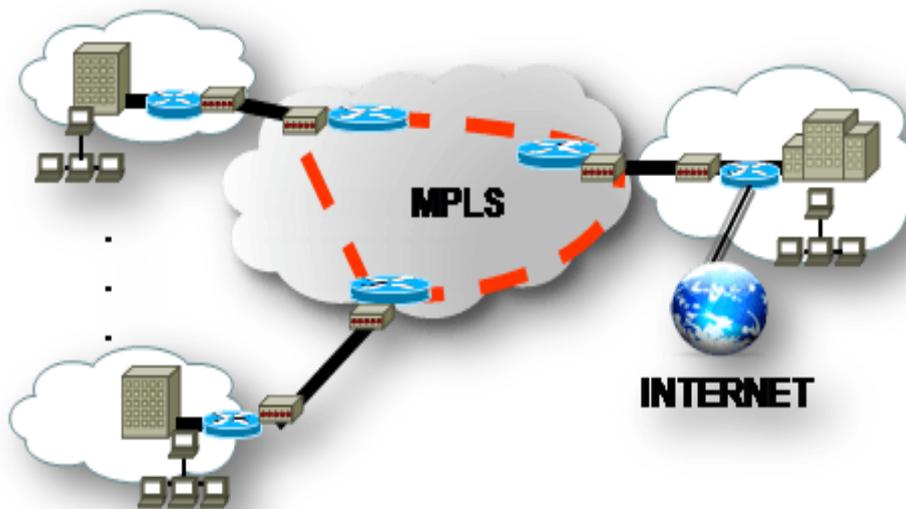




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΗΠΕΙΡΟΥ

Τίτλος εργασίας:

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ



Πτυχιακή εργασία ως μέρος των απαιτήσεων του Τμήματος Μηχανικών  
Πληροφορικής ΤΕ

Φεβρουάριος 2016

Τίτλος πτυχιακής εργασίας:  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ**

**ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

ΕΞΑΜΗΝΟ: 11ο

ΑΜ: 11987

E-mail: thanoskoutras8@gmail.com

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπον καθηγητή μου, κ. Στεργίου Ελευθέριο για την πολύ σημαντική καθοδήγηση , τη συνεργασία και την βοήθεια του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.*

## **ΔΗΛΩΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ**

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αποκλειστικά δικής μου προσπάθειας. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία και γίνεται ρητή αναφορά σε αυτές μέσα στο κείμενο όπου έχουν χρησιμοποιηθεί.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε με σκοπό να γνωρίσουμε την τεχνολογία MPLS και τα οπτικά δίκτυα.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα κάνουμε μια εισαγωγή στα οπτικά δίκτυα πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς καθώς και στα βασικά χαρακτηριστικά τους και τις μελλοντικές βλέψεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα μελετήσουμε την διαστρωμάτωση IP over WDM, τις τεχνολογίες SONET, ATM και IP καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα κάνουμε μια εισαγωγή στην τεχνολογία MPLS, την ιστορία της, τις δυνατότητες της και θα γνωρίσουμε το Multiprotocol Lambda (MPLmS) και το Generalized Multiprotocol Label Switching (G-MPLS)

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα μελετήσουμε τα πρωτόκολλα LDP & LSR και θα προσπαθήσουμε να τα περιγράψουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο θα μελετήσουμε το πρωτόκολλο LMP τα χαρακτηριστικά, τις λειτουργίες και τους κανόνες διαδικασίας

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις οπτικές διεπαφές και τις υπηρεσίες τους.

## **ABSTRACT**

The writing of this thesis was designed to know the MPLS technology and optical networks.

In the first chapter we make an introduction to optical networks first, second and third generation and their basic characteristics and future plans.

In the second chapter we will study the stratification IP over WDM, SONET technologies, ATM and IP as well as their characteristics.

In the third chapter we will make an introduction to the technology MPLS, history, capabilities and know the Multiprotocol Lambda (MPLmS) and Generalized Multiprotocol Label Switching (G-MPLS)

In the fourth chapter we study protocols LDP & LSR and try to describe them in the best possible way.

In the fifth chapter we will study the LMP protocol features , functions and rules of procedure

The sixth and final chapter will refer to optical interfaces and services .

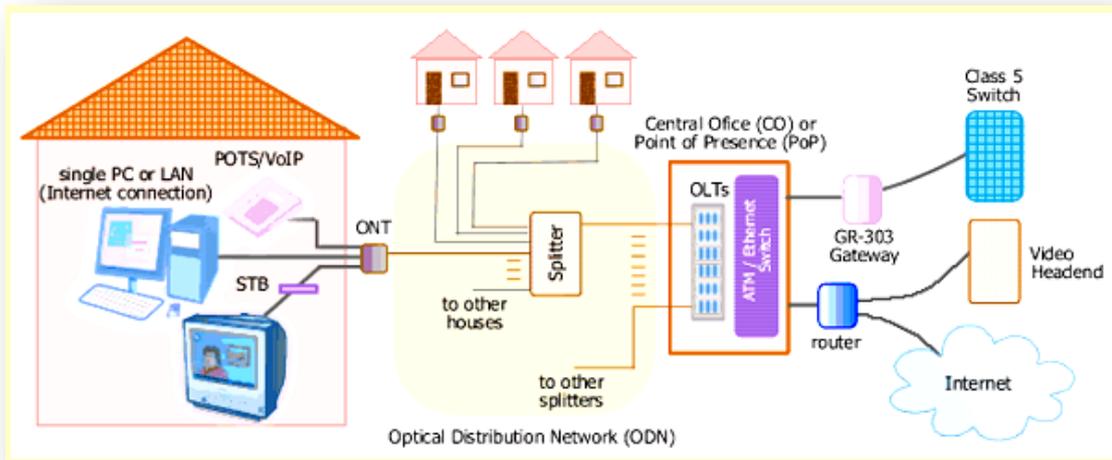
# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Οπτική Τεχνολογία.....	9
1.3 Τύποι οπτικών δικτύων .....	10
1.4 Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς.....	11
1.5 Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς .....	12
1.6 Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς.....	13
1.6.1 Οπτική Μεταγωγή Εκρηκτικής Ροής (OBS).....	13
1.6.2 Οπτική μεταγωγή Ετικέτας (OLS) .....	14
1.7 Τα οπτικά δίκτυα του μέλλοντος.....	14
1.8 Χαρακτηριστικά Οπτικών δικτύων .....	15
1.9 Τεχνικές πολυπλεξίας.....	18
1.10 Έλεγχος οπτικού δικτύου .....	18
1.10.1 Απαιτήσεις οπτικού επιπέδου ελέγχου .....	18
1.11 Γιατί οπτικά συστήματα .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 IP OVER WDM .....	21
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Σύγχρονο οπτικό δίκτυο .....	22
2.3 Χαρακτηριστικά SONET .....	23
2.4 Πλεονεκτήματα Synchronous Optical NETwork.....	23
2.5 IP Protocol.....	24
2.6 ΤΟ ATM.....	25
2.7 Χαρακτηριστικά ATM .....	25
2.8 Μειονεκτήματα των πολλών στρωμάτων.....	26
2.9 Ιστορικοί λόγοι για πολλά επίπεδα.....	27

2.10 Προκλήσεις των δικτύων IP over WDM.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS.....	29
3.1 Εισαγωγή MPLS.....	29
3.2 Η ιστορία του MPLS .....	31
3.3 MPLS Δυνατότητες .....	32
3.4 Μετάδοση δεδομένων σε MPLS .....	32
3.5 Πλεονεκτήματα MPLS .....	33
3.6 Η λειτουργία του MPLS .....	34
3.7 Ρητή δρομολόγηση .....	37
3.8 Πλεονεκτήματα της ρητής δρομολόγησης .....	37
3.9 Νοητά κυκλώματα και MPLS .....	38
3.10 Οπτικά επίπεδα ελέγχου βασισμένα σε MPLS.....	40
3.11 Multiprotocol Lambda Switching (MPLmS) .....	41
3.12 Σύγκριση MPLmS – MPLS.....	42
3.13 Εικονικά ιδιωτικά δίκτυα βασισμένα στην τεχνολογία MPLS .....	43
3.14 Προσεγγίσεις L2 MPLS VPNs .....	44
3.15 QoS και MPLS .....	46
3.16 MPLS και Diff-Serv .....	46
3.17 MPLS Traffic Engineering .....	47
3.18 Generalized Multiprotocol Label Switching (G-MPLS).....	48
3.19 Ετικέτες GMPLS .....	48
3.20 Η υλοποίηση του G-MPLS.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ LDP & LSR.....	51

4.1 Εισαγωγή .....	51
4.2 Το πρωτόκολλο LDP .....	52
4.3 LDP μηνύματα .....	54
4.4 Κλάσης ισοδύναμης προώθησης δρομολόγησης (FEC) .....	56
4.5 Δρομολογητής ετικετών (LSR - Label Switch Router).....	57
4.6 Κατηγορίες διεπαφών LSR δρομολογητών.....	58
4.7 Upstreams & downstreams σε δίκτυα MPLS .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ LMP .....</b>	<b>60</b>
5.1 Εισαγωγή στο πρωτόκολλο LMP .....	60
5.2 Τα χαρακτηριστικά του DC-LMP .....	60
5.3 Λειτουργίες πρωτοκόλλου LMP .....	62
5.4 Κανόνες διαδικασίας .....	64
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ.....</b>	<b>65</b>
6.1 Εισαγωγή στις Οπτικές διεπαφές.....	65
6.2 Υπηρεσίες στα UNI σχετικές με οπτικά μονοπάτια .....	67
6.3 Υπηρεσίες στα UNI σχετικές με ανάκτηση διευθύνσεων .....	68
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>69</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>70</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ



Εικόνα 1: Δίκτυο οπτικής διανομής

### 1.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε την τεχνολογία MPLS και τα οπτικά συστήματα. Συνεπώς απαραίτητη είναι η γνωριμία μας με τα οπτικά δίκτυα. Τα οπτικά δίκτυα παρέχουν εύρος ζώνης το οποίο αδυνατεί να προσεγγίσει κάποια άλλη τεχνολογία μετάδοσης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν εισχωρήσει στη ζωή μας και σε αυτό συντέλεσε η αυξημένη κίνηση η οποία παρουσιάζεται στο διαδίκτυο λόγω του μεγάλου αριθμού χρηστών καθώς και της αύξησης του εύρους ζώνης που παρέχεται σε κάθε χρήση. Ξεκινώντας την ιστορική διαδρομή μας στις οπτικές επικοινωνίες θα αναφέρουμε ότι, η απαρχή έγινε το 1910 με την ανάλυση διηλεκτρικού κυματοδηγού (βλ Debye) το επόμενο χρονολογικό βήμα έγινε το 1955 με την ανακάλυψη της οπτικής ίνας, ενώ γύρω στο 1962 και στο 1965 δύο σημαντικές εξελίξεις έρχονται να ταραξουν τις οπτικές επικοινωνίες. Ασφαλώς σε αυτό το σημείο αναφερόμαστε στην ανακάλυψη *laser* ημιαγωγού καθώς και την πρώτη χρήση οπτικής ίνας στις οπτικές τηλεπικοινωνιών με μεγάλη απώλεια (βλ  $>20\text{db/km}$ ). Το 1972 κατασκευάζεται

από την εταιρία Corning η οπτική ίνα με απώλεια 4db/km. Πέντε χρόνια αργότερα δηλαδή το 1977 και για μια δεκαετία μετέπειτα κατασκευάζεται την Αμερική καθώς και η κατασκευή του TAT-8 από την Bell Telephone Systems, σε αυτό το σημείο θα συμπληρώσουμε ότι επιδεικνύονται ενισχυτές ίνας Ερβίου (E.D.F.A) που γίνονται εμπορικά διαθέσιμη το 1990. Στις αρχές του 2000 γίνεται η επιστήμη ανακοίνωση της έναρξης του Flag Pacific -1, το οποίο καλείται να μεταφέρει συνολικά 10,24 Tbit/s δεδομένων μήκους 24.000 km που αποτελείται από 447 επαναλήπτες. Τον επόμενο χρόνο δημιουργείται το Apollo το οποίο θα αποτελέσει συνδυαστικό κρίκο ανάμεσα σε ΗΠΑ, Αγγλία, Γαλλία μεταφέροντας 3,2 Tbit/s. Ουσιαστικά αναφερόμαστε σε ένα WDM δίκτυο που χρησιμοποιεί 80 κανάλια των 10 Gbit/s. Μελλοντικές βλέψεις των οπτικών επικοινωνιών αποτελεί η υλοποίηση δικτύων χωρητικότητας (Tbps) τα οποία θα δώσουν λύση σε προβλήματα εύρους ζώνης στο μέλλον. Επιπροσθέτως η χρησιμοποίησή τους σε επικοινωνίες μεγάλης απόστασης, μητροπολιτικών δικτύων, δικτύων πρόσβασης, τοπικών δικτύων αλλά και υπολογιστών. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στην ιστορική αναδρομή σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι η κίνηση στο παγκόσμιο ιστό έχει την τάση να διπλασιάζεται κάθε 6 μήνες για το λόγο ότι οι ευζωνικές συνδέσεις DSL έχουν εύρος ζώνης μεγαλύτερο από τα παραδοσιακά PSTN και ISDN (βλ. 56 και 128 kbps). Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας αξίζει να σημειώσουμε ότι η ραγδαία ανάπτυξη των οπτικών δικτύων οφείλεται στην διεθνή επιλογή ενσύρματης επικοινωνίας τόσο στο δίκτυο κορμού όσο και στο δίκτυο διανομής. [1] [2] [3]

## 1.2 Οπτική Τεχνολογία

Η οπτική τεχνολογία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο τόσο για το εύρος όσο και για το κόστος της υλοποίησης ενσύρματων δικτύων. Δεν θα μπορούσε να μην αναφερθούμε στο βασικό παράγοντα της ευρυζωνικότητας της οπτικής τεχνολογίας η οποία αποτελεί το φυσικό μέσον δηλαδή τις οπτικές ίνες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να παρέχουν εύρος ζώνης εξαιρετικά μεγάλο. Πλεονέκτημα των οπτικών ινών αποτελεί η ανθεκτικότητα σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που έχει ως επακόλουθο τα οπτικά δίκτυα να μην επηρεάζονται από την παρουσία άλλων ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων. [1] [2] [3]

### 1.3 Τύποι οπτικών δικτύων

Οι τύποι οπτικών δικτύων διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες και κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες χωρίζεται σε επιμέρους υποκατηγορίες τις οποίες θα αναφέρουμε ονομαστικά παρακάτω:

- **Τύποι οπτικών δικτύων I**
  - ✓ Ζεύξεις *point to point (Long Haul)*
  - ✓ Δίκτυα πρόσβασης και διανομής
  - ✓ Τοπικά δίκτυα (LAN)
  
- **Τύποι οπτικών δικτύων II**
  - ✓ Αστικά δίκτυα (*Metro-Interoffice*)
  - ✓ Δίκτυα πρόσβασης (ACCESS). [1] [2]

### 1.4 Οπτικά δίκτυα πρώτης γενιάς

Τα οπτικά δίκτυα διαχωρίζονται σε πρώτη, δεύτερη και τρίτη γενιάς. Στα υποκεφάλαια 1.4, 1.5 και 1.6 θα γνωρίσουμε εκτενέστερα την κάθε μια από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες. Αρχικά η οπτική ίνα χρησιμοποιήθηκε σαν μέσο μεταφοράς και ο υπόλοιπος εξοπλισμός ήταν ηλεκτρονικός. Είναι πολύ εύκολο να αναληφθούμε λοιπόν το ότι, η παραπάνω αρχιτεκτονική χρησιμοποιήθηκε με σκοπό η οπτική ίνα να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο μέσο μετάδοσης για μεγάλες αποστάσεις παρόλο που χρησιμοποιεί οπτο-ηλεκτρονική ενίσχυση αναγέννησης του σήματος σε ενδιάμεσα και σχετικά απειροελάχιστες αποστάσεις, αυξάνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος. Συμπερασματικά προκύπτει ότι για τους παραπάνω λόγους έγινε επιτακτική η ανάγκη για επεξεργασία του σήματος σε αμιγώς οπτικό επίπεδο.

Στη συνέχεια η εξέλιξη και ανάπτυξη του οπτικού ενισχυτή ίνας Ερβίου αποτέλεσε σημαντικό κομμάτι στην εξελικτική πορεία της οπτικής ίνας. Μπορούμε να αντιληφτούμε ότι η ενισχυτές αυτοί έχουν την τάση να αυξάνουν την απόσταση επανενίσχυσης του σήματος από την άλλη πλευρά δεν απαιτείται αναδιαμόρφωση και επανασυγχρονισμός οπτικών παλμών λόγω του ότι αποφεύγεται η εμπλοκή

ηλεκτρονικού τμήματος στην μετάδοση, συνεπώς δεν έχουμε εισαγωγή στο σήμα επιδράσεων μη γραμμικής διάδοσης κάτι που επιφέρει η προηγούμενη προσέγγιση.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να προσθέσουμε ότι ειδικά στα WDM συστήματα ο μη διαχωρισμός στα επιμέρους μήκη κύματος, έχει σημαντικό αποτέλεσμα την εξαιρετική μείωση του κόστους σε συστήματα μεγάλης κλίμακας και ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στα οπτικά δίκτυα α' γενιάς θα αναφέρουμε μερικά παραδείγματα οπτικών δικτύων πρώτης γενιάς όπως το πρότυπο SDH(Synchronous Optical Network). [1] [2] [3]

## 1.5 Οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς

Στα δίκτυα δεύτερης γενιάς παρατηρούμε εξαιρετικά υψηλή μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Με την πάροδο του χρόνου καθώς και την διευρυμένη ζήτηση εύρους ζώνης τα υπάρχοντα δίκτυα αναβαθμίστηκαν σε δίκτυα υψηλότερα από εκείνα που προσέφεραν οι υπάρχουσες τεχνολογίες. Σε αυτό το σημείο θα επισημάνουμε ότι η ταχύτητα που προσφέρει η οπτική λειτουργία συνδυαστικά με τεχνικές πολυπλεξίας (βλ WDM, OTDM ) έρχονται για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Τα παραπάνω δίκτυα όπως θα αναφέρουμε σε επόμενο κεφάλαιο έχουν υιοθετήσει την τεχνική πολυπλεξίας WDM καθώς και την τεχνική OTDM. Τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών είναι:

- *Τα οπτικά τερματικά, γραμμής(OLT)*
- *Οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης – αφαίρεσης (OADM)*
- *Τα οπτικά στοιχεία διασύνδεσης (OXC)*
- *Οι EDFA για την περιοδική ενίσχυση των σημάτων.*

Ακολουθεί μια εκτενέστερη αναφορά στα δομικά χαρακτηριστικά των δικτύων. Ένα οπτικό τερματικό στοιχείο (OLT) έχει ως βασικό του μέλημα την πολυπλεξία διάφορων μήκους κύματος σε ένα οπτικό κύμα καθώς και την αποπολυπλεξία στα διάφορα μήκη κύματος από ένα οπτικό κύμα σε επιμέρους. Τα OLTs χρησιμοποιούνται στα άκρα μιας σύνδεσης σημείο όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι εκεί τερματίζεται το οπτικό μέρος του δικτύου με αποτέλεσμα να εκτελούν και O/E μετατροπή. Στη συνέχεια βλέπουμε ότι ένας OADM είναι μια συσκευή η οποία έχει τη δυνατότητα να αφαιρεί κάποια από τα κανάλια που καταλήγουν σε αυτό καθώς και να προσθέτει κάποια άλλα σε μια ζεύξη. Θα μπορούσαμε να προσθέσουμε ότι η λειτουργία των συσκευών OXCs

είναι παραπλήσια με την διαφορά ότι η κλίμακα λειτουργία τους είναι πολύ μεγαλύτερη αφού μπορούν να χειριστούν περισσότερα κανάλια. Συνεπώς τα OLTs είναι συσκευές οι οποίες επιτελούν διασυνδέσεις με άλλα δίκτυα. Οι συσκευές OADMs έχουν την ικανότητα να συγκεντρώνουν την κίνηση από και προς διάφορα OLTs με το να απορρίπτουν ή να προσθέτουν τα αντίστοιχα κανάλια και επίσης μπορούν να διασυνδέονται με OXCs. Η αρχιτεκτονική η οποία προκύπτει με τη χρήση των παραπάνω συσκευών είναι εξαιρετικά ελκυστική, διότι επιτρέπει τα εξής χαρακτηριστικά [1] [2] [3]:

- *Επαναχρησιμοποίηση μήκους κύματος*
- *Μετατροπή μήκους κύματος σε άλλο μήκος κύματος*
- *Παρουσιάζει διαφάνεια μήκους κύματος*
- *Επιτρέπει μεταγωγή κυκλώματος*
- *Παρουσιάζει ανθεκτικότητα.*

## **1.6 Οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς**

Στα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς γίνεται μεγάλη προσπάθεια να τελειοποιηθούν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία δεν συναντάμε σε προηγούμενα δίκτυα. Μερικά εκ των οποίων είναι ο καλύτερος χειρισμός πακέτων μικρού μεγέθους καθώς και η καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης.

Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι η τεχνικές καθώς και οι βασικές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα γ' γενιάς είναι [1] [2] [3]:

- *Οπτική Μεταγωγή Εκρηκτικής Ροής (Optical Burst Switching).*
- *Οπτική Μεταγωγή Πακέτων (Optical Packet Switching).*
- *Οπτική Μεταγωγή Ετικεταλίδας (Optical Label Swapping)*

Και στη συνέχεια θα αναλύσουμε κάποιες από τις παραπάνω τεχνικές.

### **1.6.1 Οπτική Μεταγωγή Εκρηκτικής Ροής (OBS)**

Η παραπάνω τεχνική θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί μια διαφοροποίηση της οπτικής μεταγωγής πακέτου. Ως βασικό της μέλημα έχει την συγκέντρωση στους κόμβους που βρίσκονται στα άκρα του αμιγώς οπτικού δικτύου, πακέτων τα οποία έχουν την τάση να ακολουθούν την ίδια διαδρομή μέσα στο δίκτυο σε μια ριπή (burst), ή προσθήκη επικεφαλίδας σε αυτή. Η μετάδοση του δικτύου της πληροφορίας θα επιτευχθεί με εξαιρετικά εκρηκτικό τρόπο. Δεν θα πρέπει να παραλείψουμε ότι θα μπορούσε να επιφέρει συγκρίσεις ανάμεσα σε δύο διαφορετικά πακέτα. Στην τεχνική αυτή το μέγεθος του πακέτου ριπής είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ό τι στην τεχνική μεταγωγή πακέτου. Κλείνοντας την αναφορά μας στην μεταγωγή εκρηκτικής ροής θα προσθέσουμε ότι ο τύπος αστών δικτύων, έχει την τάση να προσφέρει πολλές υπηρεσίες σε ανώτατα στρώματα με διαφανή τρόπο.

Υπάρχουν όμως και δύο σημαντικές δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπίσουν, ο εξαιρετικά μεγάλος αριθμός πινάκων δρομολόγησης που πρέπει να διατηρηθούν πράγμα που αυξάνει την πολυπλοκότητα της δρομολόγησης καθώς και η μη αποδοτική εξεύρεση λύσης για αποθήκευση πακέτων, ώστε να αποφευχθούν οι συγκρούσεις. [1] [2] [3]

### **1.6.2 Οπτική μεταγωγή Ετικέτας (OLS)**

Όσον αφορά αυτή την τεχνική μεταγωγής πακέτων η επικεφαλίδα η οποία προστίθεται σε κάθε πακέτο έχει καθοριστική σημασία μέσα στο δίκτυο, διότι μεταξύ των άλλων περιέχει τις διευθύνσεις αποστολής και προορισμού. Συνεπώς απαιτείται κάθε κόμβος του δικτύου πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων το που αντιστοιχεί κάθε διεύθυνση μέσα στο δίκτυο.

Η βασική αρχή που διέπει την τεχνική μεταγωγής είναι ότι κατά την είσοδο ενός πακέτου μέσα σ' ένα οπτικό δίκτυο πρέπει εξ' αρχής να του έχει ανατεθεί μια επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα αυτή θα καθορίσει την διαδρομή του μέσα στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό η τεχνική μεταγωγής πακέτων πλεονεκτεί έναντι των άλλων τεχνικών. [1] [2] [3]

## **1.7 Τα οπτικά δίκτυα του μέλλοντος**

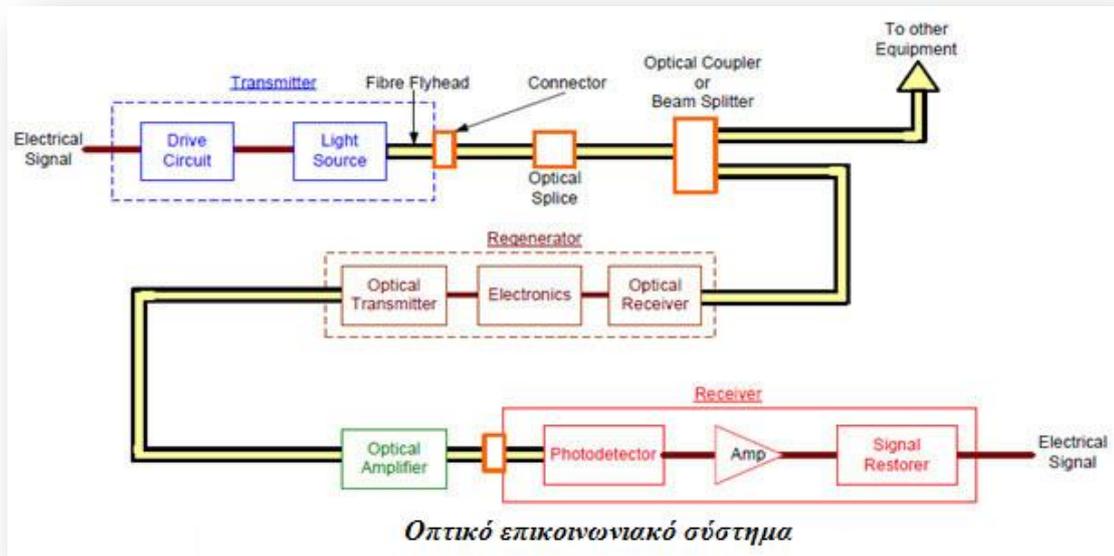
Αρχικά τα πρώτα οπτικά δίκτυα είχαν την τάση να αντιλαμβάνονται τα οπτικά στοιχεία διασύνδεσης ως αυτοτελείς διατάξεις. Ουσιαστικά ο ρόλος τους θα ήταν να ενώσουν τους κόμβους ενός δικτύου καθώς και να διαμορφώσουν ένα οπτικό επίπεδο δρομολόγησης μέσα στο δίκτυο, με την εξέλιξη των δικτύων καθώς και της ζήτησης μεγαλύτερου εύρους ζώνης, τα οπτικά δίκτυα έγιναν περισσότερο πολύπλοκα.

Σ' ένα σύγχρονο δίκτυο κορμού οι κόμβοι έχουν την τάση να συνδέονται μεταξύ τους με οπτικές γραμμές καθώς φροντίζουν για περιοδική ενίσχυση του σήματος. Θα μπορούσαμε σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι τα οπτικά στοιχεία διασύνδεσης έχουν την τάση να προσθέτουν-αφαιρούν μήκη κύματος από και προς τα σημεία υπηρεσίας. Στο άκρο του δικτύου η κίνηση έχει την τάση να μορφοποιείται σε δικτυακές υπηρεσίες με την βοήθεια των δρομολογητών η οποίοι μπορούν να στηρίζουν διεπαφές προς τον χρήστη ή προς το δίκτυο.

Μελλοντικά τα οπτικά δίκτυα προβλέπονται ότι θα λειτουργούν σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, οι ρυθμοί μετάδοσης σήμερα δεν ξεπερνούν τα 10 Gbps ενώ σε σύντομο χρονικό διάστημα θα φτάσουν τα 40 Gbps και αργότερα 160 Gbps. Όσον αφορά τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, το πλεονέκτημα είναι ότι τα συστήματα απαιτούν κλιμάκωση μικρότερου μεγέθους κάτι που θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο κόστος. Βεβαία υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως λόγω χάρη οι αυξημένες απαιτήσεις διαχείρισης και η εξάλειψη του φαινομένου διασποράς καθώς και άλλα μη επιθυμητά φαινόμενα.

Μια ακόμα σημαντική εξέλιξη των οπτικών δικτύων θα αποτελέσει η μετάβαση από την υπάρχουσα υποδομή σε υποδομές που επιβάλουν τεχνολογίες του τύπου FTTx. Ο συγκεκριμένος τύπος δικτύου στηρίζεται στην ύπαρξη ενός παθητικού οπτικού δικτύου. Το εν λόγω δίκτυο βασίζεται σε διατάξεις όπως ο συζευκτής παθητικού αστέρα, ο οποίος μπορεί να εξυπηρετήσει πολλαπλές υπηρεσίες δηλαδή, υπηρεσίες φωνής δεδομένων και βίντεο καθώς και υποστήριξη διάφορων πρωτοκόλλων. Τα προαναφερθέντα δίκτυα αφορούν τοπικά δίκτυα (LANs) είτε οικιακούς χρήστες. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι υπάρχουν διάφορες λύσεις και τεχνικές που σχετίζονται κυρίως με πολυπλεξία μήκους κύματος και παραδοσιακών λύσεων στα πρότυπα ISDN. Οι παραπάνω τεχνικές πλεονεκτούν ως προς την άρση του ρυθμού μετάδοσης. Κλείνοντας το συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφέρουμε ότι οι παραπάνω καινοτομίες που θα εφαρμοστούν στο μέλλον, θα επιφέρουν σημαντικές αλλαγές και καινοτόμες υπηρεσίες στα δίκτυα. [1] [2] [3] [4]

## 1.8 Χαρακτηριστικά Οπτικών δικτύων



Εικόνα 2: Οπτικό επικοινωνιακό σύστημα

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των οπτικών δικτύων τα οποία είναι:

- Οι χαμηλές απώλειες
- Το μεγάλο εύρος ζώνης
- Η ενιαία υποδομή για την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών
- Η διάθεση εύρους ζώνης ανά πάσα στιγμή.

Πιο συγκεκριμένα οι οπτικές ίνες διακρίνονται κυρίως για το εύρος ζώνης τους αλλά και για την ανοχή τους σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι στα δίκτυα πρώτης γενιάς, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στην μετάδοση. Παράδειγμα τέτοιων δικτύων αποτελούν τα :

- Τα οπτικά δίκτυα (*Synchronous Optical NETWORK - SONET*)
- Τα δίκτυα *SDH*.

Εν αντιθέσει στα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς τόσο η δρομολόγηση όσο και η μεταγωγή λαμβάνουν χώρα στο οπτικό επίπεδο. [3] [5] [6]

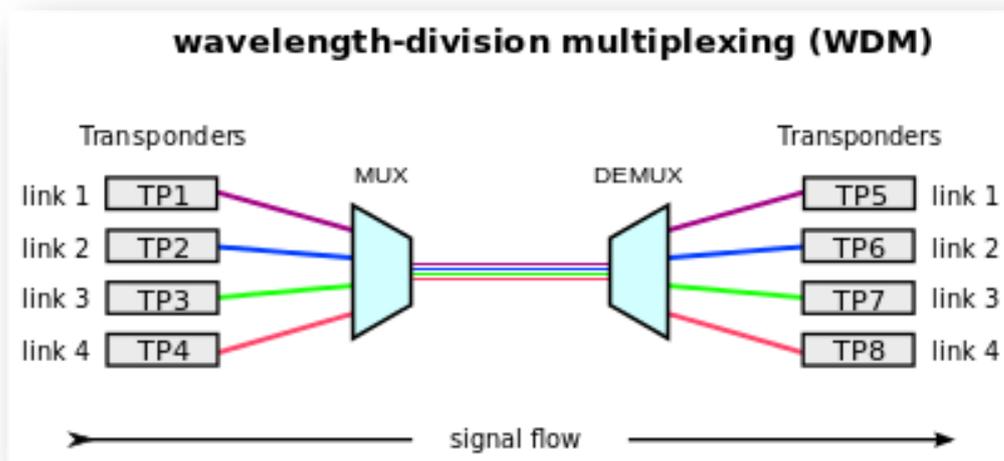
## 1.9 Τεχνικές πολυπλεξίας

Στα οπτικά δίκτυα υπάρχουν δύο τεχνικές πολυπλεξίας:

- **Η πολυπλεξία με βάση το μήκος κύματος (WDM- Wavelength Division Multiplexing)**
- **Η πολυπλεξία στο χρόνο (OTDM- Optical Time Division Multiplexing).**

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε καθεμία από τις παραπάνω τεχνικές.

Όσον αφορά την πολυπλεξία με βάση το μήκος κύματος η οποία φαίνεται και στην εικόνα, για τη μετάδοση των δεδομένων υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης πολλών μήκων κύματος με τη χρήση μιας μόνο οπτικής ίνας. Σε μια τέτοια περίπτωση κάθε ένα από τα μήκη κύματος έχει την ικανότητα να φέρει ορισμένο ποσοστό του συνολικού όγκου δεδομένων.



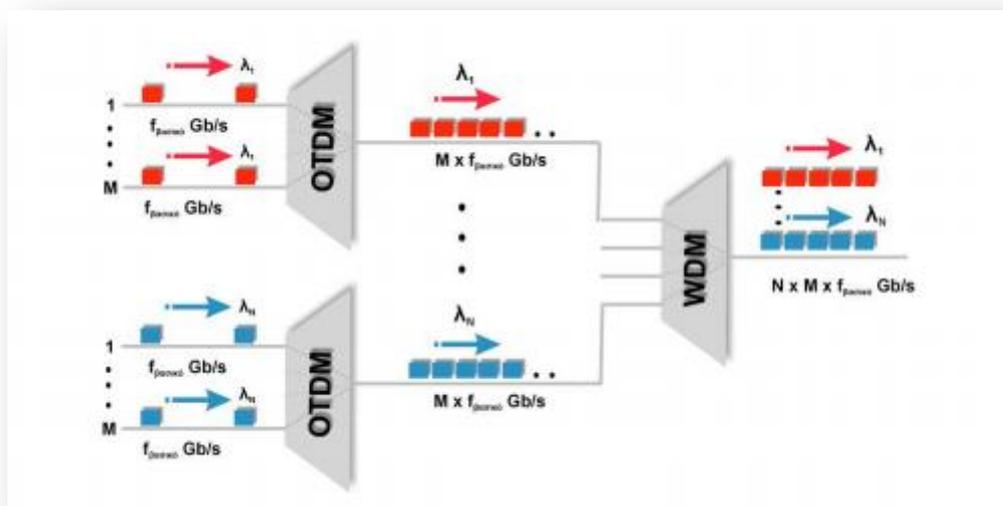
Εικόνα 3: Πολυπλεξία WDM

Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι τόσο η συνολική χωρητικότητα όσο και η απόδοση ενός WDM συστήματος εξαρτώνται από:

- Τη φασματική απόσταση
- Το σύνολο των μηκών κύματος που χρησιμοποιούνται
- Τον ρυθμό μετάδοσης καναλιού

- Τον τύπο οπτικής ίνας
- Την ισχύ του καναλιού
- Το αποδοτικό φάσμα ενίσχυσης των οπτικών ενισχυτών της ζεύξης.

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στην παραπάνω τεχνική θα προσθέσουμε ότι χρησιμοποιείται στο δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, διότι υποστηρίζει την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι παρέχει στο δίκτυο πολλά νοητά κυκλώματα ανάμεσα σε κόμβους.



**Εικόνα 4: Πολυπλεξία OTDM**

Εν αντιθέσει με την τεχνική πολυπλεξίας WDM, η άλλη τεχνική δηλαδή η τεχνική OTDM αποτελείται από πολλές ροές πληροφορίας χαμηλής ταχύτητας οι οποίες περιπλέκονται σε μια ροή υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Στην παραπάνω τεχνική χαρακτηριστικό αποτελεί το ότι ο χρόνος διαιρείται σε σταθερά και ίσα διαστήματα τα οποία καλούνται χρονοθυρίδες (timeslots). Καθοριστικό ρόλο για την απόδοση των OTDMs συστημάτων παίζουν ο ακριβής χρονοσμός και το εύρος των χρονικών παλμών ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή.

Κλείνοντας θα αναφέρουμε ότι οι timeslots παραπάνω τεχνικές δεν λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα η μια από την άλλη αλλά σε πολλές περιπτώσεις λειτουργούν σε συνδυασμό με σκοπό να αυξήσουν την χωρητικότητα των οπτικών δικτύων όσο το δυνατόν περισσότερο. . [3] [5] [6] [10]

## 1.10 Έλεγχος οπτικού δικτύου

### 1.10.1 Απαιτήσεις οπτικού επιπέδου ελέγχου

Σε αυτό το σημείο της εργασίας μας θα αναφέρουμε ότι το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από ορισμένα στοιχεία όπως:

- Το σχήμα διευθυνσιοδότησης
- Το δίκτυο πληροφοριών σηματοδοσίας ελέγχου
- Μηχανισμό δρομολόγησης
- Μηχανισμό σηματοδοσίας.

Στη συνέχεια θα μιλήσουμε εκτενέστερα για καθένα από τα παραπάνω στοιχεία. Όσον αφορά το δίκτυο επικοινωνίας χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης καθώς και σηματοδοσίας ανάμεσα σε κόμβους του δικτύου.

Από την άλλη πλευρά ο μηχανισμός δρομολόγησης είναι υπεύθυνος για τα δεδομένα τα οποία ανταλλάσσονται και έχουν άμεση σχέση με τις αποφάσεις που λαμβάνονται κατά την δρομολόγηση.

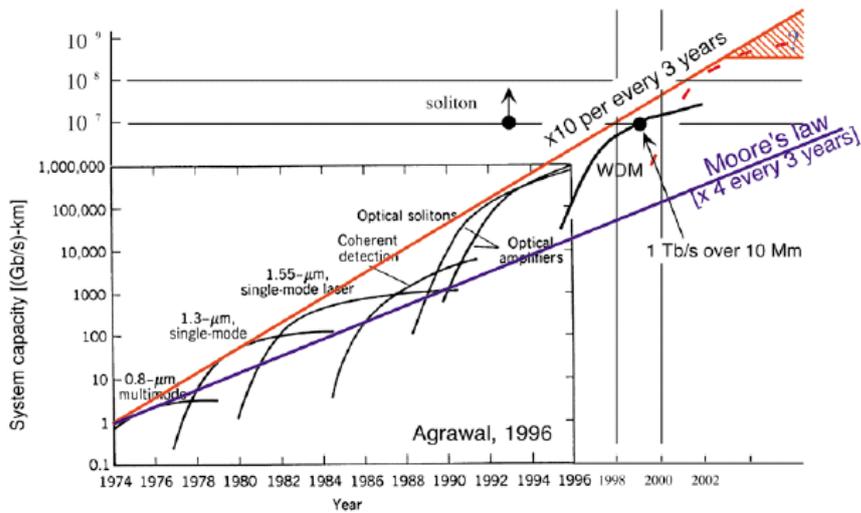
Και τέλος ο μηχανισμός σηματοδοσίας σχετίζεται άμεσα με:

- Την εγκατάσταση
- Απεγκατάσταση
- Συντήρηση οπτικών συνδέσεων.

Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι όσον αφορά τα παραδοσιακά δίκτυα το επίπεδο ελέγχου κατά κύριο λόγο υλοποιείται με την βοήθεια της διαχείρισης δικτύου. Βεβαίως η διαχείριση του δικτύου παρουσιάζει αδυναμίες όπως:

- Καθυστέρηση σε περίπτωση ενημέρωσης δυσλειτουργίας του δικτύου
- Αδυναμία υλοποίησης δυναμικού ελέγχου
- Αδυναμία υλοποίησης κατανεμημένου ελέγχου
- Καθιστά δύσκολη την σύνδεση συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές
- Καθιστά δύσκολη την παροχή διασυνδεσιμότητας. [3].

