

Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

Μέρος Β΄

Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης

Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΜΕΡΟΥΣ Β

- Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών
- Μηχανισμοί Σηματοδοσίας
- Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών με Περιορισμούς
- Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων
- Traffic Engineering & MPLS
- Εγκατάσταση Σήραγγας LSP
- Στρατηγικές Προστασίας



Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών (1/4)

- Το Label Distribution Protocol (LDP) είναι ένα πρωτόκολλο για την κατανομή της πληροφορίας δεσίματος ετικετών στα LSRs σε ένα δίκτυο MPLS. Δηλαδή, με χρήση του LDP τα LSRs επικοινωνούν μεταξύ τους και δένουν τις ετικέτες στα πακέτα.
- Το LDP χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση των FECs σε ετικέτες για να δημιουργηθούν τα LSPs.
- Ανάμεσα σε ομότιμα LSR (όχι αναγκαστικά γειτονικά) εγκαθίστανται σύνοδοι LDP.

Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών (2/4)

- Καθορίζει σύνολο από διεργασίες και μηνύματα με τα οποία οι LSRs εγκαθιδρύουν LSPs
- Δύο LSR που χρησιμοποιούν LDP για να ανταλλάξουν πληροφορίες για συνδεδεμένες ετικέττες ονομάζονται ομότιμα και η σύνδεση μεταξύ τους ονομάζεται συνεδρία
- Για την εγκαθίδρυση συνεδριών χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TCP, το οποίο εγγυάται την αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων κάθε συνεδρίας
- Μηχανισμός εύρεσης ομότιμων LSRs
- Δύο μέθοδοι κατανομής ετικετών
 - Downstream Unsolicited
 - Downstream On demand

Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών (3/4)

Τα ομότιμα LDP ανταλλάσσουν τους ακόλουθους τύπους μηνυμάτων LDP:

- Μηνύματα ανακάλυψης (discovery messages): ανακοινώνουν και διατηρούν την παρουσία ενός LSR στο δίκτυο.
- Μηνύματα συνόδου (session messages): εγκαθιστούν, διατηρούν και τερματίζουν συνόδους ανάμεσα σε ομότιμους LDP.
- Μηνύματα αγγελίας (advertisement messages): δημιουργούν, τροποποιούν και διαγράφουν την αντιστοίχιση ετικετών σε FECs.
- Μηνύματα ειδοποίησης (notification messages): παρέχουν συμβουλευτικές πληροφορίες και πληροφορίες σφαλμάτων.

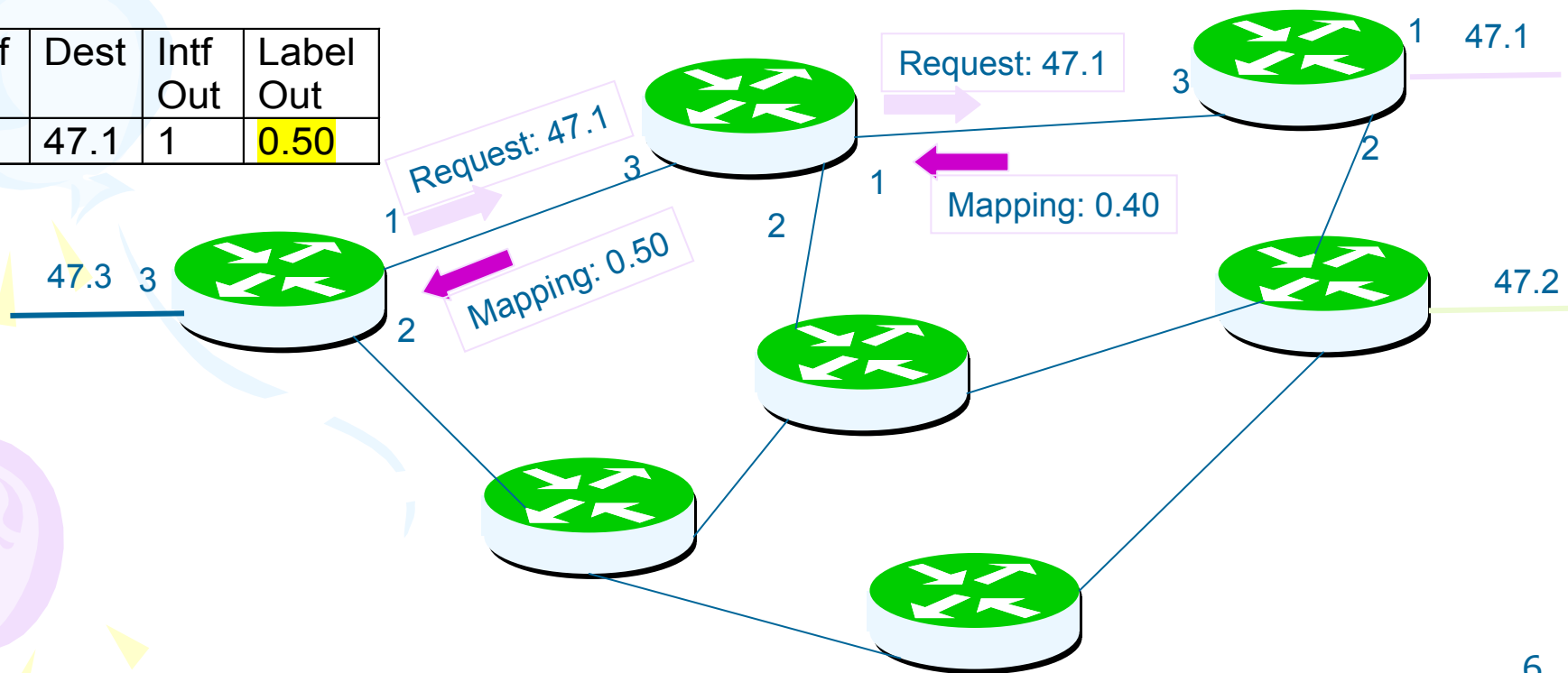
Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών (4/4)

Η Κατανομή
Ετικέτας βασίζεται
στον πίνακα
δρομολόγησης

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

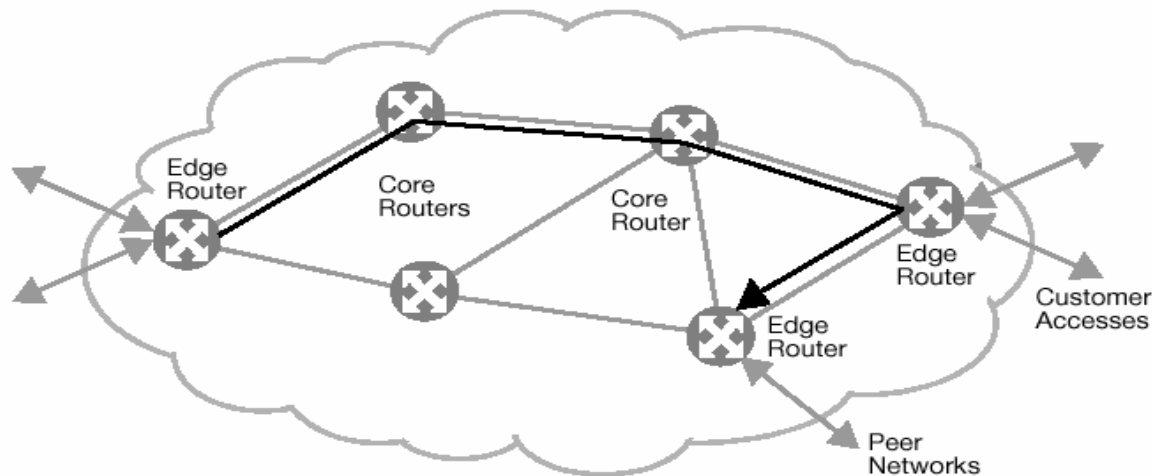
Intf In	Label In	Dest	Intf Out
3	0.40	47.1	1

Intf In	Dest	Intf Out	Label Out
3	47.1	1	0.50



Ρητές Διαδρομές (Explicit Routes)

