



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ”

Δημήτριος Αναστασόπουλος

ΑΜ : 745

Επιβλέπων καθηγητής: Στεργίου Ελευθέριος

Άρτα, Νοέμβριος, 2020



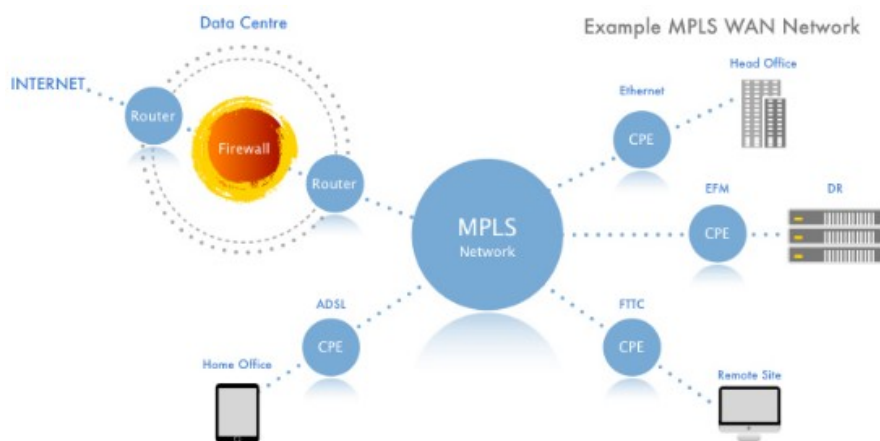
Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ”



Δημήτριος Αναστασόπουλος

AM: 745

Επιβλέπων καθηγητής: Στεργίου Ελευθέριος

Άρτα, Νοέμβριος, 2020

“MPLS TECHNOLOGY IN OPTICAL NETWORKS”

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 2020

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Στεργίου Ελευθέριος

2. Μέλος επιτροπής

Λιαροκάκης Δημήτριος

3. Μέλος επιτροπής

Χαριλόγης Βασίλειος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Αναστασόπουλος Δημήτριος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου κύριο Στεργίου Ελευθέριο για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθεια του, το ενδιαφέρον του αλλά και τον χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αρχικά θα μελετηθεί η εξέλιξη των οπτικών δικτύων και η κατηγοριοποίηση τους σε δίκτυα 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς. Στη συνέχεια θα γνωρίσουμε τις τεχνολογίες TDM (βλ. Time Division Multiplexing) και WDM (βλ. Wavelength Division Multiplexing) καθώς επίσης και την εξελικτική τους πορεία.

Έπειτα θα πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή στο MPLS, τα δομικά στοιχεία του, την αρχιτεκτονική του καθώς και στις τεχνολογίες του. Στη συνέχεια θα γνωρίσουμε την τεχνολογία MPLS-TP (βλ MPLS Transport Profile) και το Traffic Engineering δηλαδή τη διαδικασία επιλογής διαδρομών LS που επιλέγονται από την κυκλοφορία δεδομένων, προκειμένου να εξισορροπηθεί το φορτίο σε δρομολογητές και διακόπτες στο δίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μελέτη του Link Management Protocol (LMP) και του LMP Heart Beat

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στη διασύνδεση δικτύου χρήστη (UNI) που διαχωρίζεται σε UNI-C και UNI-N καθώς επίσης στους τύπους και τις υπηρεσίες της.

Λέξεις κλειδιά: Mpls, οπτικά δίκτυα, traffic engineering, GMPLS

ABSTRACT

In this thesis, the development of optical networks and their categorization into 1st, 2nd and 3rd generation networks will be studied first. Next we will learn about TDM (see Time Division Multiplexing) and WDM (see Wavelength Division Multiplexing) technologies as well as their evolution.

An introduction to MPLS, its components, architecture and technologies will then be introduced. We will then introduce MPLS-TP technology (see MPLS Transport Profile) and Traffic Engineering, the process of selecting LS routes selected from the data traffic, in order to balance the load on routers and switches in the network.

In the third chapter we will study the Link Management Protocol (LMP) and the LMP Heart Beat

Chapter 4 will refer to the user interface (UNI) that is separated into UNI-C and UNI-N as well as its types and services.

KeyWords: Mpls, optical networks, traffic engineering, GMPLS

Περιεχόμενα

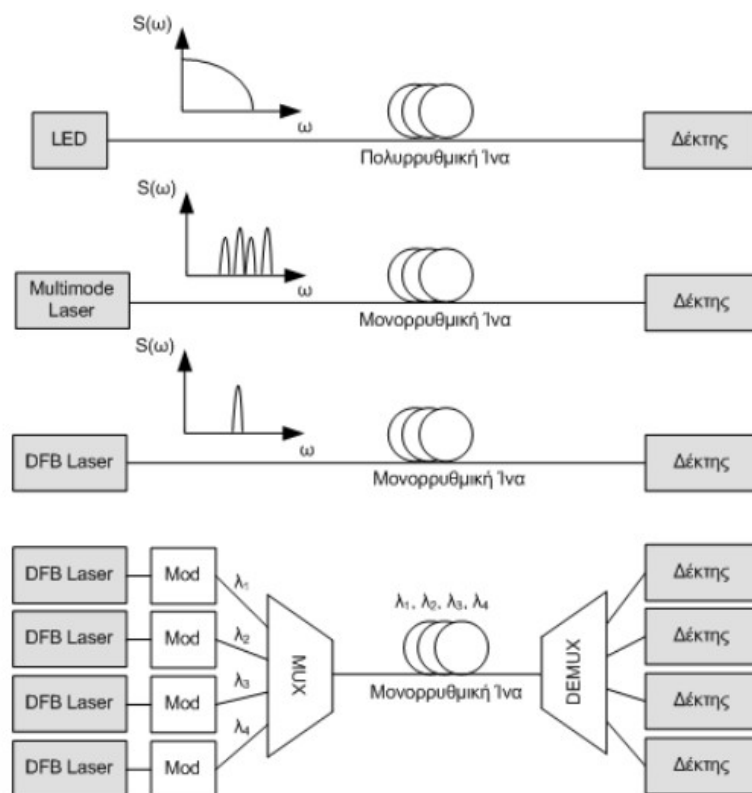
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	viii
ABSTRACT.....	ix
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα οπτικά δίκτυα.....	1
1.1 Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων.....	1
1.2 TDM και WDM.....	2
1.3 Πολυπλεξία μήκους κύματος - WDM.....	3
1.4 Η εξέλιξη της τεχνολογίας WDM.....	5
1.4.1 Coarse WDM.....	5
1.4.2 Dense WDM.....	6
1.5 Κατηγορίες οπτικών δικτύων.....	7
1.5.1 Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς.....	7
1.5.2 Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς.....	9
1.5.3 Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς.....	11
Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στο MPLS.....	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Δομικά στοιχεία του MPLS.....	16
2.3 Αρχιτεκτονική του MPLS.....	28
2.4 Τεχνολογίες MPLS.....	30
2.4.1 Υπηρεσία ιδιωτικών καλωδίων (VPWS).....	31
2.4.2 Υπηρεσία εικονικού ιδιωτικού LAN (VPLS).....	33
2.4.3 MPLS Transport Profile (MPLS-TP).....	36
2.5 MPLS σε OSI Model.....	37
2.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα MPLS.....	38
2.7 Traffic Engineering.....	39
2.8 GMPLS.....	40
2.9 Overlay Model.....	42
Κεφάλαιο 3: Link Management Protocol (LMP).....	44
3.1 Εισαγωγή.....	44

3.2 LMP Heart Beat.....	49
Κεφάλαιο 4: Η διασύνδεση δικτύου χρήστη (UNI).....	52
4.1 Εισαγωγή.....	52
4.2 Το UNI-C.....	52
4.3 Το UNI-N.....	53
4.4 Οι τύποι UNI.....	53
4.5 Υπηρεσίες UNI.....	55
Συμπεράσματα.....	56
Βιβλιογραφία.....	57

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα οπτικά δίκτυα

1.1 Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

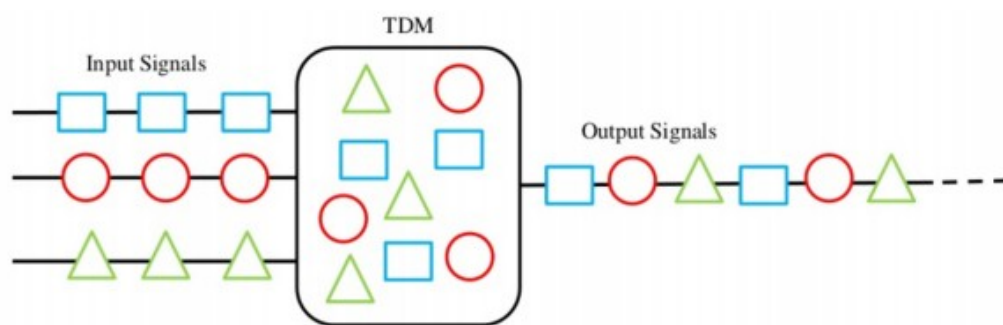
Τα πρώτα οπτικά δίκτυα διέθεταν πρώιμα συστήματα με LED και πολυρρυθμικές ίνες. Έπειτα με την εξέλιξη της τεχνολογίας αντικαταστάθηκαν από συστήματα με laser ημιαγωγού και μονορρυθμική ίνα για την αντιμετώπιση της διασποράς τρόπων διάδοσης. Ακολούθησαν τα συστήματα με DFB laser και μονορρυθμική ίνα για την αντιμετώπιση της χρωματικής διασποράς. Τέλος την εξέλιξη των οπτικών δικτύων υποδέχτηκαν τα συστήματα πολυπλεξίας μήκους κύματος BFB laser και ο εξωτερικός διαμορφωτής τα οποία ανήκουν στα οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς όπως μετέπειτα κατηγοριοποιήθηκαν. Στην εικόνα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη των οπτικών δικτύων όπως περιγράφηκε πιο πάνω [1][2][3].



Εικόνα 1 Η εξέλιξη των οπτικών δικτύων

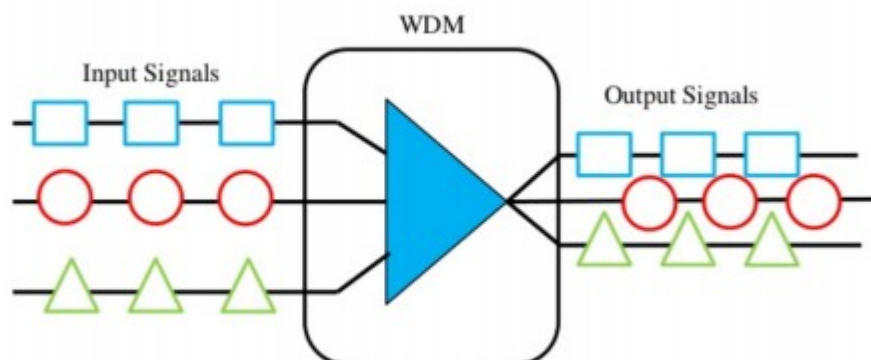
1.2 TDM και WDM

Με τον όρο TDM (βλ. Time Division Multiplexing) αναφερόμαστε σε αύξηση του σειριακού ρυθμού μετάδοσης ενώ από την άλλη πλευρά με τον όρο WDM (βλ. Wavelength Division Multiplexing) αναφερόμαστε στην αύξηση του αριθμού των παράλληλων συνδέσεων (των μήκων κύματος) [1][2][3].



Εικόνα 2 TDM

Στην εικόνα 2 μπορούμε να παρατηρήσουμε το TDM το οποίο διακρίνεται για τη χρήση εξοπλισμού υψηλού εύρους και κόστος εγκατάστασης ιδιαίτερα ακριβό.

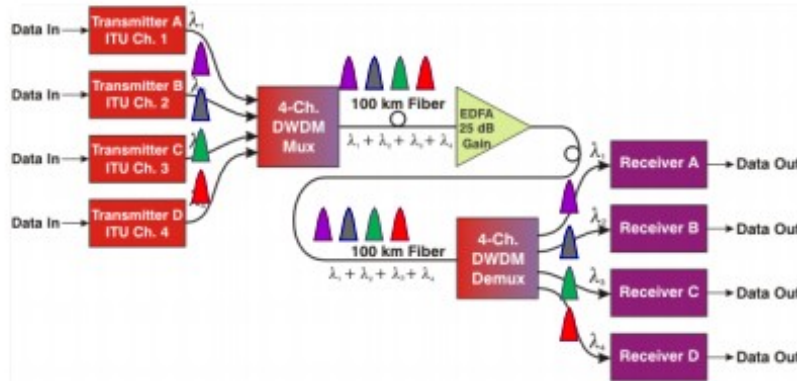
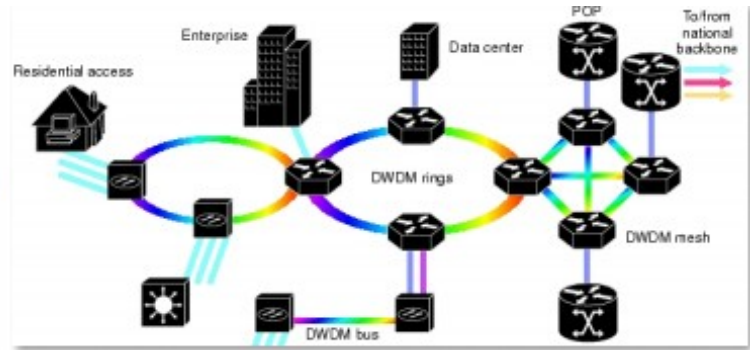


Εικόνα 3 WDM

Στην εικόνα 3 μπορούμε να διακρίνουμε το WDM. Ουσιαστικά γίνεται αναφορά σε πολλαπλά μήκη κύματος με μικρό ρυθμό μετάδοσης για την επίτευξη μεγάλης χωρητικότητας[1][2][3].

1.3 Πολυπλεξία μήκους κύματος - WDM

Με τον όρο WDM (Wavelength division multiplexing) αναφερόμαστε στην πολυπλεξία μήκους κύματος. Η εν λόγω τεχνολογία διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση και εξέλιξη των οπτικών ινών. Στη συγκεκριμένη πολυπλεξία κάθε μήκος κύματος αποτελεί μια ξεχωριστή σύνδεση. Υπάρχουν οι πολλαπλές συνδέσεις οι οποίες μεταφέρονται πάνω από μια οπτική ίνα αλλά και τα διακριτά μήκη κύματος ουσιαστικά η δρομολόγηση των οπτικών συνδέσεων στο οπτικό επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση αναφερόμαστε σε οπτικά δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς. Επιπροσθέτως στα WDM δίκτυα υπάρχουν και ενισχυτές, οι οποίοι έχουν ως βάση την εξαναγκασμένη εκπομπή. Ουσιαστικά αναφερόμαστε σε αμιγώς οπτική ενίσχυση όπου δεν απαιτείται οπτοηλεκτρο-οπτική μετατροπή (βλ. O-E-O). Ένα ακόμη χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της τεχνολογίας αποτελεί η αντιστάθμιση της χρωματικής διασποράς με χρήση dispersion compensating fibers (βλ. DCF). Επίσης δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε να αναφέρουμε ότι τόσο οι ενισχυτές όσο και οι DCFs λειτουργούν ταυτόχρονα για πολλά μήκη κύματος.



Εικόνα 4 WDM δικτύων που βασίζεται σε οπτικούς συνδέσμους με spans μεταξύ των κόμβων

Στην παραπάνω εικόνα 4 μπορούμε να διακρίνουμε ένα σύγχρονο σύστημα WDM το οποίο βασίζεται σε οπτικούς συνδέσμους με spans μεταξύ των κόμβων. Πιο συγκεκριμένα τα σύγχρονα συστήματα WDM αποτελούνται από [1][2][3]:

- SMF ίνας 70-100 km
- EDFAS – ενισχυτές
- Τμήμα ίνας DCFs

1.4 Η εξέλιξη της τεχνολογίας WDM

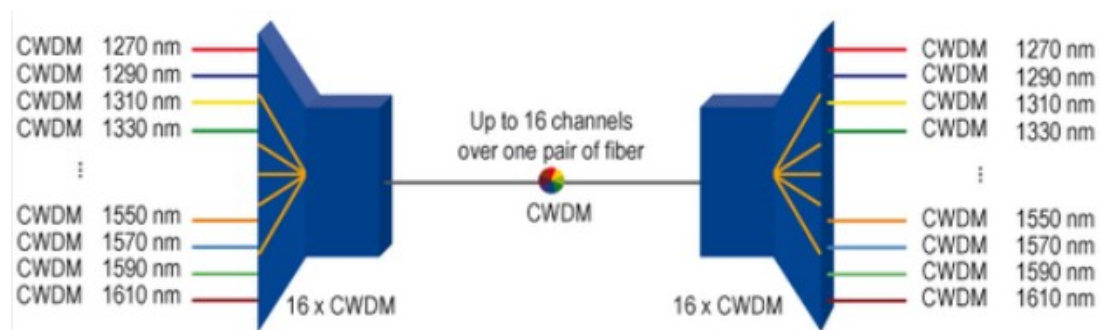
Η πάροδος των χρόνων και η εξέλιξη της τεχνολογίας επηρέασε θετικά την πορεία της τεχνολογίας WDM. Πιο συγκεκριμένα εξελίχθηκε και βελτιώθηκε με τη βοήθεια και άλλων συμπληρωματικών τεχνολογιών όπως:

- **Laser**
- **EDFA**
- **AWG**
- **OADM**
- **ROADM**
- **Coherent technology**

1.4.1 Coarse WDM

Σύμφωνα με το πρότυπο G.694.2 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (βλ. International Telecommunications Union – ITU) το Coarse Wavelength Division Multiplexing–CWDM για δίκτυα πόλεων και πρόσβασης καθορίζει:

- Ένα σταθερό πλέγμα 16 καναλιών μεταξύ 1270 nm και 1610 nm
- 20 nm κενό μεταξύ γειτονικών καναλιών



Εικόνα 5 Το Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM

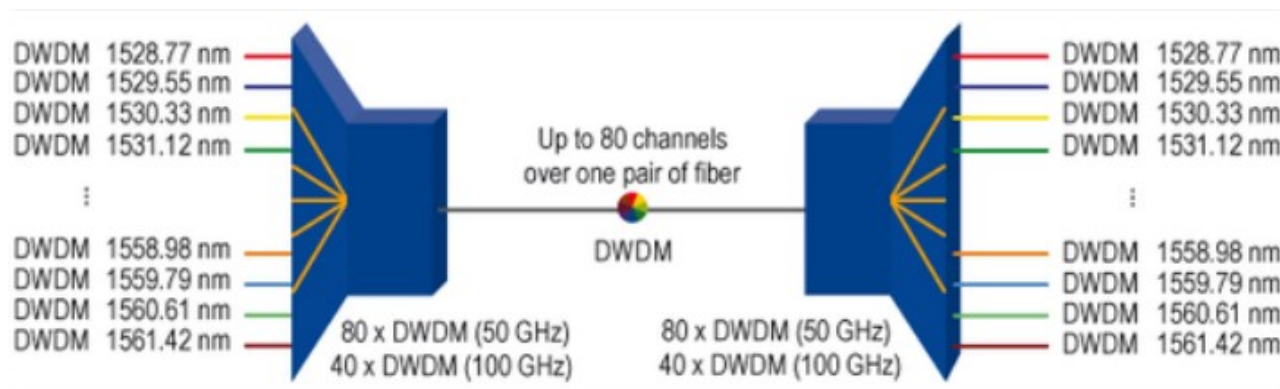
Το Coarse Wavelength Division Multiplexing διακρίνεται για την μέγιστη απόσταση μεταξύ γειτονικών καναλιών. Επιπροσθέτως επιτρέπει τη χρήση οικονομικού εξοπλισμού λόγω χάρη προσιτού κόστους lasers. Τέλος δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί ότι ένα μεγάλο μέρος του συνολικού εύρους ζώνης του συστήματος μένει αχρησιμοποίητο.

