

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

MPLS

(Multi Protocol Label Switching Protocol)

Εργασία του μεταπτυχιακού φοιτητή Ηλία Στραβάκου

University of Macedonia
Master in Information Systems
Networking Technologies
Professor: A.A. Economides

MPLS

(Multi Protocol Label Switching Protocol)

An overview written by Postgraduate Student: Ilias Stravakos

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το MPLS (Multiprotocol Label Switching Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο συνδυάζει την μεταγωγή με label (ετικέτα) και την παραδοσιακή δρομολόγηση του IP.

Η μεταγωγή με label επιτυγχάνεται τοποθετώντας στην αρχή κάθε πακέτου, κατά την είσοδο του στο δίκτυο MPLS, μια ετικέτα (label) και σε κάθε δρομολογητή η απόφαση για το πως θα δρομολογηθεί το πακέτο εξαρτάται μόνο από αυτό το label και όχι από την IP διεύθυνση στο header.

Οι δρομολογητές οι οποίοι χρησιμοποιούν την μεταγωγή με label ονομάζονται Label Switching Routers (LSRs).

Για την ανταλλαγή των labels μεταξύ των LSRs αναπτύχθηκε ένα νέο πρωτόκολλο γνωστό ως LDP (Label Distribution Protocol).

Η διαδικασία προώθησης σε ένα δίκτυο MPLS χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος εκτελούνται τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης και δημιουργούνται οι γνωστοί πίνακες δρομολόγησης. Στην συνέχεια, οι LSRs για κάθε εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης επικοινωνούν με τους γειτονικούς τους για την ανταλλαγή των labels τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την μεταγωγή των πακέτων.

Η διαδρομή των πακέτων σε ένα MPLS δίκτυο γίνεται διαμέσου ενός LSP (Label Swtching Path).

Ένα “LSP” μπορεί να ταυτίζεται με αυτό που προκύπτει από τα συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, αλλά μπορεί να είναι και μονοπάτι το οποίο καθορίζεται ρητά (explicit) διαμέσου μηχανισμών που υποστηρίζονται από το MPLS. Ένα explicit μονοπάτι ορίζεται ως μια ακολουθία από κόμβους, σε αντίθεση με τα μονοπάτια τα οποία καθορίζονται από τους συμβατικούς αλγορίθμους δρομολόγησης του επιπέδου 3 οι οποίοι καθορίζουν τα μονοπάτια hop by hop. Τα explicit μονοπάτια μπορεί να επιλεγούν είτε εξαρχής από τον διαχειριστή του δικτύου (manual), είτε δυναμικά.

Όσον αφορά σε θέματα Ποιότητας Υπηρεσίας ο ρόλος του MPLS είναι πρώτον να βοηθήσει κυρίως τους ISPs να προσφέρουν υπηρεσίες IP με QoS και δεύτερον να υποστηριχθούν QoS ικανότητες εντός των δικτύων των ISPs. Το πρωτόκολλο IP παρέχει δύο διαφορετικά μοντέλα QoS: Διαφοροποιημένες και Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες συνυφασμένες με το RSVP.

Η υλοποίηση MPLS VPNs σήμερα έχει βρεί λύση στην συνεργασία δύο γνωστών τεχνολογιών MPLS και BGP όπου το MPLS χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων στο δίκτυο και το BGP για την διανομή των διαδρομών (κατ'επέκταση των ετικετών).

Στα οπτικά δίκτυα, οι ετικέτες του MPLS μπορούν να παραλληλιστούν με “αναλογικά σε οπτικά” κανάλια. Οι LSRs μπορούν με τη σειρά τους να παραλληλιστούν με OXCs (δηλαδή με Optical Cross Connects, που είναι οι συσκευές οι οποίες διενεργούν τη μεταγωγή των διαφορετικών μηκών κύματος-η είσοδοι/η έξοδοι-σε ένα δίκτυο DWDM). Οι συχετισμοί αυτοί έδωσαν στην IETF το έναυσμα για τη σύνταξη και γενικοποίηση του MPLS, που στην περίπτωση του DWDM καλείται πλέον MPλS (Multi Protocol Lambda Switching).

OUTLINE

MPLS is a protocol that combines label (tag) switching with the typical IP routing procedure.

Label switching is accomplished through the injection in every packet entering the MPLS domain of a label, which in turn is the only piece of information that is being processed by the router during the process of routing, while the IP address is not taken into consideration.

The routers which implement this method are called Label Switching Routers (LSRs).

The exchange of labels between LSRs is conducted through the use of a new protocol called LDP (Label Distribution Protocol).

The forwarding procedure within an MPLS domain is divided into two distinct processes: During the first part the typical routing protocols are executed and the typical routing tables are formed. After this well-known process, the LSRs exchange messages in order to distribute and learn the labels that are going to be used for every record within the routing table.

The route of packets within an MPLS network follows an LSP (Label Switching Path).

An LSP can be the same compared with the ones formed with the help of a typical routing protocol, but it can also be explicitly imposed from an administrator of the MPLS domain. An explicit path is defined as a series of nodes, as opposed to the typical layer-3 routing protocols that form paths consisting of hop-by-hop sub-paths. An explicit path can either be created by an administrator or formed automatically during network topology startup process.

As far as Quality of Services issues are concerned the role of MPLS is firstly to help ISPs to offer IP services with QoS and secondly to enable ISPs to create and maintain IP backbones with QoS characteristics. IP itself offers two kinds of QoS services: Differentiated Services and Integrated Services, the latter tightly connected with RSVP.

The implementation of MPLS VPNs has been highly assisted by the cooperation of two protocols: BGP and MPLS itself, where MPLS is mainly responsible for the forwarding of packets and BGP is mainly responsible for the distribution of labels.

In optical networks MPLS labels can be seen as analog channels converted into optical channels. The LSRs can in turn be compared to the OXCs (Optical Cross Connects, are the devices that accomplish the switching of different lambda-n inputs/n outputs in a DWDM network). The above mentioned profound correlations have given IETF the motivation for a generalisation of MPLS, which has in turn been renamed to MPλS (Multi Protocol Lambda Switching).

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Ιστορική αναδρομή	7
1.2. Προβλήματα του παραδοσιακού IP.....	7
1.3. Λύσεις στο παραδοσιακό IP	8
2. MPLS.....	8
2.1. Λύση MPLS	8
2.2. Λειτουργία LSR.....	9
3. Προώθηση στο MPLS.....	11
4. Ανταλλαγή των Labels και Δημιουργία της LIB.....	13
4.1. Έναρξη δημιουργίας LSPs	13
4.2. Ανταλλαγή των Labels	14
4.3. Edge και core κόμβοι	16
4.4. Κατακερματισμός.....	16
4.5. Egress και Local έλεγχος	17
5. Label Stack Encoding.....	17
5.1. MPLS tunnels	18
6. Explicit δρομολόγηση – traffic engineering.....	19
6.1. Constrain-based routing	20
7. Ποιότητα υπηρεσίας στο MPLS.....	21
7.1. Διαφοροποιημένες υπηρεσίες	21
7.1.1. MPLS και Diff-Serv	22
7.2. Ολοκληρωμένες υπηρεσίες.....	23
7.2.1. Guaranteed service	23
7.2.2. Controlled-load service.....	24
7.2.3. Ολοκληρωμένες υπηρεσίες και MPLS	25
8. MPLS VPNs.....	25
8.1. Ελεγχόμενη διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης	26
8.2. Πολλαπλοί πίνακες προώθησης	27
8.3. Διευθύνσεις VPN-IP	27
8.4. Οι μηχανισμοί προώθησης του MPLS	28
9. MPLS over WDM.....	28
10. Αναφορές.....	29

Contents

1. Introduction	7
1.1. Historical Overview.....	7
1.2. Traditional IP problems	7
1.3. Traditional IP solutions	8
2. MPLS.....	8
2.1. MPLS Solution.....	8
2.2. Operation of an LSR.....	9
3. MPLS Forwarding.....	11
4. Exchange of labels and creation of LIB.....	13
4.1. Beginning of LSPs creation	13
4.2. Exchange of Labels.....	14
4.3. Edge and core nodes.....	16
4.4. Segmentation.....	16
4.5. Egress and Local control	17
5. Label Stack Encoding.....	17
5.1. MPLS tunnels	18
6. Explicit routing – traffic engineering	19
6.1. Constrain-based routing.....	20
7. Quality of Service in MPLS.....	21
7.1. Differentiated Services	21
7.1.1. MPLS and Diff-Serv.....	22
7.2. Integrated services.....	23
7.2.1. Guaranteed service	23
7.2.2. Controlled-load service.....	24
7.2.3. MPLS and Integrated Services	25
8. MPLS VPNs.....	25
8.1. Controlled distribution of routing data.....	26
8.2. Multiple forwarding tables.....	27
8.3. VPN-IP addresses	27
8.4. MPLS forwarding engines.....	28
9. MPLS over WDM	28
10. References.....	29

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ιστορική αναδρομή

Το MPLS (Multiprotocol Label Switching Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο δημιουργήθηκε από την IETF. Συνδυάζει την μεταγωγή με label και την παραδοσιακή δρομολόγηση του IP με στόχο να αυξήσει την ευελιξία και την απόδοση του πρωτοκόλλου IP και ταυτόχρονα να δώσει την δυνατότητα για την παροχή νέων υπηρεσιών στο Internet. Έτσι ενώ το MPLS συνεργάζεται με τα υφιστάμενα πρωτόκολλα επιτρέπει την μεταγωγή με κύκλωμα στο Internet.

Η μεταγωγή με label επιτυγχάνεται τοποθετώντας στην αρχή κάθε πακέτου, κατά την είσοδο του στο δίκτυο MPLS, μια ετικέτα (label) και σε κάθε δρομολογητή η απόφαση για το πως θα δρομολογηθεί το πακέτο εξαρτάται μόνο από αυτό το label και όχι από την IP διεύθυνση στο header. Η ετικέτα απομακρύνεται κατά την έξοδο του πακέτου από το δίκτυο MPLS. Οι δρομολογητές οι οποίοι χρησιμοποιούν την μεταγωγή με label ονομάζονται Label Switching Routers (LSRs).[1],[2]

1.2. Προβλήματα του παραδοσιακού IP

Μέχρι σήμερα ο παραδοσιακός τρόπος δρομολόγησης, της αποθήκευσης και προώθησης, εξυπηρετεί ικανοποιητικά τις κλασσικές εφαρμογές του IP (ftp, telnet, mail). Όμως η ραγδαία εξάπλωση του Internet και η επιθυμία για χρήση του πρωτοκόλλου IP και για άλλες πιο απαιτητικές εφαρμογές (video, audio, videoconference) έφερε στην επιφάνεια τις εγγενείς αδυναμίες του παραδοσιακού τρόπου δρομολόγησης. Αυτό συμβαίνει για τρεις κυρίως λόγους:

1. **Οι παραδοσιακοί δρομολογητές έχουν γίνει στενωποί (bottlenecks).** Το γεγονός ότι κάθε δρομολογητής παίρνει μια απόφαση δρομολόγησης ανεξάρτητα από τους άλλους δρομολογητές δημιουργεί επικάλυψη τόσο στον χρόνο όσο και στον χώρο.
 - a) Η απόφαση ενός δρομολογητή για την δρομολόγηση ενός πακέτου σε κάποιο προορισμό είναι ανεξάρτητη από την ίδια απόφαση του που θα χρειαστεί να πάρει μεταγενέστερα για κάποιο άλλο πακέτο το οποίο έχει ακριβώς τον ίδιο προορισμό. Έτσι ο δρομολογητής αυτός θα επαναλάβει ακριβώς τις ίδιες ενέργειες, σπαταλώντας τον ίδιο χρόνο, και θα καταλήξει στην ίδια απόφαση και για τα δύο πακέτα.
 - b) Οι αποφάσεις που θα πάρουν δύο ή περισσότεροι δρομολογητές οι οποίοι βρίσκονται στο ίδιο μονοπάτι που ακολουθεί κάποιο πακέτο είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους παρόλο ότι υπάρχει η προφανής αλληλοεπικάλυψη της πορείας των πακέτων. Όλοι οι δρομολογητές θα κάνουν ακριβώς τα ίδια πράγματα για να αποφασίσουν πως θα δρομολογήσουν ένα πακέτο της ίδιας ροής.[1]
2. **Οι παραδοσιακοί δρομολογητές δεν πρόσφέρουν τεχνικές traffic engineering.** Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα για ρητή (explicit) δρομολόγηση αλλά όλα τα πακέτα ακολουθούν το ίδιο μονοπάτι από την αφετηρία προς τον προορισμό μη εξετάζοντας την κατάσταση του δικτύου (φόρτος, καθυστέρηση κλπ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν κόμβοι και γραμμές του δικτύου στους οποίους υπάρχει συμφόρηση ενώ άλλοι κόμβοι και γραμμές του δικτύου να

υποχρησιμοποιούνται.