- Συγκεκριμένη ακολουθία βημάτων από είσοδο προς έξοδο δικτύου
- Αυστηρός έλεγχος
- Κάθε διαδρομή που εγκαθίσταται στο δίκτυο γίνεται με χρήση σηματοδοσίας
- Διαδρομή: Αυστηρή / Χαλαρή
- Σκοποί:
 - Κατανομή κίνησης σε δίκτυο με πολύ κίνηση
 - Δρομολόγηση σε περίπτωση βλάβης (ή για υποστήριξη ενάντια σε βλάβες)

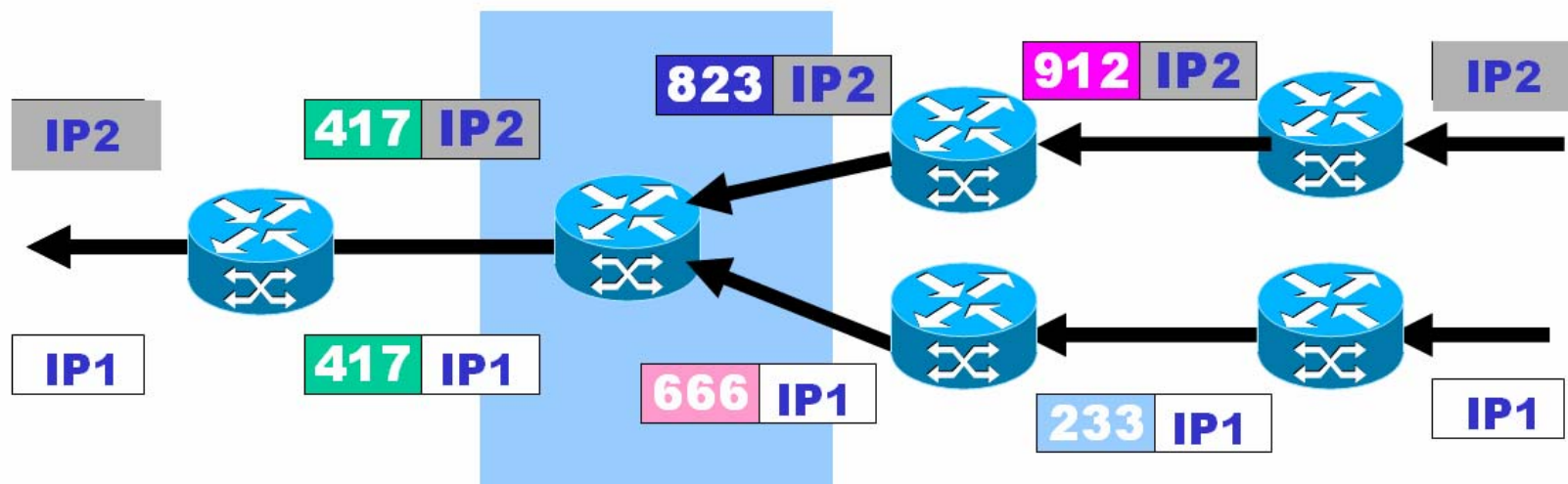




Συγχώνευση Ετικετών (1/2)

- **Συσσωμάτωση ή συγχώνευση των ροών:** Οι ροές κίνησης ερχόμενες από διαφορετικές διεπαφές μπορούν να συγχωνευτούν μαζί και να πάρουν μια κοινή ετικέτα, εάν αυτές προορίζονται προς τον ίδιο τελικό προορισμό.
- **Συγχώνευση VP/VC:** Εάν το κατώτερο επίπεδο μεταφοράς είναι ένα δίκτυο ATM network, τότε τα LSRs μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συγχώνευση του ιδεατού μονοπατιού (Virtual Path merging) ή του ιδεατού καναλιού (Virtual Channel merging). Στο σενάριο αυτό, πρέπει να βρεθεί τρόπος αποφυγής των προβλημάτων παρεμβολής κυψελών, που προκύπτουν όταν στο δίκτυο ATM συγχωνεύονται πολλαπλές ροές κίνησης .

Συγχώνευση Ετικετών (2/2)





Διατήρηση Ετικέτας (Label Retention)

Ένα δέσιμο ετικέτας, που παραλαμβάνεται από έναν LSRs και δεν αντιστοιχεί σε μια μετάβαση προς τον επόμενο κόμβο για ένα δεδομένο FEC, είτε απορρίπτεται είτε διατηρείται:

- **Συντηρητικός τρόπος (Conservative mode)** - Ένα δέσιμο ετικέτας, που παραλαμβάνεται από έναν LSRs και δεν αντιστοιχεί σε μια μετάβαση προς τον επόμενο κόμβο για ένα δεδομένο FEC, απορρίπτεται. Ο τρόπος αυτός απαιτεί από τον LSR να συντηρεί λιγότερες ετικέτες. Ο τρόπος αυτός προτείνεται για ATM-LSRs.
- **Φιλελεύθερος τρόπος (Liberal mode)** - Ένα δέσιμο ετικέτας, που παραλαμβάνεται από έναν LSRs και δεν αντιστοιχεί σε μια μετάβαση προς τον επόμενο κόμβο για ένα δεδομένο FEC, διατηρείται. Ο τρόπος αυτός επιτρέπει γρηγορότερη προσαρμογή στις αλλαγές της τοπολογίας και, αν χρειαστεί, την μεταγωγή της κίνησης σε άλλα LSPs.



Έλεγχος Ετικέτας (Label Control)

Για τον έλεγχο της κατανομής των ετικετών σε γειτονικά LSRs έχουν οριστεί δύο τρόποι:

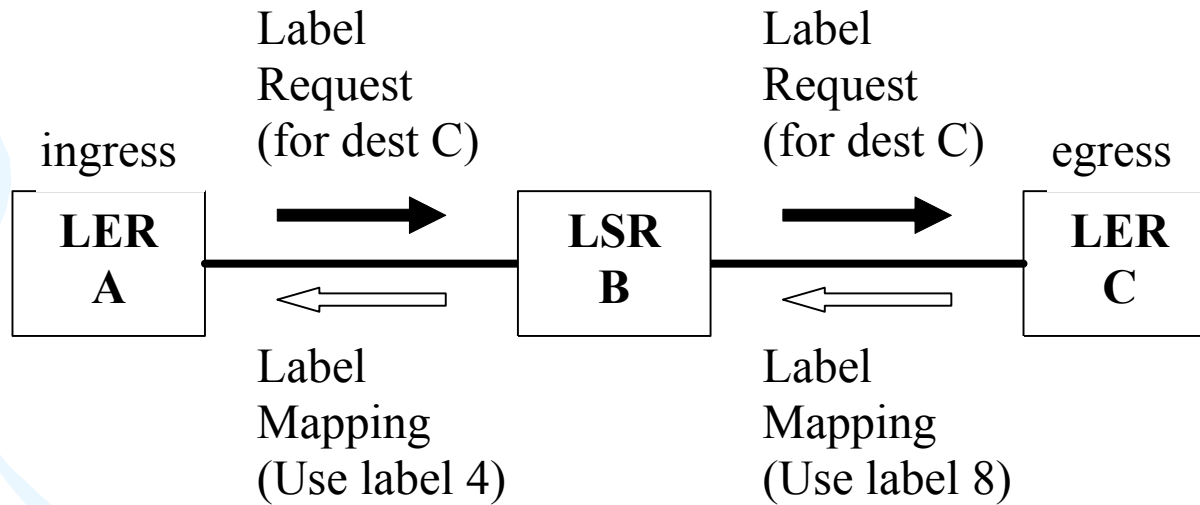
- **Ανεξάρτητος τρόπος (Independent mode)** - Ένας LSR αναγνωρίζει ένα συγκεκριμένο FEC και αποφασίζει ανεξάρτητα να δέσει την ετικέτα στην FEC και να κατανείμει το δέσιμο στους ομότιμους LSRs. Οι νέες FECs αναγνωρίζονται κάθε φορά που νέες διαδρομές γίνονται αντιληπτές από τον LSR.
- **Ταξινομημένος τρόπος (Ordered mode)** - Ένας LSR δένει μια ετικέτα σε μια συγκεκριμένη FEC εάν είναι ο δρομολογητής εξόδου (egress router) ή εάν έχει λάβει ένα δέσιμο ετικέτας για το FEC από το LSR που είναι επόμενο στο μονοπάτι. Ο τρόπος αυτός προτείνεται για ATM-LSRs.