1.4.2 Dense WDM

Σύμφωνα με το πρότυπο G.694.2 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (βλ. International Telecommunications Union–ITU) το Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι καθορίζει:

- Ένα σταθερό πλέγμα το οποίο αποτελείται από περισσότερα από 80 κανάλια μεταξύ 1530 nm και 1565 nm
- Απόσταση μεταξύ γειτονικών καναλιών της τάξεως των 0.8 nm ή 0.4 nm
- Μετάδοση σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1000 kms δύναται να επιτευχθεί με τη χρήση οπτικών ενισχυτών

Κύριο πλεονέκτημά του είναι η πυκνή ομαδοποίηση των καναλιών καθώς επίσης και η βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου φάσματος. Ενώ από την άλλη πλευρά μειονεκτεί στο ότι απαιτείται υψηλότερο κόστος σε σχέση με το CWDM .



Εικόνα 6 το Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Στην εικόνα 7 γίνεται παρουσίαση ενός συγκριτικού πίνακα των δύο τεχνολογιών CWDM-DWDM.

Coarse WDM	Dense WDM
Low-cost equipment	More versatile (more expensive)
Metro Networks	Core (and Metro) Networks
Point-to-point (P2P) topologies	P2P, ring, mesh, transparent, translucent
Up to 16 channels with 2500 GHz spacing	>80 channels with 50 GHz spacing
Up to ~80 km (20 dB attenuation)	Reach of several 1000 km
No optical amplification	Optical amplification with EDFAs possible
10G wavelengths sometimes not supported	100/400G channels supported (2015)

Εικόνα 7 CWDM- DWDM

1.5 Κατηγορίες οπτικών δικτύων

Τα οπτικά δίκτυα διαχωρίζονται σε:

- ❖ Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς
- ❖ Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς
- ❖ Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς

1.5.1 Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς

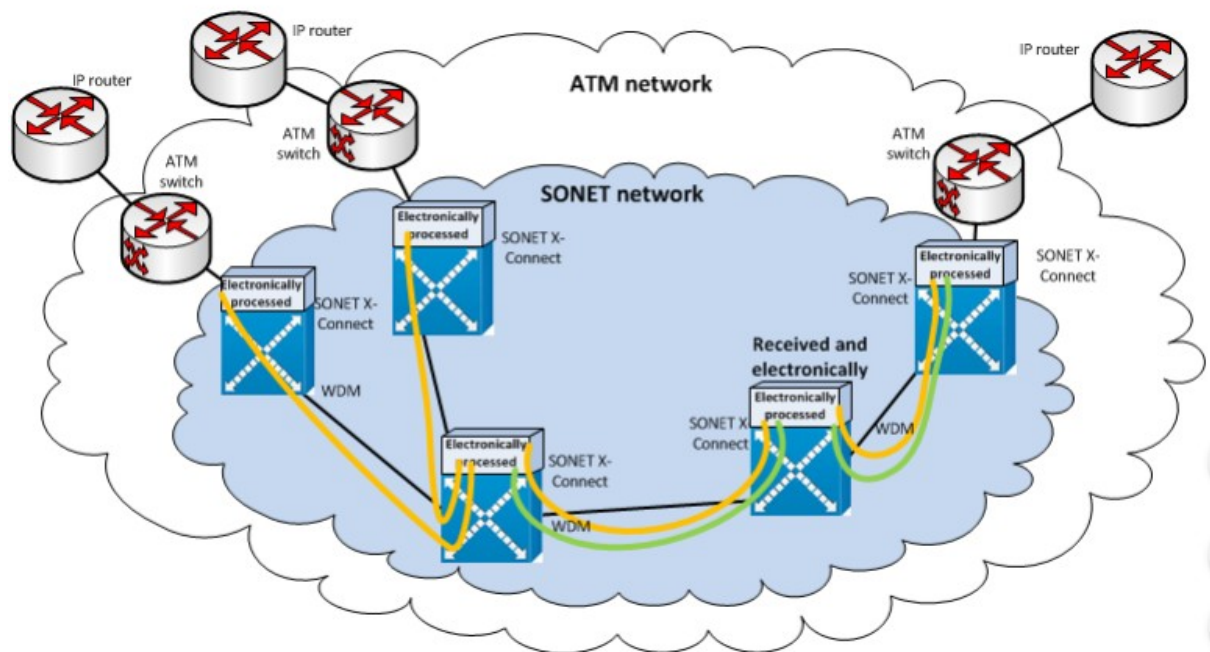
Αρχικά τα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν μόνο για μετάδοση από-σημείο-σε-σημείο ως μέσο για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης με μικρούς ρυθμούς εμφάνισης σφαλμάτων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας πολυπλεξία μήκους κύματος (βλ. WDM) επήλθε η αύξηση της χωρητικότητας με πολλαπλές μεταδόσεις.

Από την άλλη πλευρά οι υπόλοιπες λειτουργίες του δικτύου όπως:

- Η μεταγωγή
- Η δρομολόγηση
- Ο έλεγχος
- Η διαχείριση δικτύου

μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μόνο με ηλεκτρονικό τρόπο. Η εν λόγω κατηγορία υστερούσε ως προς τις ταχύτητες μετάδοσης στο δίκτυο. Οι αρκετά υψηλές ταχύτητες ελαχιστοποιούν κατά πολύ τους χρόνους στους οποίους τα ηλεκτρονικά καλούνται να περατώσουν τις λειτουργίες. Επίσης μειονεκτούν και ως προς τη χρήση πολλών πρωτοκόλλων το οποίο έχει ως συνέπεια το overhead να είναι μεγάλο.

Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική των οπτικών δικτύων πρώτης γενιάς, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 8 δεν θα μπορούσε να ήταν άλλος από το ότι η οπτική ίνα αποτελεί ένα αξιόπιστο μέσο μετάδοσης. Μειονεκτεί στο ότι χρησιμοποιεί οπτοηλεκτρονική ενίσχυση αναγέννησης σήματος και επιβαρύνει το κόστος. Αυτό οδήγησε στην επεξεργασία του σήματος σε αμιγώς οπτικό επίπεδο. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν μια πληθώρα ενισχυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο οπτικός ενισχυτής ίνας Erbium. Οι οπτικοί ενισχυτές βελτιώνουν την απόσταση επανενίσχυσης του σήματος χωρίς να απαιτείται αναδιαμόρφωση και επανασυγχρονισμός οπτικών παλμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οπτικών δικτύων πρώτης γενιάς αποτελεί το πρότυπο SDH (βλ. Synchronous Optical NET work).



Εικόνα 8 Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς

1.5.2 Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

Ακολούθησαν τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς ουσιαστικά τα γνωστά δίκτυα μεταγωγής μήκους κύματος (βλ. wavelength routed WDM). Σε αυτή την κατηγορία δικτύων διαδικασίες όπως:

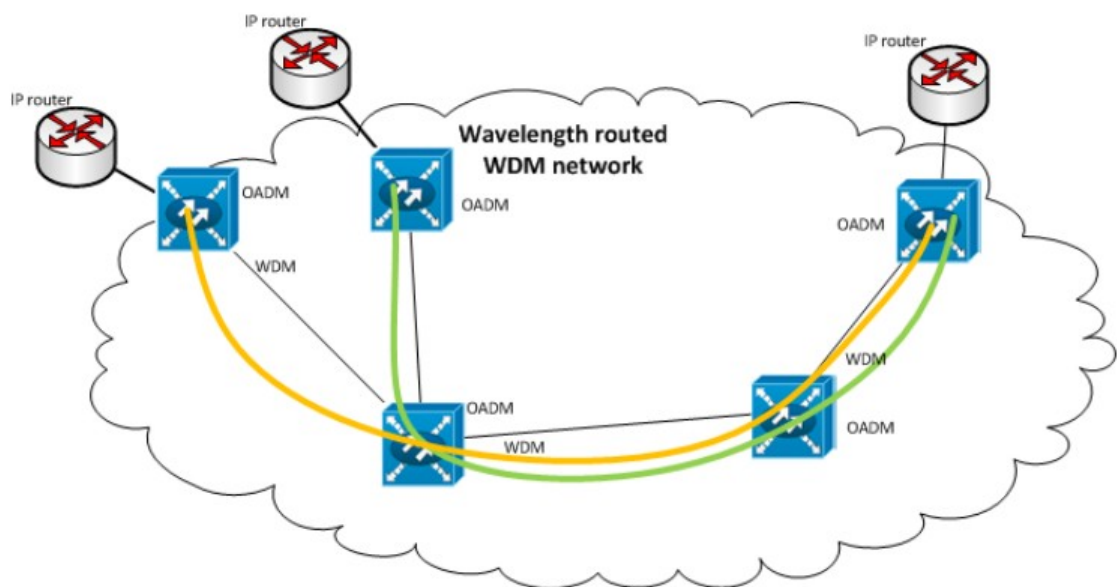
- Η δρομολόγηση
- Η μεταγωγή
- Ο έλεγχος

λαμβάνουν χώρα στο οπτικό επίπεδο.

Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς διακρίθηκαν για την υψηλή μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Με την πάροδο του χρόνου καθώς και την διευρυμένη ζήτηση εύρους ζώνης τα δίκτυα εξελίχθηκαν βέλτιστα σε δίκτυα που προσφέρουν τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η ταχύτητα που παρέχει η οπτική λειτουργία συνδυαστικά με τεχνικές πολυπλεξίας ικανοποιούν τις απαιτήσεις στα

δίκτυα δεύτερης γενιάς. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν υιοθετήσει την τεχνική πολυπλεξίας WDM καθώς και την τεχνική OTDM. Τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών είναι:

- οπτικά τερματικά, γραμμής (OLT)
- οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης-αφαίρεσης (OADM)
- οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (OXC)
- EDFA για την περιοδική ενίσχυση των σημάτων



Εικόνα 9 Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

Επιπροσθέτως σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν:

- Οπτικοί πολυπλέκτες πρόσθεσης
- Οπτικοί πολυπλέκτες τερματισμού

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας θα προσθέσουμε ότι υπάρχουν οπτικά μονοπάτια τα οποία διαπερνάνε ενδιάμεσους κόμβους και έχουν εγκατασταθεί στατικά. Το δίκτυο δεν ρυθμίζεται εξ' αποστάσεως αλλά παρόλα αυτά δεν είναι εφικτή η ευελιξία στην επιλογή μήκους κύματος και στη δρομολόγηση των συνδέσεων.

1.5.3 Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς

Τα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς, πιο συγκεκριμένα τα δίκτυα μεταγωγής μήκους κύματος (βλ. wave length routed WDM) αποτελούν την εξέλιξη και την βελτιστοποίηση των δικτύων πρώτης και δεύτερης γενιάς.

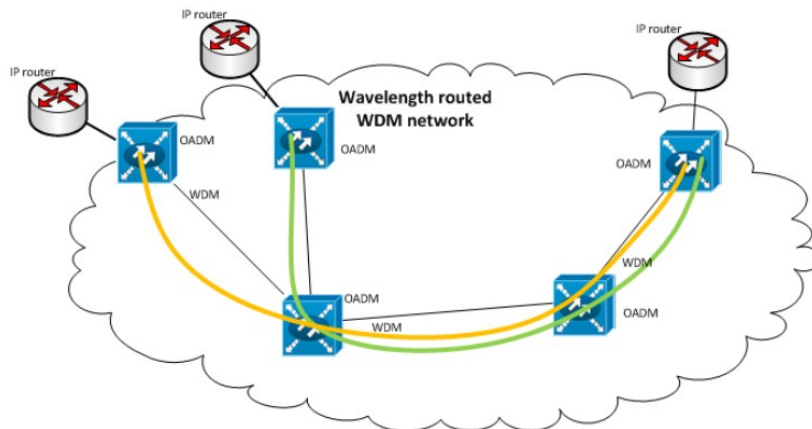
Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά δικτύων τρίτης γενιάς είναι:

- Ο βέλτιστος χειρισμός πακέτων μικρού μεγέθους
- Η βέλτιστη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης

Τα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς έχουν ως βάση τις παρακάτω τεχνικές:

- Οπτική Μεταγωγή Εκρηκτικής Ροής-Optical Burst Switching
- Οπτική Μεταγωγή Πακέτων-Optical Packet Switching
- Οπτική Μεταγωγή Επικεφαλίδας - Optical Label Swapping[1][2][3].

Και σε αυτή την κατηγορία όπως και στην προηγούμενη γενιά η δρομολόγηση λαμβάνει χώρα στο οπτικό επίπεδο. Υπάρχουν ρυθμιζόμενοι οπτικοί πολυπλέκτες πρόσθεσης καθώς επίσης και τερματισμού. Χαρακτηριστικό γνώρισμα και αυτής της κατηγορίας είναι τα οπτικά μονοπάτια τα οποία περνάνε διαφανώς τους ενδιάμεσους κόμβους. Τέλος το δίκτυο δύναται να ρυθμίζεται εξ' αποστάσεως και οι συνδέσεις δύναται να εγκαθίστανται δυναμικά. Κλείνοντας θα επισημάνουμε ότι υπάρχει ευελιξία στην επιλογή μήκους κύματος και μονοπατιού [1][2][3].



Εικόνα 10 Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς

Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στο MPLS

2.1 Εισαγωγή

Η μεταγωγή σήματος πολλαπλών πρωτοκόλλων, δηλαδή το γνωστό με την ευρύτερη ονομασία MPLS αναπτύχθηκε με γρήγορους ρυθμούς έχοντας ως βάση τα πακέτα και χρησιμοποιείται τόσο σε απλά δίκτυα όσο και σε δίκτυα δεδομένων και φωνής.

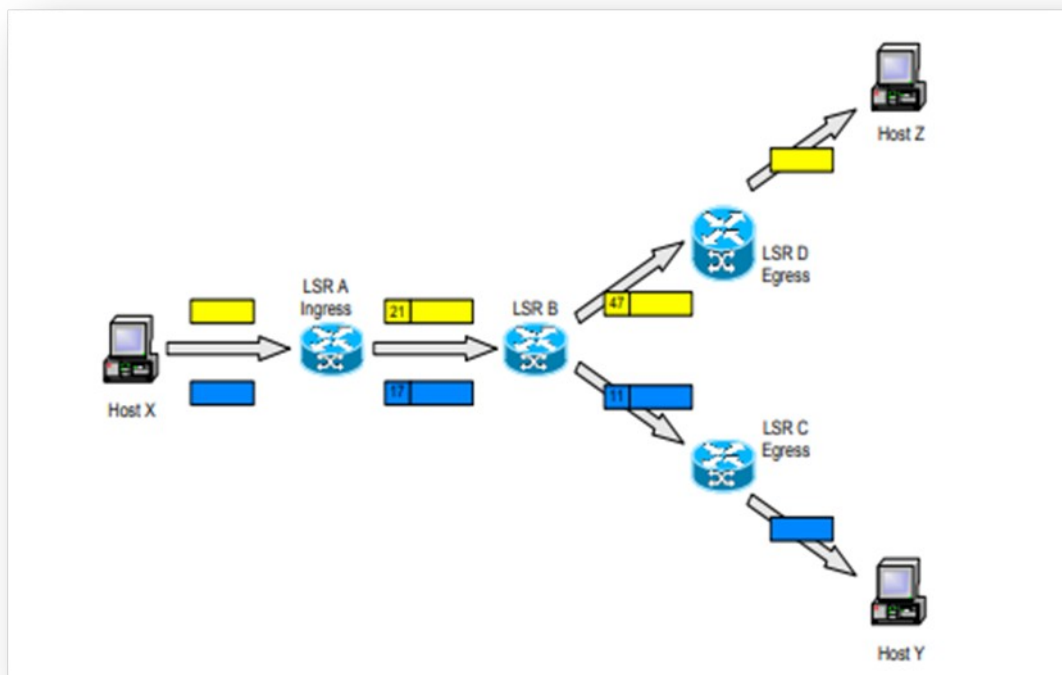
Η ομάδα εργασίας MPLS για την Ομάδα Μηχανικών Διαδικτύου (IETF) δημιουργήθηκε το 1997 και τα πρώτα MPLS RFCs κυκλοφόρησαν το 2001. Το RFC 3031 προσδιορίζει την αρχιτεκτονική MPLS και το RFC 3032 καθορίζει την κωδικοποίηση της στοίβας ετικετών. Βασικό της μέλημα αποτέλεσε η ρύθμιση της κίνησης των δεδομένων και η προώθηση πακέτων σε ένα σύνθετο δίκτυο. Μια μεθοδολογία προσανατολισμένη στις συνδέσεις που διασχίζει πακέτα από τον κόμβο πηγή στον κόμβο προορισμό και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη μετάδοση πακέτων. Η τεχνολογία MPLS δύναται να συμπεριλάβει πακέτα με την παρουσία διαφορετικών πρωτοκόλλων δικτύου.

Στην παραδοσιακή δρομολόγηση IP, τα πακέτα αναλύονται σε κάθε hop, με τη χρήση κεφαλίδας δικτύου και στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση σε πίνακα δρομολόγησης. Σε ένα δίκτυο MPLS, στα πακέτα που μεταφέρουν δεδομένα έχουν εκχωρηθεί ετικέτες σε κάθε κόμβο και η απόφαση προώθησης βασίζεται στις κεφαλίδες ετικέτας. Η

κεφαλίδα πακέτου αναλύεται μόνο μία φορά κατά την είσοδο στο cloud MPLS και τότε η απόφαση προώθησης η οποία είναι «βασισμένη σε ετικέτα» εξασφαλίζει τη γρήγορη μετάδοση πακέτων μεταξύ τοπικών και απομακρυσμένων κόμβων.

Το MPLS μπορεί να μην αντικαθιστά τη δρομολόγηση IP, αλλά λειτουργεί παράλληλα με τεχνολογίες δρομολόγησης με απώτερο σκοπό να παρέχει μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας μεταξύ δρομολογητών με ετικέτα (LSR) με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS).

Στην εικόνα 11 που ακολουθεί γίνεται παρουσίαση της βασικής λειτουργίας ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων MPLS:



Εικόνα 11 Η λειτουργία ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων MPLS

Σε ένα δίκτυο MPLS σε κάθε hop του δικτύου το πακέτο δρομολογείται με βάση τη σημαντικότητα της εισερχόμενης διεπαφής καθώς επίσης και της ετικέτας. Στη συνέχεια αποστέλλεται σε μια διεπαφή εξόδου με μια νέα τιμή ετικέτας. Η διαδρομή που ακολουθούν τα δεδομένα μέσα σε ένα δίκτυο MPLS ορίζεται από τη μετάβαση των τιμών της ετικέτας. Δεδομένου ότι η χαρτογράφηση μεταξύ ετικετών είναι σταθερή σε κάθε LSR, η διαδρομή καθορίζεται από την αρχική τιμή της ετικέτας. Μια τέτοια διαδρομή ονομάζεται διαδρομή ετικετών (LSP). Σε αυτό το σημείο θα προσθέσουμε ότι το σύνολο των πακέτων επισημαίνονται με την ίδια τιμή ετικέτας κατά την είσοδο στο δίκτυο MPLS θα ακολουθήσουν το ίδιο LSP.

Αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Το LSR A ουσιαστικά είναι ένα σημείο εισόδου μέσα στο υπάρχον δίκτυο MPLS για δεδομένα από τον κεντρικό υπολογιστή X. Όταν λαμβάνει πακέτα από τον κεντρικό υπολογιστή X, το LSR A καθορίζει το FEC για κάθε πακέτο. Στη συνέχεια συμπεραίνει ότι το LSP το χρησιμοποιεί και προσθέτει μια ετικέτα. Έπειτα το LSR A προωθεί το πακέτο στην κατάλληλη διεπαφή για το LSP.

Το LSR B αποτελεί ένα ενδιάμεσο LSR στο δίκτυο MPLS. Ο ρόλος του είναι να λαμβάνει κάθε ετικέτα πακέτου και χρησιμοποιεί την αντιστοίχιση {εισερχόμενη διεπαφή, τιμή ετικέτας} με σκοπό να αποφασίσει την αντιστοίχιση {εξερχόμενη διεπαφή, τιμή ετικέτας} με την οποία θα προωθηθεί το πακέτο. Για να επιτευχθεί η παραπάνω διαδικασία απαιτείται η χρήση ενός απλού πίνακα αναζήτησης. Αυτός ο τρόπος προώθησης των πακέτων δεδομένων είναι ο βέλτιστος.

Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 11, κάθε πακέτο με τιμή ετικέτας 21 θα αποσταλεί από τη διεπαφή προς το LSR D, που φέρει την τιμή ετικέτας 47. Τα πακέτα με την τιμή ετικέτας 17 θα φέρουν εκ νέου ετικέτα με τιμή 11 και αποστέλλονται προς LSR C. Οι LSR C και LSR D λειτουργούν ως LSRs εξόδου από το δίκτυο MPLS. Αυτά τα LSRs εκτελούν τα ίδια αναζήτηση ως τα ενδιάμεσα LSR, αλλά το ζεύγος {εξερχόμενη διασύνδεση, τιμή ετικέτας} σηματοδοτεί το πακέτο ως έξοδο από το LSP. Οι έξοδοι LSRs αναζητούν τις ετικέτες από τα πακέτα και προς τα εμπρός χρησιμοποιώντας τη δρομολόγηση του στρώματος 3.

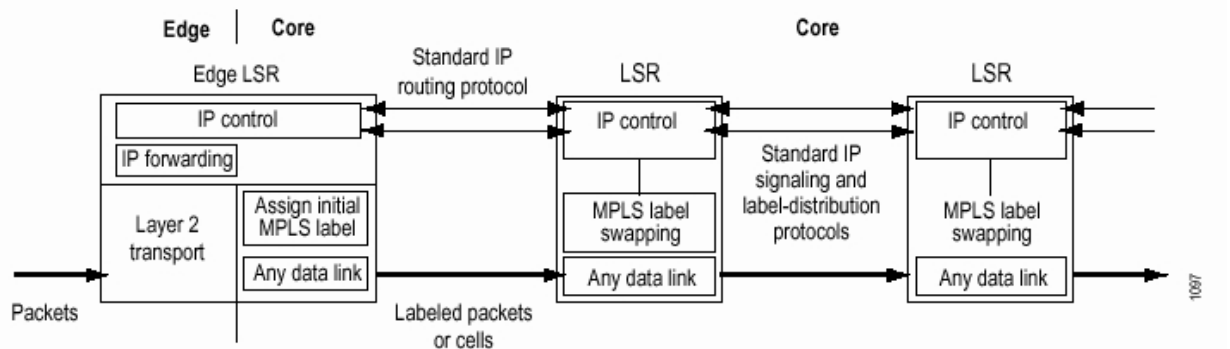
Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας σε περίπτωση που το LSR A αναγνωρίσει όλα τα πακέτα για τον εξυπηρετητή Z με το ανώτερο LSP και τα επισημάνει με την τιμή 21, αυτά θα προωθηθούν με επιτυχία μέσω του δικτύου[4][1].

Ουσιαστικά το MPLS αποτελεί μια τεχνολογία η οποία έχει καθοριστεί από την IETF με σκοπό την προώθηση, δρομολόγηση καθώς επίσης και τη μεταγωγή ροών κυκλοφορίας στο δίκτυο. Βασικοί στόχοι της τεχνολογίας MPLS είναι:

- Ο καθορισμός μηχανισμών για τη διαχείριση των ροών κυκλοφορίας των στοιχείων μέσα στο δίκτυο
- Η ανεξαρτησία από τα πρωτόκολλα 2^{ου} και 3^{ου} επιπέδου του OSI
- Η συνεργασία με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (βλ. OSFP, RSVP)
- Η υποστήριξη των πρωτοκόλλων δευτέρου επιπέδου (βλ. ATM, IP, frame-relay)

- Η παροχή των κατάλληλων μέσων για την αντιστοίχιση των διευθύνσεων IP σε απλές, με καθορισμένο μήκος ετικέτας, οι οποίες χρησιμοποιούνται από διαφορετικές τεχνολογίες προώθησης και μεταγωγής πακέτων.

Στο MPLS η μετάδοση δεδομένων μπορεί να καταστεί δυνατή με τη βοήθεια μονοπατιών μεταγώγιμα με ετικέτες. Τα μονοπάτια αυτά καλούνται LSPs. (βλ. Label switched paths). Πιο συγκεκριμένα τα LSPs αποτελούν μια σειρά από ετικέτες σε όλους τους κόμβους του δικτύου οι οποίες μεσολαβούν από την πηγή ως τον προορισμό σε όλο το μονοπάτι. Τα LSPs μπορούν να εγκατασταθούν στο δίκτυο είτε πριν τη μετάδοση δεδομένων είτε με την ανίχνευση ροής δεδομένων. Επιπροσθέτως κάθε πακέτο δεδομένων τοποθετείται και μεταφέρει τις ετικέτες κατά τη διάρκεια της διαδρομής από την πηγή ως τον προορισμό. Η ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων μπορεί να χαρακτηριστεί ως υψηλή και αυτό διότι οι ετικέτες εισάγονται από την αρχή του πακέτου ή του κελιού και βοηθούν ώστε να μεταγώγουν τα πακέτα γρήγορα μεταξύ των συνδέσεων. Ένα LSP δύναται να δημιουργηθεί από την ένωση ενός ή περισσοτέρων προορισμών μεταγωγής ετικέτας. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται εφικτό η προώθηση από έναν δρομολογητή μεταγωγής ετικέτας σε ένα άλλο LSR (βλ. Label Switching Router). Και όλα αυτά με μια περιοχή εφαρμογής του πρωτοκόλλου MPLS. Στην παρακάτω εικόνα 12 το τμήμα ελέγχου MPLS επικεντρώνεται σε λειτουργίες του πρωτοκόλλου IP.[4]



Εικόνα 12 Μεταγωγή ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων

Αναλυτικότερα το τμήμα προώθησης του MPLS έχει ως βάση των αλγόριθμο ανταλλαγής ετικετών. Σε περίπτωση που η τεχνολογία στο επίπεδο 2 υποστηρίζει την ύπαρξη ενός πεδίου ετικέτας, τότε η ετικέτα του πρωτοκόλλου MPLS δύναται να ενσωματωθεί στο τοπικό πεδίο ετικέτας. Εάν το επίπεδο 2 δεν υποστηρίζει κάποιο

πεδίο ετικέτας η MPLS ετικέτα ενσωματώνεται σε μια τυποποιημένη επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου MPLS η οποία τοποθετείται μεταξύ των επικεφαλίδων του επιπέδου 2 και του πρωτοκόλλου IP. Πιο συγκεκριμένα η MPLS επικεφαλίδα επιτρέπει σε οποιαδήποτε τεχνολογία του επιπέδου 2 να μεταφέρει MPLS ετικέτες συνεπώς μπορεί να επωφεληθεί από την τεχνική αντικατάστασης ετικέτας μήκος του μονοπατιού LSP.

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας αξίζει να επισημάνουμε ότι ο αρχικός στόχος της βασισμένης σε ετικέτα μεταγωγής δεν μπορεί να είναι άλλος από την ταχύτητα του στρώματος 2 να μεταπηδήσει στο στρώμα 3. Πιο συγκεκριμένα οι ετικέτες μέθοδοι μεταγωγής δίνουν τη δυνατότητα στους δρομολογητές να λαμβάνουν αποφάσεις για την προώθηση των πακέτων βασισμένοι στο περιεχόμενο μιας απλής ετικέτας[4].

2.2 Δομικά στοιχεία του MPLS

Οι συσκευές οι οποίες συμμετέχουν στους μηχανισμούς του πρωτοκόλλου MPLS δύναται να ταξινομηθούν σε δρομολογητές ετικέτας:

- LSRs- Label Switching Routers
- LERs- Label Edge Routers

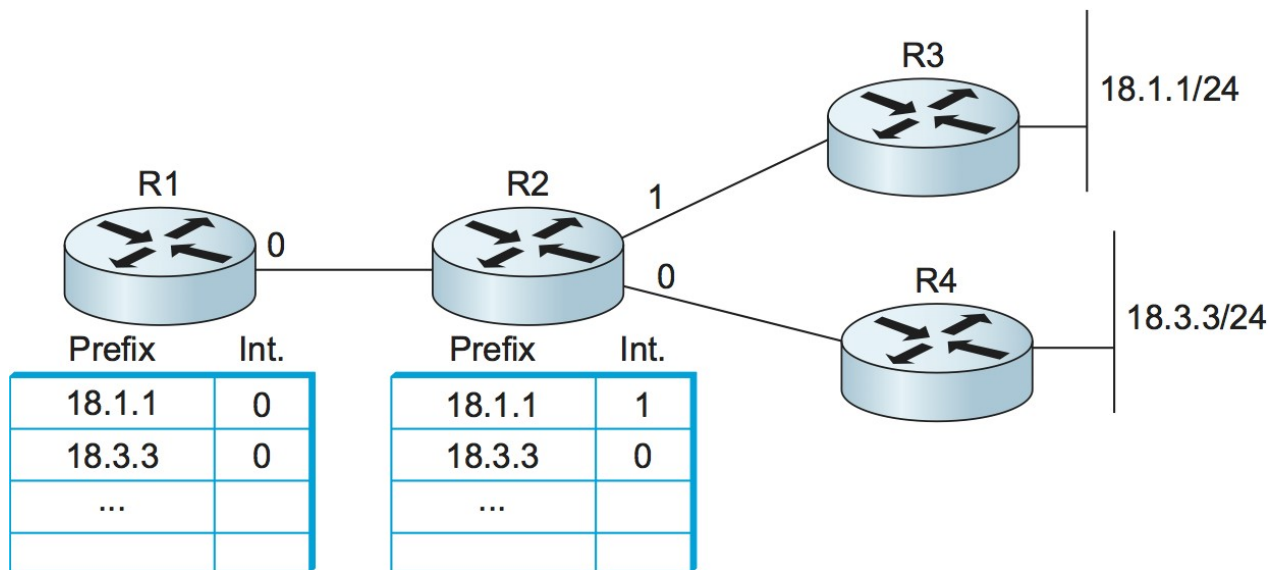
Με τον όρο LSRs- Label Switching Routers αναφερόμαστε σε δρομολογητές υψηλής ταχύτητας στον πυρήνα κάποιου MPLS δικτύου. Οι συγκεκριμένοι δρομολογητές συμμετέχουν στην αναγνώριση των LSPs με τη χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων σηματοδότησης ετικετών και μεταγωγής υψηλής ταχύτητας της κυκλοφορίας δεδομένων που έχουν ως βάση τα εγκατεστημένα μονοπάτια.

- **Forward Equivalence Class (FEC):** περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα πακέτων εφαρμογής που προωθούνται στη διαδρομή μεταγωγής μέσω της ίδιας επεξεργασίας προώθησης. Κάθε πακέτο της κλάσης διατηρεί την ίδια απαίτηση υπηρεσίας. Κάθε τύπος κυκλοφορίας δεδομένων έχει εκχωρηθεί με ένα νέο FEC και γίνεται μόνο μία φορά κατά την είσοδο στο cloud MPLS.
- **Router Edge Label Edge (LER):** Υπάρχει γύρω από ένα cloud mpls και αποτελεί ένα σημείο εισόδου όπου το πακέτο δεδομένων προέρχεται από την πηγή του. Αυτός ο δρομολογητής άκρων επιβάλλει ετικέτα (PUSH) και προς

τα εμπρός πακέτα στον προορισμό μέσω του τομέα. Μετά την εγκατάσταση του LSP και την ανάθεση ετικετών, αυτός ο δρομολογητής εισέρχεται στην διαδικασία προώθησης πακέτων στο κεντρικό δίκτυο MPLS.

- **Router Edge Edge Label (LER):** Υπάρχει γύρω από ένα δίκτυο mpls και είναι ένα σημείο εξόδου όπου το πακέτο δεδομένων φτάνει στον προορισμό του. Αυτός ο περιστροφικός δρομολογητής εκτελεί τη διάθεση ή την αφαίρεση της ετικέτας (POP) και προωθεί το πακέτο IP στον προορισμό.
- **Διακόπτης αλλαγής ετικετών (LSR):** λαμβάνει ένα πακέτο με ετικέτα, το αντικαθιστά με ένα εξερχόμενο και προωθεί το νέο πακέτο σε μια κατάλληλη διεπαφή. Ανάλογα με τη θέση του στον τομέα MPLS, ο δρομολογητής αυτός εκτελεί την ετικέτα (απομάκρυνση, POP), επιβολή ετικέτας (προσθήκη, PUSH) ή ανταλλαγή ετικέτας. Όταν η ροή δεδομένων φτάνει από το δίκτυο πρόσβασης στον πυρήνα MPLS, διαχωρίζεται σε ξεχωριστό FEC σε αυτόν τον δρομολογητή. Ως αναγνώριση των δεσμών ετικετών, το LSR δημιουργεί καταχωρήσεις στη βάση δεδομένων ετικετών.
- **Διαδρομή εναλλαγής ετικετών (LSP):** η διαδρομή που διασχίζεται από ένα πακέτο από την πηγή στον προορισμό μέσω ενός δικτύου με δυνατότητα MPLS. Η διαδρομή επιτρέπει την εναλλαγή των πακέτων από τη μία άκρη στην άλλη, με τη διέλευση ενδιάμεσων δρομολογητών μεταγωγής. Κάθε τοποθεσία δικτύου απαιτεί να καθοριστούν LSP για τη μεταφορά δεδομένων. Για παράδειγμα, τα πακέτα δεδομένων από το LER A μετακινούνται μεταξύ αρκετών ενδιάμεσων κόμβων σε LER B χρησιμοποιώντας LSP A, και στη συνέχεια μια άλλη διαδρομή LSP B έχει οριστεί για τη μεταφορά πακέτων σε άλλο άκρο άμεσα, η οποία είναι η πιο σύντομη διαδρομή για την άφιξη του προορισμού [10].

Μια από τις πρώτες δημοσιεύσεις για την ιδέα της προσάρτησης ετικετών στα πακέτα IP αποτέλεσε η έμπνευση των Chandranmenon και Vargese για τη υλοποίηση μιας ιδέας που ονομάζεται σπειροειδής δείκτης. Παρόμοια ιδέα εφαρμόζεται τώρα σε δρομολογητές με δυνατότητα MPLS. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα του τρόπου υλοποίησης της ιδέας.



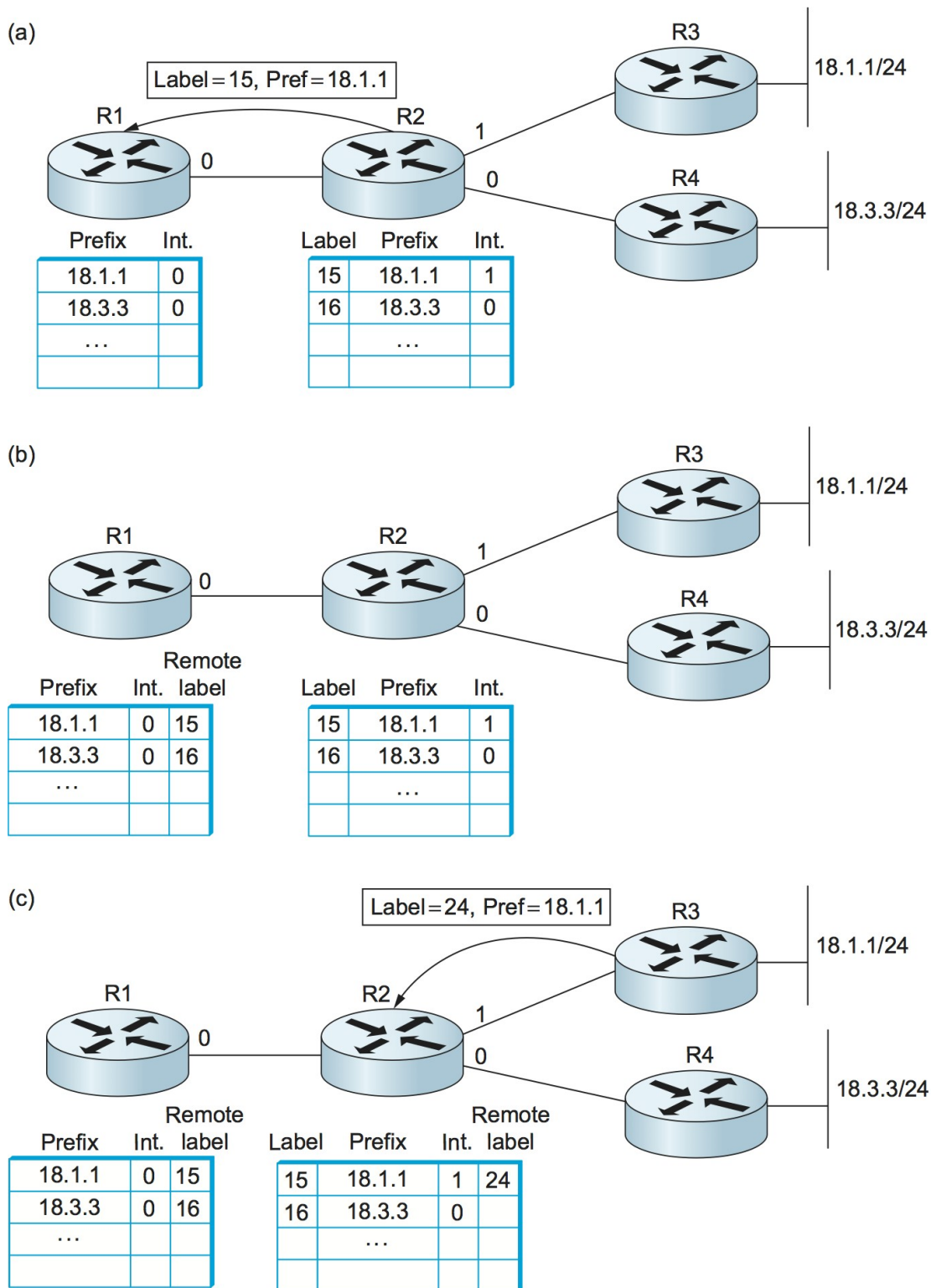
Εικόνα 13 Πίνακες δρομολόγησης σε δίκτυο

Κάθε ένας από τους δύο δρομολογητές (βλ. R3 και R4) αποτελείται από ένα συνδεδεμένο δίκτυο, με πρόθεμα 18.1.1 / 24 και 18.3.3 / 24. Οι υπόλοιποι πίνακες δρομολόγησης (βλ. R1 και R2) υποδεικνύουν την εξερχόμενη διεπαφή κάθε δρομολογητή που θα χρησιμοποιήσει κατά τη διαβίβαση πακέτων σε ένα από αυτά τα δίκτυα.

