



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

*MPLS: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ*

ΣΤΕΦΑΝΟΣ – ΧΕΪΚΚΙ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

Α.Μ 6167

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	IV
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ	2
1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ MPLS- ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ	2
1.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ MPLS	2
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS	3
1.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: MPLS ΚΑΙ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΤΟΥ ΜΕΡΗ	8
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ MPLS	8
2.2 ΚΟΜΒΟΙ MPLS (LERS ΚΑΙ LSRS)	8
2.3 LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL (LDP)	10
2.4 FORWARDING EQUIVALENCE CLASS (FEC)	11
2.5 LABEL	11
2.5.1 ΜΟΡΦΗ LABEL	11
2.5.2 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΕΣ LABEL	12

2.5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ LABELS	12
2.5.4 ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ-ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ	13
2.5.5 ΜΕΤΑΓΩΓΗ LABEL (LSPS)	13
2.5.6 ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ LABELS	14
2.5.7 ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ LABELS	15
2.5.8 ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ LABELS	15
2.5.9 ΕΛΕΓΧΟΣ LABELS	16
2.6 ΣΤΟΙΒΑ LABELS (LABEL STACK) ΚΑΙ MPLS TUNNELS	16
2.7 TRAFFIC ENGINEERING	16
2.8 CONSTRAINT-BASED ROUTING	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ - ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ MPLS	18
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MPLS	18
3.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ MPL	19
3.2.1 TRAFFIC ENGINEERING (TE)	19
3.2.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ MPLS (QOS)	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: VPN ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ MPLS	23
4.1 ΑΝΑΓΚΗ VPN	23
4.2 ΟΡΙΣΜΟΣ VPN	23
4.3 ΕΙΔΗ VPN	24
4.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ VPN ΒΑΣΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	25

4.5 MPLS VPN ΔΙΚΤΥΩΝ.....	26
4.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS VPN.....	27
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

MPLS=Multi-Protocol Label Switching

IETF=Internet Engineering Task Force

LSR= Label Switching Router

FEC=Forwarding Equivalence Class

LSP=Label Switched Path

LSO=Label Swap Operation

LIB=Label Information Base

LDP=Label Distribution Protocol

LER=Label Edge Router

LSH=Label Switched Hop

ATM= Asynchronous Transfer Mode

IP=Internet Protocol

TE=Traffic Engineering

RSVP=Resource Reservation Protocol

OSPF=Open Short Path First

VPN=Virtual Private Networks

QoS=Quality of System

TCP=Transmission Control Protocol

PIM=Protocol-Independent Multicast

CR=Constraint-based Routing

CR-LDP= Constraint-based Routing Label Distribution Protocol

WAN=Wide Area Network

VoIP = Voice over IP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η επικοινωνία αποτελεί δομικό συστατικό της κοινωνίας και του πολιτισμού ανά τους αιώνες και τους λαούς. Δίχως αυτήν δεν θα ήταν δυνατόν να οργανωθεί, αναπτυχθεί και ανθίσει μια κοινότητα. Με το πέρασ των χρόνων, η επικοινωνία έχει αλλάξει τρόπους και μέσα εκδήλωσής της, τόσο στην λεκτική, όσο και στη μη λεκτική επικοινωνία. Κοινός παράγοντας για την πετυχημένη επικοινωνία αποτελεί η δημιουργία ενός πρωτοκόλλου, το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο κανόνων που ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές, συμφωνημένες και αποδεκτές από τα δύο επικοινωνούντα μέρη.

Η επικοινωνία δεν αφορά, όμως, μόνο τους ανθρώπους, αλλά κάθε οργανισμό ή μηχανή που μπορεί να αποστείλει και να αποδεχτεί μηνύματα ή σήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα επικοινωνίας συσκευών της σύγχρονης εποχής αποτελεί ένα δίκτυο υπολογιστών, το οποίο ανταλλάσει πληροφορίες υπό τη μορφή δεδομένων και διέπεται από κάποιο πρωτόκολλο. Κάθε πρωτόκολλο καθορίζει τους κανόνες του, δηλαδή, τη μορφή, το χρόνο και τη σειρά μετάδοσης πληροφοριών, και διενεργεί έλεγχο και διόρθωση λαθών κατά την προσπέλαση των πληροφοριών [1] [2] [3].

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να τονίσω την σπουδαιότητα των πρωτοκόλλων ως προς την εξασφάλιση μιας άρτιας λειτουργίας, αποδοτικότητας, συνέπειας, ασφάλειας, αξιοπιστίας και ευελιξίας ενός συστήματος. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε το Πρωτόκολλο <<Μεταγωγή Ετικετών Πολλαπλών Πρωτοκόλλων>>, όπου στο εξής θα αναφέρεται συνοπτικά ως MPLS και περιγράφει μία τεχνική δικτύωσης στα δίκτυα κορμού με μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική δύναμη. Πώς προέκυψε, όμως, η δημιουργία του και πού οφείλεται η επιτυχία του; Αυτά θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε παρακάτω.

1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ MPLS- ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

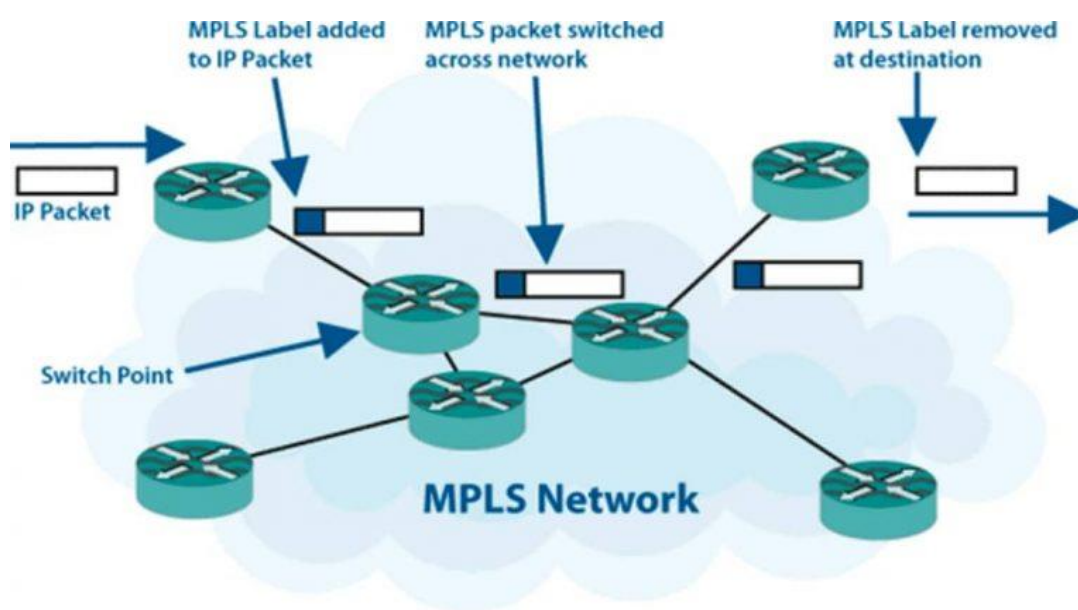
Η ταχύτατη διάδοση του διαδικτύου και η ανάγκη χρήσης του πρωτοκόλλου IP σε πολύπλοκες εφαρμογές, ανέδειξε τα προβλήματα του παραδοσιακού τρόπου δρομολόγησης και επεξεργασίας σε δίκτυο IP, κάτι που μέχρι πρότινος αξιοποιούνταν επαρκώς στις υπάρχουσες εφαρμογές. Συγκεκριμένα, η υπερφόρτωση των παραδοσιακών δρομολογητών, όπου καλούνται να επεξεργάζονται και να επαναλαμβάνουν τις ίδιες διαδικασίες, ανεξάρτητα από τους άλλους δρομολογητές, έχουν σαν αποτέλεσμα να ζημιώνονται σε χρόνο και χώρο. Ένα άλλο μειονέκτημα των παραδοσιακών δρομολογητών είναι ότι δεν διαθέτουν τεχνικές traffic engineering, δηλαδή η δρομολόγηση γίνεται ομοιόμορφα χωρίς να ελέγχεται το δίκτυο, προκαλώντας συμφόρηση ή υπολειτουργία κάποιων κόμβων. Τέλος, δεν εξασφαλίζουν ποιότητα υπηρεσίας στις ολοένα καινούργιες υπηρεσίες [4].

Η IETF, στην προσπάθεια της επίλυσης αυτών των προβλημάτων και στην εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας στο διαδίκτυο, δημιούργησε δύο επεκτάσεις του πρωτοκόλλου IP, οι οποίες είναι: οι Ολοκληρωμένες και οι Διαφοροποιημένες υπηρεσίες. Δυστυχώς, όμως, δεν ανταποκρίθηκαν στις προσδοκίες, λόγω της πολυπλοκότητας και της έλλειψης λειτουργικότητας.

1.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ MPLS

Το MPLS αποτελεί ένα πρωτόκολλο το οποίο συνδυάζει την μεταγωγή δεδομένων με τη χρήση ετικέτας (label) και την παραδοσιακή δρομολόγηση του IP. Η IETF σχεδίασε το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, αποσκοπώντας αφ' ενός στην βελτίωση της ταχύτητας προώθησης και απόδοσης του πρωτοκόλλου IP και αφ' ετέρου, στην παροχή νέων υπηρεσιών στο Internet. Με αυτό τον τρόπο το MPLS επιτρέπει την μεταγωγή με κύκλωμα στο διαδίκτυο, ενώ συνεργάζεται με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα. Σε αυτό οφείλεται και η επιτυχία της χρήσης του MPLS, δηλαδή στο γεγονός ότι δεν απέρριψε την προϋπάρχουσα γνώση και βάση των εφαρμογών, αλλά αναπτύχθηκε διατηρώντας την συμβατότητα, την συνεργασία και την υποστήριξη όλων των γνωστών πρωτοκόλλων. Γι' αυτό και χαρακτηρίζεται ως η σημαντικότερη δικτυακή ανάπτυξη των τελευταίων ετών [4] [5] [7].

Βάση του δικτύου MPLS η μεταγωγή, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, επιτελείται μέσω μιας ετικέτας (label). Συγκεκριμένα, κατά την είσοδο το πακέτο τίθεται σε επεξεργασία και τοποθετείται σε αυτό μια ετικέτα. Το δίκτυο κορμού αφού πραγματοποιήσει τις κατάλληλες επεξεργασίες, δρομολογεί τα πακέτα σύμφωνα με τις ετικέτες που έχουν λάβει και όχι από την IP διεύθυνση. Αυτή η διεργασία επεξεργασίας και κατηγοριοποίησης γίνεται μία μοναδική φορά και μόνο κατά την είσοδο. Κατά την έξοδο, οι ετικέτες αφαιρούνται από τα πακέτα, τα οποία δρομολογούνται προς τον τελικό τους προορισμό. Αυτή η αρχιτεκτονική αποτελεί το έναυσμα για τη διαχείριση της κίνησης ενός δικτύου IP, αξιοποιώντας την νοημοσύνη της δρομολόγησης και την υψηλή απόδοση της μεταγωγής [4] [5]. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η διαδικασία προώθησης ενός πακέτου στο δίκτυο MPLS, καθώς εισέρχεται στο σύστημα μέχρι που φτάνει στον προορισμό.