Μηχανισμοί Σηματοδοσίας (1/2)

- **Αίτηση ετικέτας (Label request)** – Με χρήση του μηχανισμού αυτού, ένας LSR ζητάει μια ετικέτα από τον κατώτερο (downstream) γείτονα, για να την δέσει σε μια συγκεκριμένη FEC. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω στην αλυσίδα των LSRs μέχρι τον LER εξόδου (δηλ., μέχρι το σημείο όπου το πακέτο βγαίνει από το MPLS domain).
- **Προσδιορισμός ετικέτας (Label mapping)** - Ως απάντηση σε μια αίτηση ετικέτας, ένας downstream LSR θα στείλει μια ετικέτα στον upstream LSR με τη χρήση του μηχανισμού προσδιορισμού ετικέτας.

Μηχανισμοί Σηματοδοσίας (2/2)





Δρομολόγηση με περιορισμούς

- Για καλύτερη και πιο αποδοτική εκμετάλλευση των πόρων ενός δικτύου είναι επιθυμητό ένα πακέτο να περάσει από μια συγκεκριμένη διαδρομή LSP σύμφωνα με κάποια κριτήρια-περιορισμούς.
- Για να επιτευχθεί αυτό έχουν προταθεί δύο πρωτόκολλα:
 - Constraint Routed LDP, CR-LDP
Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών με Περιορισμούς
 - RSVP με επεκτάσεις, RSVP-TE
Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων με Επεκτάσεις



Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών με Περιορισμούς (1/2)

- Χρησιμοποιεί μηνύματα απλού LDP
- Εισάγει και επιπλέον δεδομένα για να καθορίζει υποχρεωτικά μονοπάτια ή άλλους περιορισμούς.
- Χρησιμοποιεί συνεδρίες TCP μεταξύ ομότιμων LSRs και στέλνει μηνύματα για κατανομή ετικέτας κατά την διάρκεια των συνόδων

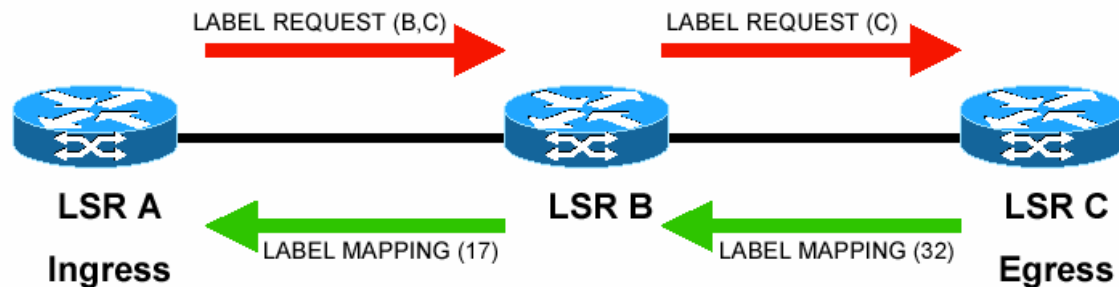


Πρωτόκολλο Κατανομής Ετικετών με Περιορισμούς (2/2)

Τα επιπλέον μηνύματα που εισάγει το CR-LDP είναι:

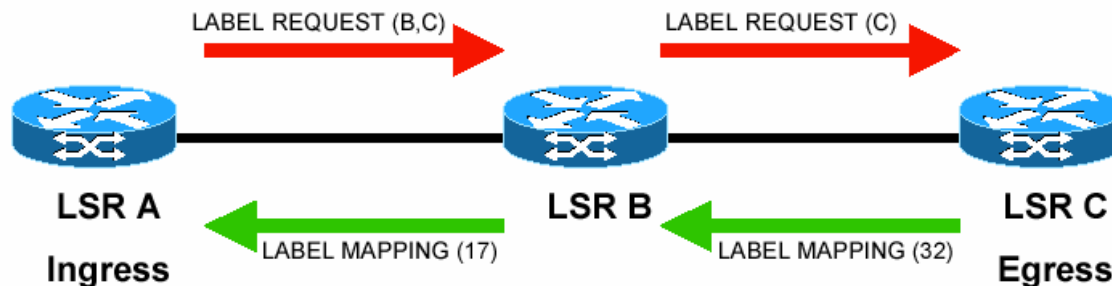
- **LSPID:** επιτρέπει τον χαρακτηρισμό μιας μοναδικής κλειστής διαδρομής (τούνελ-tunnel)
- **ER:** καθορίζει ακριβώς τον κάθε κόμβο μιας διαδρομής (στην ουσία είναι ένας αριθμός από διευθύνσεις IP που πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο)
- **Resource Class** (ή Color): περιορίζει το μονοπάτι σε κόμβους με συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας
- παράμετροι κίνησης που καθορίζουν την μεταχείριση του πακέτου και την κράτηση πόρων στο δίκτυο
 - Peak Rate, Committed rate, Excess Burst size, Variable Delay

Εγκατάσταση LSP με CR-LDP (1/2)



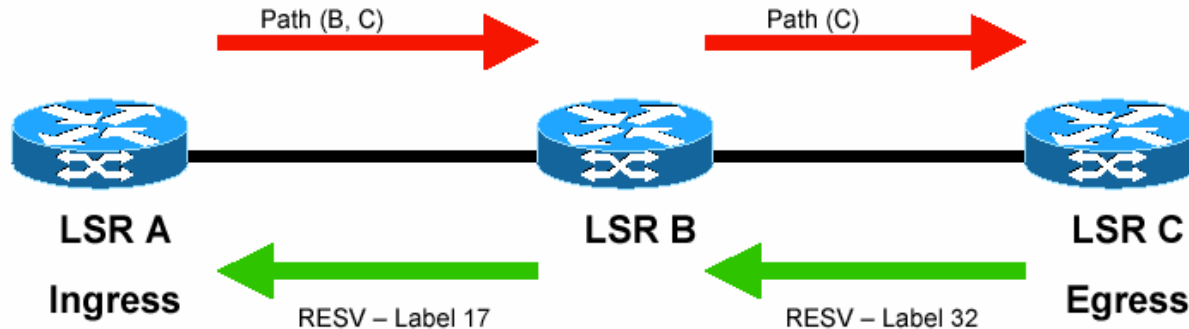
- LSP από τον LSR A στον LSR C
- Οι παράμετροι κίνησης απαιτούν το LSP να περάσει μέσω του LSR B.
- Ο LSR A στέλνει **LABEL_REQUEST** με μια συγκεκριμένη διαδρομή (B, C). Ο LSR A δεσμεύει τους πόρους που χρειάζεται για το καινούργιο LSP, και μετά προωθεί το μήνυμα στον LSR B μέσω της συνόδου TCP.
- Ο LSR B δεσμεύει τους πόρους, τροποποιεί το LABEL_REQUEST και το προωθεί στον LSR C.
- Ο LSR C διαπιστώνει ότι είναι ο κόμβος εξόδου για το νέο LSP. Εκτελεί οποιαδήποτε τελική διαπραγμάτευση για τους πόρους και δεσμεύει μια ετικέτα για το νέο LSP

Εγκατάσταση LSP με CR-LDP (2/2)