Σε περίπτωση που το MPLS είναι ενεργοποιημένο σε έναν δρομολογητή, ο δρομολογητής διαθέτει μια ετικέτα για κάθε πρόθεμα στον πίνακα δρομολόγησης και δημοσιεύει τόσο την ετικέτα όσο και το πρόθεμα που αντιπροσωπεύει στους γειτονικούς δρομολογητές. Αυτή η δημοσίευση μεταφέρεται στο πρωτόκολλο διανομής ετικετών όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 14. Ο δρομολογητής R2 έχει εκχωρήσει την τιμή ετικέτας 15 για το πρόθεμα 18.1.1 και την τιμή ετικέτας 16 για το πρόθεμα 18.3.3. Οι συγκεκριμένες ετικέτες δύναται να επιλεγούν με την ευκολία της κατανομής του δρομολογητή και μπορούν να θεωρηθούν ως δείκτες στον πίνακα δρομολόγησης. Μετά την κατανομή των ετικετών, το R2 δημοσιεύει τις δεσμεύσεις της ετικέτας στους γείτονές του. Στο εν λόγω παράδειγμα μπορούμε να παρατηρήσουμε το R2 να δημοσιεύει μια σύνδεση ανάμεσα στην ετικέτα 15 και το πρόθεμα 18.1.1 στο R1. Ουσιαστικά το R2 είναι σαν να λέει: "**Παρακαλώ να επισυνάψετε την ετικέτα 15 σε όλα τα πακέτα που μου έστειλε και τα οποία προορίζονται για το πρόθεμα 18.1.1**". Το R1 αποθηκεύει την ετικέτα σε έναν πίνακα

δίπλα στο πρόθεμα που αντιπροσωπεύει την απομακρυσμένη ή εξερχόμενη ετικέτα για κάθε πακέτο που στέλνει σε αυτό το πρόθεμα.

Στην εικόνα (c), βλέπουμε μια άλλη δημοσίευση με ετικέτα από το δρομολογητή R3 προς R2 για το πρόθεμα 18.1.1 και το R2 τοποθετεί την απομακρυσμένη ετικέτα που έμαθε από το R3 στην κατάλληλη θέση στον πίνακα του.



Εικόνα 14 (α) Το R2 διαθέτει ετικέτες και δημοσιεύει δεσμεύσεις στο R1.

(β) Το R1 αποθηκεύει τις ληφθείσες ετικέτες σε έναν πίνακα.

(γ) Το R3 δημοσιεύει μια άλλη δέσμευση και το R2 αποθηκεύει την ληφθείσα ετικέτα σε έναν πίνακα.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να περιγράψουμε τι θα συμβαίνει όταν ένα πακέτο προωθείται σε αυτό το δίκτυο. Σε περίπτωση που ένα πακέτο προοριζόμενο για τη διεύθυνση IP 18.1.1.5 φτάνει από τα αριστερά στο δρομολογητή R1. Το R1 αναφέρεται ως Label Edge Router (LER). Ένα LER εκτελεί μια ολοκληρωμένη αναζήτηση IP για τα πακέτα IP που φθάνουν και στη συνέχεια εφαρμόζει ετικέτες σε αυτά ως αποτέλεσμα της αναζήτησης. Σε αυτή την περίπτωση, το R1 παρατηρεί αν το 18.1.1.5 ταιριάζει με το πρόθεμα 18.1.1 στον πίνακα προώθησης και ότι αυτή η καταχώρηση περιέχει τόσο μια εξερχόμενη διασύνδεση όσο και μια τιμή απομακρυσμένης ετικέτας. Συνεπώς, το R1 προσαρτά την απομακρυσμένη ετικέτα 15 στο πακέτο πριν την αποστείλει.

Όταν το πακέτο φτάσει στο R2, το R2 βλέπει μόνο την ετικέτα στο πακέτο και όχι τη διεύθυνση IP. Ο πίνακας προώθησης στο R2 δηλώνει ότι τα πακέτα που φθάνουν με τιμή ετικέτας 15 πρέπει να αποστέλλονται από τη διεπαφή 1 και ότι πρέπει να φέρουν την τιμή ετικέτας 24, όπως ανακοινώνεται από το δρομολογητή R3. Επομένως, το R2 ανταλλάσσει την ετικέτα και προωθεί στο R3.

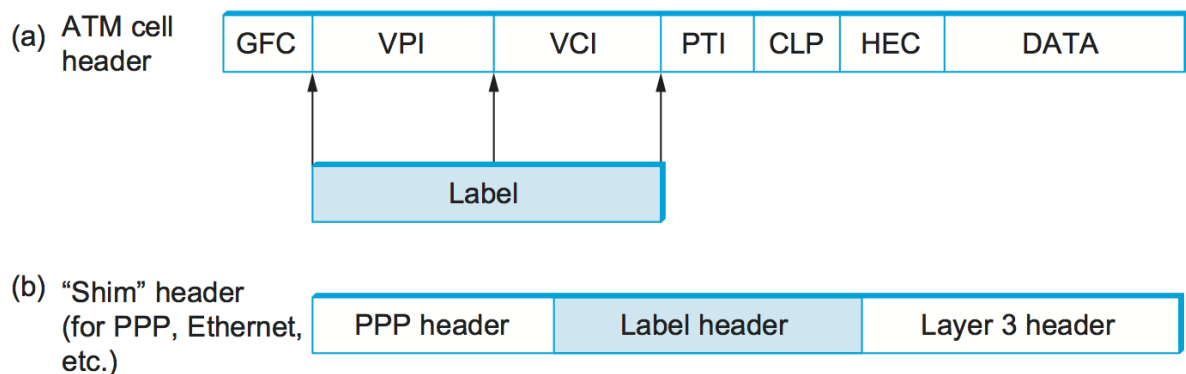
Μια σημαντική θεμελιώδης έννοια του MPLS απεικονίζεται από αυτό το παράδειγμα. Κάθε ετικέτα MPLS συνδέεται με μια κλάση ισοδυναμίας προώθησης (FEC)-ένα σύνολο πακέτων που πρόκειται να λάβουν την ίδια επεξεργασία προώθησης σε έναν συγκεκριμένο δρομολογητή. Σε αυτό το παράδειγμα, κάθε πρόθεμα στον πίνακα δρομολόγησης είναι FEC, δηλαδή όλα τα πακέτα που ταιριάζουν με το πρόθεμα 18.1.1-ανεξάρτητα από τα bits χαμηλής τάξης της διεύθυνσης IP-προωθούνται κατά μήκος της ίδιας διαδρομής. Έτσι, κάθε δρομολογητής μπορεί να διαθέσει μία ετικέτα που αντιστοιχεί σε 18.1.1 και οποιοδήποτε πακέτο που περιέχει μια διεύθυνση IP των οποίων τα bits υψηλής τάξης ταιριάζουν με αυτό το πρόθεμα μπορούν να προωθηθούν χρησιμοποιώντας αυτήν την ετικέτα.

Οι FECs αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της τεχνολογίας MPLS. Δύναται να διαμορφωθούν χρησιμοποιώντας σχεδόν οποιοδήποτε κριτήριο. Για παράδειγμα, όλα τα πακέτα που αντιστοιχούν σε έναν συγκεκριμένο πελάτη θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι βρίσκονται στο ίδιο FEC.

Η αλλαγή του αλγόριθμου προώθησης από την κανονική προώθηση IP σε αλλαγή ετικετών έχει μια σημαντική συνέπεια: συσκευές οι οποίες αγνοούσαν το πώς να προωθούν τα πακέτα IP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προωθήσουν την κίνηση

IP σε ένα δίκτυο MPLS. Οι μεταγωγείς ATM υποστηρίζουν τον αλγόριθμο προώθησης ανταλλαγής ετικετών και με την παροχή αυτών των διακοπών με πρωτόκολλα δρομολόγησης IP και με μια μέθοδο διανομής δεσμεύσεων ετικετών θα μπορούσαν να μετατραπούν σε ελεγκτές εναλλαγής ετικετών (βλ. Labs Switching Routers - LSR)-συσκευές που χρησιμοποιούν πρωτόκολλα ελέγχου IP, αλλά χρησιμοποιούν την ετικέτα εναλλαγή αλγορίθμου προώθησης.

Όταν τα πακέτα IP μεταφέρονται ως πλήρη πλαίσια, όπως συμβαίνει στους περισσότερους τύπους συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένου του Ethernet και του PPP, η ετικέτα εισάγεται ως "shim" ανάμεσα στην κεφαλίδα του επιπέδου 2 και την κεφαλίδα IP όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο κάτω μέρος της εικόνας. Ωστόσο, εάν ένας διακόπτης ATM πρόκειται να λειτουργήσει ως MPLS LSR, τότε η ετικέτα πρέπει να βρίσκεται σε ένα σημείο όπου ο διακόπτης μπορεί να το χρησιμοποιήσει και αυτό σημαίνει ότι πρέπει να βρίσκεται στην κεφαλίδα του ATM, ακριβώς όπου βρίσκονται τα πεδία ταυτοποίησης εικονικού κυκλώματος (βλ. VCI) και τα αναγνωριστικά εικονικής διαδρομής (βλ. VPI).



Εικόνα 15 α) Ετικέτα σε πακέτο που έχει εγκλωβιστεί σε ATM

β) ετικέτα σε πακέτο που έχει εγκλωβιστεί σε πλαίσιο

Αξιοσημείωτο είναι το ότι τώρα θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί ένα μείγμα συμβατικών δρομολογητών IP, δρομολογητών άκρων ετικετών και μεταγωγείς ATM που λειτουργούν ως LSR, και όλοι θα χρησιμοποιούν τα ίδια πρωτόκολλα δρομολόγησης. Για να κατανοήσουμε τα οφέλη από τη χρήση των ίδιων πρωτοκόλλων, θα πρέπει να εξετάσουμε μια εναλλακτική λύση. Στην εικόνα 15 (α), βλέπουμε ένα σύνολο δρομολογητών διασυνδεδεμένων με εικονικά

κυκλώματα μέσω ενός δικτύου ATM, μια διαμόρφωση που ονομάζεται δίκτυο επικάλυψης. Παλιότερα τα δίκτυα αυτού του τύπου κατασκευάζονταν συχνά επειδή οι εμπορικά διαθέσιμοι διακόπτες ATM υποστήριζαν υψηλότερη συνολική απόδοση από τους δρομολογητές. Σήμερα, τέτοια δίκτυα δεν χρησιμοποιούνται σε αυτό τον βαθμό επειδή οι δρομολογητές έχουν ξεπεράσει τους διακόπτες ATM. Ωστόσο, αυτά τα δίκτυα εξακολουθούν να υπάρχουν λόγω της σημαντικής εγκατεστημένης βάσης των διακοπών ATM σε ραχοκοκαλιά του δικτύου, η οποία με τη σειρά της είναι εν μέρει αποτέλεσμα της ικανότητας του ATM να υποστηρίζει μια σειρά δυνατοτήτων όπως η εξομοίωση κυκλώματος και οι υπηρεσίες εικονικού κυκλώματος.

Σε ένα δίκτυο επικάλυψης, κάθε δρομολογητής θα μπορούσε ενδεχομένως να συνδεθεί με κάθε ένα από τους άλλους δρομολογητές από ένα εικονικό κύκλωμα, αλλά σε αυτή την περίπτωση για να γίνει πιο αντιληπτό θα γίνει παρουσίαση των κυκλωμάτων από το R1 σε όλους τους δρομολογητές ομοτίμων. Το R1 έχει πέντε γειτονικούς δρομολογητές και χρειάζεται να ανταλλάξει μηνύματα πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Αντίθετα, όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε στην εικόνα 15 (b) οι διακόπτες ATM έχουν αντικατασταθεί με LSR. Δεν υπάρχουν πλέον εικονικά κυκλώματα που συνδέουν τους δρομολογητές. Το R1 έχει μόνο μία γειτνίαση, με LSR1. Στα μεγάλα δίκτυα, η λειτουργία του MPLS στους διακόπτες οδηγεί σε σημαντική μείωση του αριθμού των παρακείμενων περιοχών που πρέπει να διατηρεί κάθε δρομολογητής και μπορεί να μειώσει σημαντικά το ποσό εργασίας που πρέπει να κάνουν οι δρομολογητές για να ενημερώνονται αμοιβαία για αλλαγές τοπολογίας.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα της εκτέλεσης των ίδιων πρωτοκόλλων δρομολόγησης στους δρομολογητές άκρων και στους LSRs είναι ότι οι δρομολογητές άκρων έχουν πλήρη εικόνα της τοπολογίας του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι εάν κάποιος σύνδεσμος ή κόμβος αποτύχει στο εσωτερικό του δικτύου, οι δρομολογητές θα έχουν περισσότερες πιθανότητες να πάρουν μια καλή νέα διαδρομή απ'ότι εάν οι διακόπτες του ATM ανακατατάξουν τα επηρεαζόμενα VCs χωρίς τη γνώση των δρομολογητών.

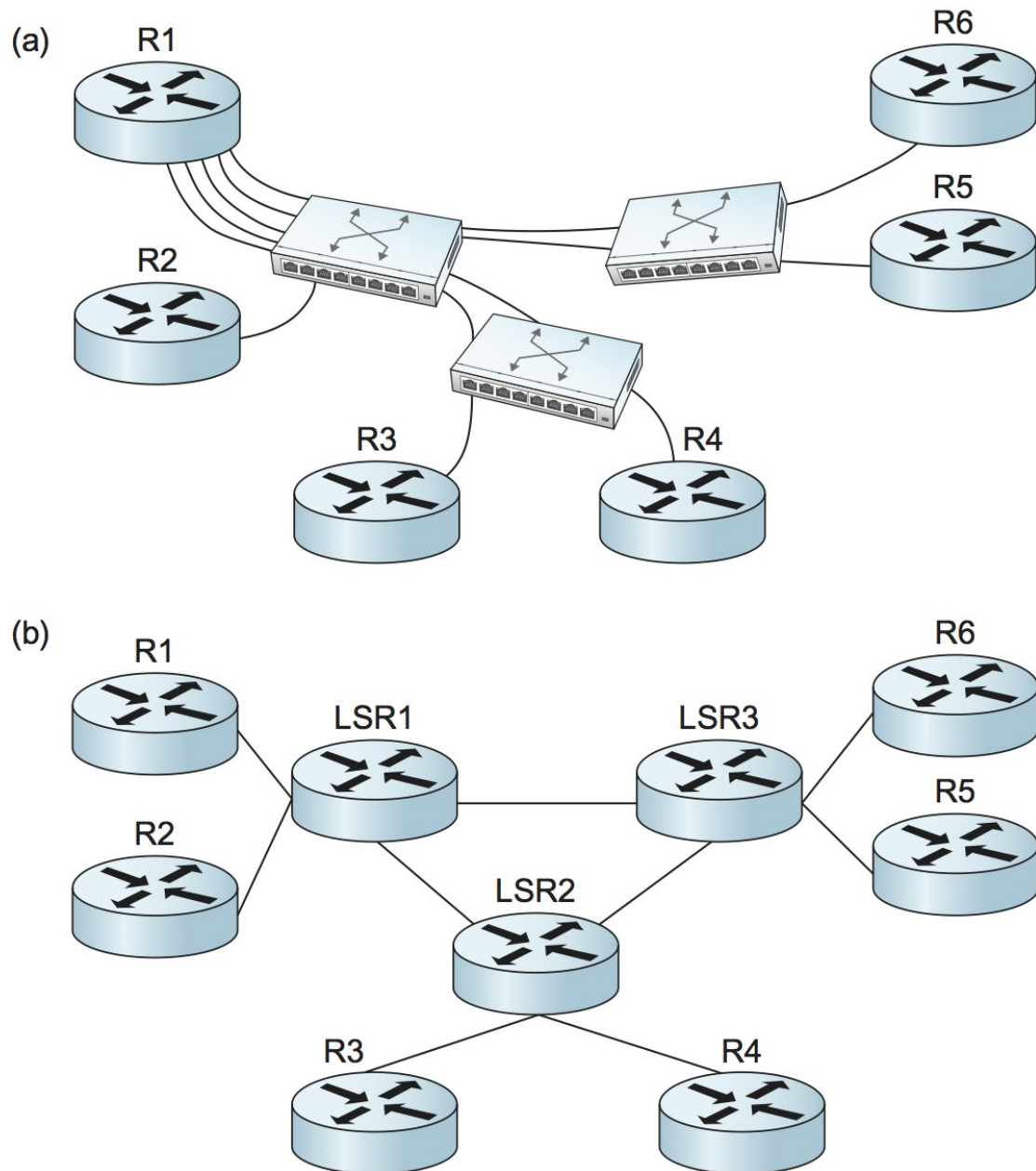
Το βήμα της "αντικατάστασης" των μεταγωγέων ATM με LSR επιτυγχάνεται με την αλλαγή των πρωτοκόλλων που εκτελούνται στους διακόπτες, αλλά παρόλα αυτά δεν απαιτείται καμία αλλαγή στο υλικό προώθησης. Ουσιαστικά ένας διακόπτης ATM μπορεί συχνά να μετατραπεί σε MPLS LSR αναβαθμίζοντας μόνο το λογισμικό του. Επιπλέον, ένα MPLS LSR μπορεί να συνεχίσει να υποστηρίζει τις τυπικές δυνατότητες ATM ταυτόχρονα με την εκτέλεση των πρωτοκόλλων ελέγχου MPLS.

Η ιδέα των πρωτοκόλλων ελέγχου IP που εκτελούνται σε συσκευές οι οποίες δεν είναι σε θέση να προωθούν τα πακέτα IP έχει επεκταθεί σε δίκτυα WDM και TDM (βλ. SONET). Αυτό είναι γνωστό ως Generalized MPLS (GMPLS). Μέρος του κίνητρου για το GMPLS ήταν να παρέχει δρομολογητές με τοπολογικές γνώσεις ενός οπτικού δικτύου, όπως και στην περίπτωση του ATM. Ακόμη πιο σημαντικό ήταν το γεγονός ότι δεν υπήρχαν πρότυπα πρωτόκολλα για τον έλεγχο των οπτικών συσκευών, οπότε το MPLS αποδείχτηκε κατάλληλο για την εν λόγω εργασία.