Εικόνα 1. MPLS Δίκτυο [26]

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS

Το MPLS έχει ξεχωρίσει για μία πληθώρα προτερημάτων τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως:

Γρήγορο

Χάρη στην τεχνολογία ετικετών η ταχύτητα για την ανεύρεση διαδρομών και της δρομολόγησης είναι αρκετά γρηγορότερη από την αναζήτηση στην IP δρομολόγηση.

Βελτιωμένο Uptime

Αυτό επιτυγχάνεται καθώς στέλνονται δεδομένα σε εναλλακτικά μονοπάτια. Επίσης, μειώνει το ποσοστό της παρέμβασης από τον πάροχο υπηρεσιών (network provider) για τη δημιουργία ενός WAN, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα πρόκλησης προβλημάτων λόγω ανθρώπινων λαθών [27].

Βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη (User Experience – UX)

Δίνει προτεραιότητα στην κυκλοφορία ευαίσθητη στο χρόνο, όπως το VoIP. Το MPLS παρέχει πολλές κλάσεις υπηρεσιών, προσφέροντας τη δυνατότητα να εφαρμοστούν ξεχωριστές ρυθμίσεις σε διαφορετικούς τύπους επισκεψιμότητας/κυκλοφορίας [27].

Βελτίωση της χρήσης του εύρους ζώνης

Τοποθετώντας πολλαπλούς τύπους κυκλοφορίας στον ίδιο σύνδεσμο, μπορεί να δοθεί στην υψηλής προτεραιότητας κυκλοφορία (traffic) να δανειστεί χωρητικότητα από τις χαμηλής προτεραιότητας ροές κυκλοφορίας, όποτε αυτό απαιτείται. Αντίθετα, όταν η κυκλοφορία χαμηλότερης προτεραιότητας χρειάζεται να ξεπεράσει το συνηθισμένο εύρος ζώνης, μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε χωρητικότητα που δεν χρησιμοποιείται από υπηρεσίες υψηλότερης προτεραιότητας [27].

Απόκρυψη Πολυπλοκότητας Δικτύου

Μια σύνδεση MPLS μεταξύ δύο τοποθεσιών μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να ενεργεί σαν ένα μακρύ καλώδιο Ethernet και τα hops που εμπλέκονται να αποκρύπτονται. Αυτό είναι μερικές φορές γνωστό ως VPLS (Virtual Private LAN Service) [27].

Μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης

Μερικές φορές η κοντινότερη διαδρομή μεταξύ δύο τοποθεσιών δεν είναι η καλύτερη που πρέπει να ακολουθηθεί, καθώς η συμφόρηση (congestion) την έχει καταστήσει λιγότερο ελκυστική. Το MPLS χρησιμοποιεί εναλλακτικές διαδρομές κυκλοφορίας για να αποφύγει τη συμφόρηση. Συγκεκριμένα, προσφέρει εξελεγχόμενες

επιλογές traffic engineering(TE) που επιτρέπουν την αποστολή της κυκλοφορίας μέσω μη τυποποιημένων διαδρομών. Αυτό μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση (καθυστέρηση στην αποστολή / λήψη δεδομένων). Μειώνει επίσης τη συμφόρηση στα μονοπάτια που έχουν αποφευχθεί ως αποτέλεσμα του traffic engineering [27].

Outsourced δρομολόγηση

Με το MPLS, ο φορέας χειρίζεται τη δρομολόγηση WAN. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες δεν εμπλέκονται στη διαχείριση, γεγονός που καθιστά το MPLS λειτουργικά απλούστερο από τη διαχείριση ενός μεγάλου δρομολογημένου δικτύου. Αυτό σημαίνει, με τη σειρά του, ότι οι εταιρείες μπορούν να απασχολούν λιγότερους μηχανικούς WAN / router στο προσωπικό [28].

Any-to-any συνδεσιμότητα

Εφαρμογές, όπως η φωνή και το βίντεο, διαθέτουν any-to-any πρότυπα κυκλοφορίας. Το MPLS διευκολύνει τη διασύνδεση ιστοσελίδων μεταξύ τους για την αντιμετώπιση αυτών των προτύπων [28].

Ενσωματωμένη υποστήριξη για την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS)

Σχεδόν όλες οι εμπορικές υπηρεσίες MPLS διαθέτουν πολλαπλά επίπεδα QoS, πράγμα που σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να καθορίζουν τα ελάχιστα όρια/κατώφλια(thresholds) καθυστέρησης και απώλειας πακέτων για κάθε τύπο κυκλοφορίας (φωνή, βίντεο, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μαζικές μεταφορές αρχείων κ.λπ.). Επειδή το MPLS λειτουργεί με ένα σύστημα ετικετών, οι χρήστες μπορούν να προσδιορίσουν τα επίπεδα ιεράρχησης που σχετίζονται με αυτές τις ετικέτες. Οι πελάτες προσυπογράφουν σε διάφορα επίπεδα εύρους ζώνης ή μεγέθη θυρών και έπειτα έχουν τη δυνατότητα να καθορίσουν όταν υπάρχει συμφόρηση σε έναν δικτυακό σύνδεσμο, ποιος τύπος κυκλοφορίας διαπερνά ή κρατιέται στην ουρά για παράδοση αργότερα [28].

Ανεξαρτησία και η υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων

Πολλοί διαφορετικοί τύποι κυκλοφορίας μπορούν να μεταφερθούν μέσω της υπηρεσίας MPLS χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο τύπος της κυκλοφορίας [29].

Μεγαλύτερη αξιοπιστία και προβλεψιμότητα της κίνησης εντός του δικτύου

Επειδή οι LSPs είναι προκαθορισμένες, τα πακέτα μετακινούνται μόνο κατά μήκος των διαδρομών στις οποίες έχουν κατευθυνθεί. Αυτή είναι μια αξιοσημείωτη διαφορά

από τη δρομολόγηση IP, όπου η διαδρομή ενός πακέτου μπορεί να διαφέρει σαφώς από την επόμενη βάση των συνθηκών δικτύου εκείνη τη στιγμή. Επίσης το MPLS έχει την ικανότητα να ρυθμίζει προ-προγραμματισμένες εναλλακτικές διαδρομές, σε περίπτωση που το τυπικό LSP είναι μειωμένο. Για παράδειγμα, σε περίπτωση αποτυχίας δικτύου, ολόκληρη η διαδρομή μπορεί να αντικατασταθεί για να αποφευχθεί η αποτυχία, γεγονός που δεν μπορεί να γίνει με IP [29].

Επιπλέον πλεονεκτήματα του MPLS είναι ότι συμβάλλει στη διαλειτουργικότητα των δικτύων καθώς αποτελεί γέφυρα μεταξύ IP ΚΑΙ ATM και διευκολύνει την συνεργασία IP-over-SONET για την κατασκευή δικτύων οπτικής μεταγωγής. Η απόδοση προώθησης πακέτων στο δίκτυο βελτιώνεται καθώς χρησιμοποιεί τεχνικές μεταγωγής επιπέδου 2 και είναι ανεξάρτητο από το πρωτόκολλο του επιπέδου 3. Σαφώς, αποτελεί μια καλή λύση για κλιμακωσιμότητα (scalability) καθώς τα δίκτυα μπορεί να σχεδιαστούν και παραμετροποιηθούν για την βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης και το MPLS να κλιμακωθεί για χιλιάδες ιστοσελίδες. Εν κατακλείδι, διασφαλίζει την μυστικότητα των πληροφοριών δρομολόγησης, διαχωρίζει τις λειτουργίες ελέγχου και προώθησης και προσφέρει επεκτασιμότητα στη δρομολόγηση του επιπέδου δικτύου [15] [30] [33].

1.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS

Το MPLS δεν επιτρέπει τον απόλυτο έλεγχο του δικτύου. Ο πάροχος υπηρεσιών πρέπει να διαμορφώσει συνολικά όλα τα δίκτυα και επομένως απαιτείται συνεργασία με τον πάροχο για τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας στο MPLS όταν χρησιμοποιείται δυναμική δρομολόγηση [30].

Επιπλέον, η πραγματικότητα με το MPLS είναι ότι οι περισσότερες υλοποιήσεις μπορεί να διαρκέσουν αρκετούς μήνες ή και περισσότερο, σε ορισμένες περιπτώσεις. Η διαδικασία δεν είναι ακριβώς εύκολη και οι υλοποιήσεις μπορεί μερικές φορές να είναι εξαιρετικά περίπλοκες. Για απομακρυσμένες ή διεθνείς τοποθεσίες, η ανάπτυξη μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από ένα χρόνο. Ταυτόχρονα, οι υπηρεσίες MPLS πρέπει να εγκατασταθούν σε μια συγκεκριμένη υποδομή του πελάτη προτού εγκατασταθεί στην επόμενη και αυτό δημιουργεί προφανώς σημαντική καθυστέρηση για την έναρξη λειτουργίας όλων των υποδομών.

Αυτό το γεγονός κάνει το MPLS απαγορευτικό για πολλές μεγάλες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε πολυάριθμες τοποθεσίες υποκαταστημάτων σε όλο τον κόσμο και επεκτείνονται συχνά σε νέες περιοχές μέσω συγχωνεύσεων και εξαγορών άλλων εταιριών [31].

Ένα άλλο σημαντικό και ενδεχόμενο μειονέκτημα του MPLS είναι η ασφάλεια. Ένα δίκτυο MPLS δεν προσφέρει εγγενή προστασία δεδομένων και η μη σωστή υλοποίηση και εφαρμογή μπορεί να αφήσει εκτεθειμένο το δίκτυο. Απαιτείται συνεργασία με τον πάροχο υπηρεσιών για να διασφαλιστεί ότι το δίκτυο είναι ασφαλές και ότι τα τρωτά σημεία ελαχιστοποιούνται. Διάφοροι τρόποι για να αντιμετωπιστεί αυτό μειονέκτημα αποτελούν η κρυπτογράφηση μεταξύ των δρομολογητών σύνδεσης και η θωράκιση των συσκευών δικτύου η οποία μπορεί να επιτευχθεί με το κλείσιμο ανοιχτών θυρών σύνδεση και γενικότερα με εφαρμογή συστημάτων εντοπισμού και πρόληψης επιθέσεων, firewalls κλπ [32].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: MPLS ΚΑΙ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΤΟΥ ΜΕΡΗ

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ MPLS

Το MPLS αποτελεί μια τεχνολογία δικτύων βασισμένη σε σύνδεση και ένα αποτελεσματικό μέσο δρομολόγησης και μεταφοράς της ροής της κίνησης ενός δικτύου. Παρέχει μηχανισμούς που προβλέπει και επιλύει προβλήματα και εξασφαλίζει την ομαλή ροή κίνησης. Επίσης, επιτρέπει την απλούστευση των ετικετών από τις διευθύνσεις IP. Συνεργάζεται με τα πρωτόκολλα RSVP και OSPF, υποστηρίζει τα IP, ATM και Frame Relay επιπέδου 2 πρωτόκολλα, ενώ λειτουργεί ανεξάρτητα από τα πρωτόκολλα επιπέδου 2 και 3 [23].