3. **Το παραδοσιακό IP δεν περιέχει αξιόλογους μηχανισμούς παροχής ποιότητας υπηρεσίας.** Αντιμετωπίζει κάθε πακέτο κατά τον ίδιο (απόλυτα δίκαιο) τρόπο με συνέπεια την ύπαρξη μιας και μόνο κλάσης υπηρεσίας τη best effort. Δεν διαθέτει έχει μηχανισμό δέσμευσης πόρων και δεν διαχωρίζει της ροές μεταξύ τους έτσι όλα τα πακέτα ανεξαρτήτως προορισμού και αφετηρίας έχουν την ίδια αντιμετώπιση. Αφού λοιπόν δεν μπορεί να εγγυηθεί καμία ποιότητα υπηρεσίας το παραδοσιακό IP δεν είναι ικανό να υποστηρίξει τις νέες υπηρεσίες (video, audio, videoconference) οι οποίες ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούνται και απαιτούν αυστηρή εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας.[1],[3]

1.3. Λύσεις στο παραδοσιακό IP

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αδυναμίας υποστήριξης των νέων υπηρεσιών πραγματικού χρόνου η IETF δημιούργησε δύο πλαίσια – επεκτάσεις (extensions) του πρωτοκόλλου IP - για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας στο Internet: το πλαίσιο των Ολοκληρωμένων υπηρεσιών και το πλαίσιο των Διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Τα πλαίσια αυτά δεν πέτυχαν ευρείας αποδοχής έως τώρα κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας και δυσκολίας υλοποίησης τους αλλά και της έλλειψης απαραίτητης διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών προϊόντων. Το κυριότερο μειονέκτημα των Διαφοροποιημένων υπηρεσιών είναι ότι δεν αντιμετωπίζουν την επικάλυψη που υπάρχει στις αποφάσεις των δρομολογητών ενώ το πλαίσιο των Ολοκληρωμένων υπηρεσιών λόγω της χρήσης του πρωτοκόλλου RSVP δημιουργεί πολύ μεγάλο φόρτο στους δρομολογητές, εξαιτίας της πολυπλοκότητας του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου.

2. MPLS

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων του παραδοσιακού IP σίγουρα δεν είναι η εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας που θα το αντικαστήσει και δεν θα λάβει υπόψη την υπάρχουσα εγκατεστημένη βάση των υπηρεσιών και εφαρμογών που χρησιμοποιούνται ευρέως. Μην ξεχνάτε για παράδειγμα το ATM δεν μπόρεσε να ανταγωνιστεί το IP παρόλο που μπορεί να παρέχει real-time υπηρεσίες, έχει μηχανισμούς traffic engineering και δεν εμφανίζει φαινόμενα αλληλοεπικάλυψης. Επομένως οποιαδήποτε νέα τεχνολογία που θα αναπτυχθεί και η οποία δεν θα υποστηρίζει τα υφιστάμενα IP πρωτόκολλα και εφαρμογές δεν θα γίνει αποδεκτή από την αγορά. Η τεχνολογία MPLS έχει αποφύγει αυτό το σκόπελο και κατάφερνει να αναπτύσσεται διατηρώντας την συμβατότητα, την συνεργασία και την υποστήριξη όλων των γνωστών πρωτοκόλλων.

2.1. Λύση MPLS

Όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω για το συμβατικό IP πηγάζουν από το γεγονός ότι:

1. οι δρομολογητές είναι stateless, κάθε δρομολογητής δεν κρατάει καμία

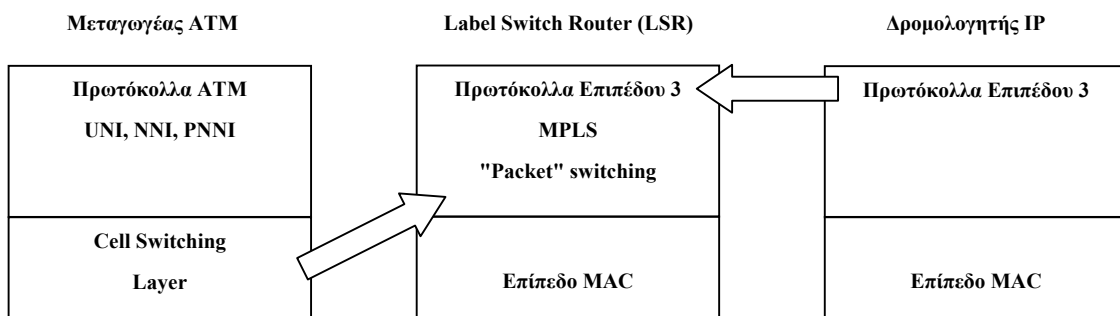
πληροφορία για τον τρόπο που δρομολογεί τα πακέτα, αφού δρομολογήσει ένα πακέτο επιστρέφει στην αρχική κατάσταση και δρομολογεί οποιοδήποτε άλλο πακέτο ανεξάρτητα.

2. δρομολογούνται πακέτα (σε αντίθεση π.χ. με το ATM όπου δρομολογούνται ροές). Πάντως τεχνολογίες όπως το flow switching και το CEF της Cisco προσομοιώνουν κάποιες από τις λειτουργίες αυτές του ATM.

Όπως έχουμε δει, σε ένα δρομολογητή κάθε πακέτο προωθείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα με μόνο κριτήριο τον προορισμό του **με μία επαναλαμβανόμενη ενέργεια για κάθε πακέτο που αποτελείται από δύο διαδικασίες την δρομολόγηση και την μεταγωγή.**

Η λύση που προσφέρει το MPLS βασίζεται στον διαχωρισμό των δύο διαδικασιών της δρομολόγησης και της μεταγωγής σε ένα δρομολογητή. Το νέο μηχανήμα ονομάζεται Label Switching Router ο οποίος κάνει την προώθηση των πακέτων βασισμένος σε ένα label το οποίο υπάρχει στην κεφαλή του πακέτου χωρίς να χρειάζεται να κάνει επιπλέον επεξεργασία του πακέτου (όπως ακριβώς γίνεται και στο ATM, όπου η δρομολόγηση γίνεται στην αρχή και φτιάχνονται τα μονοπάτια (VCs) και στην συνέχεια η μεταγωγή γίνεται μόνο με βάση ένα label, το VPI/VCI). Η διαφορά είναι ότι σε ένα LSR η μεταγωγή με label γίνεται σε επίπεδο 3 (επίπεδο δικτύου) ενώ στο ATM γίνεται στο επίπεδο 2.

Είναι δηλαδή οι LSRs δρομολογητές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MPLS και δανείζονται χαρακτηριστικά τόσο από το IP όσο και από το ATM. Συνδυάζουν τα παραδοσιακά πρωτόκολλα του IP για να φτιάξουν τους πίνακες δρομολόγησης αλλά παράλληλα χρησιμοποιούν τον τρόπο μεταγωγής που χρησιμοποιεί ένας μεταγωγέας ATM. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1. ο LSR χρησιμοποιεί τόσο τα πρωτόκολλα του IP επιπέδου όσο και το μηχανισμό cell switching ενός ATM switch.

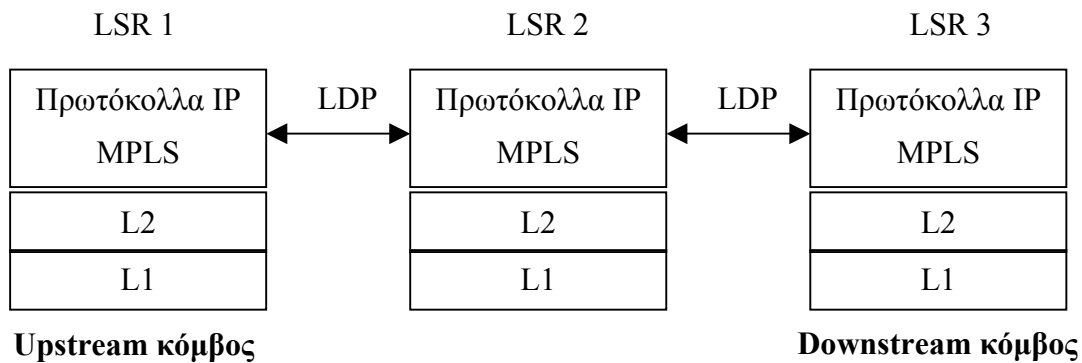


Σχήμα 1. Η λογική ενός Label Switching Router (LSR)

2.2. Λειτουργία LSR

Για την ανταλλαγή των labels μεταξύ των LSRs αναπτύχθηκε ένα νέο πρωτόκολλο γνωστό ως LDP (Label Distribution Protocol). Το LDP εφαρμόζεται μεταξύ δύο διαδοχικών LSRs όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, Σχήμα 2. όπου ο πρώτος κόμβος (LSR 1) καλείται **Upstream** γείτονας του κεντρικού κόμβου (LSR 2) ενώ ο τρίτος κόμβος (LSR 3) **Downstream** γείτονας του κεντρικού κόμβου. Γενικά σε μια

ροή πακέτων από ένα κόμβο A σε ένα κόμβο B όπου έχει γίνει δεύσμευση μιας ετικέτας E ο A καλείται Upstream και ο B Downstream κόμβος.