## 1.11 Γιατί οπτικά συστήματα



Εικόνα 5: Εξελικτική πορεία capacity Gbps

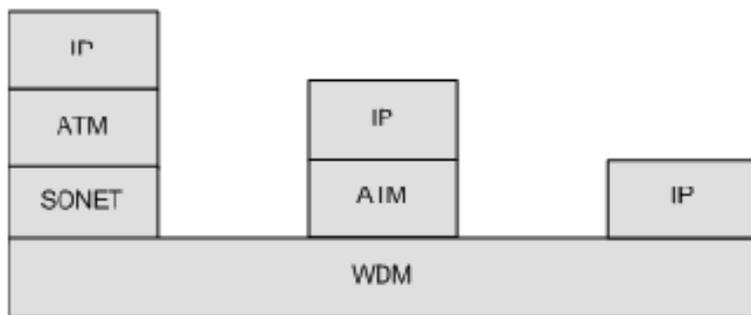
Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η εξελικτική πορεία της ((capacity Gbps)) των οπτικών δικτύων των τελευταίων δεκαετιών.

Στην παρακάτω παράγραφο θα αναφερθούμε σε μερικούς από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιούμε οπτικά συστήματα:

1. Μικρότερη οπτική εξασθένιση σε 1,3  $\mu\text{m}$  και 1,55 $\mu\text{m}$ .
2. Μεγάλες αποστάσεις μεταξύ αναγεννητών.
3. Μεγάλο εύρος ζώνης
4. Υψηλές οπτικές συχνότητες
5. Μικρότερη εξάρτηση του εύρους ζώνης από το μήκος κύματος στις οπτικές συνδέσεις
6. Ανεξαρτησία οπτικής εξασθένισης από τη συχνότητα διαμόρφωσης
7. Μεγαλύτερη αναβάθμιση bandwidth σε ένα οπτικό δίκτυο. [5] [6]

### IP OVER WDM

#### 2.1 Εισαγωγή



*Εικόνα 6: Μοντέλα διαστρωμάτωσης IP over WDM*

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε σημαντικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες όπως είναι :

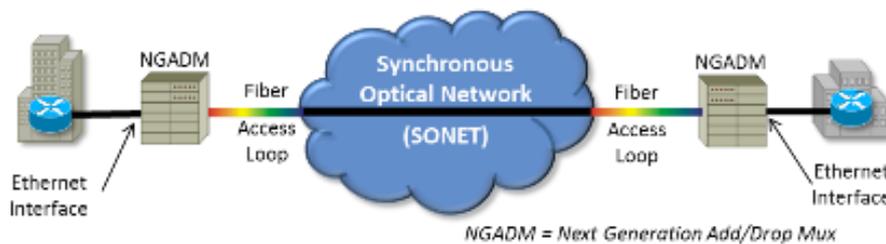
- SONET
- IP
- ATM

Αρχικά θα αναφερθούμε στα μοντέλα διαστρωμάτωσης IP OVER WDM όπως καλείται και το εν λόγω κεφάλαιο. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα τα μοντέλα είναι:

- IP OVER ATM OVER SONET/SDH OVER WDM
- IP OVER SONET/SDH OVER WDM
- IP OVER WDM

Όσον αφορά την πρώτη διαστρωμάτωση δηλαδή την IP OVER ATM OVER SONET/SDH OVER WDM χαρακτηρίζεται από υψηλές ταχύτητες αποκατάστασης του δικτύου και αυτό οφείλεται στο SONET/SDH καθώς και ευελιξία εύρους ζώνης που οφείλεται στο ATM. Το IP OVER SONET/SDH OVER WDM έχει και αυτό υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και βέλτιστη αποκατάσταση λόγω του SONET/SDH και μεγαλύτερο εύρος διαστρωμάτωσης από την προηγούμενη. Τέλος το IP OVER WDM όπου εξαλείφονται πλήρως τα επίπεδα ATM και SONET/SDH και το IP εφαρμόζεται απευθείας πάνω στο WDM όπου υπάρχει μεγαλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης και απλούστερη διαχείριση και λειτουργία του δικτύου.[3] [12]

## 2.2 Σύγχρονο οπτικό δίκτυο



Εικόνα 7: Synchronous Optical Network

Το σύγχρονο οπτικό δίκτυο γνωστό ως **Synchronous Optical Network** προτάθηκε από:

- Bellcore
- ANSI
- ITU-T

Το προαναφερθέν αποτελεί μια Αμερικάνικη έκδοση της Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας (SDH) με την οποία υπάρχει συμβατότητα. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι αποτελεί μια οικογένεια ρυθμών καθώς και συντακτικών δομών για τα δεδομένα που ρέουν στις διεπαφές των συστημάτων μετάδοσης οπτικών ινών. Το SONET όπως έχει επικρατήσει να ονομάζεται αποτελεί ιδανικό πρότυπο για μεταδόσεις

μεγάλων αποστάσεων σε οπτικά δίκτυα και επιπροσθέτως ασχολείται με προβλήματα της πλαισίωσης και της κωδικοποίησης.[12]

### **2.3 Χαρακτηριστικά SONET**

Στη συνέχεια εν συντομία θα περιγράψουμε μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του SONET. Τα οποία είναι:

- Αρχικά θεωρήθηκε ότι κάθε υποδομή θα έχει ως βάση την μεταγωγή κυκλώματος
- Αποστολή περισσότερων bits σε πακέτα παρά σε κυκλώματα
- Μεγαλύτερο όφελος του κόσμου των πακέτων δεδομένων από τον μέγιστο διαμοιρασμό πόρων.[12]

### **2.4 Πλεονεκτήματα Synchronous Optical Network**

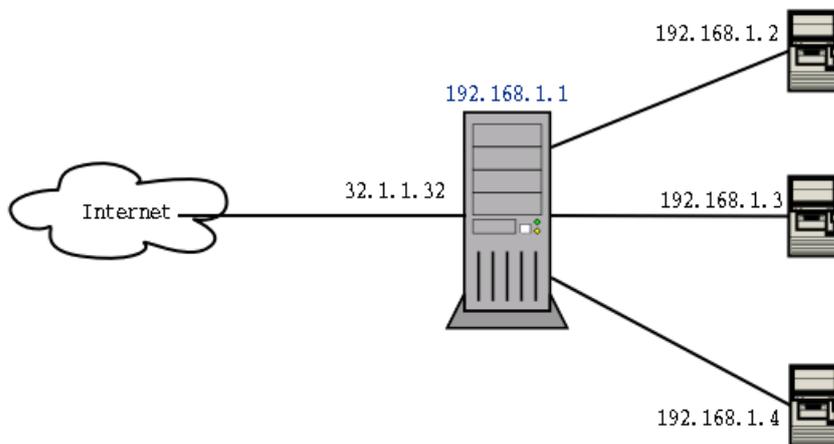
Το SONET όπως αναφέραμε και σε άλλο σημείο της εργασίας μας αποτελεί το σύγχρονο οπτικό δίκτυο το οποίο ασφαλώς χαρακτηρίζεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων τα οποία απαριθμούμε επιγραμματικά παρακάτω:

- Δυνατότητα υποστήριξης υψηλών ρυθμών (της τάξεως των 51.84 Mbps έως 2.488 Gbps)
- Δυνατότητα εύκολης πολυπλεξίας καναλιών
- Δυνατότητα αποπολυπλεξίας καναλιών
- Δυνατότητα εισαγωγής καθώς και απομάστευσης καναλιών χαμηλού ρυθμού μετάδοσης
- Δυνατότητα υψηλής διαχείρισης του δικτύου
- Δυνατότητα μεγάλου ελέγχου του δικτύου
- Δυνατότητα μεγάλης αναβάθμισης σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
- Δυνατότητα μεγάλης επεκτασιμότητας σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
- Δυνατότητα διασφάλισης της απρόσκοπτης λειτουργίας του δικτύου
  - ✓ Ανίχνευση σφαλμάτων

- ✓ Παρακολούθηση επιδόσεων
- Δυνατότητα συμβατότητας με υπάρχοντα συστήματα PDH
- Δυνατότητα με Αμερικανικά και Ευρωπαϊκά συστήματα
- Δυνατότητα συνεργασίας με τις επερχόμενες τεχνολογίες (ATM)[12]

## 2.5 IP Protocol

Το IP Protocol είναι ένα πρωτόκολλο που ως βασικό του σκοπό έχει την διευθυνσιοδότηση καθώς και τη δρομολόγηση πακέτων ανάμεσα σε διατάξεις ενός δικτύου.

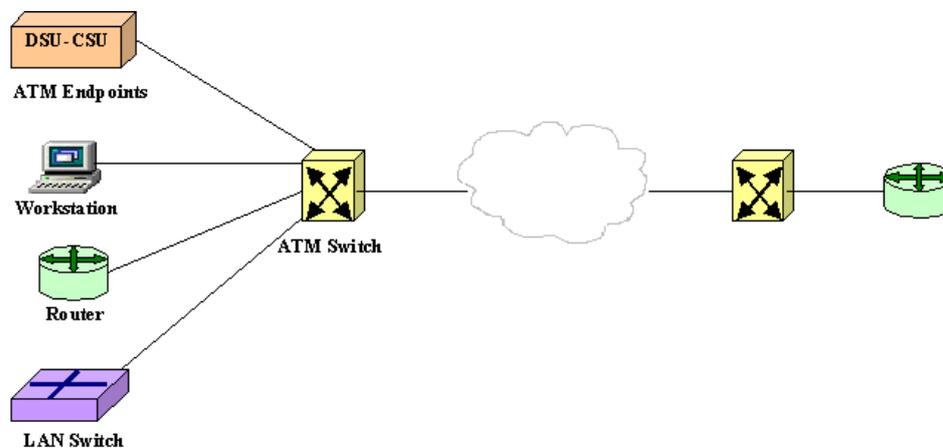


*Εικόνα 8: IP Protocol*

Μερικές από τις βασικές του λειτουργίες φαίνονται παρακάτω:

- ✓ Δυνατότητα χειρισμού της κίνησης των πακέτων
- ✓ Δυνατότητα παροχής λογικών διευθύνσεων δικτύου (32bits)
- ✓ Δυνατότητα δρομολόγησης πακέτων δεδομένων
- ✓ Δυνατότητα απουσίας σύνδεσης
- ✓ Δυνατότητα κατακερματισμού πακέτων
- ✓ Δυνατότητα επανασυναρμολόγησης πακέτων.[12][13]

## 2.6 TO ATM



Εικόνα 9: TO ATM

το ATM αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά πρότυπα δικτύωσης υψηλής ταχύτητας που βασικός σκοπός σχεδιασμού του είναι η υποστήριξη επικοινωνίας φωνής και δεδομένων. κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται από τους παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου σε ιδιωτικά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Το ATM λειτουργεί στο στρώμα ζεύξης δεδομένων δηλαδή το δεύτερο επίπεδο του OSI. Η παραπάνω τεχνολογία έχει σχεδιαστεί με σκοπό να βελτιστοποιήσει την χρήση και την ποιότητα υπηρεσιών QoS σε δίκτυα με πολύ μεγάλη επισκευσιμότητα.[12][14]

## 2.7 Χαρακτηριστικά ATM

Έπειτα θα αναφέρουμε εν συντομία ορισμένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του ATM. Τα οποία είναι:

- ✓ Δυνατότητα ελέγχου της συνολικής υποδομής
- ✓ Δυνατότητα υποστήριξης όλων των κλάσεων κίνησης
- ✓ Δυνατότητα υποστήριξης όλων των απαιτήσεων για QoS
- ✓ Δυνατότητα σταθερού εύρους ζώνης ανάμεσα σε ζεύγη δρομολογητών IP για τη χρήση VC
- ✓ Δυνατότητα στατιστικής πολυπλεξίας για επιπλέον BW.[12]

## 2.8 Μειονεκτήματα των πολλών στρωμάτων

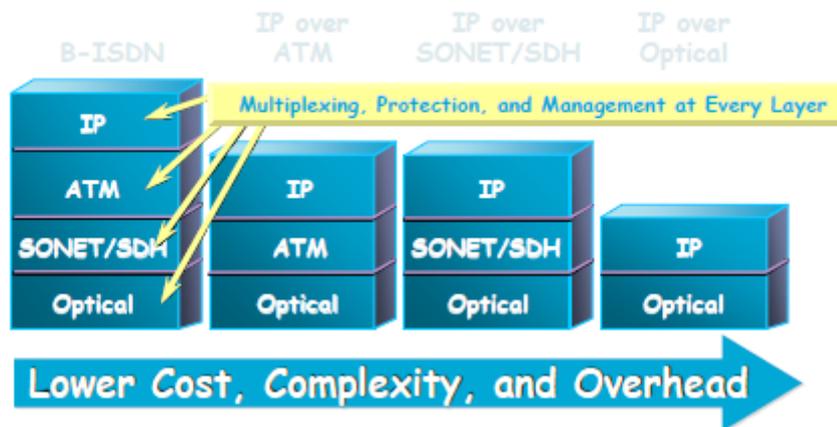
Έπειτα θα αναφερθούμε σε ορισμένα από τα μειονεκτήματα των πολλών στρωμάτων.

Τα κυριότερα εξ αυτών είναι δύο:

- Ο πλεονασμός
- Η απουσία συμφωνίας

Σε σχέση με τον πλεονασμό αξίζει να αναφέρουμε ότι σε ένα IP over ATM over SONET over WDM δίκτυο ένα μεγάλο ποσοστό και συγκεκριμένα ης τάξεως των 22 της εκατό του εύρους ζώνης που χρησιμοποιείται από το overhead πρωτόκολλο. Από την άλλη πλευρά πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε πρωτόκολλο λειτουργεί με την δική του ταχύτητα κατά συνέπεια ορισμένες διατάξεις δυσκολεύονται να καλύψουν το δικό τους οπτικό εύρος ζώνης. Επιπλέον σε περίπτωση εντοπισμού σφαλμάτων τα επίπεδα παύουν να λειτουργούν και σταματούν για να υπάρχει μεγαλύτερη προστασία. Αναλυτικότερα το οπτικό πεδίο έχει την ικανότητα εντοπισμού σφάλματος το συντομότερο δυνατό και προβαίνει σε αποκατάσταση του σε 2μs μέχρι και 60 ms. Ενώ το επίπεδο SONET έχει την ικανότητα να εντοπίζει το σφάλμα σε 2.3-100 μs και να το διορθώνει σε 60 ms. Οπότε μπορούμε να κατανοήσουμε αυτό που προαναφέραμε σχετικά με την απουσία συμφωνίας των επιπέδων στρωμάτων.[4][12].

## 2.9 Ιστορικοί λόγοι για πολλά επίπεδα



Εικόνα 10: πολλά επίπεδα

Στη συνέχεια θα μιλήσουμε για τους κυριότερους ιστορικούς λόγους των πολλών επιπέδων. Συνοπτικά οι κυριότεροι λόγοι είναι οι:

- SONET over WDM
- IP over ATM
- OEO

Σχετικά με το SONET over WDM θα αναφέρουμε ότι η παραδοσιακή WDM ανάπτυξη χρησιμοποιεί το SONET σαν τυπική διεπαφή με τα υψηλότερα στρώματα πιο συγκεκριμένα για πλαισίωση. Ενώ τα IP πακέτα απαραίτητη προϋπόθεση είναι να αντιστοιχηθούν σε ένα ATM κυψέλης και όλη αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνει πριν μεταφερθούν στο WDM επίπεδο με τη χρήση SONET πλαισίων (QoS) αυτό όσον αφορά το IP over ATM. Ενώ σχετικά με το OEO δηλαδή τους μετατροπείς σε κάθε κόμβο του δικτύου είναι πολύ πιο εύκολο να πραγματοποιηθούν οι αμιγώς οπτικές μεταγωγές.[12].

## 2.10 Προκλήσεις των δικτύων IP over WDM

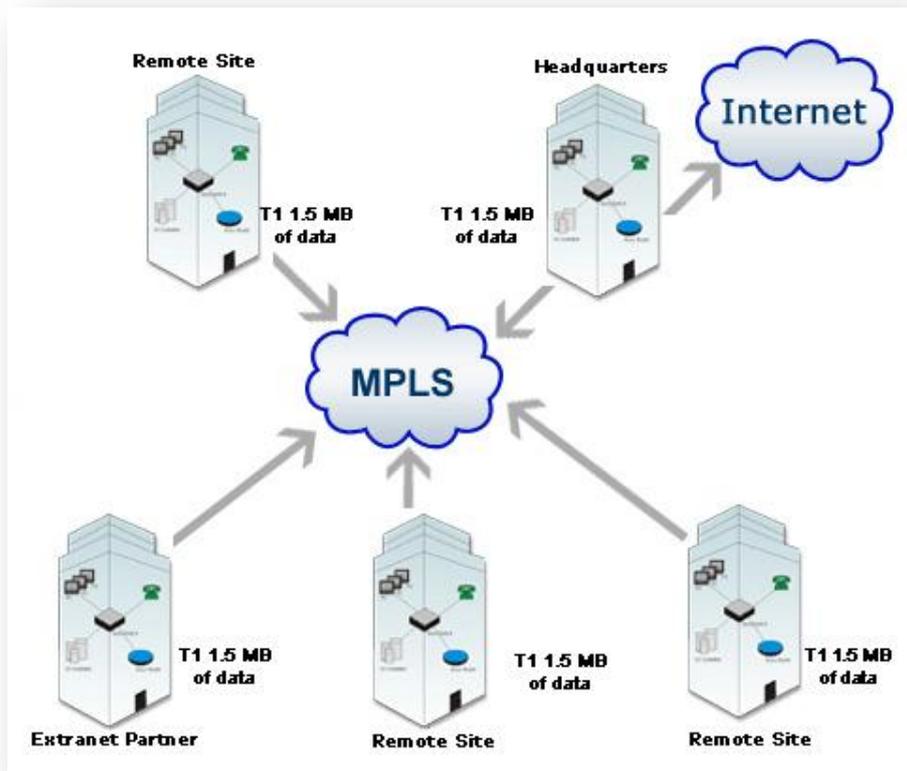
Μερικές από τις σημαντικότερες προκλήσεις που συνδέονται άμεσα με τα δίκτυα IP over WDM είναι οι παρακάτω:

- WDM- aware Electronic layer στο οποίο περιλαμβάνονται:

- ✓ Reconfiguration and load balancing
  - ✓ Protection and restoration
  - ✓ Optical flow switching
  - ✓ Network management/control
  - ✓ Cross-layer optimization
- 
- Αναμορφώσιμοι OXC
  - Μετατροπείς μήκους κύματος.[12].