- Η ετικέτα προωθείται στον LSP B μέσω του **LABEL_MAPPING** που περιέχει τις τελικές παραμέτρους κίνησης
- Ο LSR B το αντιστοιχεί στην αρχική αίτηση, οριστικοποιεί την δέσμευση, δεσμεύοντας μια νέα τιμή ετικέτας για το LSP, ενημερώνει την LIB του και στέλνει την τιμή της ετικέτας στον LSR A μέσω ενός **LABEL_MAPPING**
- Η επεξεργασία στον LSR A είναι παρόμοια, αλλά ο LSR A δεν δεσμεύει ετικέττα ούτε προωθεί το μήνυμα σε έναν επόμενο LSR επειδή αυτός είναι ο LSR εισόδου για το νέο LSP

Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων



- Απλό RSVP: για δέσμευση πόρων.
- Δύο βασικά μηνύματα: **PATH** και **RESV**
- Λειτουργικά αντίστοιχο με LDP
- Το μήνυμα PATH επεκτείνεται με παραμέτρους:
 - LABEL_REQUEST & EXPLICIT_ROUTE
- Το μήνυμα RESV επεκτείνεται με παράμετρο:
 - LABEL_MAPPING
- Παράδειγμα: εγκατάσταση LSP από τον LSR A στον LSR C
 - Διαφορά με CR-LDP: η κράτηση πόρων γίνεται με το μήνυμα RESV

Επαναδρομολόγηση & Προστασία

Επαναδρομολόγηση LSP

- Εξασφάλιση μιας καινούργιας διαδρομής για ένα LSP μετά από γνωστοποίηση βλάβης ή αλλαγής στην τοπολογία του δικτύου.
- Μια ρητή διαδρομή μπορεί να επαναδρομολογηθεί μόνο από τον LSR εισόδου.
 - ✓ βλάβη σε κάποιο σημείο ενός LSP πρέπει να αναφερθεί σε αυτόν
 - ✓ θα καταστρέψει ολόκληρο το LSP
- Υποστηρίζεται από το CR-LDP και από το RSVP με μικρές διαφορές
 - ✓ Με RSVP: ανανέωση του Path για ένα LSP. Παλιά διαδρομή τερματίζει με time-out (μειονέκτημα: σπαταλούνται πόροι από την παλιά διαδρομή)
 - ✓ Με CR-LDP & RSVP: μέθοδος Make-before-break: η παλιά διαδρομή χρησιμοποιείται κατά την εγκατάσταση της νέας διαδρομής. Μετά ο LSR χρησιμοποιεί τη νέα διαδρομή και καταστρέφει την παλιά (πλεονέκτημα: αποφεύγεται διπλή κράτηση πόρων)

Προστασία LSP

- Προγραμματισμός εναλλακτικών διαδρομών από την αρχή με αυτόματη μεταγωγή εάν η αρχική διαδρομή καταστραφεί
 - ✓ Μεταγωγή στην νέα διαδρομή στον ελάχιστο χρόνο

Ανακεφαλαίωση των Πλεονεκτημάτων του MPLS

- Αλλάζει το μοντέλο δρομολόγησης στο IP από connectionless σε connection-oriented
- Βελτιώνει την απόδοση προώθησης πακέτων στο δίκτυο
 - Χρησιμοποιεί τεχνικές μεταγωγής επιπέδου 2
 - Είναι απλό και εύκολα υλοποιήσιμο
 - Είναι πιο γρήγορο
- Υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσίας
 - Χρησιμοποιεί τεχνικές εγκατάστασης LSP με βάση την ποιότητα υπηρεσίας
- Είναι κλιμακώσιμο (scalable)
- Συμβάλλει στη διαλειτουργικότητα δικτύων
 - Αποτελεί γέφυρα μεταξύ IP και ATM
 - Διευκολύνει την συνεργασία IP-over-SONET για την κατασκευή δικτύων οπτικής μεταγωγής
 - Διευκολύνει τη δημιουργία VPNs



Ορισμός του Traffic Engineering

Έλεγχος της ροής κίνησης μέσα στο δίκτυο με σκοπό

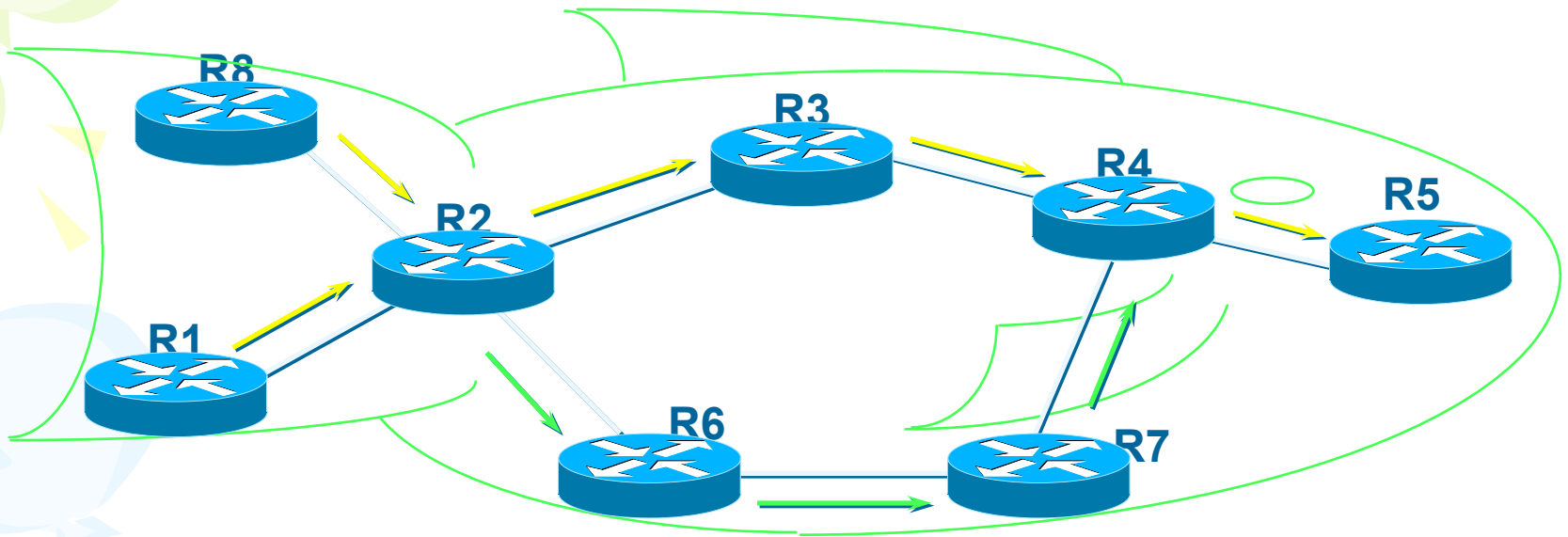
- Τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του δικτύου
- Την προσφορά καλύτερων υπηρεσιών
- Την αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με το σχεδιασμό του δικτύου

Λόγοι Χρήσης του Traffic Engineering

- Οικονομικοί – περισσότερα πακέτα, λιγότερα \$\$\$
- Ανεπάρκεια διευθύνσεων της δρομολόγησης IP
- Χρήσιμο εργαλείο για τις δικτυακές λειτουργίες
- Δρομολόγηση ανά Κατηγορία Υπηρεσίας (Class-of-Service)

**Οι εξοικονομήσεις μπορεί να είναι τεράστιες.
Μελέτες έχουν δείξει ότι το κόστος μετάδοσης
μπορεί να μειωθεί κατά 40%.**

Το «Πρόβλημα του Ψαριού»



- Το IP χρησιμοποιεί δρομολόγηση με βάση το συντομότερο μονοπάτι. Το συντομότερο μονοπάτι δεν είναι πάντα μοναδικό
- Είναι πιθανόν το συντομότερο μονοπάτι να είναι υπερφορτωμένο, όταν τα άλλα, εναλλακτικά μονοπάτια είναι άδεια.