Σχήμα 2. Επικοινωνία μεταξύ LSRs

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 2, κάθε LSR υποστηρίζει στο επίπεδο 3 τόσο τα παραδοσιακά IP πρωτόκολλα όσο και το πρωτόκολλο MPLS. Η LDP επικοινωνία μεταξύ δύο LSR χωρίζεται σε τρεις φάσεις:

1. Αρχικά γίνεται ανίχνευση των γειτονικών LSRs, με την αποστολή 'DISCOVERY' μηνυμάτων. Μηνύματα ανταλλάσσονται επίσης περιοδικά για την συντήρηση της επικοινωνίας.
2. Ακολούθως οι γειτονικοί LSRs ανοίγουν ένα LDP session χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP, ώστε να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη παράδοση, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή των πληροφοριών μεταγωγής.
3. Τέλος ανταλλάσσονται μια σειρά από LDP μηνύματα ώστε α) να συμφωνηθούν διάφορες παράμετροι και επιλογές της επικοινωνίας και β) να διαφημιστούν οι πληροφορίες δέσμευσης μεταξύ IP διευθύνσεων και labels. Κατά αυτό τον τρόπο ένας LSR γνωρίζει τόσο με ποιά labels θα του προωθεί ο upstream κόμβος πακέτα όσο και με ποιά labels και σε ποιούς κόμβους ο ίδιος θα τα προωθεί.[1],[3],[5]

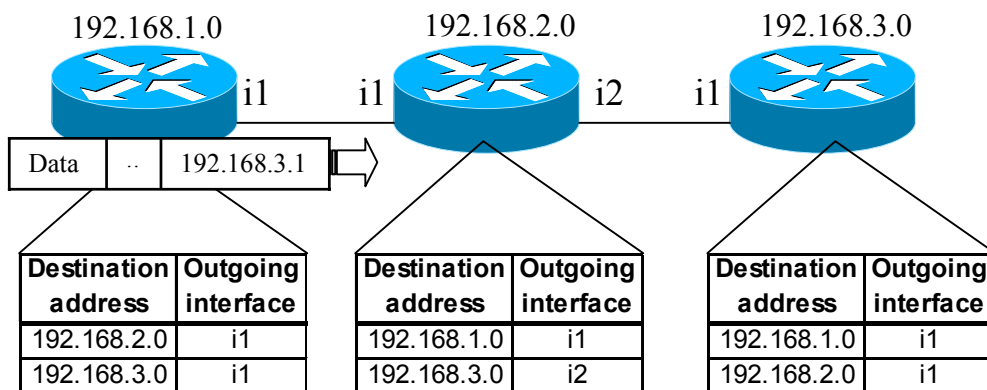
Οι LSRs έχουν δύο σημαντικές διαφορές από τους παραδοσιακούς δρομολογητές. Πρώτον η πληροφορία που ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεν αφορά μόνο την δρομολόγηση αλλά επιπλέον και πληροφορία σχετικά με τον τρόπο προώθησης των πακέτων (δηλαδή τα labels). Δεύτερον, ενώ οι παραδοσιακοί δρομολογητές εφαρμόζουν την διαδικασία μεταγωγής ξεχωριστά για κάθε πακέτο, με αποτέλεσμα να παίρνουν τις ίδιες αποφάσεις πολλές φορές, οι LSRs κάνουν μεταγωγή σε ροές (flows). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η επικάλυψη, άρα και ο απαιτούμενος χρόνος, στις αποφάσεις που παίρνονται.

Επιπλέον οι LSRs ενσωματώνουν τα πλεονεκτήματα της IP και ATM τεχνολογίας και δεν κληρονομούν τα μειονεκτήματα αυτών. Έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής από τα ATM switches γιατί δεν χρησιμοποιούν τα πολύπλοκα πρωτόκολλα σηματοδότησης και δρομολόγησης του ATM και επίσης έχουν καλύτερη απόδοση από

τους παραδοσιακούς IP δρομολογητές.

3. ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΣΤΟ MPLS

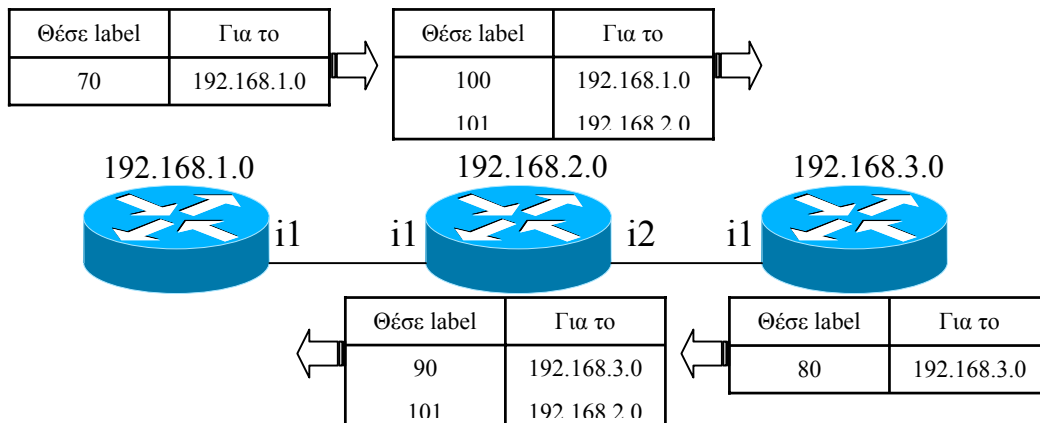
Η διαδικασία προώθησης σε ένα δίκτυο MPLS χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος εκτελούνται τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης και δημιουργούνται οι γνωστοί πίνακες δρομολόγησης. Στην συνέχεια, οι LSRs για κάθε εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης επικοινωνούν με τους γειτονικούς τους κόμβους (σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια) για την ανταλλαγή των labels τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την μεταγωγή των πακέτων.



Σχήμα 3. Η δρομολόγηση στους παραδοσιακούς IP δρομολογητές

Σύμφωνα με τον παραδοσιακό τρόπο δρομολόγησης (Βλ. Σχήμα 3.), πρώτα φτιάχνονται οι πίνακες δρομολόγησης από συγκεκριμένα πρωτόκολλα (RIP, OSPF κλπ) και στην συνέχεια τα δεδομένα αποστέλλονται σε πακέτα με την διεύθυνση προορισμού στην κεφαλή κάθε ενός από αυτά.

Στο παράδειγμα, Σχήμα 4. , ο κόμβος 192.168.1.0 ενημερώνει τον Up/Down stream κόμβο 192.168.2.0 ότι πακέτα που προορίζονται για το 192.168.1.0 να φέρουν το label 70. Ο κόμβος αυτός (192.168.2.0) με την σειρά του ενημερώνει τον Up/Down stream κόμβο 192.168.3.0 ότι πακέτα με προορισμό τα 192.168.1.0 και 192.168.2.0 να φέρουν τα labels 100 και 101 αντίστοιχα.

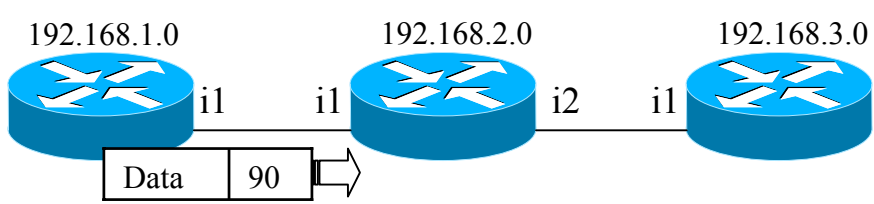


Σχήμα 4. Ανταλλαγή labels μεταξύ των LSRs (μέσω LDP)

Οι διαδρομές αυτές, γνωστές ως FECs (**Forwarding Equivalence Classes**), δημιουργούνται μόνο προς την μία κατεύθυνση. Η αντίστροφη διαδικασία, στο παράδειγμα από τον κόμβο 192.168.3.0 προς τον κόμβο 192.168.1.0, είναι απαραίτητη για ολοκλήρωση της διαδικασίας. Οι δύο κατευθύνσεις (FECs) μιας διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να διέρχονται από διαφορετικούς ενδιάμεσους κόμβους.

Όταν ο κόμβος 192.168.1.0 θέλει να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο 192.168.3.0, αυτό το πακέτο πλαισιώνεται από το MPLS σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα προώθησης (**Forwarding Information Base – FIB**). Στο παράδειγμα, Σχήμα 5. τοποθετείται το label 90 στην κεφαλή του πακέτου και προωθείται στον επόμενο κόμβο διαμέσου του interface i1. Όταν ο ενδιάμεσος κόμβος 192.168.2.0 παραλάβει ένα πακέτο με label 90 χρησιμοποιεί την τιμή του label (και μόνο αυτή) ως δείκτη στον δικό του πίνακα προώθησης για να αποφασίσει πως θα προωθήσει το πακέτο αυτό. Στη προκειμένη περίπτωση, μεταβάλλει την τιμή του label (από 90 σε 80) και προωθεί το πακέτο κατάλληλα. Στον κόμβο εξόδου, 192.168.3.0, το label απομακρύνεται και το πακέτο παραδίδεται στον προορισμό του.

Local tag	Outgoing tag	Prefix	Outgoing interface
100	70	192.168.1.0/24	i1
90	80	192.168.3.0/24	i2
101		192.168.2.0/24	



Local tag	Outgoing tag	Prefix	Outgoing interface
	90	192.168.3.0/24	i1
	101	192.168.2.0/24	i1
70		192.168.1.0/24	

Local tag	Outgoing tag	Prefix	Outgoing interface
	100	192.168.1.0/24	i1
	101	192.168.2.0/24	i1
80		192.168.3.0/24	

Σχήμα 5. Η λειτουργία προώθησης στο MPLS

Γενικά, σε κάθε πακέτο που εισέρχεται στο MPLS δίκτυο ανατίθεται ένα label (π.χ. για δρομολογητές μία σταθερού και μικρού μήκους τιμή μεγέθους 32bits) το οποίο τοποθετείται στην κεφαλή του πακέτου. Η ανάθεση γίνεται στον κόμβο εισόδου του δικτύου. Στην συνέχεια το πακέτο προωθείται στον επόμενο κόμβο μαζί με την ετικέτα αυτή. Σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο γίνεται επεξεργασία μόνο της ετικέτας του πακέτου (σε επίπεδο δικτύου) με τρόπο ώστε η ετικέτα να χρησιμοποιείται ως δείκτης μέσα στον πίνακα μεταγωγής (**Label Information Base –LIB**). Στο πίνακα αυτό κάθε πλειάδα έχει την μορφή <ετικέτα εισόδου, διεπαφή εισόδου, διεπαφή εξόδου, ετικέτα εξόδου>. Η παλιά ετικέτα αντικαθίσταται από μία νέα ετικέτα και προωθείται στον επόμενο κόμβο. Στους κλασικούς IP δρομολογητές η κεφαλή του πακέτου υφίσταται επεξεργασία σε επίπεδο δικτύου όχι μόνο για να προωθηθεί το πακέτο στον επόμενο κόμβο αλλά και για να καθοριστεί η κλάση υπηρεσίας στην οποία ανήκει το πακέτο αυτό (π.χ. στα Integrated και Differentiated Services). Το MPLS επιτρέπει

την μεταφορά όλης αυτής της πληροφορίας στην ετικέτα (αφού τα χαρακτηριστικά της κλάσης και οι διαδρομές έχουν εξαρχής προκαθοριστεί, όπως ισοδύναμα συμβαίνει στα δίκτυα ATM) και έτσι δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία η κεφαλή του πακέτου σε επίπεδο 3.

Η παρουσία μιας LIB σε κάθε κόμβο επιτρέπει την δημιουργία **ιδεατών** μονοπατιών από κάθε κόμβο προς οποιοδήποτε άλλον κόμβο. Ένα τέτοιο μονοπάτι είναι μια ακολουθία από labels η οποία ξεκινάει από ένα LSR εισόδου και τελειώνει σε ένα LSR εξόδου. Τα LSPs μοιάζουν πολύ με τα μονής κατεύθυνσης VP/VCs του ATM. Η αντιστοίχιση μεταξύ ενός παραδοσιακού πίνακα δρομολόγησης και μιας LIB είναι της μορφής «ένα προς πολλά» αφού σε κάθε κόμβο μπορούμε να δεσμεύσουμε πολλά labels για τον ίδιο προορισμό όχι όμως το ίδιο label για διαφορετικούς προορισμούς. Μια εγγραφή στην LIB αντιστοιχεί σε μία και μόνο μια εγγραφή του παραδοσιακού πίνακα δρομολόγησης έτσι εξασφαλίζεται η μοναδικότητα ενός label για κάθε προορισμό πράγμα απαραίτητο αφού πλέον η δρομολόγηση γίνεται αποκλειστικά με βάση τα labels.