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MPLS

### 3.1 Εισαγωγή στο MPLS



Εικόνα 11: Τεχνολογία MPLS

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται την τεχνική MPLS παρότι φαίνεται πως πρόκειται για κάτι καινούργιο στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει. Αντιθέτως πρόκειται περί γνώριμης και παλαιάς θα έλεγε κανείς τεχνικής. Πιο συγκεκριμένα για μεταγωγή νοητών ή εικονικών κυκλωμάτων που δεν κάνει άλλο από το να χρησιμοποιεί ετικέτες για την μεταγωγή των πακέτων. Στα δίκτυα X25 και ATM αυτού του είδους η τεχνική προσαρμόστηκε στην περίπτωση του MPLS στα δεδομένα των δικτύων κορμού και στη διαβίβαση πακέτων IP. Αναφέρεται ως Multi Protocol Label Switching διότι αυτού του είδους η τεχνική δεν βάζει όρια υποχρεώνοντας το χρήστη να ακολουθεί ένα

πρωτόκολλο αλλά εν αντιθέσει δύναται να χρησιμοποιεί ετικέτες διαφόρων πρωτοκόλλων. Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το ATM ενώ μελλοντικά όταν πια πήρε το όνομα GMPLS τότε ξεκίνησε και η χρήση του στα δίκτυα SONET. Η προαναφερθείσα τεχνική χρησιμοποιεί τόσο την τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος όσο και την τεχνική της μεταγωγής πακέτων. Με τη βοήθεια των ετικετών συντελείται γρηγορότερα τόσο η μεταγωγή πακέτων όσο και η δημιουργία εικονικών κυκλωμάτων. Χάρη σε αυτήν την τεχνική γίνεται εφικτή από τράπεζες και μεγάλους οργανισμούς ή εταιρίες η υποστήριξη υπηρεσίας ροής φωνής και βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Για την πλήρη κατανόηση των παραπάνω αξίζει μια αναφορά σε πρωταρχικά στάδια όπως το τηλεφωνικό δίκτυο. Στις τηλεφωνικές συνδέσεις ο καλών και ο καλούμενος εξυπηρετούνται χάρις στον εξοπλισμό μεταγωγής που χρησιμοποιεί το τηλεφωνικό σύστημα. Σημαντικό θα ήταν να προσθέσουμε το γεγονός ότι στην περίπτωση τηλεφωνικής κλήσης μιλάμε για σύνδεση μεταξύ γραμμών εισόδου- εξόδου πράγμα που θα διαρκέσει όσο και η ίδια η κλήση. Ουσιαστικά αυτό που είναι απαραίτητο είναι η ανάγκη της δημιουργίας κυκλώματος μεταξύ των γραμμών εισόδου-εξόδου πράγμα που αποτελεί προϋπόθεση για την αποστολή δεδομένων κατά την διάρκεια της κλήσης. Από εκεί και έπειτα δεν χρειάζεται κάτι παραπάνω αφού η πληροφορία μέσω των κόμβων θα διαδοθεί σε πραγματικό χρόνο πράγμα που δεν υφίσταται στην περίπτωση των πακέτων όπου θα απαιτούνταν η εύρεση της σωστής εξόδου. Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι δεν υπάρχει περίπτωση μη διαθεσιμότητας της επίτευξης επικοινωνίας. Στην περίπτωση του packet switching δεν συμβαίνει αυτό αλλά κάθε φορά τα δεδομένα που αποστέλλονται από την γραμμή εισόδου αποθηκεύονται προσωρινά με σκοπό την μεταγωγή τους μεταγενέστερα σε άλλο κόμβο και επειδή όμως το κάθε πακέτο δεδομένων θα έρθει σε συγκέντρωση με άλλα πακέτα περνώντας από κοινόχρηστους κόμβους είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από όσο δυνατόν περισσότερα στοιχεία για τον προορισμό άφιξης του. Από εκεί και πέρα αναλαμβάνει τη δράση ο πίνακας δρομολόγησης αφού το ελεγμένο πια για λάθη πακέτο θα οδηγήσει στην σωστή γραμμή εξόδου για την οποία φυσικά οι πληροφορίες θα πρέπει να είναι αρκετές. (αξιομνημόνευτο είναι ότι η διεύθυνση προορισμού για την οποία μιλάμε είναι μια και μοναδική). Το δίκτυο ακολουθεί την τακτική του STORE- END- FORWARD, και κλασικό παράδειγμα τέτοιου τύπου δικτύων είναι το internet. Σε τέτοιες περιπτώσεις βέβαια οι κεντρικοί δρομολογητές έχουν στη διάθεση τους πίνακες υπέρογκων καταχωρήσεων. Αυτό καθιστά τη διαδικασία χρονοβόρα και μη αποδοτική αφού είναι δουλειά ενός κεντρικού κόμβου η μεταγωγή εκατομμυρίων πακέτων δεδομένων ανά δευτερόλεπτο. Όμως στην

περίπτωση νοητών κυκλωμάτων η προαναφερθείσα διαδικασία συντελείται άπαξ ενώ τα δεδομένα διατηρούνται σε μια μνήμη-buffer (RAM) με αποτέλεσμα οι αναζητήσεις να γίνονται με ιδιαίτερα γρήγορες ταχύτητες.

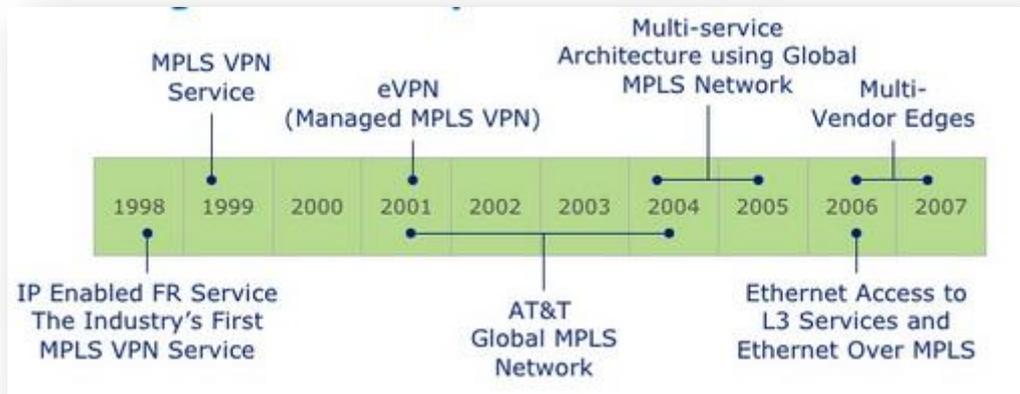
Ο μηχανισμός MPLS είναι ένας μηχανισμός ο οποίος χρησιμοποιείται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υψηλών επιδόσεων που ασχολείται με την κίνηση δεδομένων από έναν κόμβο δικτύου σε έναν επόμενο, βασιζόμενος σε ένα σύντομο μονοπάτι στο οποίο οδηγείται με βάση την ετικέτα. Έτσι επιτυγχάνεται η αποφυγή περίπλοκων αναζητήσεων σε έναν πίνακα δρομολόγησης. Η τεχνική MPLS δύναται να ενθυλακώνει πακέτα διάφορων πρωτοκόλλων δικτύων. Επιπροσθέτως είναι ικανή στην υποστήριξη σειράς τεχνολογιών πρόσβασης μεταξύ των οποίων είναι οι προσβάσεις T1/E1 , ATM, Frame Relay, DSL.

Το MPLS χαρακτηρίζεται ως επεκτάσιμο πακέτο δεδομένων ενός MPLS δικτύου πρωτόκολλου. Στην περίπτωση του δικτύου MPLS δικτύου η καταχώρηση γίνεται με τη βοήθεια ετικετών. Η λήψη των αποφάσεων προώθησης πακέτων θα βασιστεί στο περιεχόμενο και μόνον αυτό μιας ετικέτας. Ενώ αντίθετα δε θα χρειαστεί ο έλεγχος πάνω στο ίδιο το πακέτο. Έτσι οποιοδήποτε πρωτόκολλο και αν χρησιμοποιείται υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας end-to-end κυκλωμάτων, ανεξάρτητα από τον τύπο του μέσου μεταφοράς που μεσολαβεί.

Το δίκτυο MPLS υλοποιείται σε ένα στρώμα που κατά γενική ομολογία θεωρείται πως εντοπίζεται ανάμεσα στους παραδοσιακούς ορισμούς του επιπέδου 2 (data link layer). Επιπέδου 3 (network layer) γι αυτό πολλές φορές λέγεται και ως πρωτόκολλο layer 2,5. Ο λόγος δημιουργίας του δεν είναι άλλος από την παροχή μιας ενοποιημένης υπηρεσίας δεδομένων . Ακόμη είναι εύχρηστο σε διάφορα πακέτα όπως π.χ. πακέτα: IP, ATM, SONNET, Ethernet κ.λ.π.

Μια πληθώρα τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν με παρόμοιο στόχο, όπως λόγω χάρη Frame Relay , ATM. Τα παραπάνω χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση πλαισίων σε ολόκληρο το δίκτυο. Η κεφαλίδα του ATM cell και το πλαίσιο του Frame Relay αναφέρονται σε εικονικό κύκλωμα. Η βασική ομοιότητα μεταξύ Frame Relay και ATM είναι ότι σε κάθε hop σε όλο το δίκτυο το περιεχόμενο της ετικέτας του cell αλλάζει. Αυτό φυσικά διαφοροποιείται σε σχέση με τον τρόπο προώθησης IP πακέτων. [3] [11].

## 3.2 Η ιστορία της τεχνολογίας MPLS



Εικόνα 12: Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας MPLS

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία MPLS. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οδηγοί μεταγωγής σήματος οι οποίοι σχεδιάστηκαν με σκοπό να κάνουν πιο γρήγορη την δρομολόγηση.

Τα ATM switches ήταν ταχύτεροι από πολλούς άλλους δρομολογητές. Επιπροσθέτως δίνεται η δυνατότητα σε μια συσκευή να κάνει την ίδια δουλειά με αυτή των ATM switch. Τέλος επιτρέπουν IP + ATM ολοκλήρωση και χαρτογράφηση των ips στο δίκτυο ATM η οποία είχε γίνει πολύ περίπλοκη καθώς και την απλοποίηση και αντικατάσταση της σηματοδοσίας των πρωτοκόλλων ATM σηματοδοσίας με πρωτόκολλα έλεγχου IP. Ακολουθεί χρονολογική αναφορά σε γεγονότα:

- Το 1994 η Toshiba παρουσιάζει τις ιδέες της σχετικά με το CELL SWITCH ROUTER (CSR) στο IETF BOF
- Το 1996 Epsilon , η Cisco και η IBM ανακοινώνει τα σχέδια για το Label Switching
- Το 1997 ο IETF σχηματίζει Ομάδα Εργασίας MPLS
- Το 1999 το πρώτο MPLS VPN
- Το 2001 η πρώτη κυκλοφορία του MPLS RFCs [7]

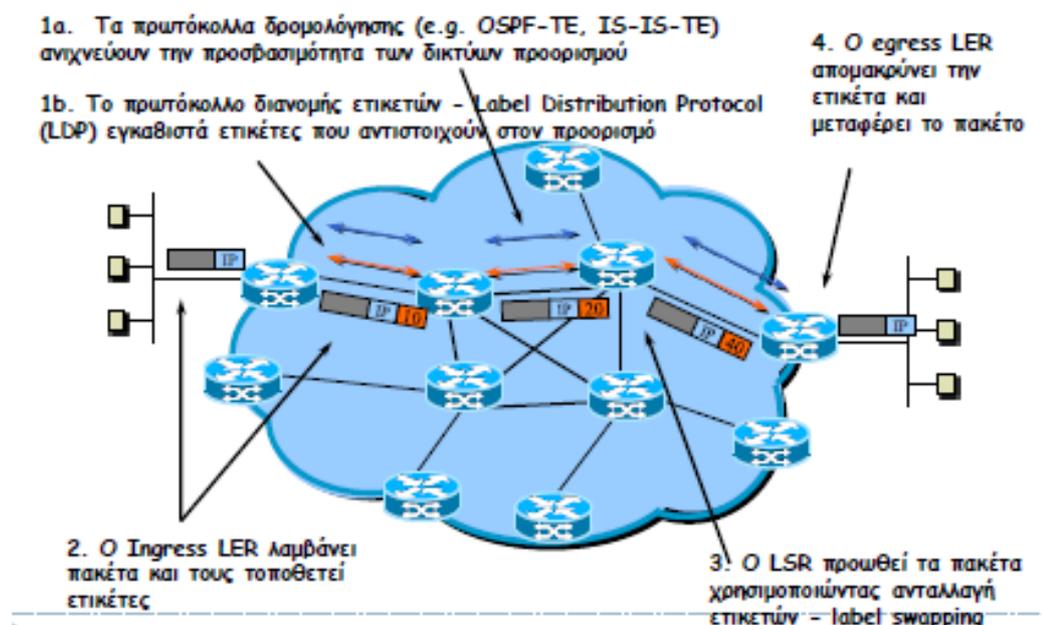
Τα υπόλοιπα σημαντικά γεγονότα παρουσιάζονται στην εικόνα 12.

### 3.3 Δυνατότητες πρωτοκόλλου MPLS

Το πρωτόκολλο Multiprotocol Label Switching (MPLS) χαρακτηρίζεται από δυνατότητες, μερικά από αυτά αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

- ✓ Δυνατότητα βελτιστοποίησης των επιδόσεων του δικτύου, συνδυάζοντας εικονικά κυκλώματα, την ευελιξία datagram και την στιβαρότητα datagram.
- ✓ Δυνατότητα χρήσης του IP πρωτοκόλλου σε διατάξεις οι οποίες δεν χρειάζεται να προωθήσουν datagrams υπό κανονικές συνθήκες
- ✓ Δυνατότητα προώθησης IP πακέτων μέσα από συγκεκριμένους δρομολογητές (routers).
- ✓ Δυνατότητα υποστήριξης συγκεκριμένων τύπων υπηρεσιών εικονικού δικτύου.[12].

### 3.4 Μετάδοση δεδομένων με τεχνολογία MPLS



Εικόνα 13: Μετάδοση δεδομένων σε MPLS

Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε την διαδικασία μετάδοσης δεδομένων

Με την τεχνική MPLS. Πιο συγκεκριμένα:

1. Θα τα πρέπει τα πρωτόκολλα δρομολόγησης να εντοπίσουν την προσβασιμότητα των δικτύων προορισμού και στη συνέχεια το πρωτόκολλο διανομής ετικετών δηλαδή το LDP (Label Description Protocol) έχει την αρμοδιότητα να τοποθετήσει ετικέτες που αντιστοιχούν στον προορισμό.
2. Όπως φαίνεται και στην εικόνα η είσοδος LER (Ingress LER) παίρνει τα πακέτα και τους τοποθετεί ετικέτες.
3. Ο δρομολογητής LSR (Label Switching router) έχει τον ρόλο της προώθησης πακέτων με τη χρήση ανταλλαγής ετικετών.
4. Η έξοδος LER (egress LER) βγάζει την ετικέτα και μεταφέρει το πακέτο.[12]

### 3.5 Πλεονεκτήματα MPLS

Η τεχνική MPLS όπως προαναφέραμε χαρακτηρίζεται από πολλές δυνατότητες. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του , είναι:

- Δημιουργεί ολοκληρωμένο δίκτυο
- Αντικατάσταση των ATM μεταγωγέων με LSRs
- Οι LSRs δρομολογητές τρέχουν το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Με τον όρο ολοκληρωμένο δίκτυο (Overlay) αναφερόμαστε σε ένα σύνολο δρομολογητών που έχουν την ικανότητα να διασυνδέονται με εικονικό κανάλι ( VC – Virtual Channel) πάνω από ένα ATM δίκτυο. Σαφώς θα πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν ήδη εγκατεστημένοι ATM μεταγωγείς που διακρίνονται από πολύ μεγάλη ρυθμαπόδοση. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών, όπως λόγω χάρη:

- Εξομοίωση κυκλώματος
- Υπηρεσίες εικονικού κυκλώματος

Όσον αφορά την αντικατάσταση των ATM μεταγωγέων με LSRs αξίζει να αναφέρουμε ότι η χρήση των δρομολογητών LSRs ελαχιστοποιεί κατά πολύ τους γείτονες καθώς και το σύνολο των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Ολοκληρώνοντας το συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα προσθέσουμε και το ότι στους δρομολογητές LSRs τρέχει το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Αυτό το πλεονέκτημα

είναι πολύ σημαντικό όταν έχουμε να κάνουμε με περιπτώσεις βλαβών ή αποτυχιών. Σε μια τέτοια περίπτωση οι δρομολογητές ακμής έχουν πλήρη εικόνα της τοπολογίας του δικτύου κάτι που είναι εξαιρετικά χρήσιμο.[12]

### 3.6 Η λειτουργία του δικτύου MPLS

Εδώ θα μελετήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου MPLS. Ξεκινώντας την αναφορά μας θα μιλήσουμε για την ετικέτα γνωστή με την ορολογία tag που τοποθετεί το MPLS μπροστά από κάθε ένα πακέτο. Η μορφή της ετικέτας (tag) φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 14: Η ετικέτα του κάθε πακέτου στο MPLS δίκτυο

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η ετικέτα (tag) χωρίζεται σε 4 πεδία. Το πρώτο πεδίο που αποτελείται από 20 bits που αντιστοιχούν στην κύρια ετικέτα, τα επόμενα 3 bits αντιστοιχούν στο CoS γνωστό ως Class of Service, το οποίο έχει ως βασικό σκοπό να δείξει τα επίπεδα προτεραιότητας του κάθε πακέτου. Έπειτα ακολουθεί 1 bit που αναφέρεται στο πεδίο S και πιο συγκεκριμένα στη στοίβα ετικετών (stack), δηλαδή επιτρέπει την ύπαρξη ενθυλακωμένων ετικετών. Τέλος τα τελευταία 8 bits σχετίζονται με το TTL (Time To Live) το οποίο μοιάζει με το αντίστοιχο πεδίο του πακέτου ip. Το πεδίο TTL αρχικοποιείται και στη συνέχεια μειώνει κατά 1 κάθε φορά που περνά από έναν και όταν φθάσει στην τιμή 0 σε αυτή την περίπτωση το πακέτο απορρίπτεται.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε (στην επόμενη Εικόνα 15, που ακολουθεί) τον τρόπο λειτουργίας του MPLS. Το παρακάτω σχήμα αποτελείται από 6 δρομολογητές και πιο συγκεκριμένα τους R1, R2, R3, R4, R5, R6. Σε αυτό το σημείο σημαντικό θα ήταν να προσθέσουμε ότι ο πίνακας δρομολόγησης ενός δρομολογητή MPLS καλείται LIB (Label Information Base). Είναι γνωστό ότι η διαδικασία για την μετάδοση δεδομένων

κατά κύριο λόγο επιτυγχάνεται με την ύπαρξη μονοπατιών (paths) μεταγωγής ετικέτας. Τα παραπάνω μονοπάτια (paths) δύναται να δημιουργηθούν :

- *Είτε, πριν την εκπομπή δεδομένων*
- *Είτε κατά, τον εντοπισμό του πρώτου πακέτου.*

Στην συνέχεια θα αναφέρουμε τον διαχωρισμό των δρομολογητών σε κατηγορίες. Οι δρομολογητές διακρίνονται σε:

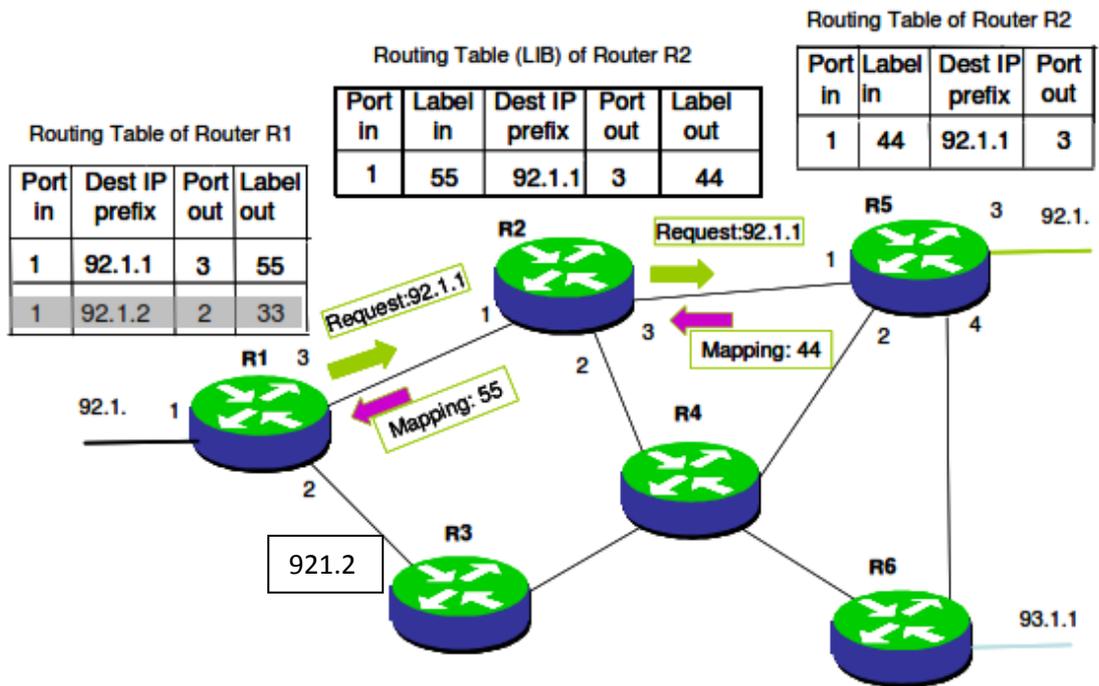
- *Ακρραίους LER Label Edge Routers*
- *Εσωτερικούς LSR Label Switched Routers*