Ανεπάρκειες στην Δρομολόγηση IP

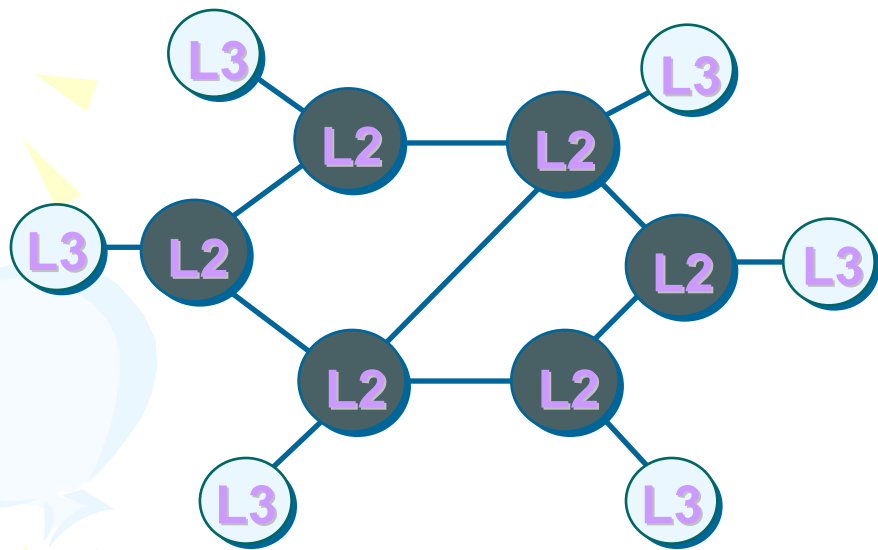
- Χρονική και τοπική συμφόρηση
- Εξισορρόπηση φορτίου
 - Σε ζεύξεις μεγάλου μήκους
- Μέγεθος των ζεύξεων
 - Είναι δύσκολο με το IP να πετύχει κανείς καλή χρησιμοποίηση ζεύξεων ανόμοιου μεγέθους, χωρίς να υπερφορτώνει τις ζεύξεις χαμηλών ταχυτήτων

Εξισορρόπηση Φορτίου

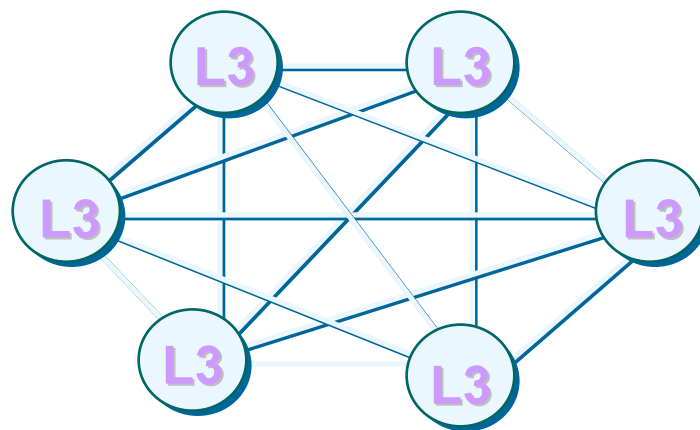


Το να προσπαθήσει κανείς να πετύχει καλή χρησιμοποίηση των μεγάλων ζεύξεων με απλή προσαρμογή των μετρικών του IGP (Interior Gateway Protocol) δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση!

Διαχωρισμός Επιπέδων



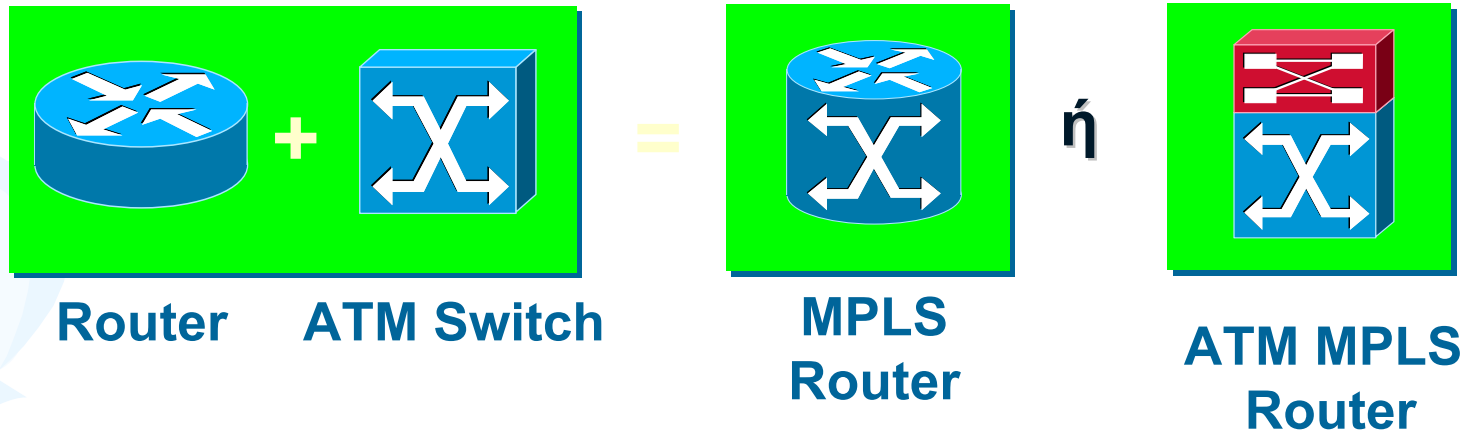
Φυσική



Λογική

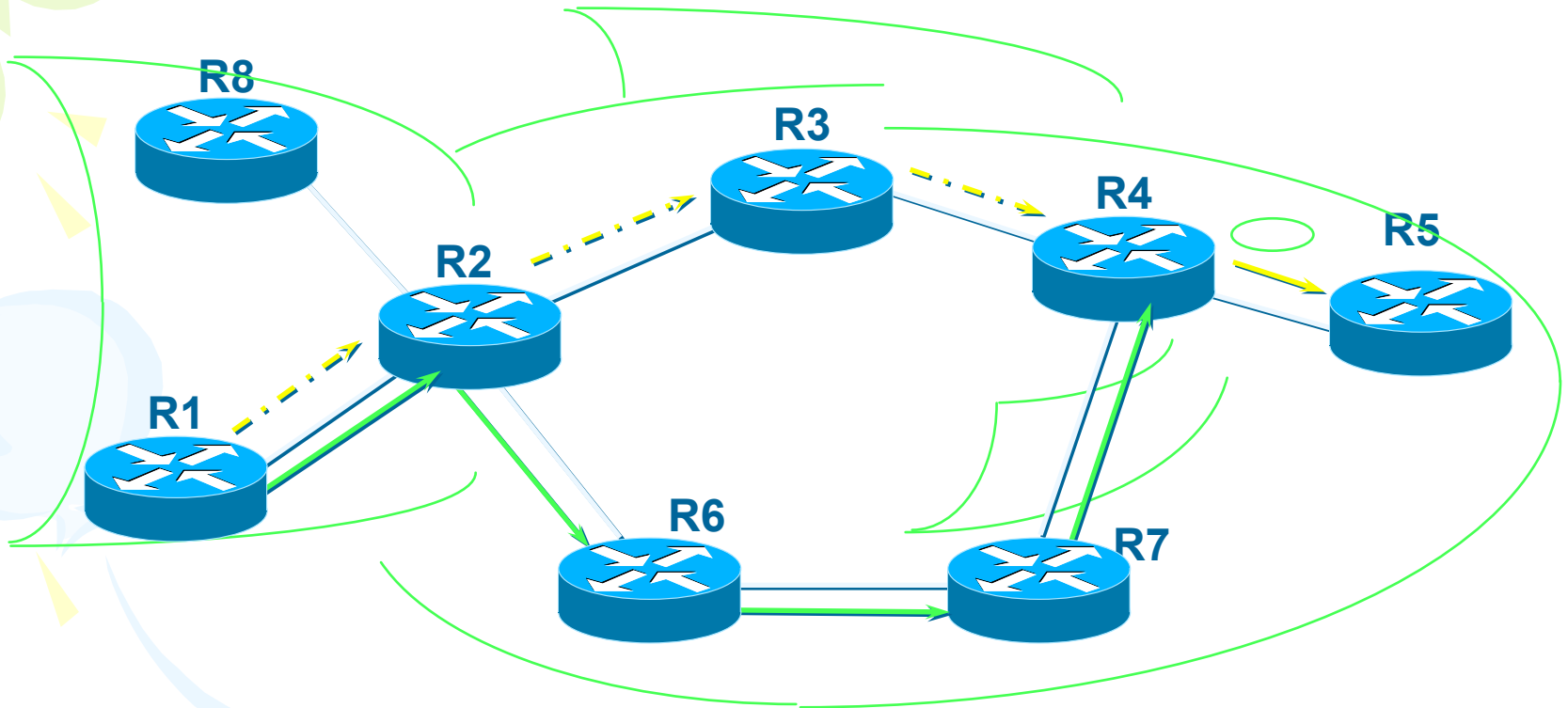
- Το Επίπεδο 2 χρησιμοποιείται για την διαχείριση του εύρους ζώνης
- Το Επίπεδο 3 βλέπει το δίκτυο σαν έναν πλήρη γράφο

