

# **Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης**



## **Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων**

### **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ CARRIER ETHERNET**

Εισηγητής : Πάλλης Ευάγγελος

Σπουδαστής : Μιχαλολιάκος Μιχάλης

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ  
2010**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμμετέχοντες για την καθοριστική τους βοήθεια στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στον υπεύθυνο καθηγητή Ευάγγελο Πάλλη, καθώς και στον επιβλέπων καθηγητή Ευάγγελο Μαρκάκη για την πολύτιμη και καθοριστική βοήθεια τους. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους φίλους μου και την κοπέλα μου Βασιλική που με στήριξαν, προκειμένου να ολοκληρώσω αυτό το μακρύ ταξίδι.

Μιχαλολιάκος Μιχάλης

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>10</b>
<b>2 CARRIER ETHERNET</b>	<b>12</b>
2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Τι είναι το Carrier Ethernet	12
2.3 Χαρακτηριστικά Carrier Ethernet	14
2.3.1 Προτυποποιημένες Υπηρεσίες (Standardized Services)	14
2.3.2 Ευελιξία-Scalability	15
2.3.3 Αξιοπιστία-Reliability	16
2.3.4 Ποιότητα της Υπηρεσίας-Quality Of Service	16
2.3.5 Διαχείριση Υπηρεσιών-Service Management	17
2.4 Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Carrier Ethernet	18
2.5 Υπηρεσίες Ethernet	20
2.5.1 User-Network Interface (UNI)	20
2.5.2 Ethernet Virtual Connection (EVC)	20
2.5.3 Network to Network Interfaces (NNI)	21
2.6 Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών Ethernet	22
2.6.1 Φυσική Διεπαφή Ethernet (Ethernet Physical Interface)	23
2.6.2 Παράμετροι της Κίνησης(Προφίλ Εύρους Ζώνης)	23
2.6.3 Παράμετροι Απόδοσης(Performance Parameters)	24
2.6.4 Κλάση Ποιότητας Υπηρεσίας(Class of Service :CoS)	24
2.6.5 Μετάδοση πληροφορίας	25
2.6.6 Υποστήριξη επικέτας νοητών δικτύων(Vlan tag support)	25
2.6.7 Backbone Bridges—MAC-in-MAC	27
2.6.8 Πολυπλεξη Υπηρεσιών (Service Multiplexing)	27
2.6.9 Ομαδοποίηση (Bundling)	28
2.6.10 Φίλτρα Ασφάλειας(Security Filters)	28
2.7 Τύποι συνδεσιμότητας	28
2.7.1 Ethernet Line (E-LINE) Service	28
2.7.2 Ethernet LAN (E-LAN) Service	29
2.7.3 Ethernet Tree Service	30
2.8 Πλεονεκτήματα Carrier Ethernet	31
2.9 Σύνοψη	31
<b>3 QUALITY OF SERVICE</b>	<b>32</b>
3.1 Γενικά	32
3.2 Εισαγωγή	32
3.3 Ορισμός	32
3.4 Χαρακτηριστικά QOS	32