Οι εσωτερικοί δρομολογητές έχουν ως βασικό σκοπό την ανεύρεση της πόρτας εξόδου καθώς και την επικόλληση της ετικέτας εξόδου. Οι παραπάνω πληροφορίες γίνονται ορατές από τον πίνακα δρομολόγησης (LIB). Βασικός είναι και ο ρόλος του πρωτοκόλλου διανομής ετικετών LDP (Label Distribution Protocol) που βοηθάει στη διανομή ετικετών. Ασφαλώς όπως μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή δρομολογούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο έως ότου φθάσουν στον προορισμό τους και θεωρούνται ότι ανήκουν στην ίδια κλάση προώθησης γνωστή και ως FEC (Forwarding equivalence class). Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε μια σημαντική διαφορά των δικτύων MPLS από τα δίκτυα IP ότι στα εν λόγω δίκτυα η επιλογή της FEC γίνεται αποκλειστικά και μόνο κατά την είσοδο στο δίκτυο. [8]

LER

LSR

LER



Εικόνα 15: Λειτουργία MPLS

Στο παραπάνω σχήμα θα περιγράψουμε την δρομολόγηση ενός πακέτου παίρνοντας ως δεδομένο ότι οι δρομολογητές R1, R5 είναι ακραίοι ενώ ο R2 εσωτερικός. R1: Αρχικά ένα πακέτο IP φθάνει στον δρομολογητή R1 ο οποίος μπορεί να δει το πρόθεμα 92.1 από την θύρα (port) 1 και αντιλαμβάνεται ότι πρέπει να το προωθήσει στον επόμενο δρομολογητή τον R2. Παράλληλα ο R1 (με την χρήση του πρωτοκόλλου εκχώρησης ετικετών) από τον R2 να του δώσει ετικέτα. Έστω ότι ο δρομολογητής R2 ανταποκρίνεται άμεσα και δίνει την ετικέτα 55. Στη συνέχεια ο δρομολογητής R1 την καταχωρεί στον πίνακα του και έπειτα σε επόμενο βήμα προωθεί το πακέτο στην R2. Μια αντίστοιχη διαδικασία λαμβάνει χώρα και ανάμεσα στους δρομολογητές R2, R5. Με την ετικέτα 44 αυτή τη φορά για την σύνδεση ανάμεσα στους δύο δρομολογητές, R2, R5. Συμπεραίνουμε λοιπόν την δημιουργία μιας <FEC> ανάμεσα στους δρομολογητές R1-R2-R5 με την ύπαρξη ετικετών 55 και 44 αντίστοιχα για κάθε πλευρά. Σε κάθε επόμενο βήμα οι εσωτερικοί δρομολογητές (στην προκειμένη περίπτωση ο δρομολογητής R2) θα έχουν την ικανότητα να δρομολογούν τα πακέτα με μια μόνο ανάγνωση του πίνακα και με άμεση ανταλλαγή των ετικετών. Ενώ από την άλλη πλευρά οι ακραίοι δρομολογητές που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι δρομολογητές R1, R5 θα συνεχίσουν να λειτουργούν σαν τυπικοί δρομολογητές IP,

δηλαδή θα εκτελούν προώθηση μέγιστου μήκους ταύτισης (longest bit matching). Επιπροσθέτως ο αλγόριθμος δρομολόγησης θα μπορούσε να είναι ένας οποιοσδήποτε δρομολογητής IP. Με μια πολύ σημαντική διαφοροποίηση ότι ο αλγόριθμος προώθησης είναι κατά πολύ απλουστευμένος και οικονομικότερος. Επιπλέον ορισμένες συσκευές οι οποίες μέχρι τώρα δεν είχαν τον τρόπο που θα μπορούσαν να προωθήσουν πακέτα IP, με άλλο τρόπο έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ώστε να προωθήσουν την κυκλοφορία IP σε ένα δίκτυο MPLS. [8]

### 3.7 Ρητή δρομολόγηση

Εφαρμόζοντας την τεχνική MPLS, θα μπορούσε να πει κανείς πως το μοναδικό όφελος είναι η οικονομικότερη προώθηση. Στην πραγματικότητα όμως προκύπτει και ένα ακόμη πλεονέκτημα, αυτό της λεγόμενης ρητής δρομολόγησης. Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε τις διαδρομές για το πρόθεμα 92.1 μοιράζοντας την κίνηση μέσω των : R1-R2-R5 με το πρόθεμα 92.1.1 και μέσω των R1-R3-R4-R6 με το 92.1.2. μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε ότι δύναται να επιτευχθεί με την βοήθεια της δεύτερης γκρίζας καταχώρησης στον πίνακα προώθησης του R1 δημιουργώντας μια δεύτερη FEC και ακολούθως δημιουργώντας τις κατάλληλες ετικέτες στους πίνακες των R3-R4. Ασφαλώς καθίσταται ανέφικτο να πραγματοποιηθεί κανονική ip δρομολόγηση επειδή κανονικά ο R1 δεν εξετάζει την προέλευση της κυκλοφορίας κατά την λήψη των αποφάσεων προώθησης. Σημαντικό θα ήταν να παρουσιάσουμε τον τρόπο χρήσης των ετικετών με τον οποίο θα συμφωνήσουν οι δρομολογητές του δικτύου και τον τρόπο με τον οποίο θα προωθούν τα πακέτα. Απαραίτητη είναι η εφαρμογή ενός νέου μηχανισμού. Στην προκειμένη περίπτωση αυτής της εργασίας γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου δέσμευσης πόρων (RSVP). Χάρη σε αυτό επιτυγχάνεται η αποστολή μηνύματος RSVP μέσω προκαθορισμένης διαδρομής λόγω χάρη της R1-R3-R4-R6. Παρόμοια διαδικασία παρατηρείται στο ATM ή το X25. [8]

### 3.8 Πλεονεκτήματα της ρητής δρομολόγησης

Με τον όρο «ρητή δρομολόγηση» το MPLS έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει παρόμοιες λειτουργίες με αυτές της δρομολόγησης πηγής των IP δικτύων. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ρητής δρομολόγησης είναι:

- Αποτελεσματική διαχείριση φορτίου (Traffic Engineering)
- Ανοχή στις βλάβες
- Απουσία ελέγχου από πάροχο / διαχειριστή

Με τον όρο Traffic Engineering αναφερόμαστε σε μια προσπάθεια να εξασφαλιστούν επαρκείς πόροι σε ένα δίκτυο με απώτερο σκοπό να καλύπτει τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του δικτύου. Για να κατανοήσουμε επακριβώς τον ρόλο του Traffic Engineering θα αναφέρουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα όπως είναι π.χ. ο έλεγχος σε μια μονοπάτια θα ρέει η κίνηση. Σχετικά με την ανοχή σε βλάβες ή αποτυχίες η ρητή δρομολόγηση έχει την λύση που είναι η γρήγορη επαναδρομολόγηση. Αυτή μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με τον προσδιορισμό ενός εφεδρικού μονοπατιού, επιπλέον η ρητή δρομολόγηση μπορεί να ελαχιστοποιήσει το χρόνο που χρειάζεται έως ότου πραγματοποιηθεί η επαναδρομολόγηση των πακέτων γύρω από το σημείο αποτυχίας. Και τέλος σχετικά με την απουσία υπολογισμού της ρητής διαδρομής από κάποιον πάροχο ή διαχειριστή μπορούμε να αναφέρουμε ότι γίνεται χρήση αλγορίθμων κατάλληλων ώστε να υπολογίζουν τη «ρητή διαδρομή». Ένας χαρακτηριστικός τέτοιος αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος CSPF. [12].

### 3.9 Νοητά κυκλώματα και MPLS

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στα πρωταρχικά στάδια της τεχνικής MPLS διαπιστώνεται ότι αρχικά η εμφάνιση του διευκόλυνε κυρίως την προώθηση, των δεδομένων, όταν ο όγκος δεδομένων του διαδικτύου αυξήθηκε σημαντικά. Σήμερα βέβαια η χρήση του διαφέρει. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση της τεχνικής αυτής συνέβαλε:

- Στην υλοποίηση ρητής δρομολόγησης
- Στον σχεδιασμό της κατανομής της κίνησης σε ένα δίκτυο
- Στην οργάνωση ιδιωτικών νοητών δικτύων

- **Στην Υποστήριξη κλάσεων υπηρεσίας.**

Στην περίπτωση της μεταγωγής πακέτων διαπιστώνεται ένα χαρακτηριστικό μειονέκτημα λόγω της χρήσης κοινόχρηστων μονοπατιών. Συγκεκριμένα, όταν συμβεί να παρουσιαστούν πολλά πακέτα σε μια είσοδο ενός κόμβου τότε υπάρχει η πιθανότητα να συμβεί blocking. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει πιθανότητα ορισμένα πακέτα να χαθούν, και αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα της μεταγωγής πακέτων. Αρχή του προβλήματος είναι η ανικανότητα της τεχνικής MPLS στο να εκτιμήσει την πιθανή κίνηση με αποτέλεσμα ορισμένες φορές να παρουσιάζεται συμφόρηση στους buffers των διαφόρων κόμβων. Αν είχε γίνει χρήση νοητών κυκλωμάτων, τότε αυτό θα είχε αποτραπεί. Αφού στην περίπτωση των νοητών κυκλωμάτων εξαρχής τα δεδομένα μοιράζονται σε διαφορά νοητά ρεύματα έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση των κόμβων. Η αποφυγή της συμφόρησης από κόμβο σε κόμβο, είναι μια διαδικασία, η οποία επιτρέπει στο δίκτυο MPLS να στηρίζει υπηρεσίες που απαιτούν μετάδοση δεδομένων (βλ. φωνής και βίντεο σε πραγματικό χρόνο). Όπως είναι λογικό καταστάσεις blocking δεν πρέπει να παρατηρούνται σε περίπτωση όπως του τηλεφωνικού δικτύου κλπ.

Να προσθέσουμε ακόμη, ότι η τεχνική MPLS έχει τυποποιηθεί από την IETF, [3] [8], με τις παρακάτω RFC :

- ***RFC 3031 MPLS Architecture***
- ***RFC 3032 Label Stack Encoding***
- ***RFC 3036 LDP Specification.***

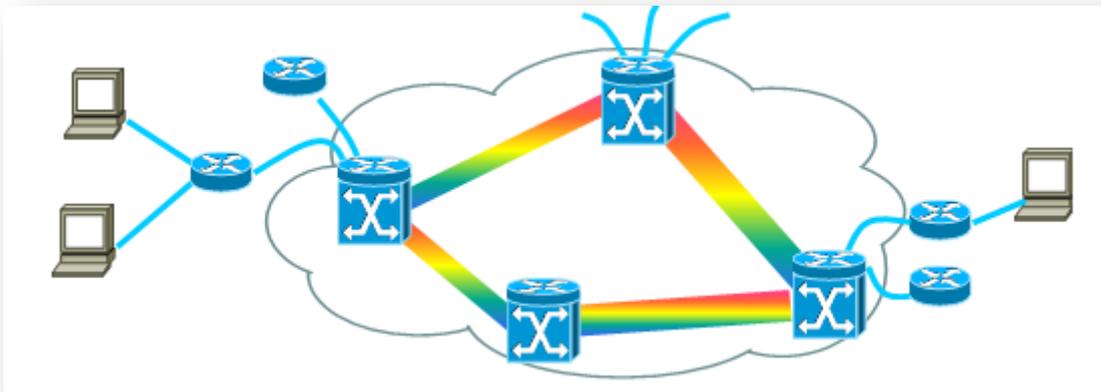
### **3.10 Οπτικά επίπεδα ελέγχου βασισμένα σε τεχνική MPLS**

Τα επίπεδα ελέγχου, τα οποία έχουν ως βάση το επίπεδο IP μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην τεχνική MPLS. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η αποκατάσταση οπτικών μονοπατιών. Υπάρχει δυνατότητα μετατροπής των πρωτοκόλλων (που βασίζονται στο IP) τόσο δρομολόγησης όσο και σηματοδότησης με στόχο να είναι κατάλληλα για το οπτικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει:

- Δυνατότητα χρήσης ομοιόμορφου επιπέδου ελέγχου με βάση ip διευθύνσεις.
- Δυνατότητα οπτικού δικτύου που καθιστά μηδαμινή την πολυπλοκότητα τόσο στον έλεγχο όσο και στη διαχείριση υβριδικών συστημάτων.
- Δυνατότητα επιτυχούς σύμβασης επιπέδου ελέγχου ip και λειτουργίας διαχείρισης κίνησης για το επίπεδο ελέγχου του MPLS.
- Κοινές απαιτήσεις επιπέδου ελέγχου δρομολογητών ετικέτας (γνωστές με τον όρο Label Switch Routers-LSRs) και των OXCs.

Με την υλοποίηση όλων των παραπάνω προκύπτει ότι το MPLS αποτελεί ιδανικό επίπεδο ελέγχου για τα οπτικά δίκτυα. Η τυποποίηση των τεχνολογιών των MPLmS καθώς και G-MPLS τα οποία θα αναφέρουμε σε επόμενο υποκεφάλαιο της παρούσας εργασίας[9], επιβεβαιώνουν πλήρως ότι οι τεχνικές οι οποίες βασίζονται σε ετικέτες (labels) εργάζονται με αποτελεσματικότητα στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα.

### 3.11 Τεχνολογία Multiprotocol Lambda Switching (MPLmS)



*Εικόνα 16: MPLS δίκτυο*

Το MPLmS αποτελεί επέκταση της τεχνολογίας MPLS. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του MPLmS είναι:

- Διαθέτει εργαλείο διαχείρισης τα οποία διαχειρίζονται εύρος ζώνης οπτικού επιπέδου
- Μπορεί να δημιουργήσει και να αποκαταστήσει οπτικά κανάλια
- Αξιοποίησε το επίπεδο ελέγχου της τεχνικής MPLS
- Δυνατότητα γρήγορης σχεδίασης και υλοποίησης νέων κλάσεων OXCs
- Έχει απλούστερη διαχείριση οπτικού δικτύου.[3]

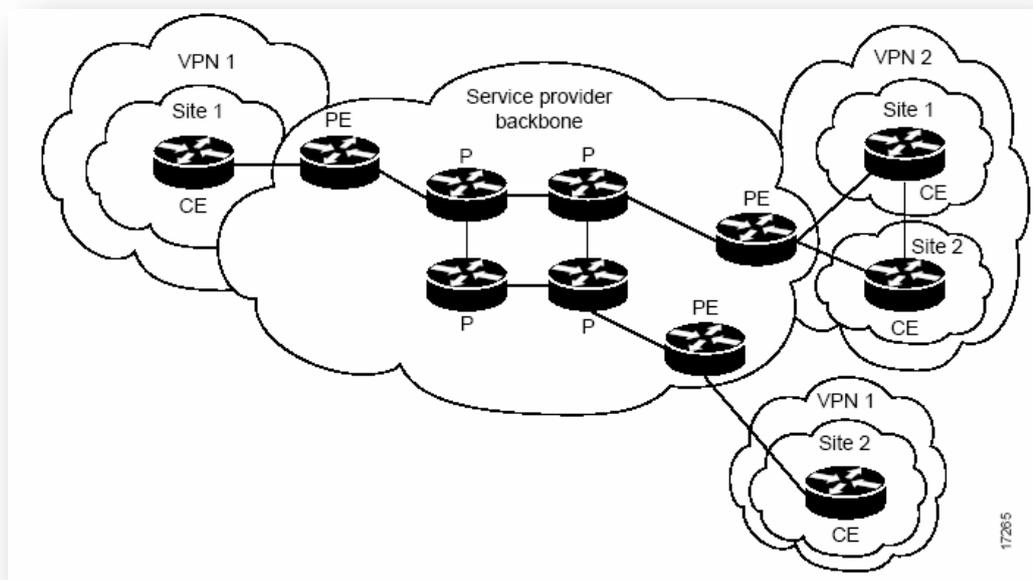
### 3.12 Σύγκριση τεχνολογιών MPLmS και MPLS

Δύο σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών MPLmS – MPLS είναι:

- Η τεχνολογία MPLms δεν επιτρέπει την συγχώνευση ετικέτας σε οπτικά ρεύματα. Κατά συνέπεια παρουσιάζει αδυναμία συγχώνευσης μηκών κυμάτων σε ένα από τους OXCs.
- Ένας εσωτερικός LSR δρομολογητής υποστηρίζει αρκετά μεγάλο αριθμό LSPs και αρκετά μεγάλη κλιμάκωση εύρους ζώνης για κάθε σύνδεση αντιθέτως μια συσκευή OXC η οποία υποστηρίζει σχετικά μικρό αριθμό οπτικών μονοπατιών με εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε OC-48 ή OC-192.

Επιπλέον αξίζει να αναφέρουμε ότι το MPLmS χρησιμοποιεί το IGMP πρωτόκολλο για διαχείριση της κίνησης με επιπρόσθετες επεκτάσεις με απώτερο σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών στα οπτικά δίκτυα ανάλογα με την τοπολογία του οπτικού δικτύου επίσης η τεχνική MPLmS χρησιμοποιεί το ICMP πρωτόκολλο για να μπορεί να αναθέτει πολλά μήκη κύματος σε μια οπτική σύνδεση. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας θα προσθέσουμε ότι το MPLmS χρησιμοποιεί πρωτόκολλα σηματοδότησης με βάση το πρωτόκολλο RSVP-TE.[3]

### 3.13 Εικονικά ιδιωτικά δίκτυα βασισμένα στην τεχνολογία MPLS



Εικόνα 17: Τεχνολογία MPLS

Το MPLS ακόμη διαθέτει την ικανότητα δημιουργίας εικονικών ιδιωτικών δικτύων (VPN). Ουσιαστικά το VPN είναι μια υπηρεσία που βοηθά στη διασύνδεση υποκαταστημάτων ενός πελάτη που βρίσκονται σε απόσταση, δίνοντας την εντύπωση της απομόνωσης από άλλους πελάτες. Κάτι τέτοιο φυσικά γίνεται κυρίως για λόγους ασφαλείας, και σε αυτή την περίπτωση η ανταλλαγή πακέτων μεταξύ πελατών καθίσταται αδύνατη. Έτσι λοιπόν οι πελάτες μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα με περιορισμένο τρόπο. Μόνο το υλικό που επιθυμούν να κοινοποιήσουν, οι πελάτες μπορεί να τεθεί σε δημόσια χρήση ενώ το υπόλοιπο υλικό προστατεύεται. Αυτό συχνά παρατηρήθηκε σε εταιρίες όπως λόγου χάρη τράπεζες όπου η ασφάλεια έπρεπε να είναι μεγάλη και απαραίτητη. Μέσω δηλαδή των VPN συνδέσεων, ένα τραπεζικό υποκατάστημα και άλλα παρόμοια υποκαταστήματα μπορούν να συνδεθούν με γραμμές, δημιουργώντας ανεξάρτητα ιδιωτικά δίκτυα μεταξύ τους. Το αρνητικό βέβαια αυτής της μεθόδου ήταν το υψηλό κόστος. Θα μπορούσαν φυσικά να ακολουθηθούν οικονομικότερες μέθοδοι, όμως το επίπεδο ασφαλείας θα μειωνόταν κατά πολύ αφού θα περιοριζόταν σε ορισμένους κωδικούς ασφαλείας. Η χρήση π.χ. της κρυπτογράφησης θα μπορούσε να αποβεί ασφαλέστερη κάτι τέτοιο όμως δε θα ήταν εφικτό σε όλα τα επίπεδα ενεργειών. Το MPLS λοιπόν δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας

VPN μέσω της δημιουργίας LSP στους οποίους δεν υπάρχει μίξη των κινήσεων των διαφόρων πελατών. Όλα αυτά δεν σημαίνουν απόλυτη ασφάλεια. Ακόμη και έτσι υπάρχει δυνατότητα παραβίασης ενός εικονικού ιδιωτικού δικτύου όμως είναι σαφέστατα πολύ δυσκολότερο από ένα συνηθισμένο hacking. Τα εικονικά δίκτυα βασισμένα στην τεχνολογία MPLS ανήκουν στην κατηγορία δικτύων του επιπέδου δικτύου. Τα προαναφερθέντα δίκτυα έχουν την ικανότητα να επιτρέπουν τη δημιουργία VPNs κάνοντας χρήση του δικτύου κορμού MPLS του IPS. Επιπροσθέτως θα αναφέρουμε ότι για τον λόγο ότι τα VPNs βρίσκονται σε επίπεδο δικτύου καθοριστικό ρόλο στην μεταβίβαση της πληροφορίας έχει το πρωτόκολλο IP.