Traffic Engineering & MPLS



- Το MPLS συνενώνει το Επίπεδο 2 με το Επίπεδο 3
- Οι δυνατότητες του Επιπέδου 2 στο MPLS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το IP traffic engineering

Σήραγγα LSP



Ετικέτες, όπως VCI's μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκαθίδρυση εικονικών κυκλωμάτων

————→ Κανονική διαδρομή: R1->R2->R3->R4->R5

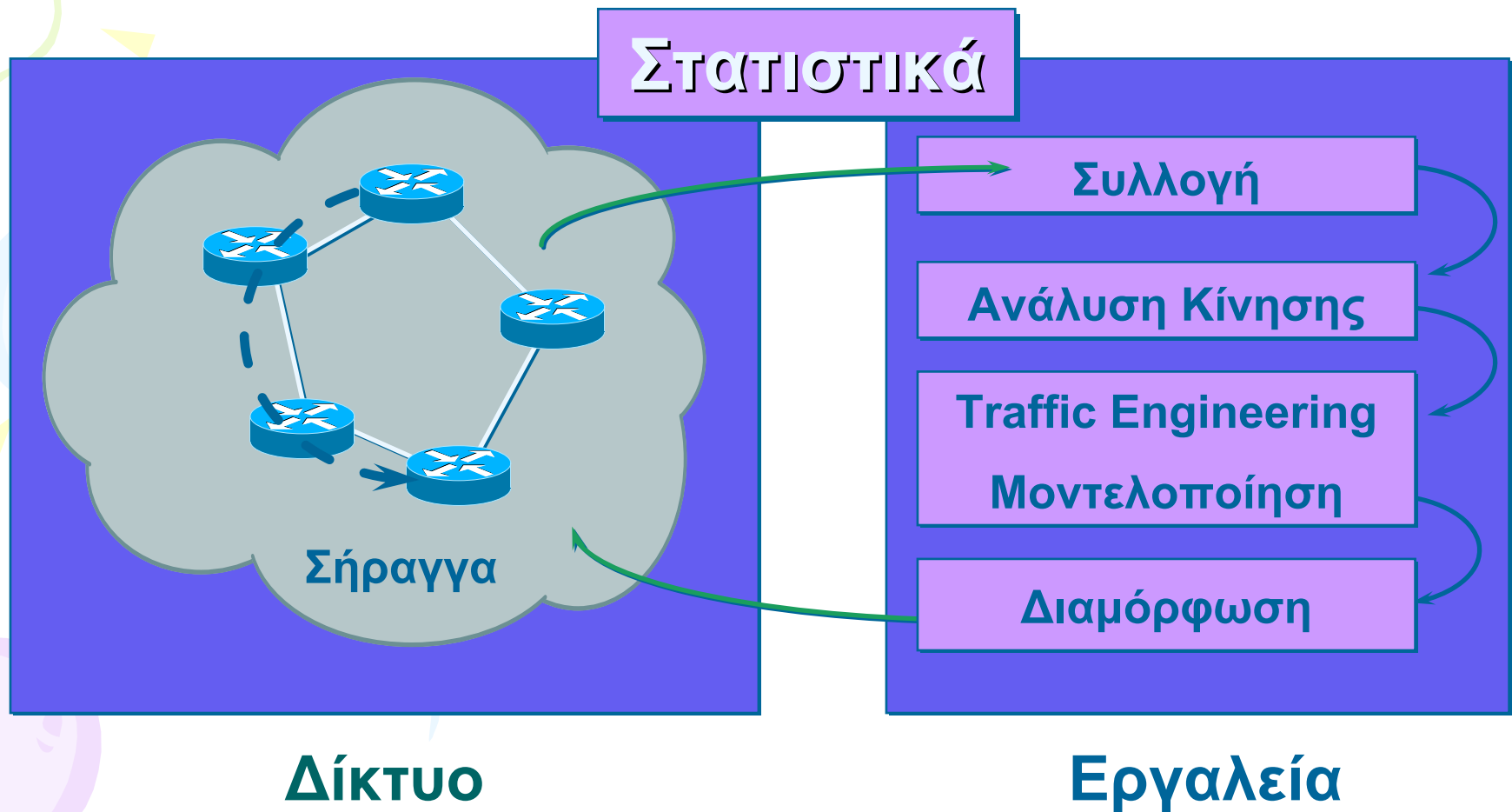
————→ Σήραγγα LSP : R1->R2->R6->R7->R4



Εκτενές Traffic Engineering

- Σχεδιασμός δικτύου
 - Κατασκευή της τοπολογίας με δεδομένη την προσφερόμενη κίνηση
- Traffic engineering
 - Χειρισμός της προσφερόμενης κίνησης με δεδομένη την τοπολογία
 - Αν δίνεται **συγκεκριμένη** τοπολογία και ένας **πίνακας κίνησης**, ποιο σύνολο ρητών διαδρομών προσφέρει καλύτερη συνολική απόδοση του δικτύου;

Εργαλεία του Traffic Engineering





Πλεονεκτήματα

- Βελτίωση της συνολικής επίδοσης του δικτύου
- Παροχή υπηρεσιών με ισχυρότερες παραμέτρους QoS
- Αντιμετώπιση τυχόν ανεπαρκειών του δικτύου καθώς και καταστάσεων βλάβης

Ως προς τους οργανισμούς παροχής υπηρεσιών και τους λειτουργούς του δικτύου:

- Οικονομικά συμφέρον
- Εργαλεία παρακολούθησης και επέμβασης στο δίκτυο
- Επιλογή οικονομικής πολιτικής βάση της προσφερόμενης υπηρεσίας.



Στρατηγικό Traffic Engineering (1/2)

- Οι ζεύξεις δεν είναι διαθέσιμες
 - Δεν υπάρχει υποδομή
 - Μεγάλες καθυστερήσεις
- Σενάρια αποτυχίας
- Μη-αναμενόμενη αύξηση του φορτίου κίνησης

Στρατηγικό Traffic Engineering (2/2)