3.5	Βασικά Βήματα Qos .....	33
3.5.1	Αναγνώριση των διαφορετικών τύπων της δικτυακής κίνησης.....	33
3.5.2	Κατηγοριοποίηση της κίνησης.....	34
3.5.3	Καθορισμός των πολιτικών δικτυακής κίνησης .....	34
3.6	Μοντέλα παροχής Ποιότητας της Υπηρεσίας.....	35
3.6.1	Μοντέλο Best-Effort.....	35
3.6.2	Μοντέλο IntServ.....	35
3.6.3	Μοντέλο DiffServ.....	37
3.6.4	IntServ vs DiffServ .....	37
3.7	Μηχανισμοί της Ποιότητας της Υπηρεσίας .....	38
3.7.1	Ταξινόμηση Πακέτων(Packet Classification).....	38
3.7.2	Σημαδema Πακέτων(Marking) .....	39
3.7.3	Διαχείριση Συμφορησης(Congestion Management) .....	39
3.7.4	Αποφυγή Συμφορησης(Congestion Avoidance) .....	40
3.7.5	Αστυνομευση & Σχηματισμός(Policing and Shaping) .....	40
3.7.6	Αποτελεσματικότητα Σύνδεσης(Link Efficiency) .....	40
<b>4</b>	<b>ΔΙΚΤΥΑ ETHERNET (ETHERNET NETWORKS).....</b>	<b>42</b>
4.1	Εισαγωγή.....	42
4.2	Δίκτυο Metro Ethernet .....	42
4.3	MultiProtocol Label Switching .....	42
4.3.1	Εισαγωγή .....	42
4.3.2	Ορολογία .....	43
4.3.3	Λειτουργία MPLS.....	44
4.3.4	Μηχανική Κίνησης(Traffic Engineering) .....	46
4.3.5	Mpls -Qos .....	47
4.4	Ethernet Over Mpls.....	47
4.4.1	Λειτουργία EoMpls .....	47
4.4.2	EoMpls Label Stack.....	49
4.4.3	Label Imposition-Disposition.....	49
4.4.4	EoMpls-Pseudowires Modes & VC's .....	49
4.4.5	Eompls Qos.....	50
<b>5</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ EOMPLS ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ GNS 3 .....</b>	<b>52</b>
5.1	Graphical Network Simulator .....	52
5.2	Γρηγορο Εγχειρίδιο Εγκαταστασης (για Windows OS) .....	53
5.3	Γρηγορο Εγχειρίδιο Χρησης .....	53
5.4	Προσομοίωση Τοπολογίας EoMpls .....	56
5.4.1	Τοπολογία Δικτύου .....	56
5.5	Σενάριο εξομοίωσης.....	58
5.5.1	Χαρακτηριστικά Δικτυακής Αρχιτεκτονικής.....	58
5.5.2	Παραμετροποίηση Δικτυακών Στοιχείων .....	58
Ακολουθεί η αναλυτική παραμετροποίηση των δικτυακών στοιχείων. ....		62
5.5.3	Επιβεβαίωση Λειτουργικότητας EoMpls.....	74
5.5.4	Ανάλυση Μετάδοσης της Πληροφορίας .....	75
5.5.5	Παραμετροποίηση Ποιότητας της Υπηρεσίας.....	77
5.5.6	Παραμετροποίηση της ποιότητας της υπηρεσίας μέσω της τεχνικής NBAR .....	80
5.6	Επίλογος.....	91

<b>6</b>	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>92</b>
6.1	Βιβλιογραφία.....	92

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1. *Carrier Ethernets Attributes* (πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 11
2. *E-LINE Connection* (πηγή [www.brocade.com](http://www.brocade.com) ),σελ 12
3. *E-LAN Connection* (πηγή [www.brocade.com](http://www.brocade.com) ),σελ 12
4. *SLA* (πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 14
5. *Ethernet Service Model*(πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 15
6. *UNI's & EVC*(πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 18
7. *Ethernet Services Attributes*(πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 19
8. *Bandwidth Profile Types*(πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 20
9. *Bandwidth Profile-Cos*(πηγή [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)),σελ 22
10. *Vlan tag*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 23
11. *Q in Q frames*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 23
12. *Mac in Mac frames*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 24
13. *Service Multiplexing*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 25
14. *E-LINE service* (πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 26
15. *E-LAN service* (πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 26
16. *E-Tree service*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 27
17. *Αναγνώριση των διαφορετικων τύπων της δικτυακής κίνησης*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 30
18. *Κατηγοριοποίηση της κίνησης* (πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 31
19. *Καθορισμός πολιτικων δικτυακής κινησης*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 32
20. *.IntServ Model* (πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 34
21. *.Ταξινομηση Πακετων*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 36
22. *Διαχειριση Συμφορησης*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 37
23. *Αποφυγη Συμφορησης*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 37
24. *Αστυνομευση και Σχηματισμός*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 37
25. *Αποτελεσματικοτητα Συνδεσης*(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 39

- 26. Label Switched Router(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 40**
- 27. Mpls Label(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 40**
- 28. Mpls Path(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 41**
- 29. Traffic Engineering(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 43**
- 30. Παραδειγμα Mpls(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 44**
- 31. EoMpls Label Stack(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 45**
- 32. EoMpls Imposition & Disposition(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 46**
- 33. EoMpls Modes(πηγή [www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 47**
- 34. EoMpls Qos([www.cisco.com](http://www.cisco.com)),σελ 47**
- 35. Graphical Network Simulator , σελ 51**
- 36. Μενου Επιλογών ,σελ 51**
- 37. Παραθυρα Επιλογων,σελ 52**
- 38. Drag n Drop,σελ 53**
- 39. Console,σελ 53**
- 40. Τοπολογια Δικτύου EoMpls,σελ 55**
- 41. Στατιστικά Πρωτοκόλλων Χρήσης,σελ 76**
- 42. Dscr Bits,σελ 79**
- 43. AF Classes (drop prorability),σελ 80**
- 44. AF VS DSCP, σελ 80**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η μελέτη της τεχνολογίας Carrier Ethernet, και των μηχανισμών διασφάλισης της ποιότητας της υπηρεσίας από-άκρο-σε-άκρο (end-to-end QoS), για την μεταφορά δεδομένων, φωνής και video μέσα από ετερογενή μητροπολιτικά δίκτυα.