Η μεταφορά των δεδομένων στο MPLS πραγματοποιείται μέσω ενός μονοπατιού που καθορίζεται από όλες τις ετικέτες και ονομάζεται LSP. Τα LSPs έχουν τη δυνατότητα να δημιουργηθούν πριν τη μεταφορά των δεδομένων ή μετά τον εντοπισμό αυτών. Οι ετικέτες προωθούνται αξιοποιώντας είτε το LDP είτε το RSVP είτε προϋπάρχοντα πρωτόκολλα (BGP, OSPF) και εξασφαλίζουν την υψηλή μεταφορά δεδομένων, καθώς επιτρέπουν γρήγορη μεταφορά μεταξύ των συνδέσεων [6] [7] [15].

Προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητό το MPLS, είναι απαραίτητο να μελετήσουμε τα στοιχεία που το απαρτίζουν καθώς και τις λειτουργίες που αυτά επιτελούν.

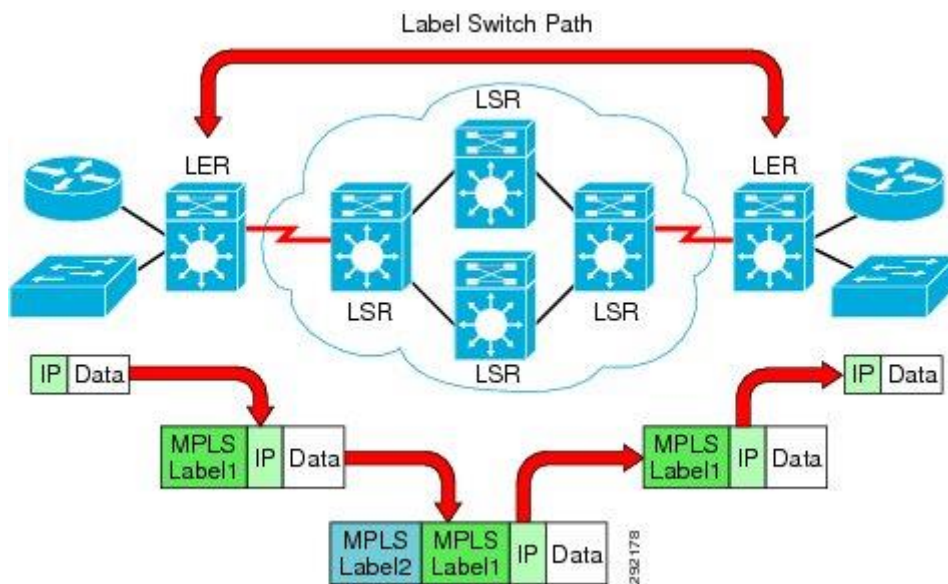
2.2 ΚΟΜΒΟΙ MPLS (LERs και LSRs)

Κόμβοι χαρακτηρίζονται οι συσκευές LERs και LSRs που συμβάλλουν στο δίκτυο MPLS και κατέχουν σημαντική θέση. Μία συσκευή μπορεί να αποτελεί ταυτόχρονα και LER και LSR, το οποίο δεν έχει τόσο σημασία, όσο η διάκριση των λειτουργιών του κόμβου σε ένα μονοπάτι (LSP).

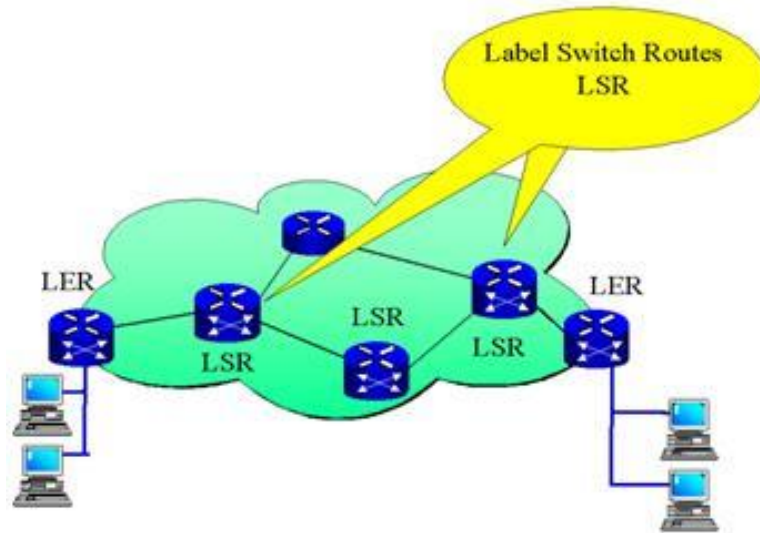
Ο LSR βρίσκεται στον πυρήνα(core) του MPLS δικτύου και αποτελεί μια υψηλής ταχύτητας συσκευή δρομολόγησης, δηλαδή πραγματοποιεί την μεταγωγή των πακέτων. Είναι αρμόδιος για το σχεδιασμό και την κατηγοριοποίηση των LSPs, την διαχείριση και τον έλεγχο της πρόσβασης, τοποθετεί και αφαιρεί τις ετικέτες, ελέγχει την ροή της κυκλοφορίας και ενώνει την κυκλοφορία σε μεγαλύτερες ροές.

Ο LER, από την άλλη, βρίσκεται στην άκρη (edge) του MPLS δικτύου και του δικτύου πρόσβασης. Παρέχει ευελιξία στο δίκτυο καθώς υποστηρίζει διόδους σε δίκτυα διαφορετικής τεχνολογίας, όπως το ATM. Με την ενεργοποίηση των LSPs, τίθεται η επεξεργασία, κατηγοριοποίηση και τοποθέτηση ετικετών στην είσοδο και η προώθηση της κίνησης του δικτύου πρόσβασης κατά την έξοδο. Συνεπώς, συμμετέχει στην τοποθέτηση και αφαίρεση ετικετών στην είσοδο και έξοδο του δικτύου MPLS [6] [23].

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι κόμβοι LERs και LSRs, αντικατοπτρίζοντας την συγκεκριμένη θέση που κατέχει ο καθένας απ' αυτούς.



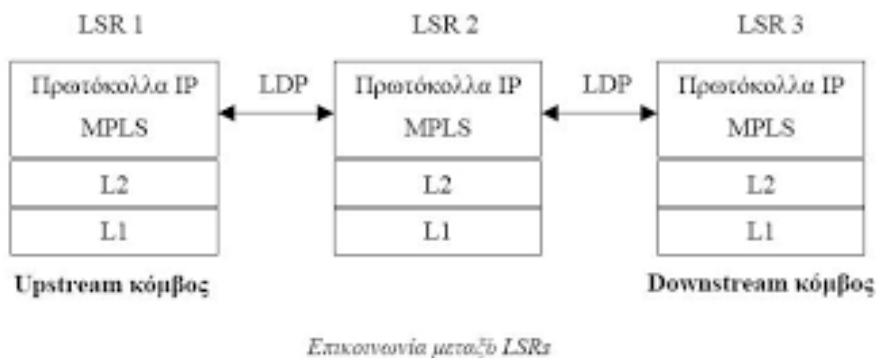
Εικόνα 2. Κόμβοι LERs και LSRs [14]



Εικόνα 2. Κόμβοι LERs και LSRs [18]

2.3 Label Distribution Protocol (LDP).

Το LDP ή πρωτόκολλο διανομής ετικέτας αποτελεί ένα σύνολο μηχανισμών και μηνυμάτων, όπου οι LSRs προχωρούν στην δημιουργία των LSPs. Συγκεκριμένα, συμβάλλουν στην χαρτογράφηση των ετικετών (labels) σε FECs και ύστερα δημιουργούν τα LSPs. Δηλαδή τα πακέτα ταξινομούνται σε συγκεκριμένα μονοπάτια. Τα μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι LSRs διακρίνονται σε μηνύματα ανακάλυψης, συνόδου, διαφήμισης και ειδοποίησης. Τα μηνύματα ανακάλυψης αφορούν την αναγγελία και διατήρηση της ύπαρξης ενός LSR στο δίκτυο. Τα μηνύματα συνόδου τοποθετούν, διατηρούν και ολοκληρώνουν τις συνοδούς ανάμεσα σε ομότιμα LDPs. Τα μηνύματα διαφήμισης τροποποιούν και διαγράφουν τα labels για τα FEC. Τα μηνύματα ειδοποίησης αφορούν πληροφορίες υποστήριξης και σφαλμάτων [6] [17].



Εικόνα 4. Σύνδεση διαδοχικών LSRs [22]

Στην παραπάνω εικόνα, διαφαίνεται ότι ο LDP αξιοποιείται μεταξύ δύο διαδοχικών LSRs (LSR1 και LSR2, LSR2 και LSR3) και η επικοινωνία ανάμεσά τους διακρίνεται σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τον εντοπισμό των γειτονικών LSRs με την αποστολή μηνυμάτων ανακάλυψης, ενώ κατά διαστήματα αποστέλλονται κι άλλα μηνύματα για την διατήρηση της επικοινωνίας. Στη δεύτερη φάση οι γειτονικοί LSRs ενεργοποιούν ένα τμήμα LDP αξιοποιώντας το πρωτόκολλο TCP, το οποίο θα συμβάλει στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταγωγής και στην εξασφάλιση αξιοπιστίας και με τη σωστή σειρά μεταφορά. Στην τρίτη και τελευταία φάση ανταλλάσσονται διάφορα LDP μηνύματα για την ρύθμιση της επικοινωνίας και τη διαφήμιση δεδομένων δέσμευσης ανάμεσα IP διευθύνσεων και labels [7].

2.4 Forwarding Equivalence Class (FEC)

Το FEC αποτελείται από μια ομάδα πακέτων, τα οποία έχουν τις ίδιες απαιτήσεις και προωθούνται με τον ίδιο τρόπο. Σε αντίθεση με την προώθηση των IP πακέτων, στο MPLS δίκτυο η εγγραφή ενός πακέτου σε FEC γίνεται κατά την είσοδο και αποκλειστικά μία φορά. Στηρίζονται στις προσταγές υπηρεσιών μιας συγκεκριμένης ομάδας πακέτων ή ενός συγκεκριμένου προορισμού. Το κάθε μονοπάτι LSR δημιουργεί τον δικό του πίνακα προκειμένου να προσδιορίσει την προώθηση ενός πακέτου. Αυτός ο πίνακας ονομάζεται Label Information Base (LIB) και αποτελείται από αντιστοιχίες FEC Label [6].