Το γεγονός ότι σε κάθε πακέτο που μπαίνει στο δίκτυο ανατίθεται μια ετικέτα επιτρέπει την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής τεχνικής προώθησης. Επιπλέον ο διαχωρισμός, μέσω του MPLS, των λειτουργιών της μεταγωγής και της δρομολόγησης δίνει την δυνατότητα να υποστηριχθούν διαφορετικές πολιτικές δρομολόγησης οι οποίες θα ήταν δύσκολο ή αδύνατον να εφαρμοστούν στα συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης τα οποία κάνουν την προώθηση των πακέτων σε επίπεδο δικτύου (χωρίς να διαχωρίζουν την δρομολόγηση από την προώθηση, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εναλλακτική δρομολόγηση).

Ένα άλλο πλεονέκτημα, στην περίπτωση του MPLS over ATM, του διαχωρισμού της λειτουργίας της δρομολόγησης από την λειτουργία της μεταγωγής είναι ότι μας επιτρέπει να εφαρμόσουμε την λειτουργία της προώθησης σε επίπεδο 2, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική βελτίωση των επιδόσεων.[1]

4. ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ LABELS ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ LIB

4.1. Έναρξη δημιουργίας LSPs

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές τεχνικές για την **έναρξη** της λειτουργίας κατασκευής LSPs ή αλλιώς για την ανταλλαγή labels μεταξύ των LSRs:

Τεχνική data-driven. Η ανταλλαγή των labels και η δημιουργία των LSPs προκαλείται από την έναρξη της ροής πακέτων μέσα στο δίκτυο. Αφού ολοκληρωθεί το μονοπάτι (LSP) ακολουθεί η προώθηση των πακέτων.

Τεχνική topology-driven. Η ανταλλαγή των labels και η δημιουργία των LSPs αρχίζει αυτόματα μετά την ολοκλήρωση της τοπολογίας του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο τα LSPs δημιουργούνται εξαρχής και παραμένουν μέχρι να αλλάξει η τοπολογία του δικτύου.

Τεχνική request-driven. Η ανταλλαγή των labels και η δημιουργία των LSPs πραγματοποιείται μετά από ρητή εντολή του χρήστη.

Ένα μειονέκτημα των τεχνικών data-driven και request-driven είναι ότι ο χρόνος για

την εγκαθίδρυση του LSP εμφανίζεται ως καθυστέρηση πριν από την έναρξη της αποστολής των πακέτων σε αντίθεση με την topology-driven τεχνική όπου τα LSPs προϋπάρχουν. Η καθυστέρηση αυτή είναι αρκετά ενοχλητική κυρίως για ροές μικρής διάρκειας εξαιτίας του χρόνου που χρειάζεται για την δημιουργία των LSPs. Συνήθως ο χρόνος που θα χρειαστεί για την μεταφορά των πακέτων θα είναι περίπου ο ίδιος που θα ήταν και στο παραδοσιακό IP.

Μειονέκτημα της τεχνικής topology-driven είναι ότι χρησιμοποιούνται περισσότερα labels, αφού εξ αρχής κατασκευάζονται όλες οι πιθανές διαδρομές [π.χ. στην υλοποίηση του MPLS από την Cisco έχουμε δει την topology-driven μέθοδο].

4.2. Ανταλλαγή των Labels

Στη προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν οι πιθανοί τρόποι έναρξης της δημιουργίας των LSPs, **το πότε**. Ο τρόπος λειτουργίας ανταλλαγής των labels πρέπει να καθοριστεί επίσης, **το πως**. Υπάρχουν πέντε μέθοδοι ανταλλαγής των labels μεταξύ των LSRs:

Downstream allocation. Ο Downstream κόμβος δεσμεύει ένα label και στην συνέχεια ενημερώνει τον Upstream κόμβο για την δέσμευση αυτή καθώς και την πληροφορία για τον τύπο δέσμευσης προορισμού. Ο τύπος αυτός καθορίζει αν η δέσμευση του label αντιστοιχεί για παράδειγμα απλά σε κάποιον προορισμό ή σε ένα ζεύγος αφετηρίας – προορισμού. Ο Upstream κόμβος δεσμεύει το δικό του label για αυτόν τον τύπο προορισμού και ενημερώνει με την σειρά του τον δικό του Upstream κόμβο [π.χ. στην υλοποίηση του MPLS από την Cisco σε δρομολογητές έχουμε δει *downstream allocation*].

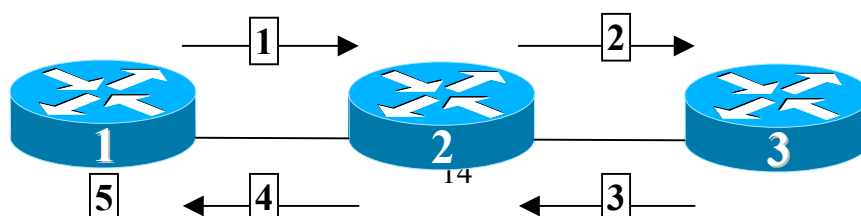
Downstream-on-demand allocation. Ο Upstream κόμβος ζητά από τον Downstream κόμβο να του δεσμεύσει ένα label για κάποιο τύπο προορισμού. Ο Downstream κόμβο προωθεί το μήνυμα στον δικό του Downstream κόμβο. Όταν το μήνυμα φτάσει στον προορισμό ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία η οποία είναι όμοια με την Downstream allocation.

Upstream allocation. Ο Upstream κόμβος δεσμεύει ένα label για κάποιο τύπο προορισμού και στην συνέχεια το στέλνει στον Downstream κόμβο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το μήνυμα να φτάσει στον Downstream κόμβο προορισμό.

Upstream-on-demand allocation. Ο Downstream κόμβος ζητάει από τον Upstream κόμβο να δεσμεύσει ένα label για κάποιο προορισμό και ακολουθείται η διαδικασία της μεθόδου Upstream allocation.

Implicit Upstream allocation. Το πρώτο πακέτο της κάθε ροής μεταφέρει το label το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από τα υπόλοιπα πακέτα της ροής.

Στο Σχήμα 6. παρουσιάζεται ενδεικτικά η ανταλλαγή των labels όταν χρησιμοποιείται η τεχνική Downstream-on-demand allocation.



Σχήμα 6. *Downstream-on-demand allocation*

1. Ο Upstream κόμβος (κόμβος 1) ζητά από τον Downstream (κόμβος 2) να δεσμεύσει ένα label (για κάποιο τύπο προορισμού).
2. Ο Downstream κόμβος (κόμβος 2) ζητά από τον δικό του Downstream (κόμβος 3) να δεσμεύσει ένα label για τον ίδιο τύπο προορισμού.
3. Ο κόμβος 3 (ως προορισμός) δεσμεύει ένα label, ενημερώνει την LIB του και μεταβιβάζει το label στον Upstream κόμβο 2.
4. Ο κόμβος 2 ενημερώνει την LIB του, δεσμεύει και στέλνει ένα label στον Upstream κόμβο (κόμβο 1).
5. Ο κόμβος 1 ενημερώνει την LIB του.

Είναι φανερό ότι η επιλογή της τεχνικής έναρξης δημιουργίας LSPs περιορίζει τις μεθόδους ανταλλαγής των labels, και αντίστροφα. Για παράδειγμα αν επιλέξουμε την data-driven δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την downstream allocation αφού το LSP δημιουργείται όταν αρχίσει η ροή των δεδομένων (από την αφετηρία – upstream κόμβο). Όμοια όταν χρησιμοποιούμε την topology driven δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την implicit upstream allocation για προφανή λόγο.

Στον παρακάτω πίνακα, Πίνακας 1, παρουσιάζονται οι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί μεταξύ των τρόπων ανταλλαγής των labels και των μεθόδων έναρξη της δημιουργίας των LSPs.

	Upstream allocation	Upstream-on-demand allocation	Downstream allocation	Downstream-on-demand allocation	Implicit upstream
Topology driven	X	X	X		
Data driven	X			X	X
Request driven	X	X	X	X	X

Πίνακας 1. Αντιστοίχιση μεθόδων ανταλλαγής των labels με μεθόδους δημιουργίας LSPs

4.3. Edge και core κόμβοι

Υπάρχουν δύο είδη κόμβων (LSRs) σε ένα MPLS δίκτυο οι **edge** και οι **core** κόμβοι. Οι edge κόμβοι βρίσκονται στις άκρες του δικτύου και είναι υπεύθυνοι να προσθέτουν και να αφαιρούν labels από τα πακέτα που μπαίνουν στο δίκτυο ή βγαίνουν από αυτό. Επίσης μία πολύ σημαντική λειτουργία είναι να αποφασίζουν για την κατηγορία υπηρεσίας στην οποία ανήκουν τα εισερχόμενα πακέτα. Στο Σχήμα 6. οι κόμβος 1 και 2 είναι ένας edge κόμβος ενώ ο κόμβος 2 core. Η λειτουργία των core κόμβων περιορίζεται στη μεταγωγή των πακέτων με βάση την ετικέτα που αυτά φέρουν.

Ένας κόμβος μπορεί να είναι edge και core ταυτόχρονα. Για παράδειγμα ένας edge κόμβος, σημείο έναρξης ή τερματισμού ενός LSP, μπορεί να είναι παράλληλα core κόμβος σε κάποιο LSP και να κάνει μεταγωγή για τα πακέτα που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο μονοπάτι. Το πιο σημαντικό είναι η διάκριση των λειτουργιών του κόμβου για κάθε LSP και όχι η κατάταξη των κόμβων ενός δικτύου σε μια από τις δύο κατηγορίες.

4.4. Κατακερματισμός

Σε μια σύνδεση του επιπέδου μεταφοράς μια ροή χαρακτηρίζεται από την τετράδα <διεύθυνση αφετηρίας, πόρτα αφετηρίας, διεύθυνση προορισμού, πόρτα προορισμού>. Αν για κάθε τέτοια πιθανή τετράδα δεσμεύεται ένα διαφορετικό label τότε χρειάζεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός labels, κυρίως στα μεγάλα δίκτυα των ISPs. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εξάντληση του αριθμού των διαθέσιμων labels, αφού χρησιμοποιείται ένα πεδίο σταθερού μήκους 32 bits, εκ των οποίων μόνο τα 20 bits είναι αφιερωμένα για την διάκριση των labels, Σχήμα 7.

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι η δέσμευση ενός label για κάθε δυάδα <διεύθυνση αφετηρίας, διεύθυνση προορισμού>. Δηλαδή όλες οι ροές οι οποίες έχουν την ίδια αφετηρία και τον ίδιο προορισμό θα δρομολογούνται μέσα από το ίδιο μονοπάτι (LSP). Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται μία συνάθροιση (aggregation) των ροών που έχουν την ίδια <διεύθυνση αφετηρίας, διεύθυνση προορισμού>. Ανάλογα με τον βαθμό ενοποίησης (ή συνάθροισης) που έχει επιλεγεί καθορίζεται και ο βαθμός κατακερματισμού (granularity) των labels.

Είναι δυνατόν να γίνει ακόμη μεγαλύτερη συνάθροιση ροών, συνεπώς οικονομία labels, με την δέσμευση ενός label για κάθε προορισμό. Σε αυτήν την περίπτωση όλα τα πακέτα που έχουν ως προορισμό κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση θα έχουν το ίδιο label.

Το μειονέκτημα της ενοποίησης των ροών είναι ότι δεν μπορεί να υποστηριχθεί ποιότητα υπηρεσίας για την κάθε ροή ξεχωριστά, ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο για την παροχή αυστηρής ποιότητας υπηρεσίας.

Επιπλέον, σε κάθε μορφή συνάθροισης που επιλέγεται θα πρέπει να είναι ικανός ο προορισμός να διαχωρίζει τις διαφορετικές ροές που έχουν ενοποιηθεί. Γι' αυτόν τον λόγο είναι πολύ σημαντικό όλοι οι κόμβοι του δικτύου να έχουν επιλέξει τον ίδιο τρόπο ενοποίησης / συνάθροισης για τα LSPs. Γι αυτό μεταξύ των κόμβων αφετηρίας και προορισμού θα πρέπει να υπάρχει απόλυτη συμφωνία ως προς την επιλογή του βαθμού συνάθροισης των ροών διαφορετικά ο προορισμός δεν θα είναι ικανός να διαχωρίσει τις διαφορετικές ροές.