Αρχικά ορίζεται και αξιολογείται η τεχνολογία Carrier Ethernet αναλύοντας τα κύρια χαρακτηριστικά της και επεξηγούνται οι κύριοι λόγοι για τους οποίους αποτελεί την πλέον δημοφιλή λύση στα μητροπολιτικά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών.

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται αναφορά στην σημασία της ποιότητας της υπηρεσίας στα Carrier Ethernet Networks, ενώ αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά, τα μοντέλα παροχής καθώς και οι μηχανισμοί της ποιότητας της υπηρεσίας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο λειτουργίας της για την παροχή αξιόπιστων λύσεων στα μητροπολιτικά δίκτυα.

Επειτα μελετάμε τις δικτυακές αρχιτεκτονικές των μητροπολιτικών δικτύων, εμβαθύνοντας στον τρόπο λειτουργίας του Carrier Ethernet σε συνδυασμό με το Mpls. Το Mpls αποτελεί το κυρίαρχο πρωτόκολλο στα δίκτυα κορμου και ουσιαστικά επιτρέπει την δημιουργία αμιγώς Ethernet δικτύων από άκρο εις άκρο.

Τέλος εξομοιώνεται μια EoMpls αρχιτεκτονική, μέσα στην οποία έχουν εισαχθεί μηχανισμοί ποιότητας της υπηρεσίας. Οι μηχανισμοί ποιότητας της υπηρεσίας έχουν κυρίαρχο ρόλο στην δημιουργία συμφωνιών επιπέδου υπηρεσίας μεταξύ των παρόχων και των τελικών χρηστών.



## **ABSTRACT**

The goal of the thesis is to study the Carrier Ethernet Technology and the end to end Quality of Service for the transfer of data voice and video through miscellaneous metro networks.

In the beginning is defined and evaluated carrier Ethernet technology by analyzing the main features and explain the main reasons that make it the most popular solution in services provider's networks.

Thereafter the project is reported on the importance of service quality in Carrier Ethernet Networks, and analyzes the main features, delivery models and mechanisms for quality of service, emphasizing how it works to provide reliable solutions to metropolitan area networks.

After studying the network architectures of metropolitan networks, deepening the operation of Carrier Ethernet in conjunction with Mpls. Mpls is the dominant protocol in the backbone network and essentially allows the creation of pure Ethernet networks end to end.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρωτόκολλο Ethernet ανακαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 70 και χρησιμοποιήθηκε ως πρωτόκολλο διασύνδεσης με σκοπό τη μετάδοση της πληροφορίας μεταξύ μιας ομάδας υπολογιστών, οι οποίοι κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα τοπικό δίκτυο. Από τότε έως και σήμερα το Ethernet έχει καταφέρει να απαντήσει στις τεχνολογικές προκλήσεις της εποχής. Η τεχνολογική του ανάπτυξη επέτρεψε την επέκταση των τοπικών δικτύων καλύπτοντας μητροπολιτικές περιοχές αλλά και ακόμα περισσότερο καλύπτοντας περιοχές ευρείας έκτασης. Η τεχνολογική του ανάπτυξη δεν έχει να κάνει μόνο με την επέκταση των τοπικών δικτύων αλλά κυρίως με την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων που φτάνει σήμερα τα 100Gbps. Η καθολική του αποδοχή για την χρήση του -από οικιακά έως τοπικά δίκτυα μεγάλων οργανισμών- οδήγησαν στην ραγδαία αύξηση της παραγωγής εξοπλισμού που υποστηρίζει το πρωτόκολλο Ethernet, με πολύ χαμηλό κόστος. Άρα πλέον μιλάμε για ένα πρωτόκολλο όπου μπορεί να μεταδώσει την πληροφορία εύκολα (λόγω της τεχνογνωσίας των χρηστών), γρήγορα και οικονομικά.