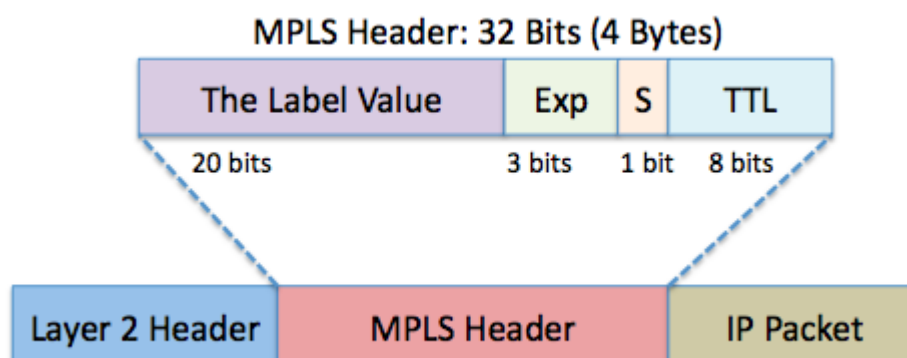
2.5 Label

2.5.1. ΜΟΡΦΗ Label

Η Label αποτελεί την ετικέτα που τοποθετείται πάνω στο πακέτο και βάση αυτής γίνεται η μεταφορά μέσα στο δίκτυο. Σε κάθε ετικέτα χρειάζεται να αναγράφονται κάποια στοιχεία τα οποία αναγνωρίζονται από το LSR και, αφού αντικαταστήσει, αφαιρέσει ή προσθέσει μια ετικέτα από την κορυφή της στοίβας, προωθεί αντίστοιχα το πακέτο. Χρησιμεύει δηλαδή αποκλειστικά για τα περάσματα των LSRs και τον προσδιορισμό ενός FEC.

Η κάθε ετικέτα, λοιπόν, περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα. Το Label Value, όπου αποτελεί την πραγματική τιμή της ετικέτας. Το Experimental Use (Exp), όπου υποδηλώνει την πειραματική διάθεση, από τις συνολικά οχτώ κατηγορίες υπηρεσίας. Το τμήμα The Bottom of Stack (S), όπου τοποθετείται η τιμή 1 στην ετικέτα που

βρίσκεται στην βάση της στοίβας. Τέλος, υπάρχει το τμήμα Time to Live (TTL), που τοποθετείται η αντίστοιχη τιμή του IP header. Στην είσοδο του πακέτου στο δίκτυο, λαμβάνει την τιμή του IP TTL, στη συνέχεια γίνονται οι κατάλληλες διεργασίες και όταν φτάσει στον προορισμό και συνεπώς στην έξοδο από το MPLS, αντιγράφεται στο IP TTL. Η παρακάτω εικόνα είναι αντιπροσωπευτική μιας ετικέτας και των τμημάτων που απαρτίζεται [6] [7].



Εικόνα 5. MPLS Label [12]

2.5.2. ANTIΣΤΟΙΧΙΕΣ Label

Η ετικέτα(label) συνδέεται στο πακέτο με την κατηγοριοποίηση των FEC και οι τιμές τους μεταφέρονται από το στρώμα δεδομένων επιπέδου -2. Σε περίπτωση που αποτελούν μηχανισμούς επιπέδου -2 ή προσδιοριστές επιπέδου 2, χρησιμοποιούνται αυτόματα σαν label και προωθούνται σύμφωνα με την τιμή της ετικέτας τους.

Το κάθε πακέτο τοποθετείται σε μια FEC και του αντιστοιχεί μια ετικέτα σύμφωνα με κάποιο γεγονός ή πολιτική(μοντέλο δεδομένων ή ελέγχου), με μία σημαντική προτίμηση στο δεύτερο μοντέλο εξαιτίας των προχωρημένων δυνατοτήτων του που μπορούν να αξιοποιηθούν στο MPLS.

Τα κριτήρια προώθησης για την ανάθεση των labels ενδεικτικά είναι ο προορισμός δρομολόγησης, το traffic engineering, δρομολόγηση πολλαπλής διανομής, Ιδεατά εικονικά δίκτυα(VPN) και ποιότητα υπηρεσίας(QOS) [6].

2.5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ Labels.

Για την δημιουργία των labels, μάλιστα, αξιοποιούνται διάφορες τεχνικές που στηρίζονται στο μοντέλο ελέγχου και δεδομένων. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο ελέγχου ανήκει η μέθοδος που βασίζεται στην τοπολογία και εφαρμόζει επεξεργασία

πρωτοκόλλων δρομολόγησης, όπως το OSPF και BGP. Η μέθοδος που βασίζεται στις αιτήσεις, αποτελεί επίσης παράδειγμα μοντέλου ελέγχου, και γίνεται επεξεργασία σύμφωνα με τα αιτήματα ελέγχου κίνησης, όπως το RSVP. Στο μοντέλο δεδομένων, ανήκει η μέθοδος που βασίζεται στην κίνηση και χρησιμοποιεί την υποδοχή ενός πακέτου για την ανάθεση και διανομή ενός label.

2.5.4. ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ-ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ

Η τοποθέτηση labels σε μεγάλα δίκτυα μεταφοράς εγκυμονεί τον κίνδυνο εξάντλησης των πιθανών ετικετών, καθώς δεσμεύεται ένα συνδυασμός επιλογών μεταξύ της τετράδας (διεύθυνση αφετηρίας, πόρτα αφετηρίας, διεύθυνση προορισμού, πόρτα προορισμού). Η υπέρβαση αυτού του προβλήματος έγκειται στη δέσμευση ενός label για κάθε δυάδα διεύθυνσης αφετηρίας και προορισμού. Δηλαδή, οι ροές που έχουν ίδια αφετηρία και προορισμό θα μεταφέρονται στο ίδιο LSP μονοπάτι, με αποτέλεσμα να γίνεται συνάθροιση των ροών και αναλόγως να ρυθμίζεται και ο βαθμός κατακερματισμού των labels. Επιπρόσθετα, μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα μεγαλύτερη συνάθροιση ροών και λιγότερα labels, με την δέσμευση ενός label για κάθε προορισμό.

Η συνάθροιση των ροών, όμως, δεν εξασφαλίζει αυστηρή ποιότητα υπηρεσίας της κάθε ροής. Ακόμη, σε κάθε μορφή συνάθροισης ο προορισμός θα πρέπει να μπορεί να διαχωρίζει τις διαφορετικές ροές, κάτι που απαιτεί όλοι οι κόμβοι του δικτύου να έχουν συναθροιστεί με τον ίδιο τρόπο για τα LSPs και να έρχονται σε απόλυτη συμφωνία [7].

2.5.5 METΑΓΩΓΗ Label (LSPs)

Οι δρομολογητές που αξιοποιούν την μεταγωγή με ετικέτα ορίζονται ως Label Switching Routers (LSR) και εγκαθίστανται προτού αρχίσει η μετάδοση δεδομένων. Η δημιουργία ενός LSP στο MPLS πραγματοποιείται είτε με δρομολόγηση βήμα προς βήμα (hop by hop) είτε με ρητή δρομολόγηση. Ο πρώτος τρόπος είναι γνώριμος, καθώς αξιοποιείται και στα IP δίκτυα και προστάζει τον κάθε LSR, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο πρωτόκολλο δρομολόγησης, να επιλέγει ανεξάρτητα το επόμενο του βήμα για κάθε δοσμένο FEC. Ο δεύτερος τρόπος μοιάζει με την δρομολόγηση πόρων, όπου ο LSR εισόδου ορίζει το μονοπάτι με τους κόμβους που θα αποτελεί το μονοπάτι ρητής δρομολόγησης και κατά μήκος αυτού γίνεται δέσμευση των πόρων,

προκειμένου να εξασφαλιστεί η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) στην μεταφορά δεδομένων.

Η έναρξη των LSPs ή ανταλλαγή των labels μεταξύ των LSRs πραγματοποιείται με τρεις διαφορετικές τεχνικές. Η πρώτη τεχνική ονομάζεται data-driven, κατά την οποία η ανταλλαγή των ετικετών και η δημιουργία των LSPs πραγματοποιείται με την έναρξη της ροής των πακέτων διαμέσου του δικτύου και αφού σχηματιστεί το μονοπάτι προχωράει η προώθηση των πακέτων. Η δεύτερη τεχνική ονομάζεται topology-driven, όπου τα LSPs σχηματίζονται από την αρχή και η διαδικασία ξεκινάει αυτόματα με την ολοκλήρωση της τοπολογίας του δικτύου. Τέλος, η τεχνική request-driven προκαλείται μετά από ξεκάθαρη εντολή του χρήστη.

Η δεύτερη τεχνική αποτελεί μια γρήγορη διαδικασία για την μεταφορά πακέτων, καθώς τα LSPs υπάρχουν από την αρχή, συγκριτικά με τις άλλες δύο τεχνικές που κατασκευάζονται στη συνέχεια και καθυστερούν την προώθηση. Βέβαια, ένα μειονέκτημα της topology-driven αποτελεί το γεγονός ότι δημιουργούνται πολλά labels, αφού από την αρχή ορίζονται όλες οι πιθανές διαδρομές [6] [7] [16].

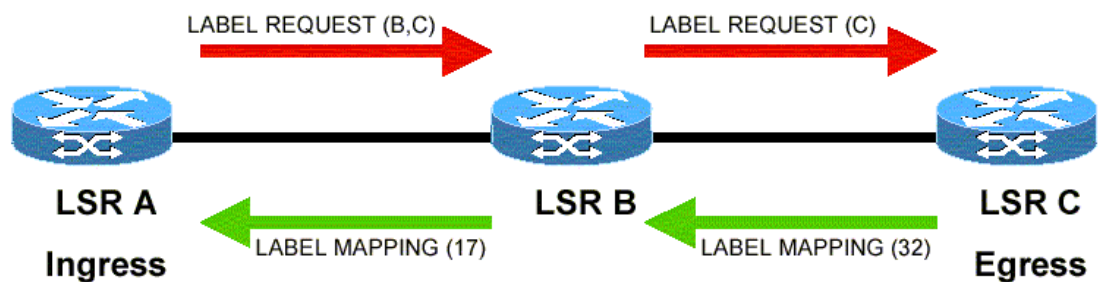
2.5.6 ANTAΛΛAGH Labels

Η ανταλλαγή των labels γίνεται σύμφωνα με κάποιο πρωτόκολλο, όπως το LDP, BGP, RSVP, CR-LDP και Protocol-Independent multicast (PIM). Επιπλέον, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι ανταλλαγής των labels μεταξύ των LRSs, που καθορίζονται από το ποιος κόμβος θα δεσμεύσει ένα label.

Συγκεκριμένα, στη μέθοδο Downstream allocation, η κατανομή γίνεται από τον Downstream κόμβο, ο οποίος δεσμεύει ένα label και ενημερώνει τον Upstream κόμβο προκειμένου να δημιουργήσει το δικό του label για ένα προορισμό και να ενημερώσει τον δικό του Upstream κόμβο. Στη μέθοδο Downstream-on-demand allocation, καλείται ο Downstream κόμβος από τον Upstream να του ορίσει ένα label. Στη μέθοδο Upstream allocation, η διαδικασία γίνεται όπως ακριβώς στη Downstream allocation, με τη διαφορά ότι ξεκινάει από τον Upstream κόμβο και υπεύθυνος της κατανομής είναι ο Upstream. Στον Upstream-on-demand, καλείται ο Upstream κόμβος από τον Downstream να του ορίσει κάποιο label για κάποιο προορισμό και η διαδικασία συνεχίζεται όπως στο Upstream allocation. Τέλος,

υπάρχει και η μέθοδος Implicit Upstream allocation, όπου το πρώτο πακέτο της κάθε ροής προωθεί το label που θα αξιοποιηθούν από τα υπόλοιπα πακέτα ροής.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως υπάρχει αλληλένδετη σχέση μεταξύ του τρόπου έναρξης δημιουργίας των LSRs και την ανταλλαγή των labels, καθώς οι τεχνικές έναρξης περιορίζουν τις μεθόδους ανταλλαγής των labels και αντίστροφα [6] [7]. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα ανταλλαγής label με τη μέθοδο Downstream-on-demand allocation.