Το IP διαθέτει επιλογή δρομολόγησης πηγής αλλά δεν χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι είναι συνήθως επεξεργασμένο έξω από το *"γρήγορο μονοπάτι"* στους περισσότερους δρομολογητές.

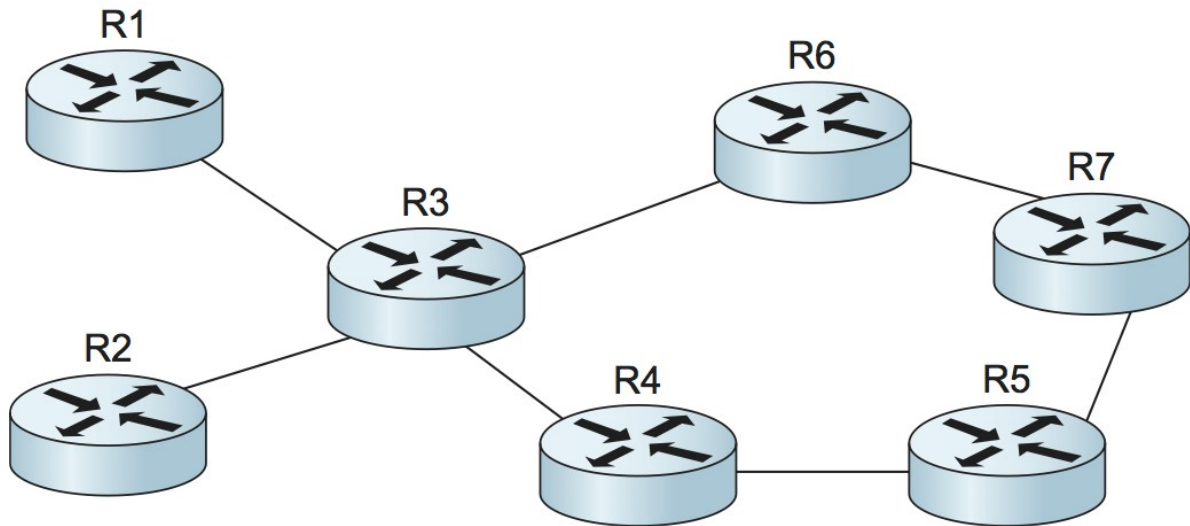
Το MPLS αποτελεί έναν ικανοποιητικό τρόπο προσθήκης δυνατοτήτων παρόμοιων με τη δρομολόγηση πηγής σε δίκτυα IP, βέβαια αξίζει να επισημάνουμε ότι η συγκεκριμένη δυνατότητα αναφέρεται συχνότερα ως ρητή δρομολόγηση παρά ως δρομολόγηση πηγής.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για το πώς μπορεί να εφαρμοστεί η δυνατότητα σαφούς δρομολόγησης του MPLS. Αυτό το είδος δικτύου συχνά αποκαλείται *δίκτυο ψαριών* λόγω του σχήματος του (βλ. οι δρομολογητές R1 και R2 σχηματίζουν την ουρά το R7 βρίσκεται στο κεφάλι).



Εικόνα 16 (α) Οι δρομολογητές συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μια επικάλυψη εικονικών κυκλωμάτων

(β) Οι δρομολογητές αλληλεπιδρούν άμεσα με LSRs



Εικόνα 17 Ένα δίκτυο που απαιτεί σαφή δρομολόγηση

Μπορούμε να παρατηρήσουμε στην παραπάνω εικόνα 17 ότι ο χειριστής του δικτύου έχει προσδιορίσει ότι οποιαδήποτε κίνηση που ρέει από R1 έως R7 πρέπει να ακολουθεί την διαδρομή R1-R3-R6-R7 και οποιαδήποτε κίνηση που πηγαινει από R2 έως R7 να ακολουθεί την διαδρομή R2-R3-R4- R5-R7. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι η συγκεκριμένη επιλογή θα βοηθήσει στην βέλτιστη χρήση της διαθέσιμης χωρητικότητας κατά μήκος των δύο ξεχωριστών διαδρομών από το R3 έως το R7. Μπορούμε να σκεφτούμε ότι η κυκλοφορία από το R1 στο R7 αποτελεί μία κλάση ισοδυναμίας προώθησης και η κυκλοφορία από R2 στο R7 αποτελεί ένα δεύτερο FEC. Η προώθηση της κυκλοφορίας σε αυτές τις δύο κατηγορίες κατά μήκος διαφορετικών διαδρομών είναι δύσκολη με την κανονική δρομολόγηση IP, επειδή το R3 δεν κοιτάζει κανονικά από πού προέρχεται η κίνηση κατά τη λήψη αποφάσεων προώθησης.

Επειδή το MPLS χρησιμοποιεί ανταλλαγή ετικετών για την προώθηση πακέτων, είναι εφικτό να επιτευχθεί η επιθυμητή δρομολόγηση εάν οι δρομολογητές είναι ενεργοποιημένοι για MPLS. Αν τα R1 και R2 επισυνάψουν ξεχωριστές ετικέτες στα πακέτα προτού τους στείλουν στο R3 προσδιορίζοντάς τους έτσι ώστε να είναι σε διαφορετικές FECs σε αυτή την περίπτωση το R3 μπορεί να προωθήσει τα πακέτα από τα R1 και R2 κατά μήκος διαφορετικών διαδρομών. Έπειτα καλούμαστε να σκεφτούμε με ποιόν τρόπο οι δρομολογητές στο δίκτυο συμφωνούν σε ποιες ετικέτες θα χρησιμοποιήσουν και πώς να προωθούν τα πακέτα με συγκεκριμένες ετικέτες. Είναι προφανές ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες διαδικασίες για τη

διανομή ετικετών, επειδή αυτές οι διαδικασίες δημιουργούν ετικέτες που προκαλούν τα πακέτα να ακολουθούν τις κανονικές διαδρομές που επιλέχθηκαν από τη δρομολόγηση IP, κάτι που προσπαθούμε να αποφύγουμε. Αντιθέτως απαιτείται ένας νέος μηχανισμός. Αποδεικνύεται ότι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για αυτή την εργασία είναι το πρωτόκολλο Reservation Resource (βλ. RSVP). Ουσιαστικά αρκεί να προσθέσουμε ότι είναι δυνατόν να στείλουμε ένα μήνυμα RSVP κατά μήκος μίας ρητά καθορισμένης διαδρομής (βλ. R1-R3-R6-R7) και να ρυθμίσουμε καταχωρήσεις πίνακα επιστροφής ετικετών. Κάτι που θα μπορούσαμε να πούμε ότι μοιάζει με τη διαδικασία δημιουργίας ενός εικονικού κυκλώματος.

Μία από τις εφαρμογές της δρομολόγησης είναι η μηχανική της κυκλοφορίας, όπου υπάρχουν επαρκείς πόροι σε ένα δίκτυο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της. Ο έλεγχος του κυκλοφοριακού φόρτου αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της κυκλοφοριακής μηχανικής. Η ρητή δρομολόγηση μπορεί επίσης να βοηθήσει στο να καταστούν τα δίκτυα πιο ανθεκτικά μέσω της γρήγορης επαναδρομολόγησης. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε μια διαδρομή από το δρομολογητή A στο δρομολογητή B, ο οποίος αποφεύγει ρητά έναν ορισμένο σύνδεσμο L. Σε περίπτωση που ο σύνδεσμος L αποτύχει, ο δρομολογητής A θα μπορούσε να στείλει όλη την κίνηση που προορίζεται στο B κάτω από την προκαθορισμένη διαδρομή. Ο συνδυασμός της προεπιλογής της διαδρομής δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και της ρητής δρομολόγησης των πακέτων κατά μήκος της διαδρομής σημαίνει ότι το A δεν χρειάζεται να περιμένει τα πακέτα πρωτοκόλλου δρομολόγησης να κάνουν το δρόμο τους στο δίκτυο ή να εκτελέσουν αλγόριθμους δρομολόγησης από διάφορους άλλους κόμβους δίκτυα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την αναδρομολόγηση πακέτων γύρω από ένα σημείο αποτυχίας.

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στη ρητή δρομολόγηση θα προσθέσουμε ότι οι διαδρομές δεν χρειάζεται να υπολογιστούν από έναν διαχειριστή δικτύου όπως στο παραπάνω παράδειγμα. Οι δρομολογητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικούς αλγόριθμους για να υπολογίσουν αυτόματα διαδρομές. Η πιο συνηθισμένη από αυτές είναι η πρώτη συντομευμένη διαδρομή (βλ. CSPF), η οποία είναι ένας αλγόριθμος σύνδεσης-κατάστασης, αλλά λαμβάνει επίσης υπόψη τους διάφορους περιορισμούς. Για παράδειγμα, αν έπρεπε να βρούμε μια διαδρομή από R1 έως R7 που θα μπορούσε να φέρει προσφερόμενο φορτίο 100 Mbps, θα μπορούσαμε

να πούμε ότι ο περιορισμός είναι ότι κάθε σύνδεσμος πρέπει να έχει τουλάχιστον 100 Mbps διαθέσιμης χωρητικότητας. Το CSPF αντιμετωπίζει αυτού του είδους το πρόβλημα [5].

2.3 Αρχιτεκτονική του MPLS

Η τεχνολογία MPLS αποτελεί μια τεχνολογία μεταγωγής που ρυθμίζει την κίνηση δεδομένων και την προώθηση πακέτων σε ένα σύνθετο δίκτυο. Ένα τέτοιο δίκτυο που βασίζεται στην τεχνολογία MPLS απαρτίζεται από ορισμένα βασικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

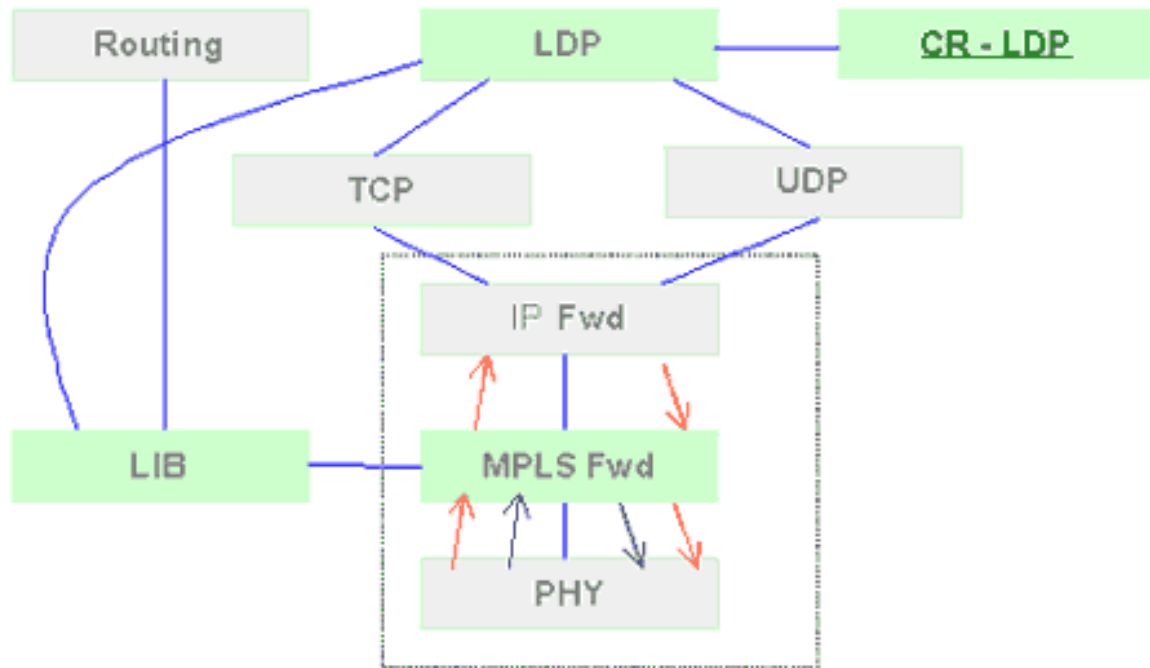
- ❖ Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης επιπέδου δικτύου
- ❖ Η προώθηση επιπέδου δικτύου στα άκρα
- ❖ Η μεταγωγή βασισμένη στην ετικέτα στον πυρήνα δικτύου
- ❖ Ο σχηματισμός ετικετών
- ❖ Το πρωτόκολλο σηματοδότησης για διανομή ετικετών
- ❖ Ο έλεγχος κυκλοφορίας
- ❖ Η συμβατότητα με τεχνολογίες επιπέδου σύνδεσης δεδομένων

Στην εικόνα 18 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις λειτουργίες του MPLS. Η διαδικασία δρομολόγησης δύναται να πραγματοποιηθεί με κάποιο από τα παρακάτω πρωτόκολλα:

- OSPF
- BGP
- ATM's PNNI

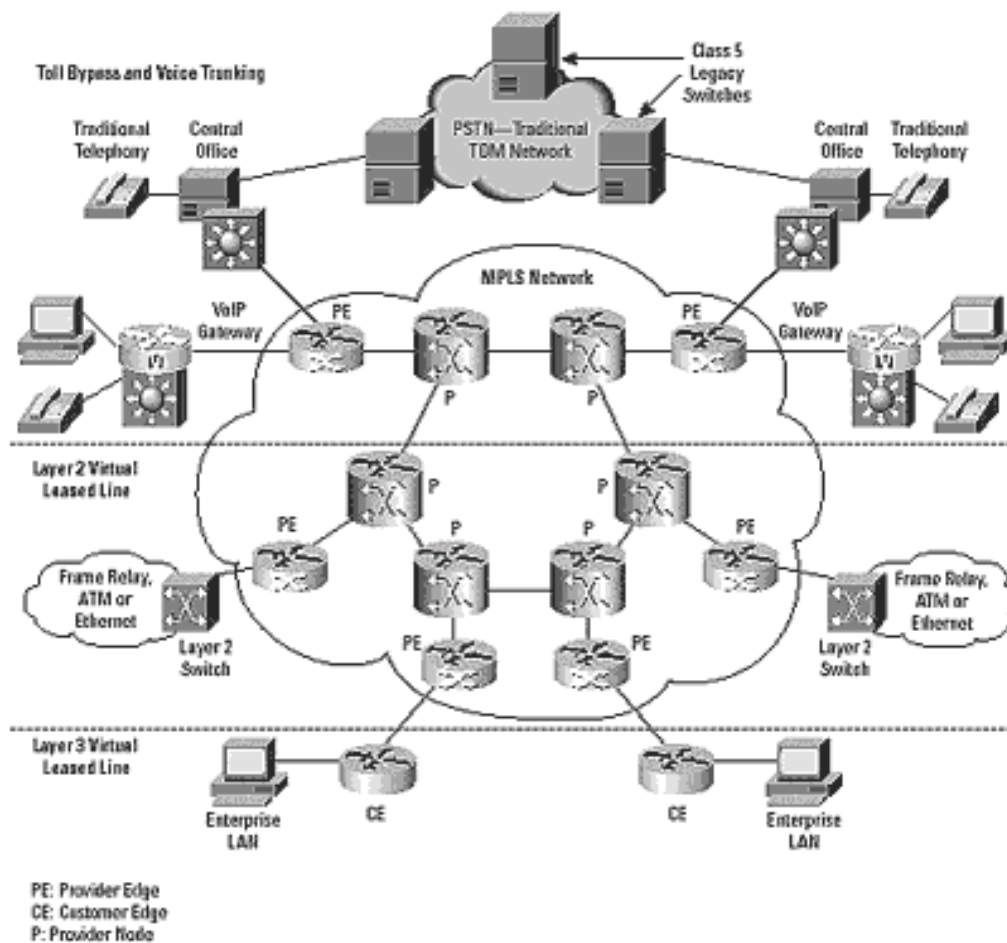
Βέβαια αυτό έχει να κάνει με το περιβάλλον λειτουργίας κάθε φορά. Το LDP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο TCP για ασφαλή μετάδοση των δεδομένων ελέγχου από έναν LSR σε κάποιον άλλο κατά τη διάρκεια μιας συνόδου. Επιπροσθέτως το LDP

συντηρεί τη LIB και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο UDP κατά τη διάρκεια της φάσης αναζήτησης.



Εικόνα 18 Η στοίβα των MPLS πρωτοκόλλων

Το IP Fwd αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρωτόκολλο προώθησης σε IP δίκτυα, το οποίο αναζητά το επόμενο βήμα χρησιμοποιώντας ταίριασμα της μεγαλύτερου μεγέθους διεύθυνσης στον πίνακά του. Στα δίκτυα MPLS αυτό δύναται να επιτευχθεί με ακραίους δρομολογητές (LERs). Το MPLS Fwd αποτελεί το MPLS πρωτόκολλο προώθησης που συνδυάζει την ετικέτα της θύρας εισόδου με μια θύρα εξόδου για κάποιο δεδομένο πακέτο. Στην εικόνα 19 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα επίπεδα τα οποία για να είναι πιο ευδιάκριτα διαχωρίζονται από μια διακεκομμένη γραμμή. Για βέλτιστη και αποδοτικότερη λειτουργία υπάρχει η δυνατότητα υλοποίησης με hardware εντός της διακεκομμένης γραμμής.



Εικόνα 19 Αρχιτεκτονική δικτύου MPLS

2.4 Τεχνολογίες MPLS

Οι υπηρεσίες Ethernet Carrier δύναται να πραγματοποιηθούν μέσω δικτύων που βασίζονται σε τεχνολογίες MPLS. Οι τεχνολογίες MPLS διαχωρίζονται σε:

- ❖ Υπηρεσία ιδιωτικών καλωδίων (VPWS)
- ❖ Υπηρεσία εικονικού ιδιωτικού LAN (VPLS)
- ❖ MPLS Transport Profile (MPLS-TP)

Οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν ως βάση τους τα πρότυπα MPLS που καθορίζονται από τα IETF και ITU-T. Βέβαια απαιτείται η κατάλληλη μορφή τεχνολογίας

2.4.1.1 Pseudowires & Labels

Η μεταφορά πλαισίων Ethernet μέσα στο δίκτυο MPLS εκτελείται με τη βοήθεια ετικετών MPLS. Πολλαπλά PWs μπορούν να μεταφερθούν σε ένα ενιαίο LSP, και κάθε PW μπορεί να ρυθμιστεί να φέρει είτε μία CoS (βλ. Class of Service) ή πολλαπλές CoSs. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς έως και 8 CoSs σε ένα δεδομένο PW.

Η ετικέτα LSP αποτελεί ένα πεδίο 20-bit. Κάθε LSP μπορεί να μεταφέρει ένα ή περισσότερα EVC (βλ. Virtual Ethernet Connection) ή OVC (Virtual Connection Operator). Για το λόγο ότι ένα EVC ή ένα OVC μπορεί να χαρτογραφηθεί σε ένα μόνο PW ή σε πολλαπλά PWs, 1 εκατομμύριο EVCs και/ή OVCs μπορούν να μεταφερθούν σε ένα ενιαίο LSP. Συμπερασματικά, προκύπτει λοιπόν ότι μια πληθώρα υπηρεσιών Ethernet Carrier δύναται να υλοποιηθεί μέσω ενός VPWS.