Τα πλεονεκτήματα του Ethernet έδωσαν ένα όραμα στους οργανισμούς τηλεπικοινωνιών (κυρίως στους παρόχους υπηρεσιών) στο να μπορέσουν υπό κατάλληλες συνθήκες να δημιουργήσουν μια Ethernet μετάδοση από άκρο εις άκρο. Δηλαδή η μετάδοση της πληροφορίας από τον αποστολέα έως τον παραλήπτη να μεταφέρεται μέσω του πρωτοκόλλου Ethernet. Το θετικό αυτού του οράματος είναι ότι η αρχή ήταν εύκολη, καθώς τα τοπικά δίκτυα των τελικών χρηστών χρησιμοποιούν εδώ και πάρα πολλά χρόνια το Ethernet. Τι γίνεται όμως με τα δίκτυα των παρόχων; Το κύριο πρόβλημα, ήταν ότι το Ethernet επειδή είχε αναπτυχθεί για την λειτουργία του δε τοπικά δίκτυα, δεν μπορούσε να παρέχει τις εγγυήσεις που ζητούσαν οι πάροχοι υπηρεσιών έτσι ώστε να μπορέσουν να το πουλήσουν ως υπηρεσία στους τελικούς χρήστες.

Το όραμα της Ethernet μετάδοσης από άκρο εις άκρο ενέπνευσε τον οργανισμό Metro Ethernet Forum (MEF) να αναλάβει την αναδιοργάνωση και την αναδόμηση του Ethernet με κύριο στόχο την λειτουργία του σε δικτυακά περιβάλλοντα παρόχων. Το αναδομημένο Ethernet ονομάζεται Carrier Ethernet.

Το MEF κατάφερε να καθορίσει τις υπηρεσίες του Ethernet που θα παρέχουν οι πάροχοι υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες. Τα έως τώρα χαρακτηριστικά του Carrier Ethernet το καθιστούν ικανό να καλύψει εύρη δικτύων σε ταχύτητες 100 Gbps. Με 31 providers και 76 εταιρείες δικτυακού εξοπλισμού να είναι ήδη πιστοποιημένες από το MEF αποκτώντας σημαντικά οικονομικά οφέλη, έχουμε την δυνατότητα να αναφερθούμε σε ένα νέο τύπο δικτύου, το Carrier Ethernet Network (CEN).

Σημαντικό ρόλο στην εν γένει λειτουργία των CEN έπαιξε η δυνατότητα του Ethernet να συνεργαστεί και να λειτουργήσει με άλλες τεχνολογίες. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service) και το Mpls, για τις οποίες υπάρχει ειδική αναφορά σε επόμενα κεφάλαια.

Η διαλειτουργικότητα του Ethernet με άλλες τεχνολογίες οδήγησε τους παρόχους να εμφανιστούν έτοιμοι στις ανάγκες και στις απαιτήσεις των τελικών χρηστών και το Carrier Ethernet να κατακτά την καθολική αποδοχή των οργανισμών τηλεπικοινωνιών.

Η οργάνωση της πτυχιακής εργασίας έχει ως εξής :

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτική η έννοια του Carrier Ethernet προκειμένου να γίνει κατανοητή η ορολογία του καθώς και η γενικότερη αρχιτεκτονική του.

Στο τρίτο αναλύεται η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας παρουσιάζοντας τις κυριότερες προσεγγίσεις που έχουν εμφανιστεί για την παροχή της. Έπειτα δίνεται η γενική αρχιτεκτονική την οποία θα πρέπει να ακολουθεί ένα σχήμα παροχής ποιότητας υπηρεσίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξηγείται η τοπολογία των metro Ethernet δικτύων και ο γενικότερος τρόπος λειτουργίας του. Επίσης, αναλύεται η χρήση τεχνολογίας Ethernet στα δίκτυα αυτά, σε συνδυασμό με το MPLS.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο λογισμικό εξομοίωσης GNS, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα που έγιναν και εξηγείται η τοπολογία του δικαίου, πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα εξομοίωσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η αφενός η μελέτη και παρουσίαση της τεχνολογίας Carrier Ethernet και αφετέρου η παρουσίαση των μηχανισμών διασφάλισης της ποιότητας για την μετάδοση δεδομένων από άκρο σε άκρο σε ετερογενή μητροπολιτικά δίκτυα.

## 2 CARRIER ETHERNET

### 2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει την τεχνολογία του Carrier Ethernet παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά του. Έπειτα αναλύει την αρχιτεκτονική του και τον τρόπο λειτουργίας του στα δίκτυα των παρόχων. Εν τέλει παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της λειτουργικότητας του Carrier Ethernet τόσο στους τελικούς χρήστες όσο και στους παρόχους υπηρεσιών.