Στα MPLS VPNs δίκτυα, χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά είδη δρομολογητών, οι οποίοι είναι :

- **Ακραίοι Δρομολογητές πελατών CE (customer edge)**
- **Ακραίοι Δρομολογητές παρόχων PE (provider edge)**
- **Ενδιάμεσοι Δρομολογητές παρόχων P (provider)**

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε καθέναν από τους παραπάνω δρομολογητές εκτενέστερα. Οι δρομολογητές CE (customer edge) σχετίζονται άμεσα με τον πελάτη και πιο συγκεκριμένα τους διαχειρίζεται ο πελάτης. Οι δρομολογητές PE (provider edge) επί της ουσίας αποτελούν τα σημεία εισόδου- εξόδου των VPNs δεν είναι οι ακραίοι δρομολογητές ενός VPN και τους διαχειρίζεται ο πάροχος. Τέλος οι δρομολογητές P (provider) χρησιμοποιούνται στο δίκτυο κορμού ενός VPN ενός συγκεκριμένου ISP. Ο σημαντικότερος ρόλος τους είναι η προώθηση των MPLS ετικετών προς άλλους και τους διαχειρίζεται επίσης ο πάροχος P ή PE routers. [9]

### **3.14 Προσεγγίσεις L2 MPLS VPNs**

Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει η αντίληψη των εταιριών να αναζητούν διασύνδεση των παραρτημάτων τους με τη βοήθεια της υποδομής τους. Ασφαλώς ο εκάστοτε (ISP) έχει ως σκοπό την διατήρησης ενιαίας αρχιτεκτονικής και όχι να συγκροτείται από διαφορετικές τεχνολογίες. Έτσι δημιουργήθηκαν τα λεγόμενα L2 MPLS VPNs. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις των L2 MPLS VPNs, οι:

- ✓ **Layer 2 MPLS- based VPN: Draft-Martini**

### ✓ Layer 2 MPLS- based VPN: Draft-Kompella

Όσον αφορά την πρώτη προσέγγιση δηλαδή την Layer 2 MPLS- based VPN: Draft-Martini αποτελείται από ένα σύνολο VPNs τα οποία κατά κύριο λόγο ορίζονται από ένα σύνολο Internet drafts. Οι παραπάνω προσεγγίσεις προσδιορίζουν τον τρόπο ενθυλάκωσης σε 2<sup>ο</sup> επίπεδο και επιπλέον τους τρόπους μεταφοράς της σηματοδοσίας. Ουσιαστικά και οι δύο προσεγγίσεις υλοποιούν συνδέσεις σημείου προς σημείο. Όπως και κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται τόσο από πλεονεκτήματα όσο και από μειονεκτήματα τα οποία είναι:

#### Πλεονέκτημα της VPN: Draft Martin:

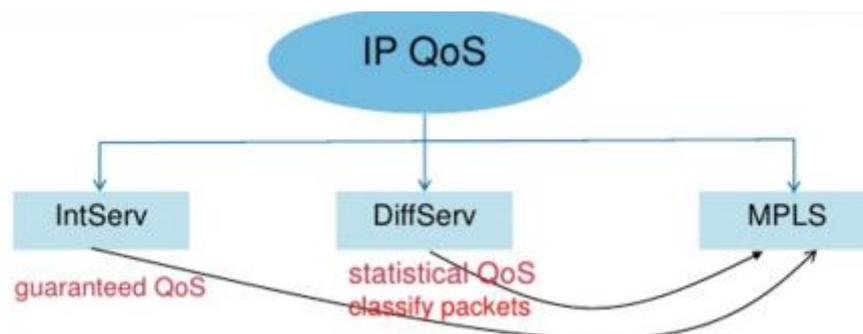
- Υποστηρίζει πολλές και διαφορετικές τεχνολογίας, π.χ. :

*Ethernet, Frame Relay, ATM, High-Level Data, HDLC και PPP.*

#### Μειονέκτημα VPN: Draft Martin:

- Δεν υπάρχει κλιμάκωση των IPSec VPNs.[9]

## 3.15 QoS και MPLS



Εικόνα 18: QoS και MPLS

Η υπηρεσία QoS και η τεχνική MPLS από τεχνικής πλευράς διαφέρουν κατά πολύ. Η υπηρεσία QoS έχει άμεση σχέση με την απόδοση του δικτύου. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι δύο αρχιτεκτονικές με υπηρεσία QoS οι οποίες χρησιμοποιούνται αρκετά είναι οι:

- Ολοκληρωμένες υπηρεσίες ποιότητας (IntServ)
- Διαφοροποιημένες υπηρεσίες ποιότητας (DiffServ)

Οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες ποιότητας (IntServ) χρησιμοποιούνται σε μικρά και μεσαία δίκτυα. Ενώ από την άλλη πλευρά οι διαφοροποιημένες υπηρεσίες (DiffServ ) χαρακτηρίζονται από μεγάλη επεκτασιμότητα. [15] [16]

### **3.16 MPLS και Diff-Serv**

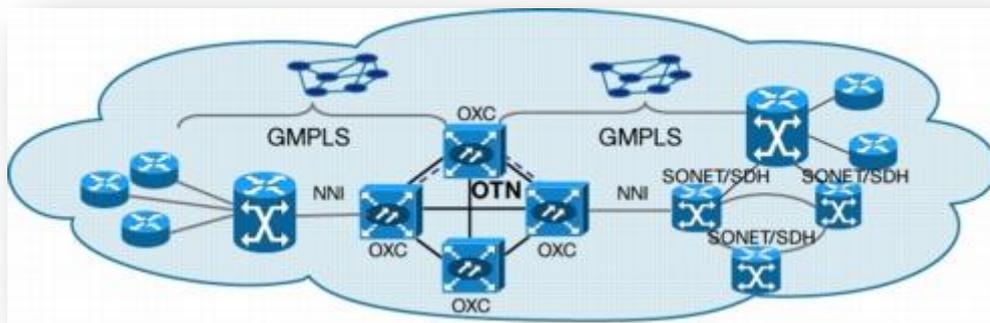
Είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι σε ένα δίκτυο με τεχνολογία MPLS που υποστηρίζει διαφοροποιημένες υπηρεσίες (Diff-Serv ) απαραίτητη προϋπόθεση είναι τα πακέτα να είναι «μαρκαρισμένα» με πεδία DSCP. Σε μια τέτοια περίπτωση εύκολα θα μπορούν να απολαμβάνουν την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας QoS σε κάθε LSR στο δίκτυο. Βέβαια αξιοσημείωτο είναι το ότι σε μια τέτοια περίπτωση υπάρχει ένα μειονέκτημα , ότι η πληροφορία DSCP υπάρχει στην επικεφαλίδα του IP πακέτου συνεπώς δεν απαιτείται άμεσος έλεγχος από έναν LSR όταν προωθούνται πακέτα. Σε μια τέτοια περίπτωση η παραπάνω πληροφορία θα πρέπει να γίνει άμεσα γνωστή στο LSR διαμέσου της ετικέτας με κάποια άλλη μέθοδο. Οι τρόποι που βοηθούν στο να επιτευχθεί η μεταφορά της πληροφορίας στο label είναι οι E-LSP και L-LSP. [15][16]

### **3.17 Διαχείριση φορτίου με τεχνική MPLS(Traffic Engineering)**

Ουσιαστικά αποτελεί μια αναπτυσσόμενη εφαρμογή στα σημερινά δίκτυα των παρόχων. Καθοριστικό ρόλο έχουν παίξει οι πολλές τους δυνατότητες. Χάρη στην διαχείριση φορτίου που διαθέτει το MPLS δίκτυο, μπορεί να επεκταθεί και να αναπτύξει περεταίρω τις ικανότητες των TE των ATM και FRAME RELAY δικτύων. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι οι ικανότητες των TE που είναι ενσωματωμένες στο επίπεδο 3 εφαρμόζονται με σκοπό την καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης ανάμεσα στους δρομολογητές του δικτύου καθώς και στους φορείς παροχής υπηρεσιών. Απαραίτητη προϋπόθεση τέτοιων δικτύων είναι η ευελιξία που διαθέτουν ώστε να αποφεύγουν οποιαδήποτε πρόβλημα μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στους κόμβους και τις συνδέσεις.[16]

### 3.18 Γενικά συστήματα MPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching- G-MPLS)

Το Generalized Multiprotocol Label Switching- G-MPLS χαρακτηρίζεται ως επίπεδο ελέγχου πολλαπλού σκοπού. Ένα γενικό σύστημα MPLS έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει πολλά πρότυπα μεταγωγής όπως:

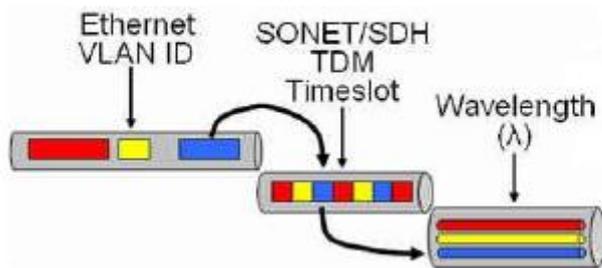


Εικόνα 19: Τεχνολογία GMPLS

- Μεταγωγή πακέτου
- Μεταγωγή χρονοσχημάτων
- Μεταγωγή οπτικής ίνας
- Μεταγωγή μήκους κύματος.

Το γενικό σύστημα MPLS ( G-MPLS) λειτουργεί ως επέκταση του MPLS.

### 3.19 Ετικέτες GMPLS



Εικόνα 20: Ετικέτες GMPLS

Όπως αναφέραμε η ετικέτα της τεχνικής MPLS είναι ένας αριθμός που αποτελείται από 20 bit. Το GMPLS επιτρέπει πολλούς τύπους ετικέτας δηλαδή για την ακρίβεια γενικευμένη ετικέτα. Η ετικέτα (tag) μπορεί να έχει την μορφή:

- Ετικέτα θύρας ή μήκους κύματος
- Ετικέτα Waveband
- Ετικέτα SONET/SDH κλπ.

Οι ετικέτες θύρας ή μήκους κύματος όπως αλλιώς καλούνται έχουν ως βασικό ρόλο τη χρήση κατά την οπτική μεταγωγή δεδομένων μια ετικέτα θύρας έχει 32 bit μέγεθος και περιγράφει:

- Τη θύρα εξόδου οπτικού σήματος
- Αναγνωριστικό μήκους κύματος που μεταφέρει την κίνηση

Οι ετικέτες θύρας λειτουργούν ως τοπικές σημαίες (flags).

Η ετικέτα Waveband . το switching Waveband έχει την ικανότητα να επιτρέπει σε ένα σύνολο μηκών κυμάτων να μεταγονται ως μια ομάδα. Αξίζει να τονίσουμε ότι η ετικέτα αυτή σχετίζεται με σύνολο συνεχόμενων μηκών κυμάτων.

Τέλος η ετικέτα με ονομασία SONET/SDH έχει την ικανότητα να υποδεικνύει το TDM slot που έχει δεσμευτεί για τη μεταγωγή του LSP σε περίπτωση που κάποιο LSP εξυπηρετεί ένα TDM/SONET.[22]

### 3.20 Η υλοποίηση του G-MPLS

Η υλοποίηση του G-MPLS είναι η επέκταση του MPLS. Για να λειτουργήσει το G-MPLS απαιτεί:

- Επέκταση του πρωτοκόλλου OSFP
- Επέκταση του πρωτοκόλλου IS-IS

Τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα δρομολόγησης επεκτείνονται με σκοπό να μεταφέρουν πληροφορίες που σχετίζονται με τους πόρους καθώς και τους περιορισμούς του οπτικού δικτύου. Επίσης για να λειτουργήσει σωστά το G-MPLS δίκτυο, απαιτεί την επέκταση των πρωτοκόλλων [3][22]:

- RSVP-TE και
- CR-LDP

### ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ LDP & LSR

#### 4.1 Εισαγωγή

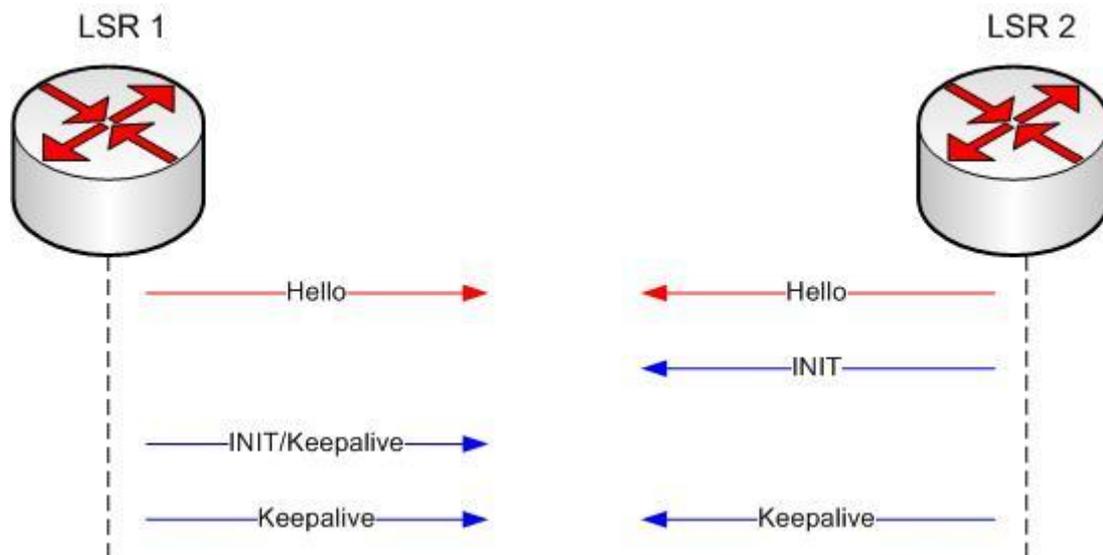
Γνωρίζουμε ότι στα δίκτυα μετάδοσης πακέτων τα γνωστά με την ορολογία packet switching networks ακολουθείται μια συγκεκριμένη διαδικασία όσον αφορά την δρομολόγηση. Αρχικά παίρνεται η απόφαση από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης σχετικά με τον τρόπο που θα προωθήσουν τα πακέτα. Εν αντιθέσει αυτή η διαδικασία σε καμία περίπτωση δεν συμβαίνει στα παραδοσιακά δίκτυα. Στα παραπάνω δίκτυα απλά γίνεται η προώθηση στον επόμενο κόμβο χωρίς να τους ενδιαφέρει η οποιαδήποτε απόφαση των υπολοίπων κόμβων. Το μόνο που απαιτείται να γνωρίζει ο κάθε κόμβος είναι η διεύθυνση του επόμενου κόμβου που θα παραδώσει το πακέτο. Όπως έχουμε προαναφέρει και σε άλλο σημείο της παρούσας πτυχιακής εργασίας το MPLS είναι ένα πρωτόκολλο για γρήγορη μεταγωγή ενός πλαισίου με ετικέτα. Στο εν λόγω πρωτόκολλο η ετικέτα εισάγεται σε κάθε πακέτο του δικτύου ενώ στους υπόλοιπους κόμβους δεν γίνεται επιπλέον επεξεργασία της επικεφαλίδας (header) του πακέτου σε επίπεδο δικτύου. Ουσιαστικά η ετικέτα χρησιμοποιείται ως δείκτης μέσα σε έναν πίνακα προώθησης. Επιπλέον αξίζει σε αυτό το σημείο να προσθέσουμε ότι η παλιά ετικέτα αντικαθίσταται από μια νέα και εν συνεχεία προωθείται στον επόμενο κόμβο. Με αυτή τη διαδικασία που ακολουθείται στο πρωτόκολλο MPLS ουσιαστικά επιτρέπεται η μεταφορά ολόκληρης της πληροφορίας ετικέτας συνεπώς δεν απαιτείται οποιαδήποτε επεξεργασία στην επικεφαλίδα (header) του πακέτου στο επιπέδου 3. Το πρωτόκολλο MPLS για τη διαδικασία ανταλλαγής των ετικετών (traffic trunk) χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο LDP (Label Distribution Protocol) που λειτουργεί μεταξύ των LSPs (Label Switching Routers). Όσον αφορά το traffic trunk που προαναφέραμε σε παραπάνω σημείο (για το πρωτόκολλο MPLS) αποτελεί μια συλλογή ή ακόμη καλύτερα μια ενοποίηση ροών της ίδιας κλάσης υπηρεσίας. Οι προαναφερθείσες ροές τοποθετούνται μέσα στην ίδια διαδρομή (Label Switched Path (LSP)). Το path (LSP) με τη σειρά του αποτελεί μια ακολουθία ετικετών που ξεκινά από ένα LSR εισόδου και κλείνει σε ένα LSR τερματισμού. Πιο συγκεκριμένα κάθε ένα LSR αποτελείται από έναν πίνακα του οποίου η κάθε οντότητα έχει την παρακάτω μορφή:

## *<διασύνδεση εισόδου, ετικέτα εισόδου, διασύνδεση εξόδου, ετικέτα εξόδου>*

Αξίζει να προσθέσουμε ότι τα LSPs μοιάζουν αρκετά με τα εικονικά κυκλώματα (VCs) του δικτύου ATM μονής κατεύθυνσης. Επιπλέον το μονοπάτι ενός LSP υπάρχει πιθανότητα να είναι το ίδιο με κάποιο μονοπάτι που προκύπτει από συμβατικά πρωτόκολλα τα οποία βέβαια κάνουν δρομολόγηση σε επίπεδο δικτύου. Αλλά δύναται να ακολουθούν και προκαθορισμένο μονοπάτι. Σε αυτή την περίπτωση οι κόμβοι καθορίζουν τα μονοπάτια κόμβο-κόμβο ή αλλιώς hop by hop όπως καλείται η παραπάνω διαδικασία. Τα προκαθορισμένα μονοπάτια στα οποία ανήκει και το MPLS όπως προαναφέραμε έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για διαχείριση της κίνησης. Επιπροσθέτως σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι ένα προκαθορισμένο μονοπάτι καθορίζεται την χρονική στιγμή που γίνεται η ανάθεση ετικετών και επιπλέον δεν απαιτείται ο καθορισμός για πακέτα με διαφορετική IP ξεχωριστά. Μια διαδικασία πολύ σημαντική η οποία χαρακτηρίζει το MPLS. Με αυτή τη διαδικασία αποφεύγεται οποιαδήποτε παρεμπόδιση της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Αλλά η κυκλοφορία είναι πάντα ελεγχόμενη. Τα μονοπάτια στο πρωτόκολλο MPLS ονομάζονται tunnels. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στο εν λόγω υποκεφάλαιο θα προσθέσουμε ότι το MPLS υποστηρίζει δρομολόγηση με πολλαπλά μονοπάτια. Και αναλυτικότερα υπάρχει η δυνατότητα χρήσης μονοπατιών με το ίδιο traffic trunk. [23]

### **4.2 Το πρωτόκολλο LDP**

Το πρωτόκολλο LDP (Label Distribution Protocol) στο οποίο αναφερθήκαμε και στο κεφάλαιο 3 της εργασίας μας αποτελεί πρωτόκολλο δρομολόγησης του MPLS. Ουσιαστικά αποτελεί πρωτόκολλο σηματοδότησης της αρχιτεκτονικής MPLS. Το πρωτόκολλο LDP ορίζεται από το IETF (RFC 5036) και έχει άμεση σχέση με διανομή ετικετών σε ένα περιβάλλον MPLS. Το παραπάνω πρωτόκολλο αναθέτει ετικέτες στα LSPs καθώς και την αντιστοίχιση τους με συγκεκριμένα Forwarding Equivalence Classes (FECs).