4.5. Egress και Local έλεγχος

Υπάρχουν δύο είδη ελέγχου για τη δημιουργία των LSPs ο egress και ο local. Ένας κόμβος ονομάζεται egress κόμβος όταν είναι edge κόμβος και επιπλέον είναι ο κόμβος ο οποίος θα παραδώσει τα πακέτα στο προορισμό (κόμβος εξόδου από το MPLS δίκτυο). Ο όρος έλεγχος της δημιουργίας των LSPs αναφέρεται στους κόμβους που μπορούν να ξεκινήσουν την δημιουργία LSPs:

Στον egress control μόνο οι κόμβοι εξόδου μπορούν να ξεκινήσουν την διαδικασία δημιουργίας LSPs. Οι core κόμβοι περιμένουν από τον downstream γείτονα τους να ξεκινήσει την διαδικασία. Φανταστείτε μια “φυσαλίδα” πληροφορίας από τον προορισμό προς την αφετηρία η οποία δημιουργεί το μονοπάτι.

Στον local control κάθε κόμβος μπορεί να ξεκινήσει από μόνος του την δημιουργία ενός LSP. Η απόφαση ενός κόμβου να δημιουργήσει ένα LSP διανέμεται σε όλο το δίκτυο MPLS.

Η δεύτερη μέθοδος είναι σαφώς γρηγορότερη από την πρώτη αλλά υπάρχει κίνδυνος να αποφασίσουν δύο κόμβοι να φτιάξουν ταυτόχρονα το ίδιο μονοπάτι χρησιμοποιώντας διαφορετικό τύπο προορισμού (για παράδειγμα ο ένας να δεσμεύει label για κάθε <προορισμό> και ο άλλος να δεσμεύει label για κάθε ζεύγος <αφετηρία, προορισμός>). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα η διαγραφή από τον upstream LSR του label που έχει δεσμευτεί και η αίτηση του για ένα νέο label, δυστυχώς όμως αυξάνεται η πολυπλοκότητα του μηχανισμού και γενικά δεν επιλέγεται ως μέθοδος ελέγχου.

Γενικά, σε μία υλοποίηση του πρωτοκόλλου MPLS πρέπει να επιλέγονται επακριβώς

1. Η μέθοδος ελέγχου δημιουργίας των LSPs egress ή local control
2. Η μέθοδος έναρξης δημιουργίας των LSPs (βλέπε §4.1).
3. Ο τρόπος ανταλλαγής των labels (βλέπε §4.2).

Για παράδειγμα, μια υλοποίηση μπορεί να επιλέξει 1) egress control, 2) topology-driven και 3) downstream-allocation. Σε αυτήν την περίπτωση αμέσως μετά την ανίχνευση των κόμβων του δικτύου και τη δημιουργία των πινάκων δρομολόγησης από τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης (και φυσικά πριν από την έναρξη κυκλοφορίας στο δίκτυο) οι MPLS κόμβοι εξόδου αρχίζουν την διαδικασία ορισμού των LSPs (ανταλλαγή labels). Ο κάθε κόμβος δεσμεύει για κάθε τύπο προορισμού ένα label και το στέλνει στο Upstream γείτονα του ο οποίος με την σειρά του το προωθεί στον επόμενο.

5. LABEL STACK ENCODING

Μία στοιβία ετικετών (label stack) είναι μια ακολουθία από ετικέτες (labels) που τοποθετούνται σε παράθεση μετά το data link layer header, αλλά πριν από το network layer header. Στο Σχήμα 7. παρουσιάζεται η γενική μορφή μίας ετικέτας για χρήση από δρομολογητές (υπενθυμίζω για ATM χρησιμοποιείται το VPI/VCI)

Label (20 bits)	Exp (3 bits)	S (1 bit)	TTL (8 bits)
------------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------

Σχήμα 7. Η μορφή συγκρότησης ενός label

Κάθε ετικέτα περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

Bottom of Stack (S). Η τιμή του πεδίου τίθεται σε τιμή 1 για την ετικέτα που βρίσκεται στη βάση της στοίβας.

Time to Live (TTL). Συνήθως χρησιμοποιείται κατά ισοδύναμο τρόπο όπως το αντίστοιχο πεδίο του IP header. Κατά την εισαγωγή του πακέτου στο δίκτυο αντιγράφεται εδώ η τιμή IP TTL. Δέχεται την ανάλογη επεξεργασία σε κάθε κόμβο και τέλος κατά την έξοδο του από το δίκτυο MPLS αντιγράφεται πίσω στο IP TTL.

Experimental Use (Exp). Για πειραματική χρήση. Μία πιθανή εφαρμογή είναι για την διάκριση 8 διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσίας.

Label Value (Label). Ουσιαστικά πρόκειται για την «πραγματική» τιμή της ετικέτας.

Ορισμένες τιμές ετικέτας (Label Value) έχουν δεσμευτεί για ειδικούς λόγους όπως για παράδειγμα η τιμή μηδέν (0) που έχει νόημα μόνο στη βάση της στοίβας και δηλώνει το “IPv4 Explicit NULL Label”. Ότι δηλαδή η ετικέτα πρέπει να αφαιρεθεί και η προώθηση του πακέτου να γίνει με βάση τη διεύθυνση στο IPv4 header.

Ένας LSR διαβάζοντας μία ετικέτα, πάντα αυτήν την κορυφή της στοίβας, μαθαίνει Που θα προωθήσει το πακέτο (next hop).

Την λειτουργία που θα εκτελέσει πριν από την προώθηση του, μία από τις ακόλουθες:

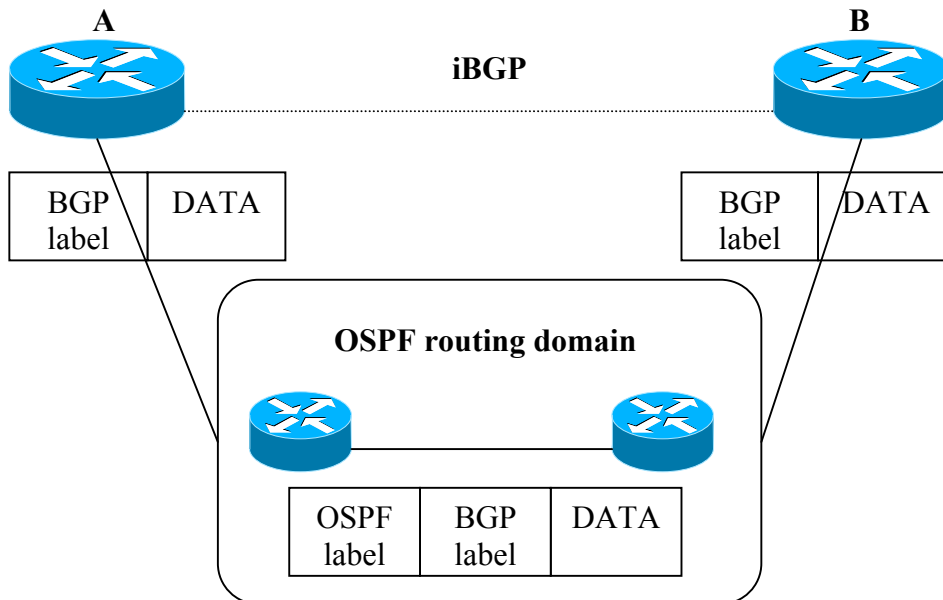
1. Να αντικαταστήσει την ετικέτα στην κορυφή της στοίβας με μια άλλη, ή
2. Να αφαιρέσει την ετικέτα της κορυφής από την στοίβα, ή
3. Να αντικαταστήσει την ετικέτα της κορυφής με κάποια άλλη και να προσθέσει μία ή περισσότερες ετικέτες στη στοίβα.

5.1. MPLS tunnels

Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον αποτέλεσμα της τεχνικής στοίβας ετικετών είναι η δημιουργία tunnels κατά τρόπο όμοιο των γνωστών tunnels που δημιουργούνται μέσω network layer encapsulation. Εδώ το tunnel υλοποιείται ως ένα LSP μεταγωγής με ετικέτα. Είναι επίσης σημαντικό να πούμε ότι τα LSP tunnels μπορούν να οργανωθούν σε ιεραρχίες, όπου κάθε ιεραρχία αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο της στοίβας ετικετών. Ως ένα παράδειγμα μιας ιδιαίτερα χρήσιμης εφαρμογής των MPLS tunnels είναι τα IP-VPNs.

Για παράδειγμα έστω ένα δίκτυο όπου οι εσωτερικοί δρομολογητές εντός του domain τρέχουν OSPF και γνωρίζουν μόνο πως να φτάσουν σε προορισμούς εντός του OSPF

domain. Το domain αυτό μπορεί να έχει αρκετούς AS δρομολογητές (Autonomous System Border Routers - ASBRs) που μεταξύ τους να μιλούν BGP (iBGP). Έστω επίσης ότι το BGP δεν διανέμεται στο OSPF και οι LSRs που δεν είναι στα άκρα δεν τρέχουν BGP.



Σχήμα 8. Labelled tunnel

Μεταξύ των ακραίων δρομολογητών (ASBRs) χρησιμοποιείται μια επέκταση του BGP-4 για την ανταλλαγή ετικετών μεταξύ των γειτονικών (ως προς το BGP) δρομολογητών. Στο εσωτερικό δίκτυο την ανταλλαγή των ετικετών αναλαμβάνει το LDP.

Έστω ένα IP πακέτο χωρίς ετικέτα φτάνει στον κόμβο A, αυτός προσθέτει στη στοίβα μία ετικέτα, αυτή έχει νοήμα μόνο για τον γειτονικό του (ως προς BGP) κόμβο B, θυμηθείτε ότι η ανταλλαγή των ετικετών εδώ έγινε μέσω του BGP.

Όταν το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο OSPF, ο κόμβος εισόδου του OSPF δικτύου προσθέτει μία ακόμη ετικέτα στη στοίβα, ένα OSPF label. Στην συνέχεια το προωθεί στο επόμενο κόμβο. Όταν το πακέτο φτάσει στο κόμβο εξόδου του OSPF δικτύου, αυτός θα αφαιρέσει το OSPF label από τη στοίβα και θα προωθήσει το πακέτο στον κόμβο B ο οποίος και θα δει το BGP label.[1]

6. EXPLICIT ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ – TRAFFIC ENGINEERING

Ένα “MPLS μονοπάτι - LSP” μπορεί να ταυτίζεται με αυτό που προκύπτει από τα συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, αλλά μπορεί να είναι και μονοπάτι το οποίο καθορίζεται ρητά (explicit) διαμέσου μηχανισμών που υποστηρίζονται από το MPLS. Ένα explicit μονοπάτι ορίζεται ως μια ακολουθία από κόμβους, σε αντίθεση με τα μονοπάτια τα οποία καθορίζονται από τους συμβατικούς αλγορίθμους δρομολόγησης του επιπέδου 3 οι οποίοι καθορίζουν τα μονοπάτια hop by hop. Το σημαντικό με το MPLS είναι ότι χρησιμοποιεί τόσο τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης του

IP όσο και την explicit (ρητή) δρομολόγηση.

Για τον ορισμό ενός explicit μονοπατιού έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες επεκτάσεις σε δύο γνωστά πρωτόκολλα, το RSVP και το CR-LDP.