### 2.2 Τι είναι το Carrier Ethernet

Στο παρελθόν είχαν γίνει πολλές προσπάθειες για την περαιτέρω τεχνολογική ανάπτυξη του Ethernet έτσι ώστε να μπορέσει να παρέχει τις υπηρεσίες του σε υψηλά επίπεδα στα τοπικά δίκτυα. Το MEF προχώρησε ένα βήμα παραπάνω προσπαθώντας πλέον να κατηγοριοποιήσει τις υπηρεσίες του Carrier Ethernet όπως αυτές θα παρέχονται από τους παρόχους υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες. Ο καθορισμός των υπηρεσιών ουσιαστικά θα βοηθήσει στην χάραξη μιας κοινής στρατηγικής για την περαιτέρω τεχνολογική ανάπτυξη του Carrier Ethernet.

Πριν όμως αρχίσω η ανάλυση των υπηρεσιών του Carrier Ethernet καλό θα είναι να υπάρξει πλήρης κατανόηση σχετικά με τις διαφορές και τα γενικότερα χαρακτηριστικά (βλ Πίνακα 1) του Native Ethernet σε σχέση με το Carrier. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας :

Χαρακτηριστικά	LAN	SERVICE PROVIDER'S NETWORKS
Γεωγραφική Περιοχή	Συγκεκριμένα όρια που δεν ξεπερνούν τα 2 km	Καλύπτουν γεωγραφικές αποστάσεις έως 100 km
Αριθμός χρηστών	Μερικές εκατοντάδες χρηστών	Αρκετές χιλιάδες χρηστών
Εύρος μετάδοσης δεδομένων	10/100/1000 Mbps	10-100 Gbps
Παρεχόμενες Υπηρεσίες σε :	Εφαρμογές δεδομένων (κυρίως)	Εφαρμογές δεδομένων και φωνής

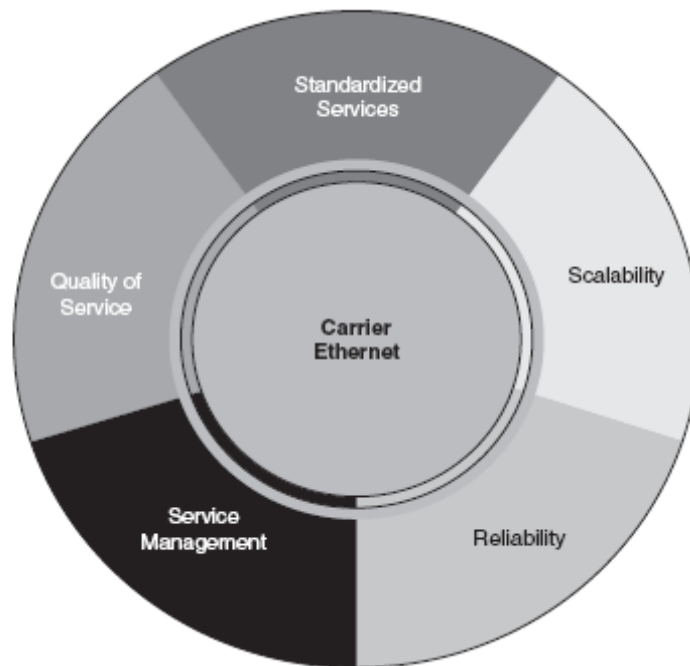
Μέσο μετάδοσης /Παροχή Ποιότητας της υπηρεσίας	Καλωδιακά και Οπτικά Μέσα	Πληθώρα Μέσων Μετάδοσης /Εγγυημένη παροχή υπηρεσιών βάση συγκεκριμένης συμφωνίας με τον πελάτη
Διαθεσιμότητα-Αξιοπιστία	Κανονικό Ποσοστό διαθεσιμότητας και χρόνου Mtbf	Ζητείται σχεδόν πλήρες επί τοις 100 ποσοστό διαθεσιμότητας. Τυχόν πρόβλημα επηρεάζει μεγαλύτερο αριθμό χρηστών
Διαχειρίσιμότητα	Σχετικά Απλή με την χρήση κατάλληλων εργαλείων	Επίπονη διαχείριση καθώς αναφερόμαστε σε αρκετά μεγάλα δίκτυα με αρκετές χιλιάδες χρήστες

Πινάκας 1.Διαφορές Native - Carrier Ethernet

Το MEF κατάφερε να καθορίσει τις υπηρεσίες του Carrier Ethernet μέσα από τα πέντε κύρια χαρακτηριστικά του όπου το καθιστούν ικανό για την λειτουργία του στα δίκτυα των παρόχων υπηρεσιών.