Εικόνα 6. Ανταλλαγή Label [19]

2.5.7 ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ Labels

Τα Labels που αξιοποιούνται από ένα LSR για FEC ταξινομούνται ανά πλατφόρμα και ανά διεπαφή. Στην ανά πλατφόρμα, οι τιμές των labels είναι μοναδικές σε κάθε LSR και αποκλείεται να έχουν δύο διεπαφές ετικέτα με την ίδια τιμή. Στην ταξινόμηση ανά διεπαφή, οι τιμές των ετικετών συσχετίζονται με τις διεπαφές. Για κάθε διεπαφή ορίζονται πολλές πηγές ετικετών, επομένως σε κάθε μια αποστέλλονται ετικέτες από διαφορετικές πηγές και είναι πιθανόν διαφορετικές διεπαφές να έχουν ίδιες τιμές ετικετών.

2.5.8 ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ Labels

Η αντιμετώπιση των ομαδοποιημένων label-FEC που λαμβάνονται από τα μη γειτονικά LSRs γίνεται με τον συντηρητικό ή τον ελεύθερο τρόπο. Οι συσχετίσεις, σύμφωνα με τον συντηρητικό τρόπο, μεταξύ labels και FEC καταργούνται και ο LSR διατηρεί λιγότερα labels. Αντίθετα με τον ελεύθερο τρόπο, οι συσχετίσεις διατηρούνται, προσφέροντας γρήγορες αλλαγές τοπολογίας και μεταγωγή κίνησης.

2.5.9 ΕΛΕΓΧΟΣ Labels

Το MPLS χρησιμοποιεί τον ανεξάρτητο και τον διαταγμένο τρόπο διανομής των labels στα γειτονικά LSRs. Στον πρώτο, όπως υποδηλώνει και το ονομά του, ο LSR λειτουργεί ανεξάρτητα και χωρίς να ενημερώσει τους υπόλοιπους για την τοποθέτηση label σε ένα FEC. Αντίθετα στον δεύτερο τρόπο, ο LSR για να ορίσει κάποιο label θα πρέπει να είναι είτε εξωτερικός router είτε να έχει λάβει συσχέτιση από κάποιο LSR επόμενου βήματος.

2.6 ΣΤΟΙΒΑ Labels (Label Stack) ΚΑΙ MPLS Tunnels

Το Label Stacking είναι η ανάθεση πολλαπλών ετικετών και συμβάλει στην καλύτερη ιεραρχική ταξινόμηση μεταξύ κόμβων εισόδου και εξόδου στην MPLS περιοχή. Αποτέλεσμα της τεχνικής στοίβας ετικετών αποτελεί η δημιουργία tunnels, που είναι ένα LSP μεταγωγής με ετικέτα και μεταφέρει αδιαφανή δεδομένα μεταξύ του LSR εισόδου του tunnel και του LSR εξόδου του tunnel. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αποκρύπτεται με αφάλεια το ωφέλιμο φορτίο, χωρίς να κωλύει την προώθηση δεδομένων. Το tunneling δίνει την δυνατότητα, επίσης, να διανέμονται labels σε πολλά FECs και να τοποθετούνται πολλά LSPs. Ενδεικτικό παράδειγμα της εφαρμογής των MPLS tunnels είναι τα IP-VPNs [8].

2.7 Traffic Engineering

Το Traffic engineering αποτελεί μία διαδικασία καταμερισμού της κίνησης μέσα στο δίκτυο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλύτερη απόδοση στη ροή της κυκλοφορίας και να υλοποιηθούν οι απαιτήσεις των εφαρμογών. Μιας και η κίνηση των δικτύων στην πλειοψηφία είναι ανομοιόμορφη, το traffic engineering ρυθμίζει την δρομολόγηση στις κατάλληλες συνδέσεις, ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση και η εφαρμογή άλλων μηχανισμών QoS.

Στο MPLS οι πιο γνωστοί μηχανισμοί που παρέχουν δυναμικά υπηρεσίες traffic engineering και ποιότητα είναι το CR-LDP και το RSVP.

2.8 Constraint-based Routing (CR)

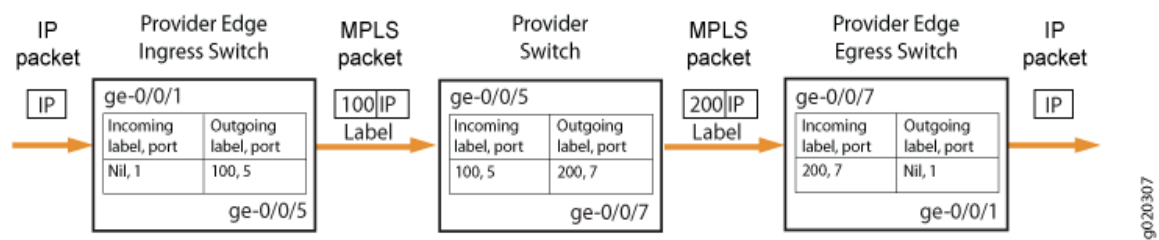
Η πλειοψηφία των αλγορίθμων δρομολόγησης στοχεύουν στην ανίχνευση ενός μονοπατιού που θα βελτιώνει ένα μετρήσιμο μέγεθος. Το CR στοχεύει στον ίδιο

σκοπό, με τη διαφορά ότι θέτει και κάποιες παραμέτρους, όπου πρέπει να εφαρμόζονται. Δηλαδή, αποτελεί μια δρομολόγηση που λαμβάνει υπόψην κάποιους περιορισμούς που αφορούν την ποιότητα υπηρεσίας και κυκλοφορίας, την απόδοση και διαχείριση. Βέβαια, παρά την χρηστικότητα του CR, αυξάνεται η πολυπλοκότητα στην ρύθμιση της δρομολόγησης, μιας και πρέπει καλύπτονται οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί [4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ- ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ MPLS

3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MPLS

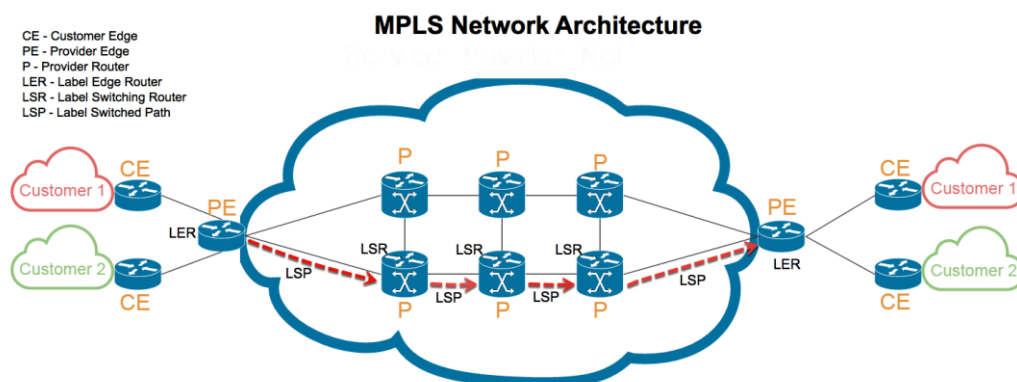
Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα κύρια στοιχεία του MPLS και αναλύθηκαν οι λειτουργίες που καθένα ξεχωριστά επιτελεί, ώστε να εφαρμόζεται άρτια και αποδοτικά η δρομολόγηση των πακέτων. Παρακάτω θα περιγράψουμε την πρόωθηση στο δίκτυο MPLS, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η μέθοδος που αποκολουθείται και η υπεροχή του συγκριτικά με την απλή παραδοσιακή δρομολόγηση IP.



Εικόνα 7. Μεταφορά πακέτου στο δίκτυο MPLS [21]

Ένα πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο και στον κόμβο εισόδου, αφού γίνει η κατάλληλη επεξεργασία με τη χρήση του LDP, δίνεται μια ετικέτα(label), η οποία τοποθετείται στην κεφαλή του πακέτου. Η συγκεκριμένη ετικέτα συμβάλει στην εύκολη και γρήγορη αναγνώριση του πακέτου από κόμβο σε κόμβο και στη δημιουργία σχετικών FEC. Μετά από την τοποθέτηση της ετικέτας και τον καθορισμό των FEC, κάθε LSR καταχωρεί στον πίνακα LIB ετικέτα ως δείκτη, υποδηλώνοντας το στάδιο που βρίσκεται (ετικέτα εισόδου, διεπαφή εισόδου, διεπαφή εξόδου, ετικέτα εξόδου) μέχρι να φτάσει στον προορισμό της και την έξοδο από το δίκτυο. Σύμφωνα με τις ενδείξεις της LIB κάθε κόμβου, δημιουργούνται ιδεατά LSPs, στα οποία κινείται και προχωράει το πακέτο. Στο σημείο αυτό, χρειάζεται να αναφερθεί το γεγονός ότι διαμορφώνονται πολλά LSPs προκειμένου να ρυθμίζεται

καλύτερα η ροή και να αποφεύγεται η συμφόρηση κάποιων μονοπατιών. Όταν το label φτάσει στο τελευταίο LSR, που σηματοδοτεί την έξοδο από το MPLS δίκτυο, αφαιρείται από το πακέτο και το πακέτο μεταφέρεται στον προορισμό του.



Εικόνα 8. Αρχιτεκτονική MPLS δικτύου [24]

3.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ MPLS

3.2.1 Traffic Engineering

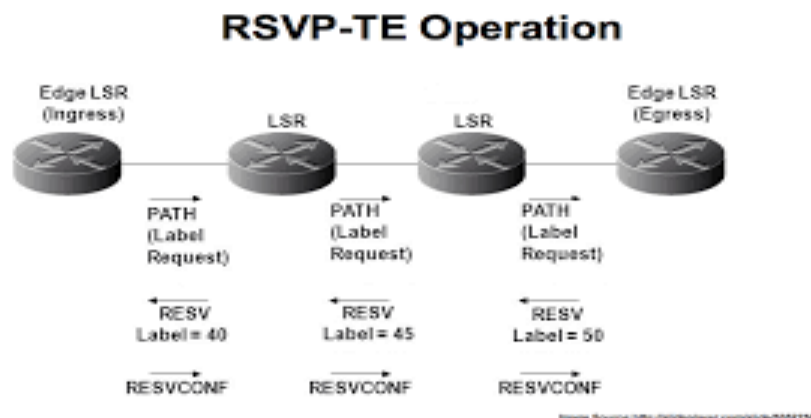
Το Traffic Engineering (TE) δεν αποτελεί καινοτομία του MPLS, αλλά η εφαρμογή του μέσα σε αυτό, το έκανε δημοφιλές και περισσότερο αποτελεσματικό. Το MPLS TE αποτελεί μια εφαρμογή με πολλές δυνατότητες εναλλακτικών πολιτικών δρομολόγησης, ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη ροή της κίνησης του δικτύου και να επιλύονται τυχόν προβλήματα που προκύπτουν μεταξύ των συνδέσεων. Σε περίπτωση, δηλαδή, που αποτύχει η κύρια διαδρομή δρομολόγησης, παρουσιάζονται άλλες διαδρομές, εξασφαλίζοντας καλύτερη διαχείριση και κίνηση της ροής του δικτύου. Απαιτείται, λοιπόν η δημιουργία του δικτύου και ο προσδιορισμός των διαδρομών, με μια συνεχή προσπάθεια εξέλιξης και καλύτερης απόδοσης. Οι διαδρομές μπορεί να είναι είτε αυστηρές, με προεπιλεγμένη ροή και δέσμευση πόρων, είτε χαλαρές όπου η επιλογή γίνεται σύμφωνα με τις προσδοκίες των ροών και κατοχυρώνονται οι πόροι. Ταυτόχρονα, οι διαδρομές θα πρέπει να είναι συγκεκριμένες και να διαμορφώνονται σύμφωνα με κάποιους περιορισμούς. Οι σημαντικότεροι είναι το RSVP-TE και το CR-LDP, όπου θα παρουσιάσουμε παρακάτω [17].

