιχαήλ Λογοθέτης 2015**.
«**Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Ενότητα 6: MPLS – Αρχές Λειτουργίας**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE756/index.php> .

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