Ακολουθούν τα κύρια χαρακτηριστικά(βλ Σχήμα 1) του Ethernet (θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο)

- Standardized services
- Scalability
- Reliability
- Quality of Service (QoS)
- Service management



Σχήμα 1 Carrier Ethernets Attributes

Στην πραγματικότητα το Carrier Ethernet κατάφερε να αποτελέσει την τεχνολογική μετεξέλιξη του Ethernet αποκτώντας τα Carrier-Class χαρακτηριστικά που θα οδηγήσουν τους Services Providers στη περαιτέρω χρήση του ως προσφερόμενη υπηρεσία στους τελικούς χρήστες-συνδρομητές, ενώ από την πλευρά τους οι χρήστες θα έχουν την δυνατότητα να μεταδίδουν την πληροφορία σε ένα αμιγώς Ethernet περιβάλλον από άκρο εις άκρο με εγγυημένη ποιότητα της υπηρεσίας. Το πλεονέκτημα της Carrier Ethernet τεχνολογίας είναι ότι η πληροφορία θα συνεχίζει να ταξιδεύει σε ένα Ethernet Frame το οποίο θα διαπερνά διαδοχικά τους διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών έως ότου φτάσει στον τελικό του προορισμό.

## 2.3 Χαρακτηριστικά Carrier Ethernet

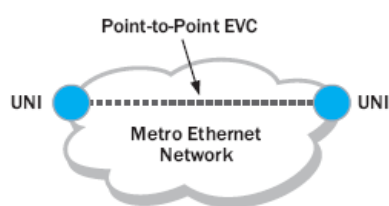
Οι πέντε ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το Carrier Ethernet στην ουσία μας βοηθούν στην πλήρη κατανόηση των πρόσθετων δυνατοτήτων του Ethernet και επεξηγούν τη λειτουργία του ως πρωτόκολλο μεταδοσης δεδομένων στα δίκτυα των παρόχων υπηρεσιών όπως γινόταν με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα Frame Relay και ATM.

### 2.3.1 Προτυποποιημένες Υπηρεσίες (Standardized Services)

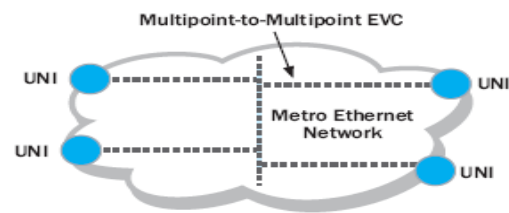
Το Carrier Ethernet έχει την δυνατότητα να προσφέρεται σαν υπηρεσία από τους παρόχους υπηρεσιών, ικανή να λειτουργήσει αποτελεσματικά για να υποστηρίξει το μεγάλο και απαιτητικό πλήθος των εφαρμογών φωνής, video και δεδομένων των τελικών χρηστών προσδίδοντας ταχύτητα διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και ευελιξία στην μετάδοση της πληροφορίας από άκρο εις άκρο.

Κάποιες κύριες συνιστώσες των προτυποποιημένων υπηρεσιών είναι:

- Το Ethernet θα είναι η κυρίαρχη τεχνολογία μετάδοσης της πληροφορίας και ουσιαστικά θα γίνεται κατανοητό ότι με το Carrier Ethernet στην ουσία επεκτείνεται το LAN.
- Το MEF έχει καθορίσει δύο πρότυπα είδη διασυνδέσεων ανάμεσα στους παρόχους υπηρεσιών και τους συνδρομητές μέσα από τις οποίες θα παρέχονται οι υπηρεσίες του Carrier Ethernet. Οι διασυνδέσεις αυτές εξαρτώνται από το User Network Interface που είναι το τελικό σημείο επαφής ανάμεσα στον πάροχο υπηρεσιών και το δίκτυο του συνδρομητή. Οι δύο υπηρεσίες είναι το Ethernet Line (βλ Σχήμα 2, E-Line ή Point to Point) και Ethernet Lan (βλ Σχήμα 3, E-Lan ή multipoint to multipoint) οι οποίες αναλύονται σε επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου.