Το Resource Reservation Protocol (RSVP), όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, συμβάλει στη δημιουργία του δικτύου και την δέσμευση πόρων.

Συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο RSVP χρησιμοποιείται για να εντοπίζει τους διαθέσιμους πόρους και να τους αξιοποιεί στις συνδέσεις του δικτύου. Στέλνει μηνύματα από την αρχή/πηγή ως την έξοδο/προορισμό του MPLS TE Tunnel, συγκεντρώνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση των πόρων, ενημερώνει το δίκτυο και διαμορφώνει την ροή της κίνησης. Η χρήση και η υποστήριξη του θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε όλο το δίκτυο, τους κόμβους και τις συνδέσεις. Η αξιοποίησή του είναι ιδιαίτερα οφέλιμη σε μηχανισμούς και τεχνολογίες, οι οποίες δεν παρέχουν από μόνες τους QoS υπηρεσίες. Επομένως, για να εξασφαλίσουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του δικτύου τους χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RSVP.

Το RSVP με προεκτάσεις TE χρησιμεύει στο σύνολο των ροών που υπάρχουν σε μία συγκεκριμένη διαδρομή και δικτυακούς πόρους και όχι αποκλειστικά ανάμεσα στους δρομολογητές, όπως το τυπικό RSVP. Μέσω του RSVP TE με προεκτάσεις, η διαδρομή δεν διαμορφώνεται με αποκλειστικό γνώμονα τον προορισμό. Επίσης, μειώνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος, καθώς μεταφέρονται λιγότερα μηνύματα ανανέωσης και απαιτείται λιγότερη επεξεργασία. Ακόμη, λειτουργεί η μεταφορά MPLS label. Το RSVP TE, τέλος, εφάρμοσε ακόμη περισσότερες επεκτάσεις για την καλύτερη λειτουργία των LSPs Tunnels. Ενδεικτικά αναφέρεται, η κατ'απαίτηση διανομή ετικέτας, η αρχικοποίηση και διανομή δικτυακών πόρων στα ρητά μονοπάτια, ο εντοπισμός της διαδρομής ενός LSPs Tunnel, καθώς και ο επαναπροσδιορισμός των LSPs Tunnels που έχουν ήδη δημιουργηθεί [8] [15].

Ο τρόπος λειτουργίας του RSVP TE φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπου η μεταφορά γίνεται με τη χρήση MPLS labels και τον καθορισμό LSPs.



Εικόνα 9. Λειτουργία RSVP-TE [20]

Το CR-LDP, λειτουργεί όπως το LDP με κάποιες προεκτάσεις. Το πρωτόκολλο διανομής ετικέτας (LDP), στέλνοντας μηνύματα και επεξεργάζοντας τα δεδομένα, δημιουργεί μέσω των γειτονικών LSRs συγκεκριμένες διαδρομές (LSP), προκειμένου το πακέτο να φτάσει στον τελικό του προορισμό. Η σύνδεση και επικοινωνία ανάμεσα στους γειτονικούς LSRs γίνεται με την χρήση του TCP πρωτοκόλλου.

Το CR-LDP οριοθετεί το δίκτυο και παρέχει καλύτερη ποιότητα ροής και κυκλοφορίας. Σε περίπτωση που είναι αδύνατη η δημιουργία ενός LSP ή προκληθεί κάποιο πρόβλημα, το CR-LDP διαδίδει τα δεδομένα, προκειμένου να αναγνωριστεί και να προχωρήσει η αντιμετώπισή του. Επίσης, διαθέτει μηχανισμούς ελέγχου προκειμένου να βελτιώνεται συνεχώς μια διαδρομή και να παρέχει τις καλύτερες δυνατότητες. Ολοκληρώνοντας, είναι σημαντική η παροχή πολλαπλών πρωτοκόλλων, καθώς υποστηρίζουν και ενδυναμώνουν το δίκτυο και τις δομές του [15] [17].

3.2.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΣΤΟ MPLS (QoS)

Στην σύγχρονη εποχή, οι απαιτήσεις για την αποτελεσματική λειτουργία ενός δικτύου και η ανάγκη αναβάθμισης των υπηρεσιών του αυξάνονται συνεχώς. Γι' αυτό σχεδιάστηκαν διάφοροι μηχανισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από μια πληθώρα εργαλείων, όπου εξασφαλίζουν και παρέχουν την ποιότητα υπηρεσιών των εφαρμογών.

Τα αρχικά QoS προέρχονται από το Quality of System. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο, με την αξιοποίηση διαφόρων εργαλείων και τεχνολογιών, έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει αυξημένη αποδοτικότητα και διαλειτουργικότητα του συστήματος και των δομών του. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι το Frame Relay και το ATM, τα οποία έχουν αναφερθεί και παραπάνω.

Το QoS στοχεύει στην συνεχή παρακολούθηση του δικτύου, των δομών του και της ροής κυκλοφορίας, ώστε να παρέχεται σωστή λειτουργία και αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Επίσης, κατασκευάζει κατηγορίες υπηρεσιών, γνωστές ως CoS, όπου μέσα από την ταξινόμησή τους, διευκολύνεται η εξυπηρέτηση των πελατών τους. Οι μηχανισμοί QoS, τέλος, ρυθμίζουν την ταυτόχρονη λειτουργία σημαντικών εφαρμογών, προκειμένου να μην δημιουργούνται προβλήματα, όπως καθυστέρηση, αλλά να ικανοποιούνται οι δυνατότητες του δικτύου. Για την επίτευξη αυτών των

στόχων και την σωστή αξιοποίηση του QoS, απαιτείται η συνεργασία όλων των επιπέδων και των στοιχείων του δικτύου.

Συνοπτικά, οι μηχανισμοί QoS είναι πολύ σημαντικοί και απαραίτητοι για την σωστή και ποιοτική λειτουργία ενός δικτύου. Μια εφαρμογή καλείται συνεχώς να επιτελέσει πολλαπλές και απαιτητικές δραστηριότητες, με αποτέλεσμα το σύστημα να υπερφορτώνεται, να καθυστερεί η κυκλοφορία των δεδομένων και να μην είναι τόσο αποδοτικό. Γι' αυτό το QoS και τα εργαλεία που διαθέτει, ελέγχουν την ροή της κίνησης και τους πόρους, συντονίζουν την ταυτόχρονη λειτουργία των εφαρμογών, παρέχοντας ποιότητα υπηρεσιών, αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα.

Η εφαρμογή των μηχανισμών QoS, προϋποθέτει μια σειρά από διαδικασίες και λειτουργίες, ώστε να ελέγχουν τη ροή της κίνησης και παρουσιάζονται ακολούθως. Πρώτον, η ταξινόμηση των πακέτων και ο σχεδιασμός της δρομολόγησης από που θα περάσει και θα προωθηθεί το πακέτο. Δεύτερον, η διαχείριση της κίνησης και κυκλοφορίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο πελάτης. Ελέγχονται οι μη κατάλληλες ροές και απορρίπτονται όσες δεν συνάδουν με τις απαιτήσεις. Τρίτον, ο σχεδιασμός προώθησης και μεταφοράς πακέτων, όπου κάθε στοιχείο του συστήματος γνωρίζει ακριβώς τι είναι υπεύθυνο να πράξει για την έναρξη και ολοκλήρωση της διαδικασίας. Τέλος, ο χειρισμός και υποστήριξη της συμφόρησης, προκειμένου να τηρείται η καλή ροή στο δίκτυο και να αποτρέπεται η υπερφόρτωσή του [6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: VPN

ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ MPLS

4.1 ΑΝΑΓΚΗ VPN

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των επιχειρήσεων και των εταιρειών οδήγησε στην ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας και στην κατάργηση των παραδοσιακών στενών ορίων των επιχειρήσεων. Τα <<σύνορα>> των επιχειρήσεων καταργούνται και πλέον οι εργαζόμενοι έχουν την δυνατότητα να εργάζονται από απομακρυσμένες και διαφορετικές περιοχές, λειτουργώντας, όμως, σαν μία ενιαία επιχείρηση. Αυτό οδήγησε στην αύξηση των εσόδων και της αποδοτικότητας των επιχειρήσεων και των εργαζομένων, αλλά ταυτόχρονα προέκυψαν καινούργιες προκλήσεις.

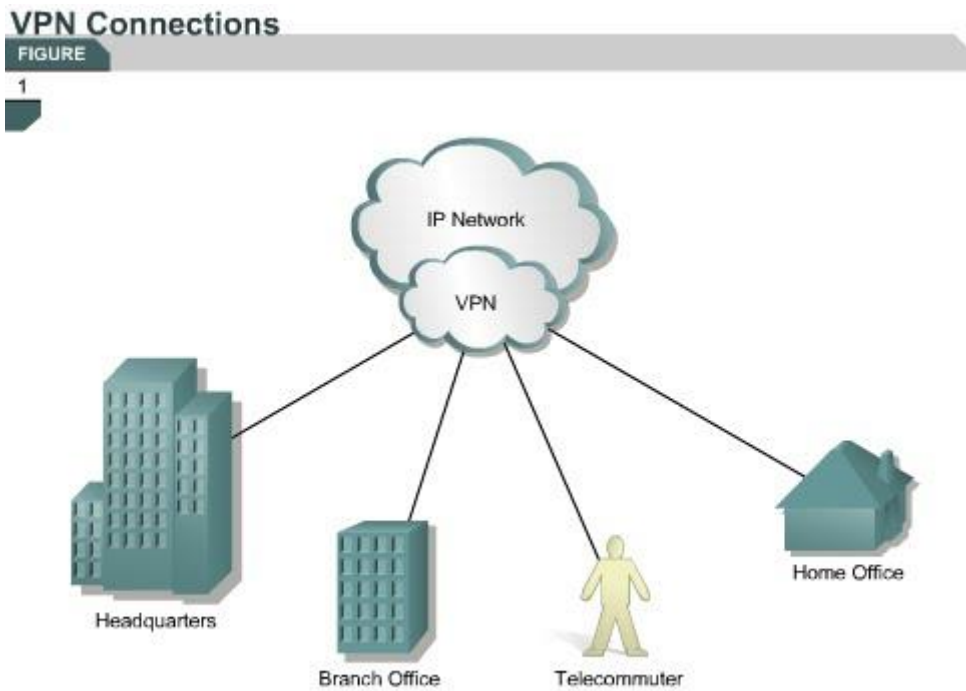
Οι εργαζόμενοι είναι απαραίτητο να έχουν πρόσβαση στους πόρους του δικτύου της επιχείρησης, ανεξαρτήτου τοποθεσίας εργασίας. Αυτό, όμως, δεν είναι εφικτό με το ήδη υπάρχον σύστημα των επιχειρήσεων, καθώς εφαρμόζει συνδέσεις μεταξύ σταθερών σημείων, κάτι που προφανώς δεν ανταποκρίνεται στις καινούργιες απαιτήσεις. Γι' αυτό, το ήδη υπάρχον WAN δίκτυο επεκτείνεται με τη συμβολή του δικτύου VPN.