**Εικόνα 21: Το πρωτόκολλο LDP**

Δηλαδή ένα σύνολο πακέτων ή κελιών με κοινές απαιτήσεις δρομολόγησης. Πιο συγκεκριμένα έχουμε δύο δρομολογητές που χρησιμοποιούν LDP και ανταλλάσσουν πληροφορίες αμφίδρομα. Επιπλέον η χρήση LDP βοηθάει ώστε να δημιουργηθούν βάσεις δεδομένων LSP που εξυπηρετούν κατά πολύ την κυκλοφορία σε ένα δίκτυο MPLS. Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι το LDP χρησιμοποιείται για:

- Εσωτερική ετικέτα ( VC/VPN/ετικέτα εξυπηρέτησης)
- Εξωτερική ετικέτα (ετικέτα διαδρομής).

Το πρωτόκολλο LDP ορίζεται από το IETF (RFC 5036) και έχει άμεση σχέση με διανομή ετικετών σε ένα περιβάλλον MPLS. Βασικός του ρόλος είναι η δρομολόγηση πληροφοριών με σκοπό να προωθήσει τα πακέτα με ετικέτα. Ουσιαστικά το LDP έχει ως ρόλο να επιτρέπει σε LSRs δρομολογητές ενός δικτύου MPLS να ανταλλάσσουν πληροφορίες που δρομολογούνται μέσα στο δίκτυο. Το πρωτόκολλο LDP χρησιμοποιεί πάρα πολλά μηνύματα για να κάνει σωστά την δουλειά που του έχει ανατεθεί μέσα στο δίκτυο. Μερικά από τα κυριότερα μηνύματα του LDP φαίνονται παρακάτω:

- Μηνύματα ανακάλυψης
- Μηνύματα συνόδου
- Μηνύματα διαφήμισης
- Μηνύματα ειδοποίησης.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε περαιτέρω καθεμία από τις παραπάνω κατηγορίες μηνυμάτων.

Η πρώτη κατηγορία μηνυμάτων έχει ως βασικό ρόλο την ανακοίνωση καθώς και τη διατήρηση της παρουσίας ενός LSR δρομολογητή στο δίκτυο. Η επόμενη κατηγορία είναι τα μηνύματα συνόδου. Τα εν λόγω μηνύματα σχετίζονται με:

- Δημιουργία συνόδων
- Διατήρηση συνόδων
- Κατάργηση συνόδων

Οι παραπάνω ενέργειες γίνονται ανάμεσα σε δύο ομότιμους LDP δρομολογητές. Η επόμενη κατηγορία μηνυμάτων είναι τα μηνύματα διαφήμισης. Τα οποία χρησιμοποιούνται για:

- Δημιουργία αναθέσεων ετικέτας σε FECs
- Τροποποίηση αναθέσεων ετικέτας σε FECs
- Διαγραφή αναθέσεων ετικέτας σε FECs.

Και η τελευταία κατηγορία μηνυμάτων είναι αυτή των μηνυμάτων ειδοποίησης που περιέχουν:

- Συμβουλευτικές πληροφορίες
- Πληροφορίες σφαλμάτων.[17]

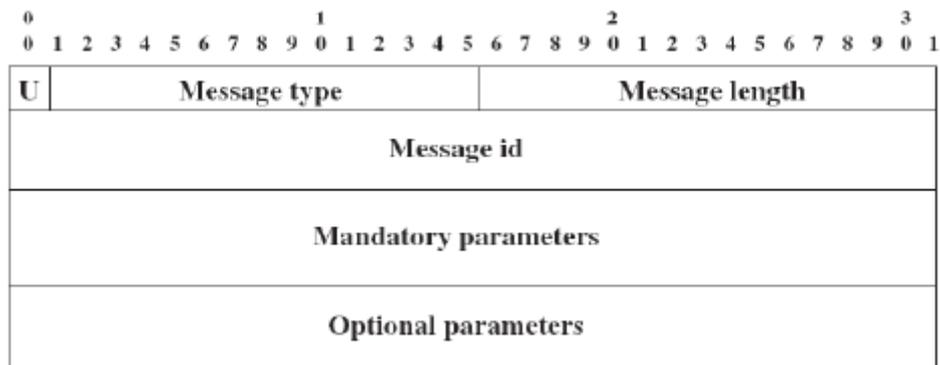
### **4.3 LDP μηνύματα**

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα μηνύματα LDP για να γίνουμε περισσότερο κατανοητοί. Για τη λειτουργία του LDP πρωτοκόλλου απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο ορισμός των απαραίτητων μηνυμάτων σηματοδότησης. Τα προαναφερθέντα μηνύματα αποτελούνται από:

- Μια επικεφαλίδα (Header)
  - ✓ Τύπος
  - ✓ μέγεθος

- υποχρεωτικές παραμέτρους (Mandatory parameters)
- προαιρετικές παραμέτρους (optional parameters)

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί παρακάτω:

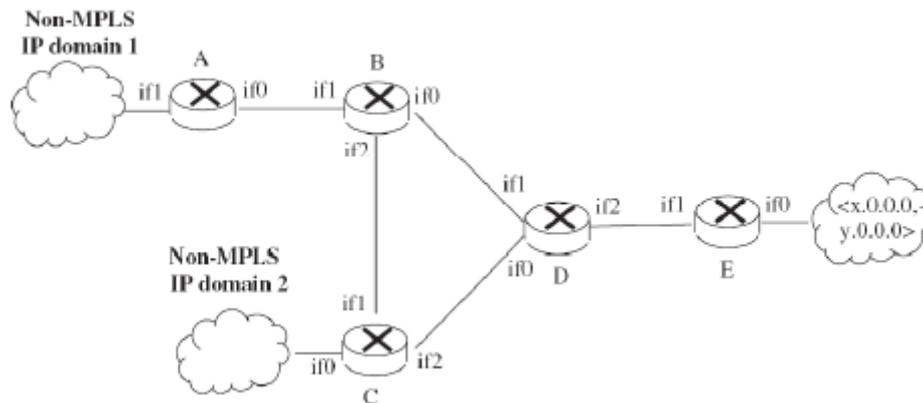


*Εικόνα 22: LDP μηνύματα*

Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι τόσο η κεφαλίδα όσο και οι παράμετροι κωδικοποιούνται με το TVL type length value (τιμή ετικέτας- μήκους). Η συμπεριφορά ενός LSR δρομολογητή που λαμβάνει ένα αγνώστου τύπου TVL καθορίζεται από τα U/F bits που περιλαμβάνονται σε κάθε TVL.

Άλλες περιπτώσεις μηνυμάτων είναι τα:

- μήνυμα notification
- μήνυμα hello
- μήνυμα initialization
- μήνυμα keep Alive
- μήνυμα address
- μήνυμα address withdraw
- μήνυμα label mapping
- μήνυμα label request



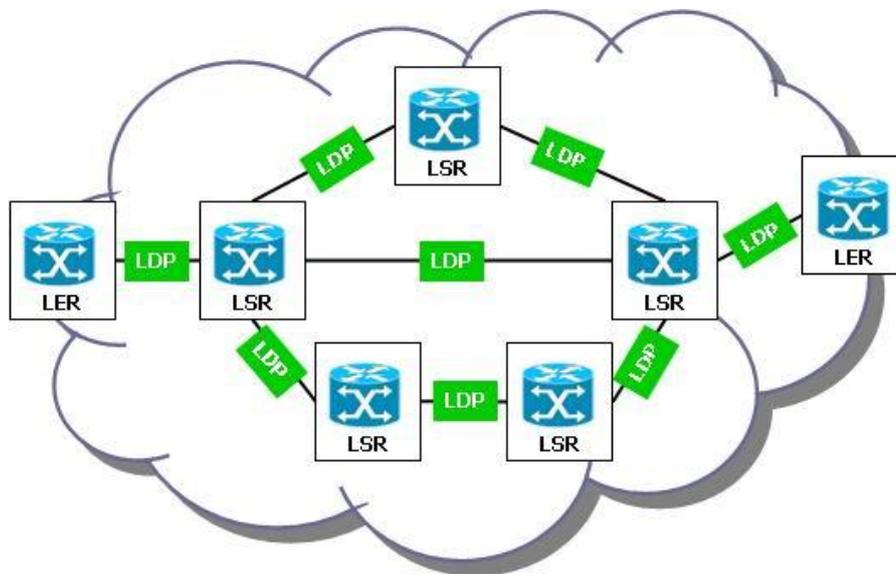
*Εικόνα 23: Δίκτυο MPLS*

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει ένα παράδειγμα ενός δικτύου MPLS. Όπως έχουμε προαναφέρει τα πρωτόκολλα LDP και LSR έχουν ως βασικό τους ρόλο την αντιστοίχιση ετικετών και FECs. Συνεπώς μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε ότι σε περίπτωση που ένα LSR αντιληφθεί την ύπαρξη μιας νέας FEC αμέσως αναθέτει στην παραπάνω FEC μια νέα ετικέτα . Χαρακτηριστικό παράδειγμα ύπαρξης FEC μπορεί να αποτελέσει η εισαγωγή πολλών hosts με κοινό πρόθεμα IP διευθύνσεων που ανήκουν στο ίδιο subnet. Ο όρος subnet ταυτίζεται με την έννοια FEC σε ένα δίκτυο MPLS. Στην εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε το subnet (x.0.0.0, y.0.0.0). σε περίπτωση που ένα τέτοιου τύπου subnet προστεθεί σε αυτή την περίπτωση όλες οι διευθύνσεις του subnet αποτελούν μια FEC. Επιπροσθέτως έχουν παρόμοιες απαιτήσεις δρομολόγησης για το λόγω ότι δρομολογούνται όλες μέσω της διεπαφής δικτύου του LSR δρομολογητή E όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην παραπάνω εικόνα 23. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που περιγράφουμε ο δρομολογητής LSR B την χρονική στιγμή που θα αναγνωρίσει τη νέα FEC την ίδια στιγμή θα αναθέσει σε αυτή τη νέα εισερχόμενη ετικέτα και θα προσθέσει μια νέα εγγραφή στην LIB. Στη συνέχεια ο δρομολογητής LSR B αναμένει τα πακέτα που έχουν την ίδια FEC να οδηγηθούν σε αυτόν με τη βοήθεια του δρομολογητή A. Ο δρομολογητής A με τη σειρά του οφείλει να γνωρίζει για το ποια ετικέτα έχει αναθέσει ο δρομολογητής B στην νέα FEC.[17] [22]

#### 4.4 Κλάσης ισοδύναμης προώθησης δρομολόγησης (FEC)

Με τον όρο FEC δηλαδή κλάση ισοδύναμης προώθησης δρομολόγησης αναφερόμαστε σε ένα σύνολο πακέτων με κοινές προδιαγραφές για μεταφορά. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η επιλογή της κλάσης ισοδύναμης προώθησης ενός πακέτου μπορεί να επιτευχθεί όταν ένα πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο και το εν λόγω πακέτο ομοιάζουν με τις απαιτήσεις υπηρεσιών ενός συνόλου πακέτων. Θα προσθέσουμε ότι ο δρομολογητής MPLS ονομάζεται και δρομολογητής ετικετών και είναι γνωστός με τον όρο LSR (Label Switch Router). Ολοκληρώνοντας θα επισημάνουμε ότι κάθε δρομολογητής LSR κατασκευάζει κατάλληλο πίνακα για την προώθηση πακέτων, ουσιαστικά δρομολογεί μια βάση δεδομένων η οποία καλείται LIB (Label Information Base) και η οποία βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση.[12]

#### 4.5 Δρομολογητής ετικετών (LSR - Label Switch Router)



Εικόνα 24: LSR

Ο LSR- Router είναι ένας δρομολογητής που εκτελεί δρομολόγηση βασισμένη μόνο με ετικέτα σε ένα δίκτυο MPLS. Ο εν λόγω δρομολογητής βρίσκεται στη μέση του δικτύου. Ο βασικός ρόλος ενός δρομολογητή LSR είναι να ενεργοποιεί την ετικέτα που χρησιμοποιείται κατά τη δρομολόγηση πακέτων. Ουσιαστικά όταν λάβει ένα πακέτο

χρησιμοποιεί την ετικέτα που υπάρχει στην κεφαλίδα του συγκεκριμένου πακέτου ως δείκτη με απώτερο σκοπό να καθορίσει τον προορισμό δηλαδή το επόμενο hop στην ετικέτα μεταγωγής διαδρομής LSP που είναι αντίστοιχη ετικέτα για το πακέτο από ένα πίνακα αναζήτησης. Σε επόμενο βήμα η παλαιά ετικέτα αντικαθίσταται από μια νέα πριν το πακέτο δρομολογηθεί.[12]

#### **4.6 Κατηγορίες διεπαφών LSR δρομολογητών**

Σε αυτό το σημείο θα αναπτύξουμε τις κατηγορίες των διεπαφών LSR. Ονομαστικά οι παραπάνω κατηγορίες είναι οι:

- Διεπαφή μεταγωγής πακέτου (PSC)
- Διεπαφές πολυπλεξίας χρόνου (TDM)
- Διεπαφές μήκους κύματος (LSC)
- Διεπαφές μεταγωγής οπτικής ίνας (FSC)

Στη συνέχεια θα αναπτύξουμε καθεμία από τις παραπάνω κατηγορίες.

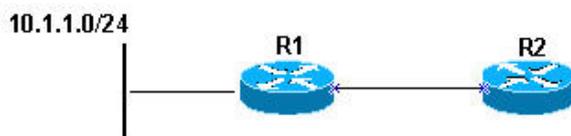
Αρχικά η κατηγορία διεπαφής μεταγωγής πακέτου με την αγγλική ορολογία packet switch capable-PSCs όπου οι διεπαφές έχουν την ιδιότητα να προωθούν τα πακέτα με βάση την επικεφαλίδα με τον ίδιο τρόπο ακριβώς που οι δρομολογητές LSRs μεταγάγουν με βάση την επικεφαλίδα (header). Η διεπαφή πολυπλεξίας χρόνου με την αγγλική ορολογία Time Division Multiplex –TDM. Αυτή η κατηγορία διεπαφών έχει να κάνει με την προώθηση δεδομένων με βάση τις χρονοσχισμές κάτι αντίστοιχο συμβαίνει σε οπτικά δίκτυα τύπου SONET/SDH. Η διεπαφή μήκους κύματος (με την αγγλική ορολογία Lambda switch capable –LSC). Οι διεπαφές αυτές έχουν την ικανότητα να προωθούν τα δεδομένα με βάση το μήκος κύματος κάτι αντίστοιχο συμβαίνει στους OXCs οι οποίοι λειτουργούν σε επίπεδο μεταγωγής ενός μήκους κύματος ή μιας μπάντας μηκών κύματος. Και τέλος οι διεπαφές μεταγωγής οπτικής ίνας με την αγγλική ορολογία Fiber switch capable-FSC. Οι προαναφερθείσες διεπαφές έχουν την ικανότητα να προωθούν δεδομένα με βάση την οπτική ίνα που τα μεταφέρει κάτι αντίστοιχο συμβαίνει στους OXCs οι οποίοι λειτουργούν σε επίπεδο οπτικής ίνας ή δέσμης οπτικών ινών.[18]

## 4.7 Upstreams & downstreams σε δίκτυα MPLS

Οι όροι upstream & downstream είναι πολύ γνωστοί στον κόσμο του MPLS. Για να τους κατανοήσουμε καλύτερα ακολουθούν τρία παραδείγματα:

### 1<sup>ο</sup> παράδειγμα:

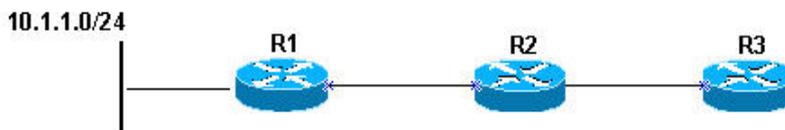
Για FEC 10.1.1/24, ο δρομολογητής R1 είναι downstream LSR με το δρομολογητή R2. Ενώ για FEC 10.1.1/24 το R2 είναι upstream LSR σε σχέση με τον δρομολογητή R1.



Εικόνα 25: παράδειγμα 1 Upstream & downstream σε δίκτυα MPLS

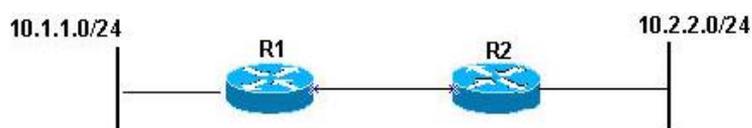
### 2<sup>ο</sup> παράδειγμα:

Για FEC 10.1.1/24 ο δρομολογητής R1 είναι downstream LSR ως προς το δρομολογητή R2. Ενώ για FEC 10.1.1/24 ο δρομολογητής R2 είναι downstream LSR σε σχέση με τον δρομολογητή R3.



Εικόνα 26: παράδειγμα 2 Upstream & downstream σε δίκτυα MPLS

### 3<sup>ο</sup> παράδειγμα:

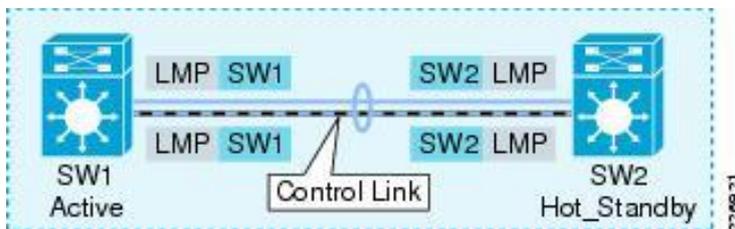


Εικόνα 27: παράδειγμα 3 Upstream & downstream σε δίκτυα MPLS

Για FEC 10.1.1/24 ο δρομολογητής R1 είναι downstream LSR ως προς τον δρομολογητή R2. Ενώ για FEC 10.1.1/24 ο δρομολογητής R2 είναι downstream LSR σε σχέση με τον δρομολογητή R1. [19].

# ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ LMP

### 5.1 Εισαγωγή στο πρωτόκολλο LMP



Εικόνα 28: Διαχείριση με το πρωτόκολλο LMP

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε το πρωτόκολλο σύνδεσης Διαχείρισης δηλαδή το LMP. Το LMP (Link Management Protocol) είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό πρωτόκολλο το οποίο έχει σχεδιαστεί για να καθιστά πιο εύκολη τη διαχείριση των οπτικών συσκευών του οπτικού δικτύου. Οι συσκευές που απαρτίζουν ένα δίκτυο δύναται να συνδέονται μεταξύ τους με πολλαπλές συνδέσεις οι οποίες με τη σειρά τους αθροίζονται σε ένα μικρότερο αριθμό συνδέσεων. Το πρωτόκολλο LMP είναι υπεύθυνο για:

- Διαμόρφωση συνδέσεων και επικοινωνίας
- Εντοπισμό βλαβών του δικτύου

Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι το DC-LMP παρέχει:

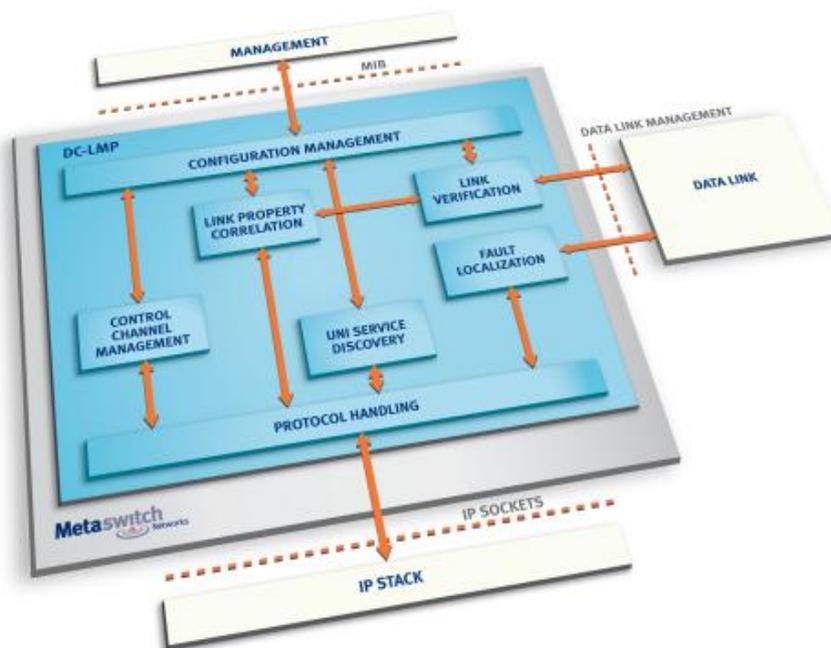
- Ολοκληρωμένη διαχείριση
- Επεκτάσιμη
- Εφαρμογή πηγαίου κώδικα με ανοχή σε σφάλματα

Το DC-LMP πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται σε συσκευές με υψηλές δυνατότητες και απαιτητικό λογισμικό καθώς έχει την ικανότητα να συμπληρώνει το DC-MPLS και να παρέχει πλήρες έλεγχο σε οπτικές συσκευές όπως:

- Κόμβους δικτύου
- Switches δικτύου
- Εξοπλισμό WDM
- Οπτικές πλατφόρμες μεταφοράς
- OIF (Optical Internetworking Forum) UNI (UNI-N)
- OIF (Optical Internetworking Forum) UNI (UNI-C).