Σχήμα 2. E-LINE Connection



Σχήμα 3. E-LAN Connection

- Το Carrier Ethernet υποστηρίζει την μεταφορά υπηρεσιών όχι μόνο μέσω του παραδοσιακού Ethernet αλλά και μέσω χρόνιων και παραδοσιακών τεχνολογιών μεταφοράς, όπως είναι η TDM τεχνολογία (φυσικά πάνω από το Ethernet).
- Οι υπηρεσίες που θα παρέχουν οι Services Providers θα είναι ευέλικτες τόσο ως προς το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων όσο και ως προς την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας αφού θα υπάρχει πληθώρα τελικών χρηστών με διαφορετικότητα στην κάλυψη των εν γένει απαιτήσεων τους. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι κρίσιμος παράγοντας για τις υπηρεσίες θα είναι η ποιότητα της υπηρεσίας που θα εγγυηθεί ο πάροχος. Η ποιότητα της υπηρεσίας θα γίνει μέσω συμφωνιών του επιπέδου ποιότητας (Service Level Agreements, αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο).
- Υπάρχει η δυνατότητα σύγκλισης των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και video πάνω από ενιαίο δίκτυο μεταφοράς (Ethernet) από άκρη έως άκρη με απλοποιημένες διαδικασίες διαχείρισης της μεταφοράς δεδομένων τόσο για τους παρόχους όσο και για τους τελικούς χρήστες.

### 2.3.2 Ευελιξία-Scalability

Το Carrier Ethernet θα λειτουργήσει στα δίκτυα των παρόχων υπηρεσιών όπου σε σχέση με τα τοπικά δίκτυα έχουν διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις έχουν να κάνουν κυρίως με την διαθεσιμότητα και την ευελιξία των παρεχόμενων υπηρεσιών. Κάποιες από τις συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη για τις υπηρεσίες του Carrier Ethernet είναι:

- Οι παροχοί υπηρεσιών υποστηρίζουν ένα τεράστιο πλήθος τελικών χρηστών όπου μέσω του Carrier Ethernet θα πρέπει να παρέχουν εγγυημένη ποιότητα, διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και απόδοση.
- Οι υπηρεσίες που θα παρέχονται από τους παροχείς υπηρεσιών θα εξυπηρετούν τις κρίσιμες εφαρμογές των τελικών χρηστών ενοποιώντας φωνή, δεδομένα και video σε ένα ενιαίο δίκτυο.
- Το Carrier Ethernet θα παρέχει υπηρεσίες με ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στους τελικούς χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους όπου θα παίρνει τιμές από 1 Mbps μέχρι 100 Gbps με την αντίστοιχη χρέωση από την πλευρά των χρηστών-συνδρομητών.
- Οι υπηρεσίες του Carrier Ethernet εγγυώνται την σωστή κλιμάκωση στην λειτουργικότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, ώστε να απλοποιείται ο εντοπισμός τυχών βλαβών και γενικότερα η διαχείριση των εκατοντάδων χιλιάδων τελικών χρηστών-συνδρομητών.

### **2.3.3 Αξιοπιστία-Reliability**

Εφόσον το Carrier Ethernet θα λειτουργήσει στα δίκτυα των παροχών υπηρεσίας θα πρέπει να εγγυώνται την αξιοπιστία, την διαθεσιμότητα και την ικανότητα γρήγορης επίλυσης των προβλημάτων που θα προκύπτουν από το φυσικό επίπεδο των υποδομών(Layer 1) έως το επίπεδο των εφαρμογών(Layer 7).

Πιο συγκεκριμένα, σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών είναι :

- Η επιρροή των βλαβών κατά την μετάδοση της πληροφορίας θα απομονώνεται έτσι ώστε να μην επηρεάζονται άλλοι χρήστες και εφαρμογές. Θα χρησιμοποιούνται τεχνικές Correlation προκειμένου να γίνεται πιο εύκολα και γρήγορα η ανίχνευση βλαβών και η επίλυση τους, με όσο το λιγότερα λειτουργικά κόστη για τους παρόχους.
- Το Carrier Ethernet έχει την δυνατότητα προστασίας της διαδικασίας μεταφοράς της πληροφορίας σε όλη την διαδρομή από άκρο σε άκρο.
- Το Carrier Ethernet δύναται να παρέχει μηχανισμούς αποκατάστασης ικανοποιώντας τις ανάγκες των απαιτητικών εφαρμογών φωνής και δεδομένων που εμφανίζονται στα δίκτυα σύγκλισης.