Στην σύγχρονη βιομηχανία, η πλειοψηφία των επιχειρήσεων υποστηρίζουν το WAN με VPN για αρκετούς λόγους, κυρίως γιατί δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να ασχολούνται καθαρά με τα καθήκοντά τους και όχι με δευτερεύοντα στοιχεία λειτουργίας και απόδοσης. Επίσης, το VPN προσφέρει ένα σύνολο δυνατοτήτων που καλύπτει τις απαιτήσεις και τις ανάγκες σύνδεσης των σημερινών δεδομένων. Ακόμη, αποτελεί κερδοφόρα επέκταση συγκριτικά με τα ιδιωτικά δίκτυα, ενώ διατηρεί την ποιότητα και την ασφάλεια των μισθωμένων γραμμών [6] [15]. Τί είναι όμως το VPN;

4.2 ΟΡΙΣΜΟΣ VPN

Τα αρχικά VPN προέρχονται από τις λέξεις Virtual Private Networks και σημαίνουν ιδιωτικά εικονικά δίκτυα. Το VPN αποτελεί ένα ιδιωτικό δίκτυο το οποίο

χρησιμοποιεί δημόσιες υποδομές και διασυνδέσεις, όπως το internet, και εξασφαλίζει την πρόσβαση από απομακρυσμένες επιχειρήσεις και χρήστες σε ένα κεντρικό δίκτυο. Υποστηρίζει το WAN, ενώ ταυτόχρονα ενισχύει τα δίκτυα που αξιοποιούν είτε μισθωμένες γραμμές είτε Frame Relay/ATM δίκτυα που εντάσσονται στις εταιρείες. Το VPN χρησιμοποιεί επιπλέον τεχνικές κρυπτογράφησης, προκειμένου να διαφυλάξει τις πληροφορίες και να μην είναι εύκολα προσβάσιμες σε τρίτους, ενώ στους εργαζόμενούς της απαιτείται πιστοποίηση για την είσοδό τους στα δεδομένα του δικτύου. Σε όλο το δίκτυο διαφάνεται η αξιοπιστία, η πολιτική, η διαχείριση και τα χαρακτηριστικά, παρόμοια με αυτά των ιδιωτικών δικτύων, καθώς και η άνεση μεταξύ των συνδέσεων εντός και εκτός δικτύου, χωρίς όμως το υψηλό κόστος των μισθωμένων γραμμών [9] [13].



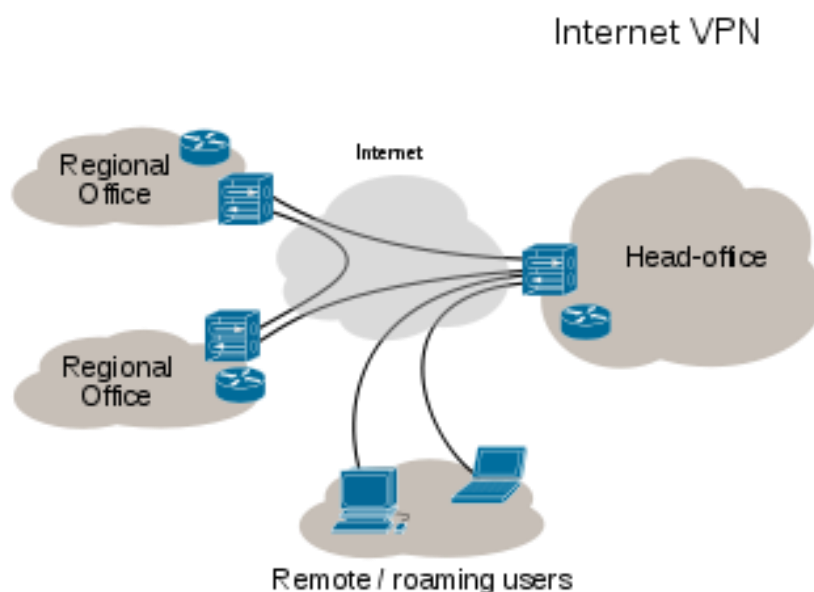
Εικόνα 10. VPN Δίκτυο [10]

4.3 ΕΙΔΗ VPNs

Υπάρχουν δύο είδη VPNs, τα οποία περιγράφονται ακολούθως. Το πρώτο είναι αυτό που λειτουργεί εκμεταλλευόμενο τα IP tunnels και η πληροφορία μεταφέρεται μέσω IP πακέτων. Αποτελεί μια μη δαπανηρή και εύκολη επιλογή, ενώ

απαιτεί τεχνολογίες κρυπτογράφησης, προκειμένου να διασφαλίσει τα δεδομένα και τις πληροφορίες της επιχείρησης.

Το δεύτερο είναι αυτό που στηρίζεται σε ISDN, Frame Relay ή ATM, τα οποία αξιοποιούν τα δημόσια δίκτυα προκειμένου να κάνουν την μεταγωγή, καθώς και άλλα κανάλια (ISDN B) για να ρυθμίσουν την ροή της κίνησης. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξυπηρετεί κάθε μορφή επικοινωνίας, όμως, είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και λιγότερο δημοφιλή, συγκριτικά με την πρώτη.



Εικόνα 11. Συνδέσεις VPN δικτύου [11]

4.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ VPN ΒΑΣΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τα VPN διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται Intranet VPNs και περιγράφει τη σύνδεση μεταξύ της επιχείρησης και των απομακρυσμένων γραφείων και χρηστών. Αυτό υποδηλώνει την πρόσβαση στα κεντρικά αρχεία και δεδομένα της εταιρείας από όλους τους χρήστες ανεξαρτήτου τοποθεσίας, είτε βρίσκονται στο χώρο της εταιρείας είτε κάπου μακριά απ' αυτήν. Η σύνδεση, δηλαδή, όλων των χρηστών είναι άμεση και η πρόσβαση ελεύθερη με τον πυρήνα εταιρείας, το WAN. Ταυτόχρονα, ο πυρήνας της εταιρείας ελέγχει και γνωρίζει τις ενέργειες όλων των χρηστών, χρησιμοποιώντας και την ενδοεπικοινωνία ως μέσο ανταλλαγής πληροφοριών.

Η δεύτερη κατηγορία είναι η Extranet VPNs και μοιάζει με την προηγούμενη κατηγορία, με τη διαφορά ότι η πρόσβαση διευρύνεται και σε άλλα άτομα (πελάτες, συνεργάτες, προμηθευτές) που η εταιρεία ορίζει. Συνεπώς, η εταιρεία δίνει πρόσβαση στους πόρους της στους χρήστες που επιθυμεί και σύμφωνα με τα δικαιώματα που τους έχει δώσει. Παράλληλα, αξιοποιείται και εδώ η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών της εταιρείας, απομακρυσμένων χρηστών και των υπόλοιπων ατόμων που συνεργάζονται μέσω των VPNs, περιορίζοντας το επικοινωνιακό κόστος ανάμεσά τους.

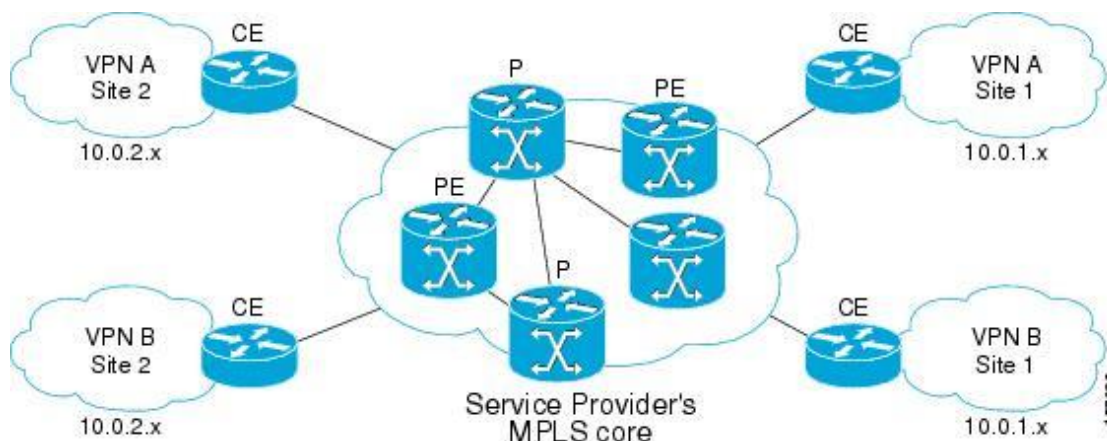
Η τρίτη και τελευταία κατηγορία αφορά το Remote Access VPNs και υποδηλώνει την σύνδεση και το δικαίωμα πρόσβασης ενός χρήστη στο δίκτυο της εταιρείας είτε από το σπίτι του είτε από κάποιο άλλο μέρος που βρίσκεται (διακοπές), σαν να βρίσκεται στο γραφείο του στην εταιρεία. Επίσης, έχει το δικαίωμα της επικοινωνίας μεταξύ όλων των μελών της εταιρείας με τη βοήθεια του προσωπικού του υπολογιστή [6] [13] [15].

4.5. MPLS VPN ΔΙΚΤΥΩΝ

Το MPLS VPN είναι ένα σύνολο μεθόδων που χρησιμοποιούν το MPLS για να δημιουργήσουν ιδιωτικά εικονικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο 2 (L2 MPLS VPN) και σε επίπεδο 3 (L3 MPLS VPN). Το MPLS VPN είναι ένας ευέλικτος τρόπος μεταφοράς και δρομολόγησης διαφόρων τύπων κίνησης των δικτύων. Χρησιμοποιεί το MPLS προκειμένου να πετύχει την μεταφορά των πακέτων και το BGP για τον σχεδιασμό των διαδρομών και της κίνησης, καθώς και τη διανομή των ετικετών. Προκειμένου να λειτουργήσει το MPLS VPN δίκτυο, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Πρώτα, όμως, θα πρέπει να διασαφηνιστούν οι ρόλοι των δρομολογητών που επιτελούν στο MPLS VPN.