Παράδειγμα. Μεγάλος ISP στις ΗΠΑ

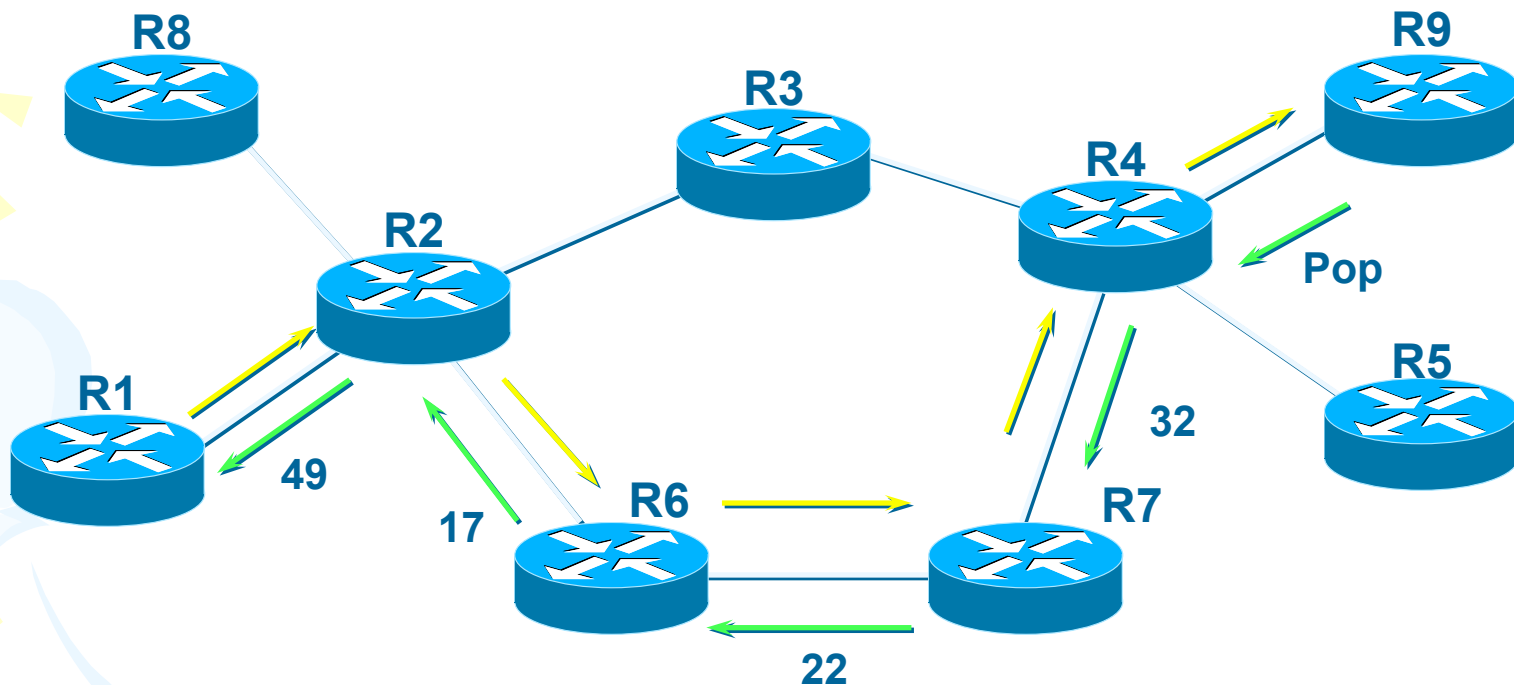
- Εμφανίζεται ένα νέο web site
 - Μέσα σε λίγες εβδομάδες γίνεται μεγαλύτερη πηγή κίνησης στο δίκτυό τους
 - Σε Ένας από τους κόμβους πρόσβασης προκαλείται μεγάλη συμφόρηση
- Όταν διαπιστώνεται το πρόβλημα
 - Εγκαθίστανται σήραγγες TE για να δρομολογούν αλλού την κίνηση που διέρχεται αλλά δεν πηγάζει και ούτε προορίζεται προς τον συγκεκριμένο κόμβο πρόσβασης
 - Το πρόβλημα της συμφόρησης επιλύθηκε πλήρως μέσα σε 5 λεπτά



Χαρακτηριστικά Σήραγγας LSP

- Εύρος ζώνης
- Προτεραιότητες Εγκατάστασης & Εξυπηρέτησης
 - Χρήση για Έλεγχο Αποδοχής
- Συγγενείς κατηγορίες κίνησης
 - Απλή πολιτική δρομολόγησης
- Επιλογές μονοπατιού
 - Επιλογή του μονοπατιού στην είσοδο

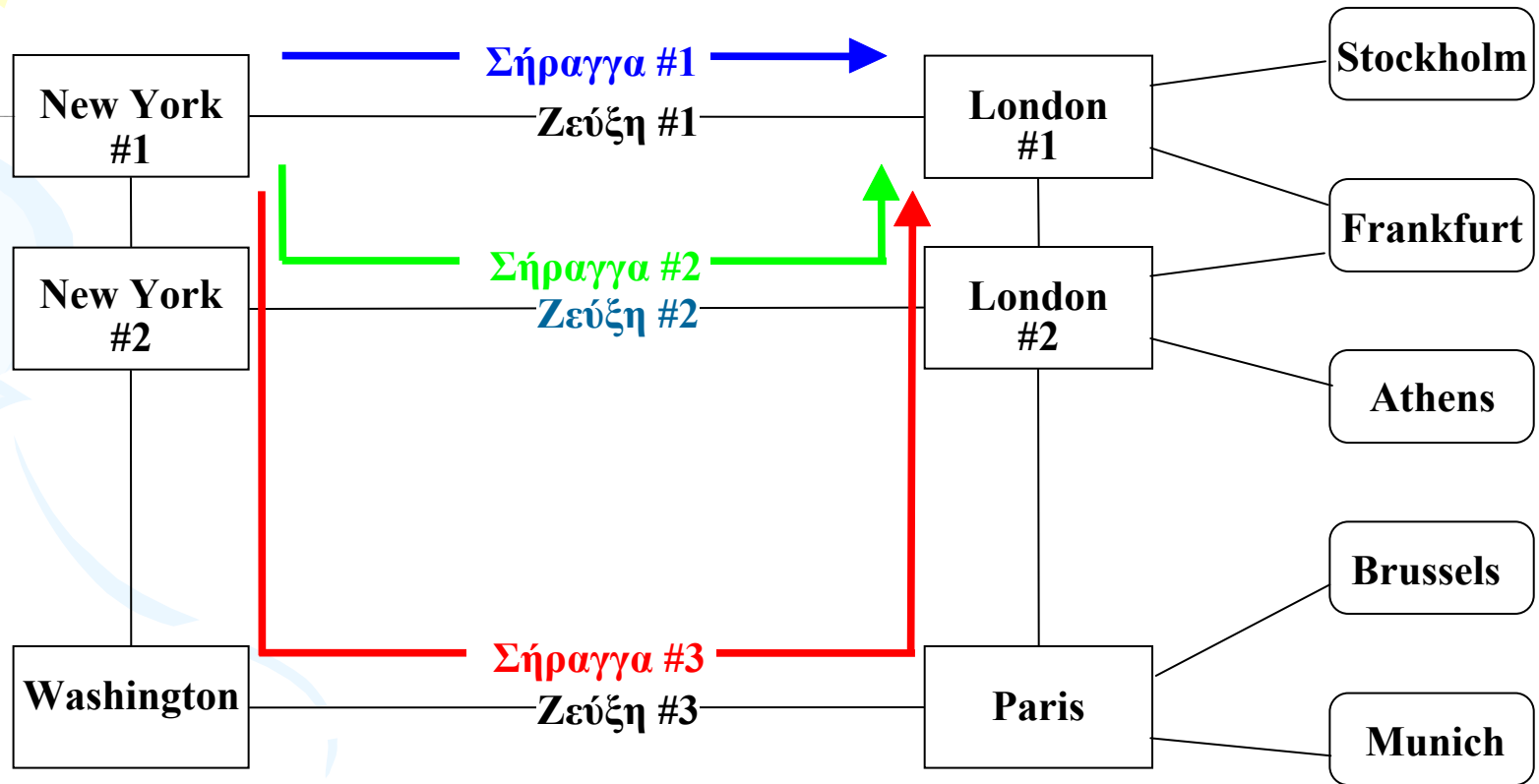
Εγκατάσταση Σήραγγας LSP



→
Εγκατάσταση Σήραγγας LSP: (R1→R2→R6→R7→R4→R9)

←
Απάντηση: Στέλνει Ετικέτες και Λειτουργίες Ετικετών
Δεσμεύει εύρος ζώνης σε κάθε ζεύξη