## 5.2 Τα χαρακτηριστικά του DC-LMP πρωτοκόλλου

Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου LMP προσδιορίζονται από το RFC 4204.



Εικόνα 29: Τα χαρακτηριστικά του DC-LMP

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ονομαστικά μερικά από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου LMP τα οποία φαίνονται παρακάτω:

- ✓ Δυνατότητα δημιουργίας καναλιού ελέγχου
- ✓ Δυνατότητα ρυθμίσεων
- ✓ Δυνατότητα συντήρησης καναλιού ελέγχου

- ✓ Δυνατότητα επαλήθευσης
- ✓ Δυνατότητα εντοπισμού σφάλματός
- ✓ Δυνατότητα ανακάλυψης υπηρεσιών OIF UNI
- ✓ Δυνατότητα υποστήριξης λειτουργιών IETR & OIF
  - ✓ OIF USER INTERFACE NETWORK (UNI)
  - ✓ επεκτάσεις SONET/SDH επαλήθευσης συνδέσμου (RFC 4207)
- ✓ Δυνατότητα υποστήριξης ελάχιστης διαμόρφωσης σήματος
- ✓ MIB για την ενσωμάτωση της διαχείρισης με SNMP, CORBA, CMIP
- ✓ Δυνατότητα ολοκληρωμένου DC-MPLS ώστε να παρέχουν πλήρες έλεγχο σε οπτικές συσκευές
- ✓ Διαθεσιμότητα και ανοχή σε σφάλματα σχετικά με τη διαχείριση πληροφοριών καθώς και ρύθμιση παραμέτρων:
  - ✓ Δυνατότητα ορισμού σημείων ελέγχου και επαναφοράς
  - ✓ Δυνατότητα αποκατάστασης
  - ✓ Δυνατότητα επανεκκίνησης
  - ✓ Δυνατότητα αναβάθμιση λογισμικού
  - ✓ Δυνατότητα χειρισμού σφαλμάτων.[20]

### 5.3 Λειτουργίες πρωτοκόλλου LMP

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε μερικές από τις πιο βασικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου LMP που υλοποιούνται στο General- MPLS:

- Control channel management
- Link property correlation
- Link connectivity verification
- Fault localization

Έπειτα θα αναπτύξουμε περισσότερο καθεμία από τις παραπάνω λειτουργίες με σκοπό να γίνουμε περισσότερο κατανοητοί.

Όσον αφορά την πρώτη λειτουργία δηλαδή την Control channel management έχει να κάνει με την συνδεσιμότητα και την εγκατάσταση των γειτονικών κόμβων. Θα πρέπει να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι στα δίκτυα G-MPLS υπάρχει ένα ξεχωριστό κανάλι ελέγχου που επιτρέπει επικοινωνία και προς τις δύο πλευρές δηλαδή με αμφίδρομο τρόπο και χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης, σηματοδότησης και διαχείρισης. Θα πρέπει ακόμη να επισημάνουμε ότι το κανάλι ελέγχου και το κανάλι δεδομένων δεν χρησιμοποιούν υποχρεωτικά το ίδιο φυσικό μέσο. Αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται να χρησιμοποιούν οπτική ίνα διαφορετικού μήκους κύματος, κανάλι Ethernet και IP δίκτυο. Λόγω της αποσύζευξης των καναλιών ελέγχου και δεδομένων δημιουργείται έντονη η επιθυμία για ξεχωριστή διαχείριση του καναλιού ελέγχου. Αυτό μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί με το Hello του G-MPLS πρωτοκόλλου που αποτελείται από δύο φάσεις:

1<sup>η</sup> φάση: η διαπραγμάτευση βασικών παραμέτρων του πρωτοκόλλου

2<sup>η</sup> φάση : keep-alive και συνίσταται στην ταχεία ανταλλαγή μικρού μεγέθους μηνυμάτων.

Στην συνέχεια έχουμε τη λειτουργία Link property correlation που έχει να κάνει με ιδιότητες ζεύξεων. Μερικές τέτοιες ιδιότητες είναι:

- Το αναγνωριστικά ζεύξης
- Οι μηχανισμοί προστασίας
- Οι μηχανισμοί προτεραιότητας.

Οι ιδιότητες αυτές συσχετίζονται με γειτονικούς κόμβους και επιπλέον υλοποιούνται με το μήνυμα Link Summary του LMP. Ο μηχανισμός ανταλλαγής ιδιοτήτων της ζεύξης δίνει τη δυνατότητα δυναμικής μεταβολής των ιδιοτήτων της ζεύξης συμπεριλαμβανομένων των:

- Προσθήκη δεδομένων σε δέσμη
- Αλλαγή του μηχανισμού προστασίας της ζεύξης
- Αλλαγή των αναγνωριστικών των στοιχείων- ζεύξης σε μια δέσμη.

Έπειτα η λειτουργία Link connectivity verification η οποία με τη σειρά της χρησιμοποιείται για:

- Πιστοποίηση συνδεσιμότητας των ζεύξεων δεδομένων
- Ανταλλαγή των αναγνωριστικών ζεύξης των πρωτοκόλλων RSVP-TE & CR-LDP.

Ολοκληρώνοντας το εν λόγω υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε και στην τέταρτη και τελευταία λειτουργία που είναι η Fault localization. Η προαναφερθείσα λειτουργία χρησιμοποιείται για:

- Άμεσο εντοπισμό βλαβών
- Υποστήριξη μηχανισμών τοπικής προστασίας
- Υποστήριξη μηχανισμών αποκατάστασης.[19].

## 5.4 Κανόνες διαδικασίας

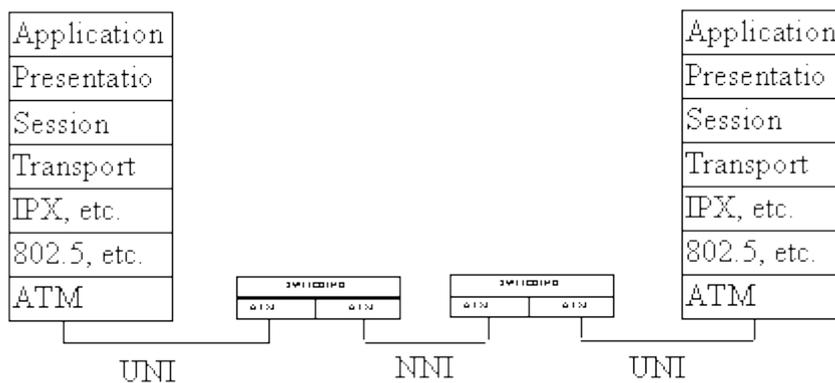
Το πρωτόκολλο LMP περιέχει PDUs (protocol data units) τα οποία υλοποιούν τα ακόλουθα μηνύματα:

- ✓ Ελέγχου σύνδεσης
- ✓ Ασφάλειας
- ✓ Αιτήσεις ενημέρωσης
- ✓ Τρόπος λειτουργίας
- ✓ Έλεγχο λειτουργίας
- ✓ Λογική μεταφορά
- ✓ Έλεγχο ρολογιού

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στο πρωτόκολλο LMP αξίζει να αναφέρουμε ότι σχετίζεται και με τη λειτουργία σύνδεσης συσκευών με Bluetooth. [21]

## ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ

### 6.1 Εισαγωγή στις Οπτικές διεπαφές



Εικόνα 30: Τύποι λογικών διεπαφών UNI, NNI

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε τους τύπους λογικών διεπαφών ελέγχου στο δικτυακό μοντέλο, οι οποίοι είναι οι:

- UNI (USER NETWORK INTERFACE)
- NNI (NETWORK NETWORK INTERFACE)

Η βασικότερη διαφορά που διαχωρίζει τους παραπάνω τύπους διεπαφών έχει άμεση σχέση με το μέγεθος καθώς και των είδος των πληροφοριών ελέγχου που διακινείται στις διεπαφές. Η UNI σε γενικές γραμμές αντιπροσωπεύει το όριο ανάμεσα στο τοπικό οπτικό δίκτυο και τα υποδίκτυα ενώ η NNI από την άλλη πλευρά έχει άμεση σχέση με το όριο ανάμεσα σε οπτικά υποδίκτυα. Οι λογικές διεπαφές ελέγχου υλοποιούνται με διάφορες φυσικές διεπαφές ελέγχου ανάλογα με αρχιτεκτονική του επιπέδου ελέγχου. Οι διεπαφές UNI υλοποιούνται σε:

- Άμεσες διεπαφές
- Έμμεσες διεπαφές

Στις άμεσες διεπαφές υπάρχει ένα κανάλι IP ελέγχου εντός και εκτός ζώνης, το οποίο δημιουργείται ανάμεσα στον IP δρομολογητή και τον OXC που διασυνδέεται. Το κανάλι ελέγχου χρησιμοποιείται για:

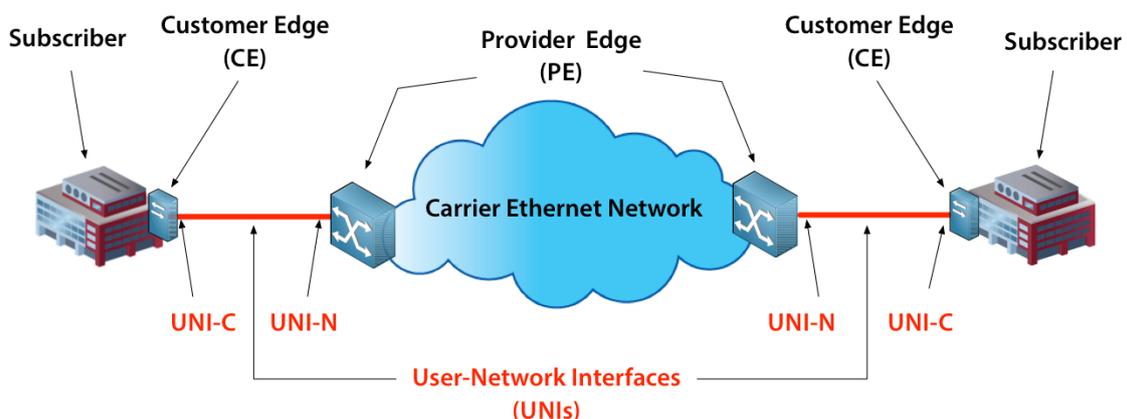
- Ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδότησης και για
- Ανταλλαγή μηνυμάτων δρομολόγησης

ανάμεσα σε OXC και τον δρομολογητή. Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι τόσο ο OXC όσο και ο δρομολογητής είναι ισότιμες οντότητες του επιπέδου ελέγχου. Και η πληροφορία ελέγχου έχει να κάνει με το μοντέλο παροχής υπηρεσιών.

Από την άλλη πλευρά έχουμε τις έμμεσες διεπαφές. Σε αυτές το κανάλι IP ελέγχου εκτός ζώνης δημιουργείται μεταξύ του δικτύου χρήστη και του οπτικού δικτύου. Το κανάλι χρησιμοποιείται για:

- Ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδότησης και για
- Ανταλλαγή μηνυμάτων δρομολόγησης

μεταξύ συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης του οπτικού δικτύου και του δικτύου χρήστη. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας στις έμμεσες διεπαφές θα αναφέρουμε ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει άμεση επικοινωνία μεταξύ του δρομολογητή του ενός άκρου και του OXC.[19].



*Εικόνα 31: Carrier Ethernet Network σε backbone δίκτυο*

## **6.2 Υπηρεσίες στα UNI σχετικές με οπτικά μονοπάτια**

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ονομαστικά ορισμένες από τις υπηρεσίες στα UNI που συνδέονται άμεσα με τα οπτικά μονοπάτια οι οποίες φαίνονται παρακάτω:

- Δημιουργία οπτικών μονοπατιών (Lightpath creation)
- Διαγραφή οπτικού μονοπατιού (Lightpath deletion)
- Τροποποίηση οπτικού μονοπατιού (Lightpath modification)
- Κατάσταση οπτικού μονοπατιού (Lightpath status query)

Οι δύο πρώτες υπηρεσίες σχετίζονται με την δημιουργία και απεγκατάσταση ενός οπτικού μονοπατιού. Η Τρίτη υπηρεσία με ονομασία Lightpath modification σχετίζεται με την τροποποίηση παραμέτρων ενός οπτικού δικτύου. Τέλος η τέταρτη και τελευταία υπηρεσία με ονομασία Lightpath status query έχει ως βασικό ρόλο να ενημερώνει σχετικά με τις παραμέτρους του οπτικού μονοπατιού.

## **6.3 Υπηρεσίες σε UNI επίπεδο, σχετικές με ανάκτηση διευθύνσεων**

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ονομαστικά ορισμένες από τις υπηρεσίες σε UNI επίπεδο οι οποίες συνδέονται άμεσα με την ανάκτηση διευθύνσεων οι οποίες φαίνονται παρακάτω:

- Client registration
- Client de- registration
- Address query
- End-system discovery
- Service discovery

Θα αναφέρουμε την αντίστοιχη δουλειά που κάνει μία από τις παραπάνω υπηρεσίες. Η πρώτη υπηρεσία με ονομασία Client registration έχει ως βασικό ρόλο την κατοχύρωση διεύθυνσης δικτύου χρήστη. Η επόμενη υπηρεσία που καλείται Client de- registration έχει άμεση σχέση με την άρση κατοχύρωσης διεύθυνσης δικτύου χρήστη. Ακολουθεί η υπηρεσία Address query που είναι υπεύθυνη για την ανάκτηση διεύθυνσης άλλου δικτύου χρήστη. Τέταρτη στη σειρά είναι η υπηρεσία

End-system discovery που επαληθεύει την συνδεσιμότητα του δικτύου χρήστη.  
Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας τελευταία υπηρεσία είναι η Service discovery  
με αρμοδιότητα την παροχή παραμέτρων σύνδεσης σε δίκτυο χρήστη.[3]

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκπόνηση της εργασίας έγινε με απώτερο σκοπό την γνωριμία μας με την τεχνολογία MPLS.

Στο πρώτο κεφάλαιο μελετήσαμε τα οπτικά δίκτυα που διαχωρίζονται σε πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς. Στη συνέχεια γνωρίσαμε τα βασικά χαρακτηριστικά τους την οπτική μεταγωγή που διαχωρίζεται σε OBS και OLS, τις τεχνικές πολυπλεξίας, τις μελλοντικές βλέψεις και ολοκληρώσαμε το συγκεκριμένο κεφάλαιο με την απάντηση στο ερώτημα για ποιόν λόγο χρησιμοποιούμε οπτικά συστήματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερθήκαμε την διαστρωμάτωση IP over WDM, τις τεχνολογίες SONET, ATM και IP καθώς και τα χαρακτηριστικά τους και τα πλεονεκτήματά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο εμβαθύνουμε στην τεχνολογία MPLS. Μελετήσαμε την ιστορική της πορεία μέσα στο χρόνο, γνωρίσαμε τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματά της, την ρητή δρομολόγηση και τα πλεονεκτήματά της καθώς επίσης και τους όρους MPLS Traffic Engineering και Diff-Serv. Κλείσαμε το συγκεκριμένο κεφάλαιο με το Multiprotocol Lambda (MPLmS) και το Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS).

Στο τέταρτο κεφάλαιο γνωρίσαμε το πρωτόκολλα LDP και τα μηνύματά του, ορίσαμε το FEC και γνωρίσαμε το πρωτόκολλο LSR καθώς και τις διάφορες διεπαφές του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετήσαμε το πρωτόκολλο διαχείρισης ζεύξης δηλαδή το LMP και τα χαρακτηριστικά του, τις λειτουργίες του και τους κανόνες και τις διαδικασίες που το διακρίνουν.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο μελετήσαμε τις οπτικές διεπαφές UNI και NNI καθώς και της υπηρεσίες UNI σχετικά με τα οπτικά μονοπάτια και με την ανάκτηση διευθύνσεων.

Συνοψίζοντας η τεχνολογία MPLS αποτελεί μια πολύ σημαντική τεχνολογία που έχει βοηθήσει στην βελτιστοποίηση των επιδόσεων του δικτύου, στην προώθηση IP πακέτων μέσα από συγκεκριμένους δρομολογητές και γενικότερα στην δημιουργία ολοκληρωμένου δικτύου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/ots/Kefal aio1,2.pdf>
- [2] [https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter\\_1.pdf](https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter_1.pdf)
- [3] <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter4.pdf>
- [4] [http://diktia.weebly.com/uploads/6/4/5/1/6451366/optic\\_net.pdf](http://diktia.weebly.com/uploads/6/4/5/1/6451366/optic_net.pdf)
- [5] <http://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/COMPGU148/telecom%20I%CE%99%CE%A7%202004-05.pdf>
- [6] [http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/D415/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B F%CF%82/telecom%20VII%20\(systems\)%202014-15.pdf](http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/D415/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B F%CF%82/telecom%20VII%20(systems)%202014-15.pdf)
- [7] <http://meetings.ripe.net/ripe-39/presentations/mps-arch/sld007.html>
- [8] [http://auto.teipir.gr/sites/default/files/iprot\\_c\\_kef8-mpls.pdf](http://auto.teipir.gr/sites/default/files/iprot_c_kef8-mpls.pdf)
- [9] [http://cgi.di.uoa.gr/~klmn/vpn/VPN-lecture\\_notes.pdf](http://cgi.di.uoa.gr/~klmn/vpn/VPN-lecture_notes.pdf)
- [10] [http://de.teikav.edu.gr/telematics/pdf/4o\\_Meros\\_OptikaSystimata.pdf](http://de.teikav.edu.gr/telematics/pdf/4o_Meros_OptikaSystimata.pdf)
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol\\_Label\\_Switching](https://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching)
- [12] <http://opencourses.uoa.gr/modules/document/file.php/D1122/%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%20T echnologiesMultiprotocol%20Label%20Switching.pdf>
- [13] [https://el.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Protocol](https://el.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol)
- [14] [http://compnetworking.about.com/od/networkprotocols/g/bldef\\_atm.htm](http://compnetworking.about.com/od/networkprotocols/g/bldef_atm.htm)
- [15] <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=28688>
- [16] [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_0s/feature/guide/TE\\_1208S.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/TE_1208S.html)
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Label\\_Distribution\\_Protocol](https://en.wikipedia.org/wiki/Label_Distribution_Protocol)
- [18] [https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter\\_4.pdf](https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter_4.pdf)

- [19] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/4649-mpls-faq-4649.html>
- [20] <http://www.metaswitch.com/resources/link-management-protocol-lmp>
- [21] <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/LMP.aspx>
- [22] [https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter\\_9.pdf](https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/kvlachos/courses/documents/onet/Chapter_9.pdf)
- [23] Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ, σημειώσεις του μαθήματος « Προχωρημένα Θέματα Προγραμματισμού Δικτύων» διδάσκων Φ. Βαρτζιώτης.