2.4.1.2 CoS

Το δίκτυο MPLS έχει ένα αναγνωριστικό CoS ID 3-bit γνωστό με την ονομασία bit. Τα bits EXP χρησιμοποιούνται για την ταυτότητα CoS. Όπως προαναφέρθηκε και σε άλλο σημείο της παρούσας εργασίας μέχρι και οκτώ CoSs μπορούν να παραδοθούν μέσω των LSP MPLS. Παρόλα αυτά ο πραγματικός αριθμός είναι πέντε CoSs. Τα δίκτυα MPLS μπορούν να υποστηρίξουν το μοντέλο 3-CoS του MEF 23.

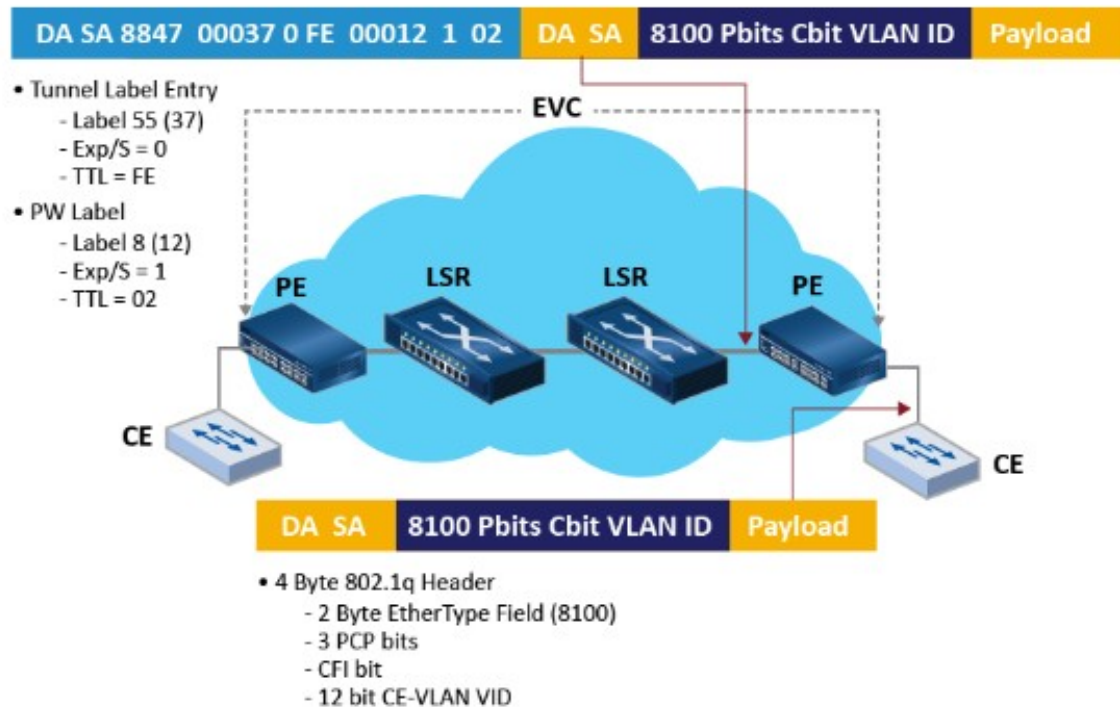
Η είσοδος LER μπορεί να έχει tunnel οποιοδήποτε πλαίσιο πάνω σε ένα PW, με εξαίρεση τα πλαίσια PAUSE, επιπροσθέτως μπορεί να υποστηρίξει τη συντήρηση CE-VLAN ID και CE-VLAN CoS. Η αναπαραγωγή πολυεκπομπής δεν αποτελεί μέρος αυτής της τεχνολογίας μεταφοράς δεδομένου ότι είναι σημείο προς σημείο. Σε περίπτωση που απαιτείται υποστήριξη πολλαπλών σημείων αναπαραγωγής, το VPLS μπορεί να χρησιμοποιηθεί .

2.4.1.3 Ανθεκτικότητα

Η ελαστικότητα παρέχεται από τον πλεονασμό MPLS LSP και MPLS PW. Αυτό μπορεί να βασιστεί στη γραμμική προστασία G.8031 ή στο MPLS FRR. Οι παραπάνω τεχνικές παρέχουν προστασία κάτω από 50 msec. Αυτές οι δυνατότητες

ελαστικότητας μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να παρέχουν διαφανή ανθεκτικότητα στο στρώμα υπηρεσιών Ethernet.

Παράδειγμα



Εικόνα 21 Παράδειγμα

2.4.2 Υπηρεσία εικονικού ιδιωτικού LAN (VPLS)

Η υπηρεσία εικονικού δικτύου VPLS έχει πολλές ομοιότητες με το VPWS από πλευράς δικτύου. Παρόλα αυτά έχει σχεδιαστεί με σκοπό να υποστηρίξει μια τοπολογία πολλαπλών σημείων και όχι μια τοπολογία σημείο σε σημείο. Δεδομένου ότι τα MPLS PWs είναι σημείο-προς-σημείο, το VPLS εξαρτάται από ένα πλέγμα PW μεταξύ όλων των συσκευών ακροδεκτών παροχής. Οι συσκευές ακροδεκτών του παρόχου ενεργούν ως Label Edge Routers (LERs) όπως και με το VPWS.














Κάθε PE περιλαμβάνει ένα στοιχείο που ονομάζεται VSI (Virtual Switch Instance). Το VSI προσομοιώνει γέφυρα IEEE 802.1Q. Πιο συγκεκριμένα το VSI έχει ως ρόλο να:

- Χειρίζεται τα πλαίσια C-TAG
- Μαθαίνει τις διευθύνσεις MAC του πελάτη
- Λαμβάνει την απόφαση προώθησης

Μόλις καθοριστεί ένας προορισμός ή ένα σύνολο προορισμών, το κατάλληλο πλαίσιο εγκλωβίζεται με τις κεφαλίδες tunnel και PW. Σε περίπτωση απαίτησης πολυεκπομπής ή μετάδοσης, η είσοδος PE αναπαράγει τα πλαίσια και στέλνει ένα αντίγραφο σε κάθε έξοδο PE. Κατά συνέπεια η υπηρεσία "γεφυρώνει" τα τελικά σημεία του πελάτη, προσομοιάζοντας ένα ιδιωτικό LAN.

Η ελαστικότητα παρέχεται επίσης από τα επίπεδα MPLS LSP και PW τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητα από την περίπτωση υπηρεσίας VPLS. Οι υπηρεσίες χαρακτηρίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως για το VPWS, όπως είναι το CoS ID. Το δίκτυο CEN (βλ. Carrier Ethernet Network) δεν χρησιμοποιεί το xSTP για προώθηση ή ελαστικότητα. Το xSTP του Πελάτη δεν είναι συντονισμένο σε όλη τη CEN με βάση το VPLS. Το E-Tree υποστηρίζεται φυσικά από το VPLS.

Η υποστήριξη για τις διάφορες υπηρεσίες Ethernet συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

VPLS Support for Carrier Ethernet Services		
Ethernet Service	Support	Notes
EPL 		<ul style="list-style-type: none"> • Transparent EPL cannot be supported
EVPL 		
EP-LAN 		
EVP-LAN 		
EP-TREE 		
EVP-TREE 		
ACCESS EPL 		
ACCESS EVPL		

Εικόνα 22 VPWS Support for Carrier Ethernet Services

2.4.3 MPLS Transport Profile (MPLS-TP)

Η τεχνολογία MPLS-TP (βλ. MPLS Transport Profile) ορίζεται από κοινού από το IETF και το ITU-T. Επιπλέον αποτελεί ένα υποσύνολο του πλαισίου MPLS το οποίο παρέχει υπηρεσίες προσανατολισμένες στις συνδέσεις που είναι καλύτερα προσαρμοσμένες στα δίκτυα μεταφοράς. Το MPLS-TP χρησιμοποιεί την ίδια μορφή πακέτου με το MPLS, κατά συνέπεια χρησιμοποιεί LSPs (βλ. Paths Switched Paths) και PWs (βλ. Pseudowires). Η διαδρομή MPLS-TP διαμορφώνεται από το σύστημα διαχείρισης, αλλά μπορεί προαιρετικά να προσδιοριστεί και να προβλεφθεί από το επίπεδο ελέγχου GMPLS. Το MPLS-TP υποστηρίζει ενεργές και εφεδρικές διαδρομές, παρέχοντας γραμμική προστασία με ανάκτηση υπο-50 msec.

2.4.3.1 Υποστήριξη OAM

Το MPLS-TP παρέχει επίσης εκτεταμένη υποστήριξη OAM, συμπεριλαμβανομένου του Y.1731 FM (βλ. Fault Management) και PM (βλ. Performance Management). Σε αντίθεση με το MPLS, το MPLS-TP δεν χρησιμοποιεί δρομολόγηση IP. Το MPLS υποστηρίζει LSP από σημείο σε σημείο και LSP από σημείο σε πολλαπλά σημεία. Σε αντίθεση με το MPLS, οι κατευθύνσεις κίνησης προς τα εμπρός και προς τα πίσω αλλάζουν συνεχώς στην ίδια διαδρομή δικτύου.

2.4.3.2 Υπηρεσίες Ethernet Carrier

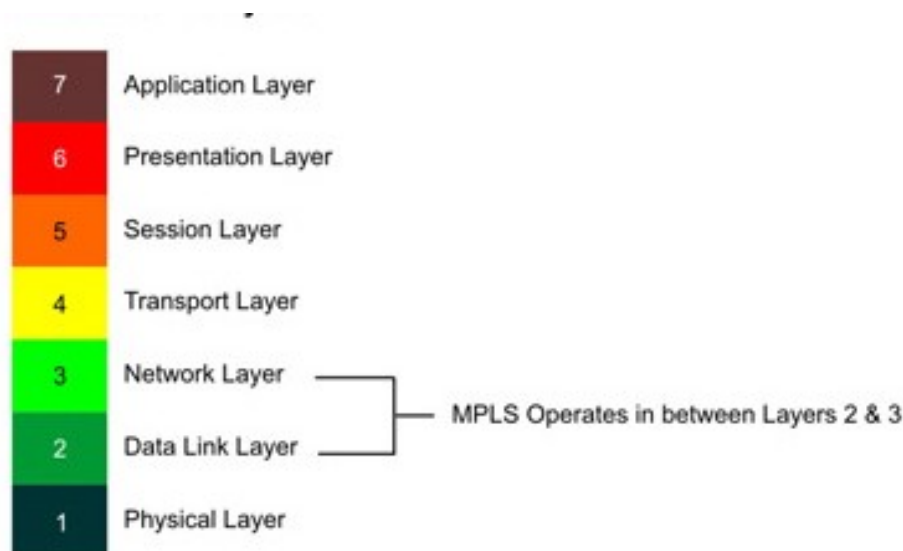
Το MPLS-TP αποτελεί μια τεχνολογία μεταφοράς από σημείο σε σημείο και δύναται να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση υπηρεσιών MEF E-Line και E-Access. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας θα προσθέσουμε ότι λόγω του γεγονότος πως το MPLS-TP χρησιμοποιεί την ίδια μορφή πλαισίου με το MPLS, η κλιμάκωση των υπηρεσιών και η ταυτότητα του CoS είναι ίδια[6].

2.5 MPLS σε OSI Model

Το μοντέλο αναφοράς OSI αποτελείται από επτά στρώματα.

Το κάτω στρώμα είναι το Επίπεδο 1 ή το φυσικό στρώμα και το επάνω στρώμα είναι το Επίπεδο 7 ή το στρώμα εφαρμογής. Το MPLS δεν είναι ένα πρωτόκολλο Layer 2, επειδή η ενθυλάκωση του Layer 2 εξακολουθεί να υπάρχει με τα πακέτα που φέρουν σήμανση. Το MPLS επίσης δεν είναι πραγματικά ένα πρωτόκολλο Layer 3. Επομένως, το MPLS είναι γνωστό ως 2,5 επίπεδο. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στην εικόνα 23.

Το MPLS υποστηρίζει αναθεωρημένες εκδόσεις πρωτοκόλλου Internet (βλ. IPv4 , IPv6), IPX, AppleTalk στο Layer3, Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, αναμετάδοση PPP στο Layer 2[10].



Εικόνα 23 MPLS σε OSI Model

Η βασική τεχνολογία έχει ως σκοπό την μη εξάρτηση από πρωτόκολλα όπως το ATM, το Relay Frame, το Ethernet και το Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο (βλ. SONET). Έτσι αποφεύγεται η ανάγκη δικτύων πολλαπλών επιπέδων 2 για διαφορετικούς τύπους κίνησης[10].

2.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα MPLS

Η εναλλαγή ετικετών δίνει τη δυνατότητα σε μια συσκευή να κάνει τις ίδιες λειτουργίες του δρομολογητή με την απόδοση του διακόπτη ATM. Με την πρόοδο των χρόνων όσον αφορά τη μεταγωγή πακέτων, το MPLS ξεπερνά τις δυσκολίες του ATM με λιγότερες υπηρεσίες στις συνδέσεις για πλαίσια με διαφορετικό μήκος. Κάτι που σημαίνει ότι το Frame Relay και το ATM πλέον απαιτούν μικρότερη δυσκολία εγκατάστασης δικτύων μεγάλης κλίμακας, καθώς η απόδοση του MPLS έχει βελτιωθεί αισθητά. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε ορισμένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα MPLS:

- ❖ Υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων
- ❖ Ανεξαρτησία επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων
- ❖ Αυξημένη απόδοση
- ❖ Ρητή δρομολόγηση
- ❖ Traffic engineering
- ❖ Διαχωρισμός των λειτουργιών ελέγχου και προώθησης
- ❖ Έλεγχος κυκλοφορίας
- ❖ Συνάθροιση ροών
- ❖ Επεκτασιμότητα της δρομολόγησης του επιπέδου δικτύου
- ❖ Υποστήριξη πολλαπλών τύπων κυκλοφορίας
- ❖ Υποστήριξη QoS [7][10].

Εκτός από πλεονεκτήματα, υπάρχουν και μειονεκτήματα για αυτήν την τεχνολογία αλλαγής ετικετών. Η διαχείριση του MPLS είναι περίπλοκη, καθώς εξαρτάται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τη μεταφορά δεδομένων. Αρχικά, η δομή της ετικέτας επιτρέπει στους δρομολογητές να αποφασίζουν και να προωθούν πακέτα IP. Αυτό βασίστηκε στα περιεχόμενα της ετικέτας αντί για έναν δύσκολο μηχανισμό αναζήτησης διαδρομής με βάση τη διεύθυνση IP. Με την τεχνική πρόοδο, οι μεταγωγείς Layer 3 (δρομολογητές βασισμένοι σε ASIC) διεξάγουν αναζητήσεις διαδρομών με επαρκή ταχύτητα για να υποστηρίξουν τους τύπους διεπαφών.

2.7 Traffic Engineering

Με τον όρο MPLS Traffic Engineering γίνεται αναφορά στη διαδικασία επιλογής διαδρομών LS που επιλέγονται από την κυκλοφορία δεδομένων, προκειμένου να εξισορροπηθεί το φορτίο σε δρομολογητές και διακόπτες στο δίκτυο. Είναι πολύ σημαντικό στα δίκτυα όπου υπάρχουν πολλές παράλληλες ή εναλλακτικές διαδρομές. Το traffic engineering αφορά την αύξηση της απόδοσης των δικτύων μέσω της αντιστοίχισης των ροών κυκλοφορίας στην τοπολογία του φυσικού δικτύου. Σημαντικό θα ήταν να επισημάνουμε ότι παλαιότερα η απόδοση δεν λαμβάνονταν υπόψη και συνήθως η διαδρομή που ακολουθούσαν τα πακέτα ήταν η κοντινότερη διαδρομή σύμφωνα με τον αλγόριθμο συντομότερου μονοπατιού. Έπειτα ξεκίνησαν να εφαρμόζονται πρωτόκολλα δρομολόγησης που στα κριτήρια τους για την επιλογή του μονοπατιού συμπεριλάμβαναν και ποσότητες που αντικατόπτριζαν την κατάσταση των συνδέσμων. Όλα τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα στο δίκτυο να παρέχεται η δυνατότητα μεταφοράς της κυκλοφορίας από το κοντινότερο μονοπάτι σε ένα άλλο λιγότερο συμφορημένο. Η διαδικασία του traffic engineering αποτελείται από δυο στάδια:

- Η φάση του σχεδιασμού του δικτύου
- Η φάση της βελτιστοποίησης του δικτύου

Στη πρώτη φάση, δηλαδή του σχεδιασμού επιλέγονται τα μονοπάτια που θα ακολουθήσουν οι ροές της κυκλοφορίας, ενώ στη δεύτερη φάση δηλαδή στο στάδιο της βελτιστοποίησης γίνεται προσπάθεια βελτίωσης λαθεμένων επιλογών στο σχεδιασμό.

Οι τρόποι δρομολόγησης της κυκλοφορίας διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Η ρητή δρομολόγηση
- Η έμμεση δρομολόγηση

Στη ρητή δρομολόγηση έχει ήδη γίνει η επιλογή του μονοπατιού του οποίου θα ακολουθήσουν τα πακέτα και έπειτα θα πραγματοποιηθεί η δέσμευση πόρων. Στην έμμεση δρομολόγηση επιλέγεται ένα μονοπάτι στο δίκτυο το οποίο μπορεί να

ικανοποιήσει τις απαιτήσεις προώθησης που εκφράζουν οι ροές και στη διαδρομή αυτή δεσμεύονται οι πόροι.

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν το MPLS πρωτόκολλο διαθέτουν traffic engineering χαρακτηριστικά σε πολύ ολοκληρωμένο μάλιστα βαθμό. Για να υποστηριχθούν με βέλτιστο τρόπο οι traffic engineering μηχανισμοί σε ένα MPLS σημαντικό είναι για τη διαδικασία της επιλογής του μονοπατιού, να γνωρίζει η πηγή τα πλήρη χαρακτηριστικά του δικτύου, στη συνέχεια να γίνεται διανομή των στοιχείων του δικτύου και να υπάρχει η δυνατότητα δέσμευσης των πόρων. Σημαντικό θα ήταν να προσθέσουμε ότι στο MPLS traffic engineering ένας γνωστός όρος είναι το traffic trunk το οποίο αναφέρεται στη συγκέντρωση ροών κυκλοφορίας της ίδιας κλάσης που τοποθετούνται στο ίδιο LSP [8].