Στην περίπτωση του RSVP γίνεται επέκταση των PATH μηνυμάτων μέσα στα οποία προστίθεται η λίστα με τους κόμβους από τους οποίους πρέπει να περνάει το μονοπάτι. Όταν ένας κόμβος παραλάβει αυτό το PATH μήνυμα αφαιρεί τον εαυτό του από την λίστα και αφού προσθέσει μια εγγραφή στην LIB του το προωθεί στο επόμενο κόμβο.

Στην περίπτωση του CR-LDP γίνεται προσθήκη ενός επιπλέον αντικείμενου «explicit route object» στα μηνύματα του LDP που περιέχει την ακολουθία από τους κόμβους από τους οποίους θα πρέπει περάσει το μονοπάτι.

Σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητο όλοι οι LSR να υποστηρίζουν το ίδιο πρωτόκολλο είτε RSVP ή CR-LDP. Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι τα explicit μονοπάτια μπορεί να φέρουν και πληροφορία QoS. Αυτό επιτρέπει την παροχή ποιότητα υπηρεσίας στο MPLS.

Ένα explicit μονοπάτι καθορίζεται την στιγμή που γίνεται η ανάθεση των labels και δεν χρειάζεται να επανακαθορίζεται για κάθε IP πακέτο ξεχωριστά. Η ικανότητα για δημιουργία explicit μονοπατιών είναι ένα πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό του MPLS γιατί επιτρέπει στους διαχειριστές του δικτύου να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται η κυκλοφορία μέσα στο δίκτυο. Όταν ένα πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο, το μονοπάτι από το οποίο θα περάσει, η ποιότητα υπηρεσία και ο τρόπος που προωθείται είναι ήδη πλήρως καθορισμένα.

Τα explicit μονοπάτια μπορεί να επιλεγούν είτε εξ αρχής από τον διαχειριστή του δικτύου (manual) είτε δυναμικά. Ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να ορίσει για τον ίδιο τύπο προορισμού πολλά μονοπάτια. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός ο οποίος θα καθορίζει για κάθε πακέτο πιο μονοπάτι αυτό θα ακολουθήσει. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται **constrain-based-routing**. Για αυτόν τον μηχανισμό έχουν γίνει πολλές προτάσεις από την IETF και από ερευνητές.[1]

6.1. Constrain-based routing

Οι συνήθεις αλγόριθμοι δρομολόγησης σκοπεύουν στο να βρουν ένα μονοπάτι το οποίο βελτιστοποιεί ένα συγκεκριμένο μετρήσιμο μέγεθος (π.χ. το RIP βελτιστοποιεί τον αριθμό των κόμβων). Οι constrain-based routing αλγόριθμοι σκοπεύουν στο να βρουν ένα μονοπάτι το οποίο βελτιστοποιεί ένα συγκεκριμένο μετρήσιμο μέγεθος και ταυτόχρονα δεν παραβιάζεται ένα σύνολο από περιορισμούς. Μερικά παραδείγματα τύπων τέτοιων περιορισμών είναι:

- Περιορισμοί απόδοσης (ελάχιστο διαθέσιμο bandwidth μεταξύ δύο κόμβων)
- Περιορισμοί διαχείρισης (ο διαχειριστής αποκλείει ή επιβάλλει την διέλευση από κάποιους κόμβους σε ένα μονοπάτι)
- Συνδυασμός περιορισμών απόδοσης & διαχείρισης

7. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ MPLS

Μια σύγκριση που συνήθως υπάρχει σχετικά με το MPLS και την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) είναι ότι η προώθηση του πρώτου οδηγείται κυρίως από το δεύτερο. Σε σύγκριση με τους άλλους παράγοντες όπως IP VPNs και Traffic Engineering η ποιότητα υπηρεσίας δεν έχει καθοριστικό βάρος στην απόφαση υλοποίησης του MPLS. Η περισσότερη δουλειά στο χώρο γίνεται κυρίως στο πλαίσιο υποστήριξης υφιστάμενων χαρακτηριστικών ή/και τεχνικών για IP QoS σε ένα δίκτυο που τυγχάνει να είναι MPLS. Σκεφτείτε ακόμη ότι το MPLS δεν είναι ένα end-to-end πρωτόκολλο σε αντίθεση με το IP όπου και η ποιότητα υπηρεσίας έχει νόημα.

Συνεπώς ο ρόλος του MPLS είναι πρώτο να βοηθήσει κυρίως τους ISPs να προσφέρουν υπηρεσίες IP με QoS και δεύτερο να υποστηριχθούν QoS ικανότητες εντός των δικτύων των ISPs έστω και αν δεν είναι end-to-end (LSPs με εγγύηση ποιότητας).

Το πρωτόκολλο IP παρέχει δύο διαφορετικά μοντέλα QoS: Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Differentiated Services) και Ολοκληρωμένες Υπηρεσίες (Integrated Services) συνυφασμένες με το RSVP.

7.1. Διαφοροποιημένες υπηρεσίες

Το πλαίσιο των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services) υποστηρίζει ένα διακριτό μοντέλο για διαχωρισμό των υπηρεσιών, δηλαδή έχουμε ένα πεπερασμένο σύνολο από κατηγορίες υπηρεσιών. Τα διάφορα πακέτα κατηγοριοποιούνται και μαρκάρονται κατάλληλα στις άκρες του δικτύου με την χρήση του πεδίου DSCP (Differentiated Services Code Point), αποτελεί ένα 6-bits τμήμα του γνωστού ToS. Στην συνέχεια ανάλογα με το μαρκάρισμα τα πακέτα έχουν διαφορετική αντιμετώπιση (παροχή QoS) στο δίκτυο.

Το πεδίο DSCP προσδιορίζει μία “per-hop behavior” (PHB) σε ένα κόμβο. Μία PHB είναι μια καλά ορισμένη συμπεριφορά που εφαρμόζεται στα πακέτα. Συνεπώς τα 6 bits του DSCP ενός πακέτου επιλέγουν μοναδικά μία εκ των 64 πιθανών PHBs. Υπάρχουν ορισμένες τυποποιήσεις PHBs όπως:

Default: Καμία ειδική μεταχείριση, ισοδυναμεί με best effort.

Expedited forwarding (EF). Πακέτα μαρκαρισμένα ως EF προωθούνται με ελάχιστη καθυστέρηση και υπόκεινται σε χαμηλή απώλεια.

Assured forwarding (AF). Εδώ ορίζεται ένα σύνολο από AF PHBs ως $\{AF_{xy}\}$, όπου η τιμή x αναφέρεται ως AS class και συνήθως επιλέγει κάποια ουρά για το πακέτο, ενώ η τιμή y προσδιορίζει το drop preference του πακέτου. Για παράδειγμα πακέτα που μαρκάρονται με A11, A12 και A13 εξυπηρετούνται από την ίδια ουρά αλλά τα A13 θα απορριφθούν πρώτα (πριν από τα A11, A12) σε καταστάσεις συμφόρησης. Συνιστάται ο αριθμός των διαφορετικών AF PHBs να είναι 12 οργανωμένος σε 4 κλάσεις ($x=1,2,3,4$) με τρία επίπεδα drop preference σε κάθε μία.

Ένα μειονέκτημα των διαφοροποιημένων υπηρεσιών είναι ότι δεν έχουν πρωτόκολλο για δέσμευση πόρων. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να παρέχουν αυστηρή εγγύηση όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας. Απλώς τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες έχουν διαφορετική μεταχείριση. Πιο συγκεκριμένα οι πόροι του δικτύου κατανομούνται στις διάφορες κλάσεις υπηρεσίας (CoSs) και τα πακέτα της κάθε μίας από αυτές χρησιμοποιούν τους πόρους της συγκεκριμένης κλάσης. Αν δεν υπάρχουν

διαθέσιμοι πόροι τότε δεν θα εξυπηρετηθεί το πακέτο. Αν δεν υπάρχουν άλλα πακέτα που να ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία τότε το συγκεκριμένο πακέτο θα πάρει όλους τους πόρους.

7.1.1. MPLS και Diff-Serv

Το σημαντικό για την υποστήριξη των διαφοροποιημένων υπηρεσιών σε ένα δίκτυο MPLS είναι να εξασφαλιστεί πως πακέτα μαρκαρισμένα με πεδία DSCP θα απολαμβάνουν την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) σε κάθε LSR στο δίκτυο. Η δυσκολία έγκυται στο ότι η πληροφορία DSCP μεταφέρεται στη κεφαλή του IP πακέτου και ως γνωστόν δεν εξετάζεται από έναν LSR όταν προωθούνται τα πακέτα. Συνεπώς η πληροφορία αυτή πρέπει να γνωστοποιηθεί στο LSR διαμέσου της ετικέτας με κάποια μέθοδο. Παρακάτω αναφέρονται σε συντομία οι δύο εναλλακτικοί τρόποι για να γίνει η μεταφορά της πληροφορίας στο label.

7.1.1.1. E-LSP

Ο πιο απλός είναι η αντιγραφή μέρους του πεδίου DSCP στο πεδίο Exp, βλέπε Σχήμα 7. Θυμηθείτε ότι το πεδίο Exp έχει μέγεθος 3 bits και άρα μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο 8 από τις 64 ενδεχόμενες κατηγορίες υπηρεσίας στο DSCP. Σε αυτή την περίπτωση οι διαφορετικές κλάσεις υπηρεσίας διέρχονται από το ίδιο LSP και το πεδίο Exp προσδιορίζει ποιά PHB θα εφαρμοστεί στο πακέτο. Ουσιαστικά η ετικέτα (πεδίο Label) λέει σε ένα LSR που να προωθήσει το πακέτο και το πεδίο Exp ποιός PHB θα το χειριστεί. Τα LSPs που έχουν στηθεί υπό αυτές τις συνθήκες καλούνται E-LSPs, όπου το E προέρχεται από το Exp.

7.1.1.2. L-LSP

Ο δεύτερος τρόπος καλύπτει α) την περίπτωση που θέλουμε να υλοποιήσουμε πέραν των 8 διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσίας και β) είδη συνδέσμων όπου δεν εμφανίζεται το πεδίο Exp στο label, όπως οι σύνδεμοι ATM.

Αυτό που χρειάζεται είναι μια σχετική επέκταση των μηχανισμών διανομής των ετικετών ώστε μια ετικέτα να καθορίζει τόσο κάποιο LSP όσο και κάποιο PHB. Για παράδειγμα στο LDP το μήνυμα αίτησης ενός label περιλαμβάνει εκτός από το prefix και το PHB (<prefix, PHB>). Έτσι ένα LSP προσδιορίζεται εκτός από το label και από ένα PHB. Στη περίπτωση που η κίνηση χαρακτηρίζεται ως AF, θυμηθείτε ότι οργανώνεται ένα σύνολο AF PHBs {AFxy}, το LSP μπορεί να μεταφέρει ένα AF class (τιμή x) αλλά να τι γίνεται με τα διαφορετικά επίπεδα drop preference; Η επιλογή του επιπέδου drop preference (τιμή y) γίνεται με τη χρήση του πεδίου Exp έτσι ώστε τελικά σε κάθε LSP να μπορεί να αντιστοιχηθεί σε μία AFxy κλάση (2 –3 διαφορετικοί PHBs).

Τα LSPs που έχουν στηθεί υπό αυτές τις συνθήκες καλούνται L-LSPs, όπου το L προέρχεται από το Label.

Στην περίπτωση που υπάρχει MPLS πάνω από ATM η υποστήριξη διαφοροποιημένων υπηρεσιών θα πρέπει να κάνει αντιστοίχιση των κλάσεων υπηρεσίας στις κλάσεις υπηρεσίας του ATM. Οι διαφοροποιημένες υπηρεσιών αντιστοιχούν κυρίως στις κλάσεις υπηρεσίας ABR και nrt-VBR του ATM. Αυτό είναι λογικό γιατί στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες δεν υπάρχει αυστηρή εγγύση της

υπηρεσίας, π.χ. την καθυστέρηση που θα έχουν τα πακέτα του. Για την υποστήριξη κίνησης AF και διαχωρισμού των επιπέδων drop preference (τιμή y) χρησιμοποιείται το πεδίο CLP του ATM header για να προσδιορίσει όμως δύο μόνο επίπεδα.