Αυτόματη Εξισορρόπηση Φορτίου

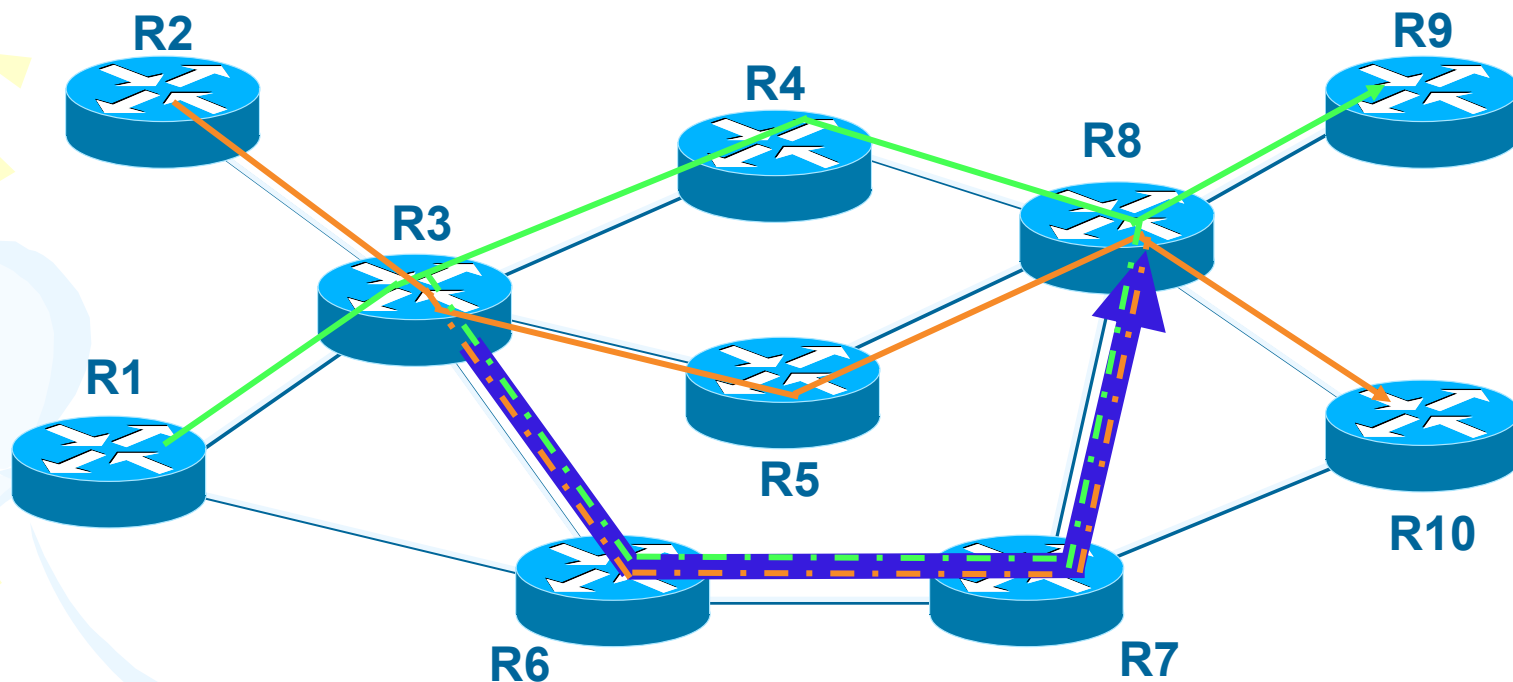




Στρατηγικές Προστασίας

- Τοπική προστασία
 - Στο σημείο βλάβης γίνεται επισκευή προκειμένου να συνεχίσουν τη λειτουργία τους οι εφαρμογές ζωτικής σημασίας
 - Γρήγορη - $O(\text{milliseconds})$
 - Σχεδόν βέλτιστη
- Προστασία μονοπατιού
 - Μια βέλτιστη επισκευή μακράς διάρκειας
 - Πιο αργή - $O(\text{seconds})$

Τοπική Προστασία μέσω της Παρακαμπτήριας Σήραγγας



Παρακαμπτήρια σήραγγα



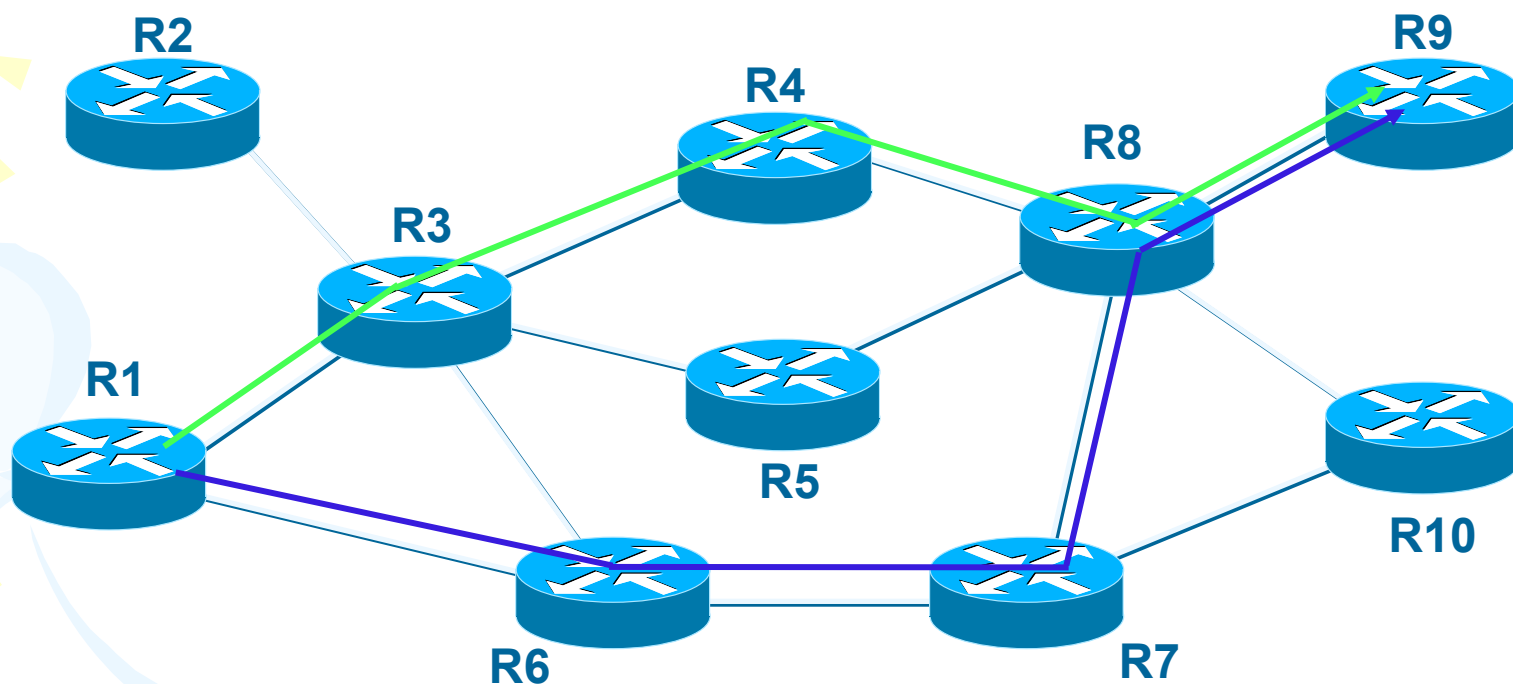
Κύριο μονοπάτι



Εφεδρικό μονοπάτι



Προστασία Μονοπατιού



Κύριο μονοπάτι

Εφεδρικό μονοπάτι

Ανακεφαλαίωση του Traffic Engineering

Το Traffic engineering παρέχει τρόπους για

- Μείωση του κόστους μετάδοσης
- Αντιμετώπιση ανεπαρκειών δρομολόγησης
- Αντιμετώπιση προβλημάτων διαχείρισης δικτύου
- Παροχή καλύτερης Ποιότητας Εξυπηρέτησης
 - Εξασφαλίζοντας την διαθεσιμότητα των πόρων
 - Ελαχιστοποιώντας τις βλάβες