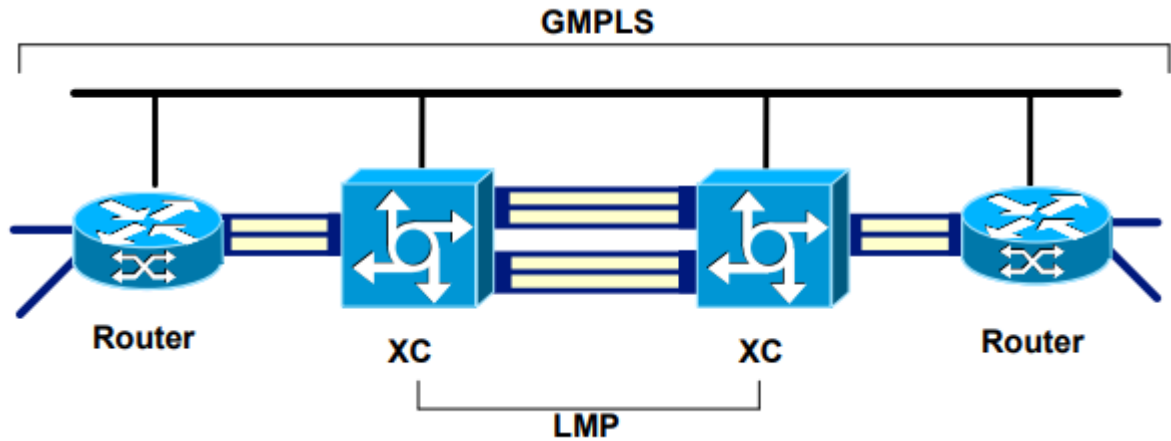
2.8 GMPLS

Με τον όρο GMPLS αναφερόμαστε στις γενικευμένες επεκτάσεις του MPLS που έχουν ως βασικό σκοπό την παροχή του τρόπου χρήσης του MPLS στα οπτικά δίκτυα. Σε ένα δίκτυο πραγματικού κόσμου, στο κέντρο του δικτύου, χρησιμοποιείται ο οπτικός εξοπλισμός του δικτύου με σκοπό:

- Την παροχή μιας πολύ μεγάλης χωρητικότητας
- Τη γρήγορη υπηρεσία backbone για συσκευές πελάτη οι οποίες χρησιμοποιούν το μικρότερο κόστος καθώς και εύρος ζώνης
- Τις τεχνολογίες δικτύωσης λόγω χάρη διακόπτες ATM

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε τον τρόπο με τον οποίο ζητούν τα δίκτυα πακέτων ή οι MPLS υπηρεσίες από το Time Slot ή το Lambda να αλλάξει οπτικό δίκτυο μεταφοράς. Αξίζει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν δύο κύριες δυνατότητες:

- Με το μοντέλο ομότιμων
- Με το μοντέλο επικάλυψης



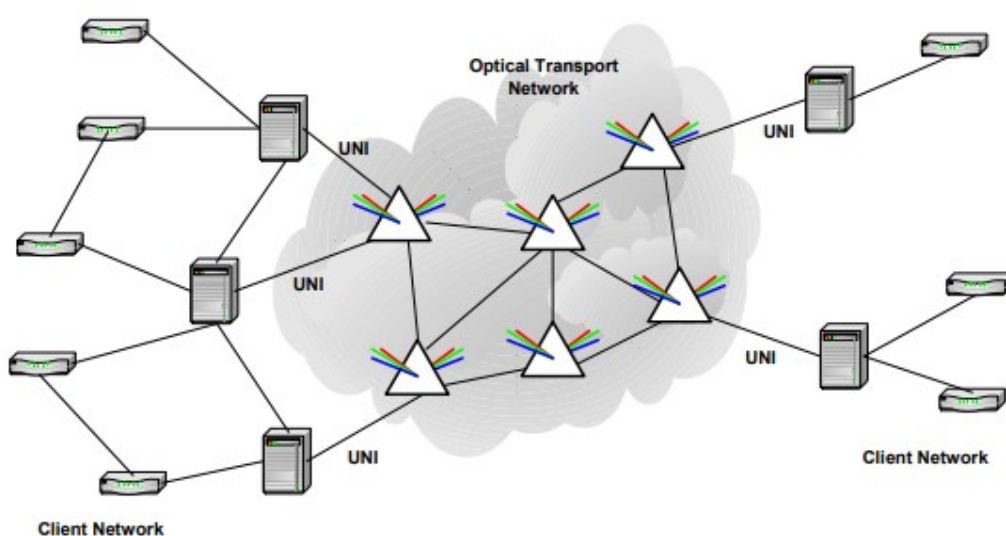
Εικόνα 24 GMPLS peer μοντέλο

Το πρωτόκολλο GMPLS στο μοντέλο peer, χρησιμοποιείται με απώτερο σκοπό τη ρύθμιση ολόκληρης της διαδρομής υπό την προϋπόθεση ότι το πακέτο, τα στοιχεία μεταφοράς, τα αιτήματα του πελάτη είναι συναρμολογημένα στις αιτήσεις με σκοπό τη δημιουργία του εσωτερικού tunnel. Βέβαια αυτό έχει και κάποια πλεονεκτήματα όπως για παράδειγμα το ότι διαθέτει ένα ενιαίο διαχειριστικό επίπεδο στον πάροχο υπηρεσιών. Ασφαλώς υπάρχουν ορισμένες σημαντικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη:

- Η επιθυμία της ιδιωτικότητας των πληροφοριών τοπολογίας του οπτικού πυρήνα του παρόχου
- Η ιδιόκτητη σηματοδότηση από το GMPLS ενός τμήματος του εξοπλισμού που διατίθεται για τον οπτικό πυρήνα
- Η επιθυμία των παρόχων υπηρεσιών να διατηρήσουν τις διαδρομές που έχουν τεθεί στον πυρήνα μεταφοράς σταθερές. Κάτι που συμβαίνει κατά κύριο λόγο για προστασία και αποκατάσταση.

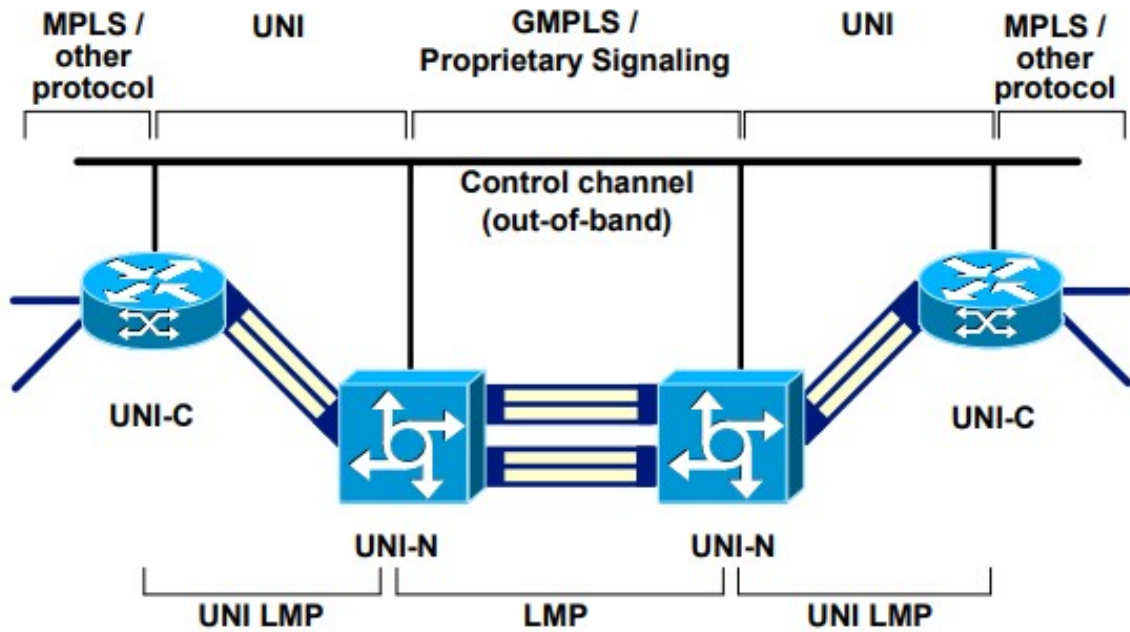
2.9 Overlay Model

Το μοντέλο επικάλυψης ή όπως αλλιώς είναι γνωστό και ως Overlay Model αποτελεί ένα είδος μοντέλου όπου τα δίκτυα οπτικών και πακέτων έχουν ανεξάρτητο τρόπο διαχείρισης και συνεπώς διαφορετικά πρωτόκολλα. Μια λύση είναι το οπτικό δίκτυο μεταφοράς (βλ. OTN) να παρέχει ένα User Network Interface (βλ. UNI) το οποίο παρέχει τη δυνατότητα στις συσκευές δικτύου-πελάτη να ζητούν συνδέσεις



Εικόνα 25 OTN & UNI πρόσβαση

Για να γεφυρωθεί το User Network Interface απαραίτητη προϋπόθεση είναι να οριστεί το πρωτόκολλο σηματοδότησης. Στην παρακάτω εικόνα 26 βλέπουμε OIF User Network Interface ενός μοντέλου επικάλυψης- Overlay Model.



Εικόνα 26 OIF UNI Overlay Model

Μια εσωτερική σήραγγα μεταξύ των κόμβων UNI-N του τελικού σημείου δημιουργείται χρησιμοποιώντας είτε GMPLS είτε κάποιον ιδιόκτητο μηχανισμό σηματοδότησης. Η εν λόγω σήραγγα δύναται να παρέχει με χρήση ή μη αιτήματος πελάτη μια απάντηση. Επιπροσθέτως δημιουργείται μια επιπλέον εσωτερική σήραγγα επάνω από τη διαδρομή δεδομένων του κόμβου πελάτη του δικτύου.

Κεφάλαιο 3: Link Management Protocol (LMP)

3.1 Εισαγωγή

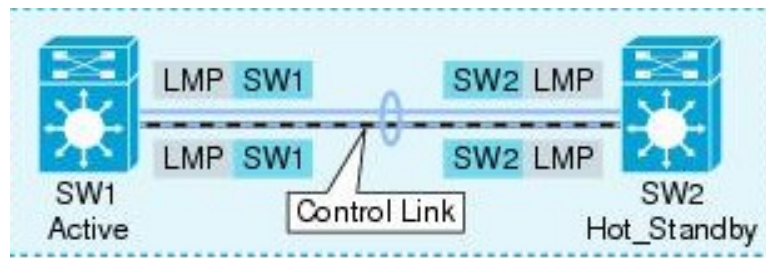
Όταν το GMPLS χρησιμοποιείται για να σηματοδοτήσει LSP σε όλα τα οπτικά δίκτυα πυρήνα προκύπτουν ζητήματα διαχείρισης. Το πρωτόκολλο διαχείρισης συνδέσεων (βλ. LMP) έχει εξελιχθεί για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων.

Μεταξύ δύο κόμβων σε ένα οπτικό δίκτυο, μπορεί να υπάρχουν πολλαπλοί παράλληλοι οπτικοί σύνδεσμοι δεδομένων οι οποίοι έχουν ως σκοπό να μπορούν να μεταφέρουν την κίνηση δεδομένων. Αυτοί οι σύνδεσμοι δεδομένων μπορεί να είναι:

- Ηλεκτρικό τερματικό σε έναν κόμβο, συνεπώς ο κόμβος γνωρίζει πάντα τη ροή δεδομένων
- Διαφανής, λόγω χάρη όταν ένας κόμβος υλοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνολογία καθρέπτη MEMS

Η βασική εργασία που εκτελεί η LMP είναι η επικύρωση της *“καλωδίωσης”* των συνδέσεων μεταξύ κόμβων, με απώτερο σκοπό ο κάθε σύνδεσμος δεδομένων να εντοπίσει τα σφάλματα. Συνεπώς, η ανταλλαγή πρωτοκόλλων LMP απαιτείται μόνο μεταξύ γειτονικών κόμβων που συνδέονται άμεσα με συνδέσμους δεδομένων. Η προδιαγραφή IETF LMP καλύπτει τους ακόλουθους τομείς λειτουργικότητας. Ορισμένες από αυτές τις περιοχές είναι προαιρετικές στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου και δεν χρειάζεται να υπάρχουν σε εφαρμογή LMP[9].

Το LMP αποτελεί το πρώτο πρωτόκολλο που πρέπει να αρχικοποιηθεί, μόλις τελειώσει η διάγνωση κάρτας γραμμών VLS και συνδεθεί VSL σε σύνδεση. Όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 27 .



Εικόνα 27 VSL Header and Control Link

Βασικός σκοπός σχεδιασμού του εν λόγω πρωτοκόλλου (βλ. LMP) αποτελεί η εκτέλεση ορισμένων σημαντικών λειτουργιών όπως διακρίνεται παρακάτω:

- Η καθιέρωση αμφίδρομων επικοινωνιών κατά την εκκίνηση και την κανονική λειτουργία
- Η επαλήθευση αμφίδρομων επικοινωνιών κατά την εκκίνηση και την κανονική λειτουργία
- Η ανταλλαγή αναγνωριστικών διακόπτη για την ανίχνευση ενός διπλού αναγνωριστικού διακόπτη ή μέλους που είναι συνδεδεμένος σε άλλο εικονικό διακόπτη
- Η ανεξάρτητη μετάδοση καθώς επίσης και παραλαβή χρονομετρητών LMP hello για την παρακολούθηση της υγείας του VSL και του διαχειριστή

Το LMP λειτουργεί ανεξάρτητα σε κάθε διακόπτη στον ίδιο τομέα εικονικού διακόπτη (βλ. VSD). Σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα λόγω χάρη το LACP και το IGP τα οποία χρησιμοποιούν ένα μόνο επίπεδο ελέγχου όπου προέρχεται ο ενεργός διακόπτης και τερματίζει το πρωτόκολλο, και οι δύο διακόπτες στο VSD προέρχονται ανεξάρτητα και τερματίζουν τα πακέτα ελέγχου LMP τον επεξεργαστή εναλλαγής (SP). Όπως φαίνεται στην εικόνα 28 που ακολουθεί μέσα σε κύκλο κόκκινο το LMP έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε κάθε σύνδεσμο μέλους του VSL για να διατηρεί πολλαπλές μηχανές κατάστασης με τον ίδιο ιστό σε διαφορετικές θύρες. Σε περίπτωση όπου εντοπίζεται μια μόνο κατευθυντική συνθήκη σε θύρα, το LMP το αναγνωρίζει «ως **κατεστραμμένο**» και προσπαθεί να κάνει επανεκκίνηση της VSLP και αποφεύγει να απενεργοποιήσει τη θύρα. Σε κάθε διακόπτη μέλους ενός VSD, η LMP δημιουργεί ένα ενιαίο μοναδικό αναγνωριστικό ομάδας (PG) ID με ένα κοινό σύνολο δεσμών VSL. Σε περίπτωση όπου όλες οι διεπαφές VSL είναι εκτός

λειτουργίας, η LMP καταστρέφει την ομάδα ομότιμων χρηστών και ειδοποιεί την RRP να κινηθεί ανάλογα. Ο ενεργός διακόπτης αποσυνδέει όλες τις διεπαφές που σχετίζονται με τον διακόπτη θερμικής αναμονής. Την ίδια στιγμή ο διακόπτης αναμονής εκτελεί την εναλλαγή, αναλαμβάνει τον ενεργό ρόλο και αποσυνδέει όλες τις διεπαφές που σχετίζονται με τον προηγούμενο ενεργό διακόπτη.

Τα πακέτα LMP hello είναι Logical Link Control-LLC/Sub-network Access Protocol-SNAP έχουν εγκριθεί με τη διεύθυνση MAC προορισμού που ταιριάζει με το πρωτόκολλο Cisco Discovery Protocol (CDP)-01.00.0C.CC.CC.CC. Όλες οι μεταφορές μεταξύ των πλαισίων ελέγχου συμπεριλαμβανομένων των πακέτων LMP και hello, ταξινομούνται ως πακέτα μονάδας δεδομένων bridge protocol data unit (BDPU) και τοποθετούνται αυτόματα στην ουρά προτεραιότητας εκπομπής.

```

6500-VSS#show vsl lmp neighbor
Instance #1:
LMP neighbors
Peer Group info:    # Groups: 1    (* => Preferred PG)
PG #  MAC          Switch Ctrl Interface Interfaces
-----
*1    001a.30e1.6800  2    Te1/5/4    Te1/5/4, Te1/5/5

6500-VSS#remote command switch-id 2 mod 5 show vsl lmp neighbor
Instance #2:
LMP neighbors
Peer Group info:    # Groups: 1    (* => Preferred PG)
PG #  MAC          Switch Ctrl Interface Interfaces
-----
*1    001a.30f1.e800  1    Te2/5/4    Te2/5/4, Te2/5/5

```

SW1 LMP enabled interface list

SW2 LMP enabled interface list

Εικόνα 28 Έξοδος Εμφάνιση της λίστας διεπαφής με δυνατότητα LMP

Η δέσμη VSL είναι ένα EtherChannel το οποίο δύναται να αποτελείται ακόμη και από οκτώ μέλη. Μόνο ένας σύνδεσμος από ένα από τα παραπάνω μέλη επιλέγεται ως σύνδεσμος ελέγχου και είναι ο μόνος που μπορεί να μεταφέρει το επίπεδο ελέγχου μεταξύ των πλαισίων. Ο σύνδεσμος ελέγχου έχει τη δυνατότητα να φέρει την κυκλοφορία ελέγχου εξωτερικού καναλιού εκτός δικτύου (βλ. EOBC), που περιλαμβάνει :

- Το πακέτο ελέγχου διακόπτη (βλ. SCP) για την επικοινωνία κάρτας γραμμής
- Τα πακέτα επικοινωνίας μεταξύ διεργασιών (βλ. IPC)
- Την επικοινωνία μεταξύ καρτών (βλ. ICC) για την επίτευξη της επικοινωνίας της βάσης δεδομένων πρωτοκόλλου
- Την ενημέρωση της λειτουργίας "hot-standby"

Επιπροσθέτως ο συγκεκριμένος σύνδεσμος δύναται να μεταφέρει στον χρήστη και επιπλέον ελέγχους δικτύου ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο έχει μετακινηθεί η επισκεψιμότητα, λόγω χάρη βάσει διευθύνσεων MAC. Οι υπόλοιποι σύνδεσμοι φέρουν το επίπεδο ελέγχου δικτύου καθώς επίσης και την επισκεψιμότητα δεδομένων χρηστών, αλλά δεν φέρουν την κυκλοφορία επιπέδου ελέγχου μεταξύ των πλαισίων. Ο σύνδεσμος ελέγχου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 29.

Η διαδικασία επιλογής σύνδεσης ελέγχου καθορίζεται από το σύστημα VSS και δεν μπορεί να γίνει από τον χρήστη. Κατά τη διαδικασία εκκίνησης, ο πρώτος σύνδεσμος VSL που καθορίζει τη σχέση LMP θα αναλάβει το ρόλο του συνδέσμου ελέγχου. Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Cisco Catalyst 6500, η μονάδα εποπτικής αρχής καθίσταται ως λειτουργική. Εάν η θύρα 10-Gbps της μονάδας Sup720-10G είναι ομαδοποιημένη στο VSL EtherChannel, τότε θα επιλεγεί ως διεπαφή ελέγχου-ζεύξης όποτε και οι δύο διακόπτες υποβάλλονται στη διαδικασία εκκίνησης.