7.1.1.3. Σύγκριση E-LSP και L-LSP

E-LSP	L-LSP
Το PHB προσδιορίζεται από το πεδίο Exp	Το PHB προσδιορίζεται από την ετικέτα μετά την ολοκλήρωση των LSP και το πεδίο Exp/CLP
Δεν απαιτείται κάποια τροποποίηση των μηχανισμών δέσμευσης ετικετών	Απαιτεί επέκταση των μηχανισμών δέσμευσης ετικετών ώστε να γίνει η σήμανση του κατά την εγκαθίδρυση
Συγκροτείται μία αντιστοίχιση Exp -> PHB	Η αντιστοίχιση Label -> PHB γίνεται μέσω σήμανσης Επιπλέον αντιστοίχιση Exp/CLP -> PHB για AF
Απαιτείται ετικέτα της μορφής 'shim' (Σχήμα 7.), δεν έχει δηλαδή εφαρμογή σε ATM, Frame Relay	Είναι κατάλληλο για όλους τους τύπους
Επιτρέπει μέχρι οκτώ PHBs σε κάθε LSP	Ένας PHB για κάθε LSP, για κίνηση AF 2-3 διαφορετικοί PHBs σε ένα LSP.

Πίνακας 2. Σύγκριση E-LSP και L-LSP

7.2. Ολοκληρωμένες υπηρεσίες

Το πλαίσιο για τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες (Integrated Services) είναι στενά συνδεδεμένο με τον ορισμό νέων κλάσεων υπηρεσιών και με την δέσμευση πόρων. Στις ολοκληρωμένες υπηρεσίες υπάρχουν δύο κατηγορίες υπηρεσιών επιπλέον της best-effort, αυτές είναι οι Guaranteed και Controlled-load.

Επειδή οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες κάνουν δέσμευση πόρων χρειάζονται κάποιο signaling πρωτόκολλο, αυτό είναι σήμερα το RSVP.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι σε κάθε μία από τις πρόσθετες δύο κατηγορίες των ολοκληρωμένων υπηρεσιών μπορούν να οριστούν άπειρες υπηρεσίες (π.χ. Guaranteed 5Mbps και end-to-end delay 2ms ή Guaranteed 5Mbps και end-to-end delay 10ms). Δηλαδή ο κατακερματισμός (granularity) των δύο αυτών κατηγοριών είναι θεωρητικά άπειρος.

7.2.1. Guaranteed service

Στην Guaranteed υπάρχει αυστηρή εγγύηση όσον αφορά την καθυστέρηση και το εύρος ζώνης που παρέχετε σε μια ροή. Η ιδέα στην οποία βασίζεται αυτή η υπηρεσία είναι ότι ο χρήστης περιγράφει στο δίκτυο την κυκλοφορία που πρόκειται να στείλει, στην συνέχεια κάθε δρομολογητής του δικτύου υπολογίζει τις παραμέτρους που δείχνουν πως θα συμπεριφερθεί στο δίκτυο μια τέτοια κυκλοφορία. Αθροίζοντας τις

διάφορες παραμέτρους που θα επιστραφούν από τους υπόλοιπους δρομολογητές που βρίσκονται σε κάποιο μονοπάτι μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη δυνατή καθυστέρηση που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα πακέτο που θα ταξιδεύει σε αυτό το μονοπάτι. Η συνολική καθυστέρηση που θα έχει κάποιο πακέτο είναι το άθροισμα της καθυστέρησης που οφείλεται στην μετάδοση των δεδομένων μέσα από το φυσικό μέσο και της καθυστέρησης λόγω ενταμίευσης (buffering).

Στην Guaranteed service δεσμεύουμε πόρους για κάθε ροή σε όλο το μήκος του μονοπατιού που θα χρησιμοποιήσουμε. Με αυτόν τον τρόπο σε κάθε σύνδεσμο του μονοπατιού που χρησιμοποιούμε έχουμε δεσμεύσει R bandwidth το οποίο είναι αποκλειστικά για την συγκεκριμένη ροή. Όταν μια ροή τηρεί το συμβόλαιο της τότε το δίκτυο της παρέχει το προκαθορισμένο εύρος ζώνης, της εγγυάται ένα ανώτατο όριο όσον αφορά την καθυστέρηση των πακέτων και τέλος της εγγυάται ότι δεν θα έχει απώλεια πακέτων. Αυτή η υπηρεσία απευθύνεται σε εφαρμογές που έχουν αυστηρούς περιορισμούς ότι ένα πακέτο πρέπει να φτάσει στον δέκτη μέσα σε κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα αλλιώς η πληροφορία είναι άχρηστη. Για παράδειγμα πολλές εφαρμογές audio καθιστούν άχρηστα όσα πακέτα φτάνουν μετά από κάποιο χρονικό περιθώριο.

7.2.2. Controlled-load service

Στην Controlled-load το μόνο που εγγυόμαστε είναι ότι οι ροές οι οποίες ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία θα έχουν την ίδια μεταχείριση που θα είχαν αν ανήκαν στην best-effort και δεν υπήρχε συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό το εγγυόμαστε ανεξαρτήτου φόρτου του δικτύου. Αυτή η κατηγορία υπηρεσίας είναι κατάλληλη και για εφαρμογές πραγματικού χρόνου οι οποίες έχουν δείξει ότι λειτουργούν καλά όταν το δίκτυο δεν είναι φορτωμένο αλλά χάνουν την λειτουργικότητα τους σε συνθήκες συμφόρησης.

Ο χρήστης που επιλέγει την Controlled load θα αντιλαμβάνεται την εξής συμπεριφορά όσον αφορά την μεταφορά των δεδομένων του:

- Τα περισσότερα πακέτα του (η μεγάλη πλειοψηφία) θα φτάνουν στον προορισμό τους. Το ποσοστό των πακέτων που δεν θα φτάνουν στον δεκτή θα είναι σχεδόν ίσο με το ποσοστό των πακέτων που χάνονται εξαιτίας λαθών που συμβαίνουν στο φυσικό επίπεδο.
- Η καθυστέρηση που θα αντιμετωπίζουν τα περισσότερα πακέτα δεν θα είναι πολύ μεγάλη και δεν θα οφείλεται κατά κύριο λόγο στο buffering. Δηλαδή η καθυστέρηση που θα έχουν τα περισσότερα πακέτα θα είναι περίπου ίση με το άθροισμα της καθυστέρησης που υπάρχει για την μεταφορά των πακέτων μέσα από το μέσο διάδοσης και της καθυστέρησης λόγω της επεξεργασίας στους μεταγωγείς και τα άλλα στοιχεία του μονοπατιού.

Για να μπορέσει το δίκτυο να εγγυηθεί αυτή την ποιότητα υπηρεσίας ο χρήστης θα πρέπει να δηλώσει ορισμένα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας που πρόκειται να περάσει μέσα από το δίκτυο. Αυτό γίνεται με την χρήση του Tspec και έχει σαν αποτέλεσμα την δέσμευση πόρων από το δίκτυο έτσι ώστε να είναι σε θέση(το δίκτυο) να παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας για το πόσο της κυκλοφορίας που ζήτησε ο χρήστης. Το Tspec περιλαμβάνει της εξής παραμέτρους: τις Token bucket παραμέτρους(rate r, bucket depth b), το peak rate p, το ελάχιστο policed unit m και το μέγιστο policed unit M.

7.2.3. Ολοκληρωμένες υπηρεσίες και MPLS

Εξετάζοντας κανείς τη σχέση του MPLS με τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες αρκεί όπως καταλαβαίνετε να δει πως το RSVP συνεργάζεται με το MPLS.

Έχουμε ήδη συναντήσει το RSVP και ορισμένες επεκτάσεις του κατά την περιγραφή του Constrain-based routing (§**Error! Reference source not found.**). Εδώ δίνονται ορισμένες πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με το ρόλο του RSVP για την υποστήριξη QoS.

Πρωταρχικός στόχος είναι να δώσουμε την ικανότητα στους LSRs να αναγνωρίζουν τις ροές πακέτων για τις οποίες έγινε κάποια δέσμευση πόρων, εδώ μέσω RSVP, καθώς θα ταξινομούν τα πακέτα εξετάζοντας μόνο την ετικέτα. Αυτό επιτυγχάνεται με την συσχέτιση ροών (RSVP δεσμεύσεις πόρων) και ετικετών (LSPs) και διανομή τους στο MPLS δίκτυο.

Είδαμε ήδη την σχετική επέκταση του RSVP που συμπεριέλαβε δύο νέα αντικείμενα: "LABEL" και "LABEL_REQUEST" τα οποία μεταφέρονται στο μήνυμα PATH.

Η λειτουργία δέσμευσης ετικετών, μετά την επιτυχημένη αποστολή του PATH μηνύματος στο προορισμό, έχει ως ακολούθως: Ο LSR (προορισμός) δεσμεύει τοπικά μία διαθέσιμη ετικέτα, ενημερώνει τη LIB του - συμπληρώνει το πεδίο εισερχόμενης ετικέτας με την δεσμευμένη - και στέλνει το μήνυμα RESV ενσωματώνοντας σε αυτό το Label Object. Η LIB περιέχει και πληροφορίες για τους τοπικούς διαθέσιμους πόρους που θα χρησιμοποιηθούν π.χ. εύρος ζώνης, ουρές. Η πληροφορία αυτή μεταφέρεται επίσης στο RSVP μήνυμα. Κάθε ενδιαμέσος LSR προωθεί το RESV μήνυμα έως ότου αυτό φτάσει στον προορισμό του (αφετηρία).

Στην περίπτωση που υπάρχει MPLS πάνω από ATM είναι αναγκαία η αντιστοίχιση των τριών κλάσεων του πλαισίου των ολοκληρωμένων υπηρεσιών στις πέντε κλάσεις υπηρεσίας του ATM. Η αντιστοίχιση που έχει προταθεί είναι η εξής:

- οι ροές οι οποίες ανήκουν στην Guaranteed να αντιστοιχηθούν σε VCs τα οποία θα είναι CBR ή rt-VBR. Αυτή η αντιστοίχιση είναι λογική γιατί όλες οι ροές που ανήκουν στην Guaranteed έχουν αυστηρές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και καθυστέρηση. Οι υπόλοιπες τρεις κλάσεις υπηρεσίας του ATM δεν παρέχουν τις εγγυήσεις που θέλουν αυτές οι ροές.
- για την controlled load υπηρεσίας έχει προταθεί όσες ροές ανήκουν σε αυτήν να παίρνανε από nrt-VBR ή ABR VCs. Βέβαια μπορούν να παίρνουν και από CBR ή rt-VBR VCs αλλά αυτό θα ήταν σπατάλη πόρων.
- για την Best effort χρησιμοποιούμε UBR VCs.

8. MPLS VPNs

Η υλοποίηση MPLS VPNs σήμερα έχει βρεί λύση στην συνεργασία δύο γνωστών τεχνολογιών MPLS και BGP όπου το MPLS χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων στο δίκτυο και το BGP για την διανομή των διαδρομών (κατ'επέκταση των ετικετών).