Ο Customer Edge device (CE) αποτελεί την ακραία συσκευή ενός πελάτη στο VPN και έχει τη δυνατότητα να δικτυωθεί με το σύνολο των συσκευών του παρόχου. Ο Provider Edge device (PE) αποτελεί ακραίο δρομολογητή που βρίσκεται, δηλαδή, στην είσοδο και έξοδο του VPN και μεταφέρει τα δεδομένα προώθησης, ενώ παράλληλα ανανεώνει τους πίνακες δρομολόγησης. Ο πάροχος είναι υπεύθυνος για τους συγκεκριμένους δρομολογητές. Ο Provider device (P), επίσης, ελέγχεται από τον πάροχο και λειτουργεί ως ενδιάμεσος δρομολογητής στο δίκτυο. Είναι υπεύθυνος για

την ρύθμιση της VPN κίνησης, που έχει σχεδιαστεί από τους CE και PE σύμφωνα με τους κανόνες του MPLS [6] [7] [15].



Εικόνα 12. Δίκτυο MPLS VPN [25]

Οι προϋποθέσεις, λοιπόν, που θα εξασφαλίσουν την άρτια και ασφαλή λειτουργία του MPLS VPN δικτύου είναι τέσσερις και περιγράφονται ακολούθως. Αρχικά, η περιορισμένη μεταφορά δεδομένων, όπου συμβάλει στον έλεγχο της ροής κίνησης των δεδομένων μέσω της μεθόδου του φιλτραρίσματος. Η διαδικασία αξιοποιεί τον CE και PE δρομολογητή, καθώς και το BGP παρόχου. Η δεύτερη προϋπόθεση αφορά τους διαφορετικούς πίνακες προώθησης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε VPN κατέχει έναν πίνακα δρομολόγησης και κάθε PE δρομολογητής πολλούς διαφορετικούς. Με αυτό το τρόπο, εξασφαλίζεται ο διαχωρισμός των δεδομένων και αποφεύγεται η μεταφορά πακέτων σε διαφορετικούς VPNs. Καινούργιες IP-VPN διευθύνσεις που είναι μοναδικές και προωθούνται από τους BGP δρομολογητές, αποτελούν μία ακόμη παράμετρο. Τέλος, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τρόποι μεταφοράς του MPLS, οι οποίοι γίνονται με την αξιοποίηση των ετικετών labels και όχι με τις IP διευθύνσεις, κάτι που αντιπροσωπεύει το MPLS και το κάνει να υπερέχει έναντι των υπολοίπων [6].

4.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ MPLS VPN

Συμπεριληπτικά, ο ρόλος των MPLS VPN είναι πολυδιάστατος και προσφέρει πολλαπλά οφέλη. Αρχικά, αποτελεί μια οικονομική επιλογή μιας και χρησιμοποιεί τα δημόσια δίκτυα για την σύνδεση τους και όχι δικές του μισθωμένες γραμμές. Επίσης, διευρύνονται τα όρια της επιχείρησης που το χρησιμοποιούν, καθώς δίνεται η δυνατότητα να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα της εταιρείας απομακρυσμένοι

χρήστες/συνεργάτες και να χρησιμοποιούν την ενδοπικοινωνία. Εξασφαλίζει, ακόμη, υψηλή ασφάλεια των δεδομένων της εταιρείας, αφού έχει εξασφαλίσει την προστασία της κίνησης κάθε ξεχωριστού VPN. Ένα άλλο θετικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι προσφέρει την δυνατότητα αναβάθμισης και ευελιξίας στους χρήστες του για τις επικείμενες προκλήσεις του επιχειρησιακού μέλλοντος. Τέλος, παρέχεται σε όλο το φάσμα των VPN ποιότητα υπηρεσιών, καθώς τα δεδομένα προστατεύονται και μεταφέρονται καθ'όλη τη ροή της κίνησής τους [6].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ. (2016). *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*.

[2]

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CF%89%CF%84%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%BF_%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%B%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1%CF%82

[3]

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1>

[4] Alwayn, V. (2001). *Advanced MPLS Design and Implementation*. Cisco Press.

[5] Bruce, D., Yakon R. (2000). *MPLS technology and applications*. Morgan Kaufmann Publishers.

[6] Μοραντζής, Στ. *Μελέτη της τεχνολογίας MPLS με βάση τις προηγμένες δικτυακές υπηρεσίες*.

[7]

http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2002/Stravakou_mpls.pdf

[8] Γκάμας, Απ. *Δίκτυα Επικοινωνιών II: Τεχνολογία MPLS*

[9]

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF

[10]

<https://www.google.com/search?q=vpn&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUK-EwjR5sK->

[rvzfAhXyqHEKHdwxAgQQiR56BAgBEA8&biw=1366&bih=626#imgdii=-XexferldVvWtM:&imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:](http://www.google.com/search?q=vpn&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKXexferldVvWtM:&imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:rvzfAhXyqHEKHdwxAgQQiR56BAgBEA8&biw=1366&bih=626#imgdii=-XexferldVvWtM:&imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:)

[11]

[https://www.google.com/search?q=vpn&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKXexferldVvWtM:&imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:rvzfAhXyqHEKHdwxAgQQiR56BAgBEA8&biw=1366&bih=626#imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:](http://www.google.com/search?q=vpn&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKXexferldVvWtM:&imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:rvzfAhXyqHEKHdwxAgQQiR56BAgBEA8&biw=1366&bih=626#imgsrc=qcu7k-cicOKEmM:)

[12]

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=kxVCXJyBOBL6qwGS4qHwBw&q=label+%CF%83%CF%84%CE%BF+mpls&oq=label+%CF%83%CF%84%CE%BF+mpls&gs_l=img.3...16148.16810..17251...0.0..0.145.760.0.j6.....0....1..gws-wiz-img. ULwy89TCdg#imgsrc=ZVfXiwcKgI40WM:](http://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=kxVCXJyBOBL6qwGS4qHwBw&q=label+%CF%83%CF%84%CE%BF+mpls&oq=label+%CF%83%CF%84%CE%BF+mpls&gs_l=img.3...16148.16810..17251...0.0..0.145.760.0.j6.....0....1..gws-wiz-img. ULwy89TCdg#imgsrc=ZVfXiwcKgI40WM:)

[13]

http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/seminaria/M_Telecommunications/29main.htm

[14]

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=YZ9FXN28CIqgsAGgoqm4Cg&q=ler+lsr+&oq=ler+lsr+&gs_l=img.3...182552.188363..188939...0.0..0.171.2711.0j21.....0....1..gws-wiz-img.DsyG0yZbutE#imgsrc=ACrs602aHKO8-M:](http://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=YZ9FXN28CIqgsAGgoqm4Cg&q=ler+lsr+&oq=ler+lsr+&gs_l=img.3...182552.188363..188939...0.0..0.171.2711.0j21.....0....1..gws-wiz-img.DsyG0yZbutE#imgsrc=ACrs602aHKO8-M:)

[15] Μπούρας Χρήστος, 2005, Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων-Πανεπιστημιακές Σημειώσεις

[16] http://auto.teipir.gr/sites/default/files/iprot_c_kef8-mpls.pdf

[17] Μιγάλας Α. Δίκτυα Υψηλών ταχυτήτων Εν.9 ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας

[18]

[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=wbJFXOiBF4OrswGuk4H4DQ&q=downstream+upstream+mpls&oq=downstream+upstream+mpls&gs_l=img.3...25669.29325..29744...0.0..0.141.1695.0j14.....0....1..gws-wiz-img.....0i24j0i30j0i8i30.On80SY4yDAk#imgdii=9rAns3mta8vCZM:&imgsrc=7S WPGtByy5Z42M:](http://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=wbJFXOiBF4OrswGuk4H4DQ&q=downstream+upstream+mpls&oq=downstream+upstream+mpls&gs_l=img.3...25669.29325..29744...0.0..0.141.1695.0j14.....0....1..gws-wiz-img.....0i24j0i30j0i8i30.On80SY4yDAk#imgdii=9rAns3mta8vCZM:&imgsrc=7S WPGtByy5Z42M:)

[19]

<https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=4LJFXLn>

[vC8n_sQGx4ZWACA&q=CR+LDP&oeq=CR+LDP&gs_l=img.3..0i24.1434335.1436563..1437323...0.0..0.127.709.0j6.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i67.k2hFF0ccY2E#imgdii=ahq7-PjF9WndTM:&imgrc=C2XXvWoMTjz56M:](https://www.google.com/search?q=CR+LDP&oeq=CR+LDP&gs_l=img.3..0i24.1434335.1436563..1437323...0.0..0.127.709.0j6.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i67.k2hFF0ccY2E#imgdii=ahq7-PjF9WndTM:&imgrc=C2XXvWoMTjz56M:)

[20]

https://www.google.com/search?q=mpls+apnic+te+tunnel&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH0-bW9f7fAhXGzKQKHWNtA3kQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=ezVIoM70W5On8M:

[21]

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=ZsRFXMqUB4GSsAH1zowjAQ&q=mpls+label+stack&oeq=label+stack+&gs_l=img.1.0.0i5i30I2j0i8i30I2j0i24.54868.54868..57297...0.0..0.123.123.0j1.....0....1..gws-wiz-img.PmMQvCVL8Qk#imgrc=d6RdjXtGe4sr5M:

[22]

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=HMIFXJf_KIOwsAH_oJPYAQ&q=ldp+mpls+dowstream&oeq=ldp+mpls+dowstream&gs_l=img.3...46108.51510..51880...1.0..0.135.1313.0j11.....0....1..gws-wiz-img.6Rz20va9nMo#imgrc=4abVDa9b8x9p7M:

[23] Λογοθέτης Μιχαήλ, Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Εν6 MPLS: Αρχές Λειτουργίας

[24]

https://www.google.com/search?q=mpls+network+architecture&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiEqvnB7_fAhVBFywKHZ0UAywQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=oKqTqX0BIYBugM:

[25]

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=rEBGXM TWNrCSmgWU2qnICQ&q=mpls+vpn&oeq=mpls+vpn&gs_l=img.3..0I3j0i8i30j0i30j0i24I5.133287.137339..137800...0.0..0.185.2987.0j23.....0....1..gws-wiz-img.....0i5i30j0i67.vFQgaTNV4aU#imgrc=nf5oz_wBp9iv6M:

[26]

<https://www.google.com/search?q=mpls+network&source=lnms&tbm=isch&sa=X&v>

[ed=0ahUKEwir-cji9f_fAhVHyaQKHcquCZkQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=CUzYBUx2KIK0vM:](#)

[27] <https://www.tutorialsworld.com/mpls/mpls-7.htm>

[28] <https://searchnetworking.techtarget.com/tip/MPLS-advantages-and-disadvantages-for-WAN-connectivity>

[29] <https://www.rcrwireless.com/20140513/wireless/mpls-benefits>

[30] <https://www.pcskull.com/pros-cons-multiprotocol-label-switching-mpls/>

[31] <https://www.expereo.com/9-reasons-make-switch-mpls/>

[32] <https://ongoingoperations.com/2013/01/17/mpls-network-pros-cons/>

[33] www.icbnet.ntua.gr/Mathimata/Broadband/MPLS.ppt