Η έξοδος εντολών `show lmp neighbor` την οποία μπορούμε να διακρίνουμε στην παρακάτω εικόνα 29 απεικονίζει την τρέχουσα διεπαφή ελέγχου ζεύξης καθώς επίσης και τη λίστα με τις διασυνδέσεις VSL backup. Οι διασυνδέσεις δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας είναι σύνδεσμοι μελών του VSL EtherChannel του τοπικού εικονικού διακόπτη. Σε ένα δίκτυο VSL, το VSL EtherChannel πρέπει να είναι συνδεδεμένο με πολλαπλές θύρες 10-Gbps και να υπάρχει δυνατότητα VSL μεταξύ

των μελών. Όπου η πρώτη καταχωρημένη διεπαφή στη στήλη διεπαφών της εντολής vidlr lmp show neighbor θα έχει καθοριστεί ως διεπαφή ελέγχου ζεύξης και αυτό θα συμβεί μόνο σε περίπτωση που αποτύχει η τρέχουσα διεπαφή ζεύξης ελέγχου. Όταν αποκατασταθεί η θύρα 10-Gbps μιας υπομονάδας Sup720-10G και επανασυνδεθεί με το VSL EtherChannel, θα τοποθετηθεί ως η επόμενη διαθέσιμη διαδρομή εφεδρικού ελέγχου χωρίς να επηρεαστεί η τρέχουσα διασύνδεση ζεύξης ελέγχου .

```
Instance #1:
  LMP neighbors

  Peer Group info:   # Groups: 1      (*=> Preferred PG)

  PG #   MAC          Switch  Ctrl Interface  Interfaces
  -----
  *1    001a.30e1.6800   2      Te1/5/5         Te1/5/4, Te1/5/5,
                                     Te1/6/1, Te1/1/2

6500-VSS#conf t
6500-VSS(config-if-range)#int range ten 1/5/4 - 5
6500-VSS(config-if-range)#shutdown

<<< snip >>>

6500-VSS(config-if-range)#do show vslp lmp neighbor
Instance #1:
  LMP neighbors

  Peer Group info:   # Groups: 1      (*=> Preferred PG)

  PG #   MAC          Switch  Ctrl Interface  Interfaces
  -----
  *1    001a.30e1.6800   2      Te1/6/1         Te1/6/1, Te1/1/2

6500-VSS(config-if-range)#no shutdown

<<< snip >>>

6500-VSS#show vslp lmp neighbor

Instance #1:
  LMP neighbors

  Peer Group info:   # Groups: 1      (*=> Preferred PG)

  PG #   MAC          Switch  Ctrl Interface  Interfaces
  -----
  *1    001a.30e1.6800   2      Te1/6/1         Te1/5/4, Te1/5/5,
                                     Te1/6/1, Te1/1/2
```

Εικόνα 29 Control Link Interfaces Selection

3.2 LMP Heart Beat

Με τον όρο LMP Heart Beat αναφερόμαστε σε ένα LMP hello timer που είναι εξαιρετικά σημαντικό για τη διατήρηση της ακεραιότητας του VSS. Βασικός του σκοπός είναι ο έλεγχος της διαθεσιμότητας καθώς επίσης και της συνδεσιμότητας του διαύλου. Τα δύο μέλη VSS εκτελούν ανεξάρτητες ενέργειες μετάβασης SSO σε περίπτωση αποτυχίας εντοπισμού του μηνύματος hello LMP εντός χρονομέτρησης στον τελευταίο δεσμό VSL. Οι τρεις χρονομετρητές είναι οι παρακάτω:

- Χρονόμετρο καλωδιακής εκπομπής (βλ. T4)
- Ελάχιστος χρόνος λήψης (βλ. min_rx)
- Χρονοδιακόπτης T5 (βλ. πολλαπλασιαστής min_rx *)

Στην παρακάτω εικόνα 30 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εξόδου CLI που απεικονίζει τις τιμές χρονισμού ανά μέλος σύνδεσης VSL.

```

6500-VSS#sh vslp lmp neighbor
LMP neighbors

Peer Group info:   # Groups: 1      (* => Preferred PG)

PG #   MAC           Switch Ctrl Interface Interfaces
-----
*1     0019.a927.3000 1     Te2/5/4      Te2/5/4, Te2/2/8

6500-VSS#sh vslp lmp time

Instance #2:

LMP hello timer

Interface State           Hello Tx (T4) Hello Rx (T5*) ms
Cfg   Cur   Rem   Cfg   Cur   Rem
-----
Te2/5/4 operational -   500  156   -     60000 59952
Te2/2/8 operational -   500  156   -     60000 59952

*T5 = min_rx * multiplier
Cfg : Configured Time
Cur : Current Time
Rem : Remaining Time

```

Εικόνα 30 Timer Values per VLS Link Member

Ο χρονομετρητής μετάδοσης LMP (βλ. T4) και ο χρονομετρητής λήψης (βλ. min_rx) έχουν τιμές 500 msec. Ο χρονομετρητής (βλ. χρονοδιακόπτης T5) προέρχεται από τον συντελεστή min_rx και τον προεπιλεγμένο πολλαπλασιαστή 120. Επιπροσθέτως ένα χρονικό όριο σύνδεσης μέλους VSL ανιχνεύεται σε 60.000 msec ενώ η λήξη του T5 υποδηλώνει αστάθεια στον απομακρυσμένο συνομιλητή. Οι συγκεκριμένες ενέργειες περιλαμβάνουν:

- Σε περίπτωση που επέλθει η λήξη σε μια θύρα VSL που είναι η σύνδεση ελέγχου, τότε ο διακόπτης που ανίχνευσε το πρόβλημα θα αναγκάσει τη νέα επιλογή σύνδεσης

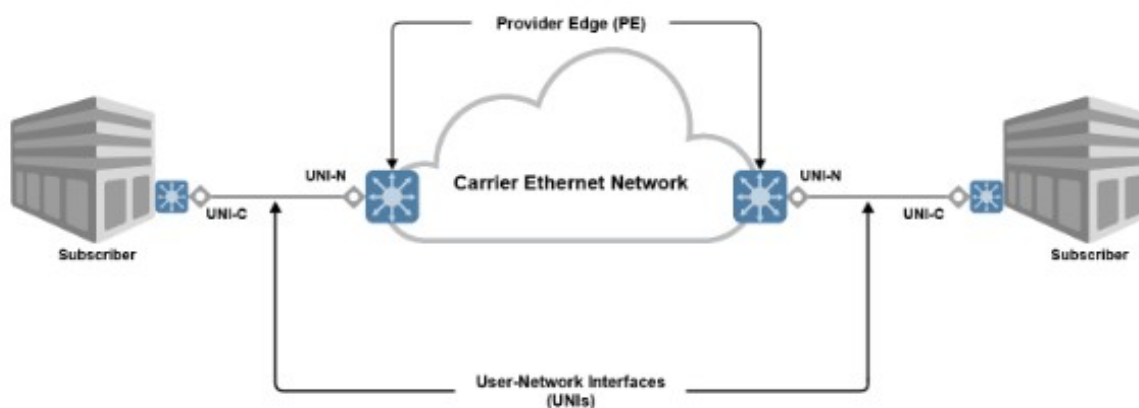
ελέγχου. Ο χρονομετρητής T5 δεν θα έχει λήξει στον απομακρυσμένο συνομιλητή. Παρόλα αυτά ο απομακρυσμένος διαχειριστής θα επαναπρογραμματίσει την εσωτερική λογική για να στείλει την κυκλοφορία στη νέα θύρα VSL ως θύρα συνδέσμου ελέγχου.

- Σε περίπτωση που επέλθει η λήξη σε μια θύρα ζεύξης χωρίς πρώτα να γίνει ο απαραίτητος έλεγχος, ο διακόπτης που ανιχνεύσει τη βλάβη επιλέγει μια διαθέσιμη θύρα για την κίνηση δεδομένων χρήστη.
- Σε περίπτωση που η λήξη εμφανιστεί στην τελευταία θύρα VSL και το χρονικό όριο εντοπίζεται στον ενεργό διακόπτη, τότε ο διακόπτης αφαιρεί όλες τις διεπαφές μεταξύ των διαύλων ομιλίας και ανακοινώνει τη μεταβολή στο υπόλοιπο του δικτύου σχετικά με τη διαμόρφωση σε αυτές τις διεπαφές. Στη συνέχεια ο διακόπτης ομότιμου χρήστη ο οποίος έχει τεθεί σε κατάσταση αναμονής θα ανιχνεύσει την εκπνοή του χρονοδιακόπτη T5 και η LMP θα ενημερώσει την RRP. Η εν λόγω κατάσταση είναι γνωστή ως διπλή ενεργή όπου και οι δύο διακόπτες οδηγούν σε αστάθεια στο δίκτυο [7].

Κεφάλαιο 4: Η διασύνδεση δικτύου χρήστη (UNI)

4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο User Network Interface–UNI αναφερόμαστε στη διασύνδεση δικτύου χρήστη η οποία αποτελεί φυσικό σημείο οριοθέτησης ανάμεσα στην ευθύνη του συνδρομητή (UNI-C, Customer Edge ή CE) και την ευθύνη του παρόχου υπηρεσιών (UNI-N). Για να πραγματοποιηθεί η διασύνδεση απαραίτητη είναι η χρήση του κατάλληλου δικτύου. Το εν λόγω δίκτυο το οποίο διαθέτει υπηρεσίες Ethernet καλείται CEN (βλ. Carrier Ethernet Network). Στην εικόνα 31 παρουσιάζεται το βασικό μοντέλο υπηρεσιών όπως αυτό έχει παρουσιαστεί στο MEF 10.3.



Εικόνα 31 Το βασικό μοντέλο υπηρεσιών όπως αυτό έχει παρουσιαστεί στο MEF 10.3

4.2 Το UNI-C

Το UNI-C έχει ως βασικό σκοπό την παροχή λειτουργιών Customer Edge side οι οποίες δύναται να υλοποιηθούν είτε σε ένα διακόπτη είτε σε έναν δρομολογητή που

είναι συνδεδεμένος με το Carrier Ethernet Network (βλ. CEN). Επιπροσθέτως το UNI-C είναι υπεύθυνο για:

- Μορφοποίηση των πλαισίων σε μορφή ETH
- C-tagging των πλαισίων ανά ορισμό υπηρεσίας
- Οι λειτουργίες διαχείρισης κυκλοφορίας- Traffic Management (βλ. όπως διαμόρφωση)
- Οι λειτουργίες OAM

4.3 Το UNI-N

Το UNI-N δύναται να εφαρμοστεί σε ένα μόνο στοιχείο δικτύου ή μπορεί να διανεμηθεί μεταξύ διαφόρων στοιχείων δικτύου εντός του Carrier Ethernet Network (βλ. CEN). Επιπροσθέτως το UNI-N είναι υπεύθυνο για:

- Την ανταλλαγή πλαισίων δεδομένων με UNI-C
- Τη χαρτογράφηση πλαισίων υπηρεσιών προς και από τα EVCs
- Την ενίσχυση εύρους ζώνης και λειτουργιών έγχρωμης σήμανσης OAM
- Την προαιρετική χειραγώγηση του αναγνωριστικού CE-VLAN

4.4 Οι τύποι UNI

Το MEF ορίζει δύο τύπους UNI οι οποίοι διακρίνονται σε:

- UNI τύπου 1
- UNI τύπου 2

Το UNI Type 1 ορίζεται από το MEF 13. Πρόκειται για ένα βασικό UNI με χειροκίνητη διαμόρφωση των UNI-N και UNI-C. Σημαντικό θα ήταν να προσθέσουμε σε αυτό το σημείο ότι ο UNI τύπος 1 διαχωρίζεται σε:

- UNI Type 1.1 - Μη πολυπλεξία UNI για υπηρεσίες όπως το EPL
- UNI Type 1.2 - Πολυπλεξία UNI για υπηρεσίες όπως η EVPL

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας των δύο τύπων:

	UNI Type 2.1	UNI Type 2.2
Απαραίτητο	<ul style="list-style-type: none"> • Συμβατό με UNI Τύπος 1 • Υπηρεσία OAM • Ενισχυμένα χαρακτηριστικά UNI • Διαχείριση L2CP 	<ul style="list-style-type: none"> • Συμβατό με UNI Τύπος 1 • Υπηρεσία OAM • Ενισχυμένα χαρακτηριστικά UNI • Διαχείριση L2CP • Σύνδεση OAM • Προστασία E-LMI
Προαιρετικό	<ul style="list-style-type: none"> • Σύνδεση OAM • Προστασία E-LMI 	

Πίνακας 1 UNI Type

Το UNI Type 2 ορίζεται από το MEF 20. Ο εν λόγω τύπος συνδέεται άρρηκτα με ένα αυτοματοποιημένο μοντέλο υλοποίησης που επιτρέπει στο UNI-C να ανακτήσει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τις ρυθμίσεις του EVC από το UNI-N.

Επιπροσθέτως υποστηρίζει βελτιωμένα χαρακτηριστικά UNI καθώς επίσης και λειτουργίες διαχείρισης και προστασίας σφαλμάτων[9].

4.5 Υπηρεσίες UNI

Οι κόμβοι πελάτη καθώς και OTN οι οποίοι υποστηρίζουν User Network Interface (βλ. UNI) δεν είναι ίδιας σηματοδοσίας. Με τη βοήθεια του OTN ο πάροχος υπηρεσιών έρχεται σε συμφωνία με τον πελάτη για να παρέχει ένα επίπεδο σε όλο το δίκτυο. Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό ένα μήνυμα UNI από πελάτη σε OTN αποτελεί αίτημα για υπηρεσία. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η μέθοδος αναγνώρισης καθώς και πιστοποίησης πελατών σε όλη την User Network Interface. Σε ένα OTN αρχικά πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος της ορθότητας του λογαριασμού ενός πελάτη πριν από τη χορήγηση μιας αίτησης σύνδεσης. Στο OTN έχετε τη δυνατότητα να παρακολουθήσετε τη σύνδεση εκχωρώντας ένα αναγνωριστικό σύνδεσης το οποίο ασφαλώς πρέπει να είναι έγκυρο, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της σύνδεσης αλλά και την επιστροφή του στον πελάτη.

Για να δημιουργηθεί μια σύνδεση, ο πελάτης πρέπει να επιβεβαιώσει ποιες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες από το OTN. Οι τύποι παραμέτρων υπηρεσιών οι οποίες σηματοδοτήθηκαν σε όλη την διεπαφή είναι:

- Η ζήτηση του εύρους ζώνης της σύνδεσης
- Η κατηγορία υπηρεσιών (λόγου χάρη η απαίτηση προστασίας)
- Η ποικιλομορφία
- Τα ειδικά χαρακτηριστικά του επιπέδου δεδομένων (βλ για SONET / SDH)

Η διεπαφή (βλ. UNI) δεν επιτρέπει στους πελάτες να έχουν πρόσβαση σε εσωτερικές διευθύνσεις OTN καθώς επίσης και πληροφορίες τοπολογίας. Κατά συνέπεια οι αιτήσεις σύνδεσης UNI δεν επιτρέπεται να καθορίζουν **«ρητά δρομολόγια»**.

Η παράμετρος **"Diversity"** δίνει τη δυνατότητα σε έναν πελάτη UNI να κάνει αίτηση για να ακολουθήσει μια νέα διαφορετική διαδρομή χωρίς να απαιτείται εσωτερική

γνώση του OTN. Η συγκεκριμένη διαδικασία δύναται να δώσει τη δυνατότητα στον πελάτη να ζητήσει ένα αντίγραφο ασφαλείας σε μια κύρια διαδρομή[9].

Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας με τίτλο “*Τεχνολογία MPLS σε οπτικά δίκτυα*” αρχικά μελετήθηκε η εξέλιξη των οπτικών δικτύων. Τα πρώτα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν μόνο για μετάδοση από-σημείο-σε σημείο ως μέσο για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης με μικρούς ρυθμούς εμφάνισης σφαλμάτων. Αργότερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας διακρίθηκαν για την υψηλή μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Και ακολούθησε η τρίτη γενιά οπτικών δικτύων που αποτέλεσε βελτιστοποίηση των δύο προηγούμενων γενιών.

Έπειτα έγινε παρουσίαση της τεχνολογίας MPLS. Βασικό της μέλημα αποτέλεσε η ρύθμιση της κίνησης των δεδομένων και η προώθηση πακέτων σε ένα σύνθετο δίκτυο. Μια μεθοδολογία προσανατολισμένη στις συνδέσεις που διασχίζει πακέτα από τον κόμβο πηγή στον κόμβο προορισμό και έτσι επιτυγχάνεται η βέλτιστη μετάδοση πακέτων.

Επιπλέον έγινε αναφορά στα δομικά στοιχεία του MPLS, που είναι τα: Forward Equivalence Class (FEC), Router Edge Labge Edge (LER), Router Edge Edge Label (LER), διακόπτης αλλαγής ετικετών (LSR), διαδρομή εναλλαγής ετικετών (LSP).

Στη συνέχεια διαπιστώσαμε ότι η τεχνολογία MPLS απαρτίζεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων μερικά εκ των οποίων είναι: η ανεξαρτησία επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων, η αυξημένη απόδοση και η ρητή δρομολόγηση. Ορίσαμε το Traffic Engineering δηλαδή τη διαδικασία επιλογής διαδρομών LS που επιλέγονται από την κυκλοφορία δεδομένων, προκειμένου να εξισορροπηθεί το φορτίο σε δρομολογητές και διακόπτες στο δίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε το Link Management Protocol (LMP). Το LMP αποτελεί το πρώτο πρωτόκολλο που πρέπει να αρχικοποιηθεί, μόλις τελειώσει η διάγνωση κάρτας γραμμών VLS και συνδεθεί VSL σε σύνδεση. Ενώ το LMP Heart

Beat είναι ένα LMP hello timer που είναι πολύ σημαντικό για τη διατήρηση της ακεραιότητας του VSS.

Στο τέταρτο κεφάλαιο έγινε μελέτη της διασύνδεσης δικτύου χρήστη (UNI) που διαχωρίζεται σε UNI-C και UNI-N καθώς επίσης στους τύπους και τις υπηρεσίες της.

Βιβλιογραφία

[1] Αβραμόπουλος Η., Αποστολόπουλος Δ. (χ.χ). *Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: https://www.photonics.ntua.gr/wp-content/uploads/diafaneies_Diktya_optikon_inwn_2018/03_%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B1%20WDM%20%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1.pdf

[2] Βλάχος Κ. (χ.χ). *Οπτικά Δίκτυα*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/alexioiu/eis_sys/notes/%20PAROYSIASEIS_TOMEWN/Optika_diktya.pdf

[3] Βαρουτάς Δ. (2015). *Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Δίκτυα*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <http://opencourses.uoa.gr/modules/document/file.php/DI122/%CE%94%CE%B9%CE%B4%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%A0%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%BF/8.1.%20IP%20over%20WDM%20TechnologiesMultiprotocol%20Label%20Switching.pdf>

[4] Neil Jerram, Adrian Farrel. (2001). *MPLS in Optical Networks*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <http://www.olddog.co.uk/opticalmpls2-2.pdf>

[5] Larry Peterson , Bruce Davie. (2012). *Computer Networks: A Systems Approach*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://book.systemsapproach.org/scaling/mpls.html>

[6] [Larry Samberg](#), [Daniel Bar-Lev](#) .(2017).*Virtual Private Wire Service (VPWS)*.

Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
<https://wiki.mef.net/pages/viewpage.action?pageId=29753773>

[7] Μπούρας Χ. *MPLS Τεχνολογία*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CEID1064/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/06_MPLS.pdf

[8] *Campus 3.0 Virtual Switching System Design Guide*.(χ.χ) .Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/VSS30dg/campusVSS_DG/VSS-dg_ch2.html

[9] Daniel Bar-Lev. (2017). *User Network Interface (UNI)*. Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
<https://wiki.mef.net/pages/viewpage.action?pageId=54762710>

[10] *What is MPLS?*(2019). Ανακτήθηκε στις 15/07/2019. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.mplsinfo.org/>