Γενικά για να γίνει αυτό εφικτό απαιτούνται

- Ελεγχόμενη διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης (Constrained distribution)
- Πολλαπλοί πίνακες προώθησης

- Νέοι τύποι διευθύνσεων, οι VPN-IP
- Οι μηχανισμοί προώθησης του MPLS

Μία σχετική ορολογία που χρησιμοποιείται της τεχνολογίας MPLS VPNs

- **Customer Edge device (CE).** Πρόκειται για την ακραία συσκευή ενός πελάτη που ανήκει σε ένα VPN και συνδέεται σε ένα ή περισσότερες συσκευές του παρόχου. Θεωρητικά μπορεί να είναι ένας μεμονωμένος εξυπηρετητής, ένας μεταγωγέας ή στη συνηθέστερη και πιο πρακτική μορφή ένας δρομολογητής.
- **Provider Edge device (PE).** Είναι ο ακραίος δρομολογητής του δικτύου του παρόχου στον οποίο συνδέονται οι CE δρομολογητές.
- **Provider device (P).** Κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής του δικτύου του παρόχου.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το σχήμα MPLS VPNs δεν ταυτίζεται με κάποιο είδος “overlay” στο δίκτυο του παρόχου, συνεπώς δεν υπάρχει κάποια έννοια ιδεατού δικτύου κορμού για τον πελάτη. Κάθε CE δρομολογητής ενός πελάτη έχει μία ομότιμη σχέση διασύνδεσης με τον PE δρομολογητή του παρόχου και όχι με κάποιον άλλον CE δρομολογητή του σε ένα άλλον σημείο παρουσίας, ουσιαστικά δεν γνωρίζει όσο αφορά την δρομολόγηση, την ύπαρξη άλλων CE δρομολογητών.

8.1. Ελεγχόμενη διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης

Με έλεγχο του τρόπου διανομής των πληροφοριών δρομολόγησης (πίνακες δρομολόγησης) ελέγχουμε ουσιαστικά την ροή των δεδομένων στο δίκτυο.

Η διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης γίνεται ως ακολούθως:

1. Η πληροφορία διαδίδεται από τον CE δρομολογητή στον PE δρομολογητή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος. Αυτό μπορεί να γίνει με RIP, OSPF, static routes, BGP.
2. Από τον εισερχόμενο PE η πληροφορία αναδιανέμεται στο BGP του παρόχου.
3. Η πληροφορία δρομολόγησης διανέμεται ανάμεσα στους υπόλοιπους PE δρομολογητές του δικτύου.
4. Στους εξερχόμενους PE δρομολογητές η πληροφορία δρομολόγησης εισάγεται από το BGP του παρόχου.
5. Η πληροφορία δρομολόγησης αποστέλλεται από τον PE δρομολογητή εξόδου στον CE δρομολογητή. Αυτό μπορεί να γίνει με RIP, OSPF, static routes, BGP.

Η ελεγχόμενη διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης γίνεται με χρήση της τεχνικής φιλτραρίσματος με βάση την ιδιότητα / χαρακτηριστικό **Community** του BGP. Στο βήμα 2 της παραπάνω διαδικασίας ο PE δρομολογητής εισάγει μία κατάλληλη τιμή στο πεδίο *Community* πριν εξάγει τις πληροφορίες δρομολόγησης στο BGP. Στο βήμα 4 ο PE δρομολογητής εξόδου χρησιμοποιώντας τη τιμή του BGP Community ελέγχει την διανομή των πληροφοριών δρομολόγησης στον CE δρομολογητή. Σημειώστε οι η λειτουργία αυτή ελέγχεται αποκλειστικά από τον πάροχο και ο πελάτης δεν χρειάζεται να γνωρίζει κάτι η να εμπλακεί με κάποια

σχετική ενέργεια.

Όσο αφορά τα μεγέθη, επειδή το πεδίο BGP Community έχει μέγεθος 32 bits εκ των οποίων ένα τμήμα των 16 bits κρατά το Autonomous System Number, επιτρέπει 2^{16} διαφορετικές communities ή αλλιώς το πολύ 2^{16} VPN πελάτες. Για ένα παγκόσμιο πάροχο αυτό μάλλον είναι περιοριστικό οπότε έχει εισαχθεί η έννοια των *Extended Communities* όπου τα 16 bits του AS Number χρησιμοποιούνται για την διάκριση 2^{32} communities αφού στα ιδιωτικά VPNs τα AS Numbers έχουν εντελώς τοπική σημασία.

8.2. Πολλαπλοί πίνακες προώθησης

Επειδή ένας PE δρομολογητής θα έχει συνήθως πολλά διαφορετικά VPNs η διατήρηση ενός κοινού πίνακα δρομολόγησης για όλα τα ιδιωτικά δίκτυα αποτρέπει τον διαχωρισμό της πληροφορίας δρομολόγησης με αποτέλεσμα να είναι πιθανή η προώθηση πακέτων μεταξύ διαφορετικών VPNs.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την υποστήριξη πολλαπλών πινάκων δρομολόγησης σε κάθε PE δρομολογητή. Ειδικότερα συντηρείται ένας πίνακας δρομολόγησης για κάθε ένα VPN.

8.3. Διευθύνσεις VPN-IP

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης BGP, όπως και τα υπόλοιπα, προϋποθέτουν για να λειτουργήσουν, χρήση μοναδικών IP διευθύνσεων. Αντίθετα στα MPLS VPNs μπορούν να συνυπάρχουν τόσο επικαλύψεις διευθύνσεων μεταξύ διαφορετικών VPNs όσο και χρήση των ιδιωτικών διευθύνσεων (π.χ. διευθύνσεις 10.0.0.0). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη δημιουργία ενός νέου τύπου διευθύνσεων, των IP-VPNS.

Μία IP-VPN διεύθυνση κατασκευάζεται με την παράθεση ενός πεδίου με σταθερό μήκος, *Route Distinguisher*, και μιας συνηθισμένης IP διεύθυνσης. Το πεδίο Route Distinguisher παράγεται μοναδικά από το VPN πάροχο, ακόμα και για VPNs που κατανέμονται μεταξύ διαφορετικών παρόχων, και περιλαμβάνει τρία πεδία: Type (2 octets), Autonomous System Number (4 octets), Assigned Number (4 octets).

Το πεδίο Autonomous System Number περιέχει τον AS Number του παρόχου του VPN και το Assigned Number ένα μοναδικό αριθμό για αυτό το VPN που εκχωρείται από τον πάροχο. Συνεπώς ο Route Distinguisher είναι όχι μόνο τοπικά μοναδικός, στα πλαίσια του παρόχου, αλλά και καθολικά. Κατά συνέπεια οι IP-VPN διευθύνσεις είναι καθολικά μοναδικές, αφού φέρουν μοναδικό Route Distinguisher έστω και αν χρησιμοποιούν κοινές ή ιδιωτικές απλές IP διευθύνσεις.

Η διαχείριση των διευθύνσεων αυτών από το BGP είναι εφικτή λόγω τις ικανότητας του multiprotocol BGP να χειρίζεται δρομολογήσεις για multiple-address families. Η χρήση των διευθύνσεων αυτών, IP-VPNS, περιορίζεται αποκλειστικά στους PE δρομολογητές του παρόχου, ο πελάτης, CE δρομολογητής, είναι άσχετος με αυτό το σχήμα.

Σημειώστε ότι οι IP-VPNS διευθύνσεις χρησιμοποιούνται και μεταφέρονται μόνο από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (εδώ το BGP) και όχι στο header του πακέτου IP.

8.4. Οι μηχανισμοί προώθησης του MPLS

Το καθοριστικό πλεονέκτημα του MPLS, στην προκειμένη περίπτωση, είναι ο διαχωρισμός της πληροφορίας προώθησης (ετικέτα) από τη περιεχόμενο του header (IP διεύθυνση) του IP πακέτου που εφαρμόζει.

Για την υποστήριξη των IP-VPN διευθύνσεων από το MPLS χρησιμοποιείται πολύ έξυπνα η τεχνική του label stack που είδαμε στο κεφάλαιο 5. Πρόκειται για στοίβα δύο επιπέδων (δηλαδή κάθε πακέτο φέρει δύο ετικέτες) όπου:

- η ετικέτα στην κορυφή της στοίβας (δεύτερο επίπεδο) συσχετίζεται με τους PE δρομολογητές εισόδου / εξόδου και υλοποιεί έτσι το μηχανισμό προώθησης από ένα PE δρομολογητή εισόδου σε ένα PE δρομολογητή εξόδου. Η διανομή των ετικετών αυτού του επιπέδου μπορεί να γίνει είτε με LDP είτε με CR-LDP ή RSVP αν απαιτείται Traffic Engineering.
- η ετικέτα του πρώτου επιπέδου ελέγχει την προώθηση στο PE δρομολογητή εξόδου. Οι ετικέτες αυτού του επιπέδου διανέμονται αποκλειστικά μέσω του BGP μαζί με τις IP-VPN διευθύνσεις.

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι όταν μία IP-VPN διεύθυνση (ουσιαστικά διεύθυνση πελάτη) διανέμεται μέσω του BGP μεταφέρει ως τιμή next-hop τη διεύθυνση του PE που τη δημιούργησε (και όχι τη διεύθυνση του CE όπως κανείς θα μπορούσε να φανταστεί). Αυτή η next-hop διεύθυνση του PE είναι προφανώς μία συνηθισμένη IP διεύθυνση του δικτύου του παρόχου και δρομολογείται σύμφωνα με τις συνηθεις διαδικασίες δρομολόγησης (π.χ. OSPF).

9. MPLS OVER WDM

Με τον όρο DWDM (dense wavelength division multiplexing) εννοούμε τη διαδικασία πολυπλεξίας διαφορετικών οπτικών σημάτων που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος πάνω σε μία μόνο οπτική ίνα. Στην πράξη, αντιστοιχίζεται σε κάθε οπτική σύνδεση ένα μήκος κύματος (λάμδα), με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η μεταφορά περισσοτέρων από ένα-και μάλιστα διαφορετικού εύρους ζώνης-σημάτων πάνω από μία μόνο ίνα. Η μετάδοση μπορεί να είναι είτε σειριακή ή παράλληλη.

Στα οπτικά δίκτυα, οι ετικέτες του MPLS μπορούν να παραλληλιστούν με “αναλογικά σε οπτικά” κανάλια. Οι LSRs μπορούν με τη σειρά τους να παραλληλιστούν με OXCs (δηλαδή με Optical Cross Connects, που είναι οι συσκευές οι οποίες διενεργούν τη μεταγωγή των διαφορετικών μηκών κύματος-η είσοδοι/η έξοδοι-σε ένα δίκτυο DWDM).[1]

Οι συσχετισμοί αυτοί έδωσαν στην IETF το έναυσμα για τη σύνταξη και γενικοποίηση του MPLS, που έχει πάρει πλέον την ονομασία GMPLS, ενώ στην περίπτωση του DWDM συνήθως γίνεται χρήση του όρου MPλS (Multi Protocol Lambda Switching).

10. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Advanced MPLS Design and Implementation (Vivek Alwayn, Cisco Press, September 2001).
2. MPLS technology and applications (Bruce Davie, Yakov Rekhter, San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 2000)
3. <http://www.cisco.com/warp/customer/732/Tech/mpls/index.shtml>, Cisco IOSx Technologies - MPLS
4. <http://www.cisco.com/warp/public/784/packet/apr99/6a.html>, MPLS Support in Cisco Products
5. <http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/protocol/tgth/index.shtml>, Cisco Label and Tag Switching
6. <http://www.employees.org/~mpls/>, IETF MPLS Webpage
7. <http://www.mplsresource.com/>, MPLS Resource Center
8. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios121/121newft/121t/121t3/traffeng.htm>, Cisco MPLS Traffic Engineering and Enhancements
9. <http://www.mplsforum.org/index.html>, Multi Protocol Label Switching Forum
10. <http://infonet.aist-nara.ac.jp/member/nori-d/mlr/>, Very Usefull links - Multi Layer Routing