### **2.3.4 Ποιότητα της Υπηρεσίας-Quality Of Service**

Η ποιότητα της υπηρεσίας είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των υπηρεσιών που θα οδηγήσει στην καθολική αποδοχή του Carrier Ethernet τόσο στα δίκτυα των παρόχων όσο και στα δίκτυα των τελικών χρηστών και θα οδηγήσει στην αντικατάσταση των παλαιότερων τεχνολογιών TDM και FRAME RELAY. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι μιλάμε για εκατοντάδες χιλιάδες διαφορετικούς τελικούς χρήστες με διαφορετικές ανάγκες και ως προς τις παρεχόμενες υπηρεσίες και ως προς την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας.

Η ποιότητα της υπηρεσίας εξασφαλίζει την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών από τους παροχείς υπηρεσιών προς τους χρήστες-συνδρομητές.



Η ποιότητα της υπηρεσίας μπορεί να εξασφαλιστεί με βάση τα service level agreements.

- **Service Level Agreement** :Το sla είναι ένα έγγραφο το οποίο έχει νομική υπόσταση έχοντας ως κύριο στόχο την διευκρίνιση των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πελάτες και ουσιαστικά διασφαλίζει, τις μεθόδους με τις οποίες θα παρακολουθείται και θα αναφέρεται το επίπεδο της υπηρεσίας. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο συνδρομητής μέσα από τα sla μπορεί να εξασφαλίσει το επίπεδο των υπηρεσιών που του παρέχεται. Επιπλέον, το SLA προσδιορίζει μια διαδικασία για τη μέτρηση και την αναφορά της ποιότητας των υπηρεσιών και προβλέπει αποζημίωση σε περίπτωση που ο πάροχος δεν επιτύχει τους προσδοκώμενους στόχους. Τα sla's χρησιμοποιούν παραμέτρους απο την ποιότητα της υπηρεσίας(βλ σχημα 2), όπως είναι η διαθεσιμότητα, αξιοπιστία (με συγκεκριμένα ποσοστά),η καθυστέρηση, η διακύμανση της καθυστέρησης και το ποσοστό απώλειας πακέτων, προκειμένου να διασφαλιστεί το επίπεδο της παρεχόμενης υπηρεσίας. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα απο έναν συνδρομητή, όπου έχει συμφωνήσει να έχει συγκεκριμένες τιμές μεταβλητών (Speed,CIR,EIR,EBS,όπου αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο)

UNI Service Attribute	Value
UNI identifier	epl_jay_uni_sanjose
Physical medium	IEEE 802.3-2002
Speed	10 Mbps
Mode	Full Duplex
MAC layer	IEEE 802.3-2002
Service multiplexing	No
Bundling	No
All-to-one bundling	Yes
UNI Ethernet Virtual Connection ID	epl_jay_evc
Customer VLAN ID/EVC map	All frames from the customer are mapped to epl_jay_evc
Maximum number of EVCs	1
Layer 2 Control Protocols processing	Tunnel STP/RSTP/MSTP BPDUs, 802.1x frames, LACP frames, GARP frames Discard PAUSE (802.3x) frames
Bandwidth profile per ingress UNI	Committed Information Rate (CIR) = 5 Mbps Committed Burst Size (CBS) = 5000 bytes Excess Information Rate (EIR) = 0 Excess Burst Size (EBS) = 0

Σχήμα 4.SLA

Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα sla's δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα δίκτυα των παρόχων, διότι στα δίκτυα των χρηστών δεν υπάρχει έντονο πρόβλημα στην διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσίας λόγω του αρκετά μεγάλου διαθέσιμου εύρους ζώνης. Στα τοπικά δίκτυα όπου λειτουργεί το πρωτόκολλο Ethernet εφαρμόζεται μια πιο ελαφριά μορφή ποιότητας της υπηρεσίας μέσω του πρωτοκόλλου 802.1p, όπου καλύπτει τις ανάγκες των τελικών χρηστών.

### 2.3.5 Διαχείριση Υπηρεσιών-Service Management

Το τελευταίο αλλά και αρκετά σημαντικό χαρακτηριστικό που διακρίνει το Carrier Ethernet είναι η ικανότητα που έχει να παρακολουθεί παραμετροποιεί, να επιλύει βλάβες και γενικότερα να διαχειρίζεται κεντρικά τις υπηρεσίες του χρησιμοποιώντας standard-based ανεξαρτήτου κατασκευαστή εργαλεία διαχείρισης .Η διαχείριση εκατοντάδων χιλιάδων πελατών όπου έχουν συμφωνήσει για συγκεκριμένη ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας απαιτεί από τους παροχείς υπηρεσιών την παρουσία ευέλικτων,

αποτελεσματικών και γρήγορων εργαλείων διαχείρισης. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να καλύπτουν τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Να προβλέπει σε σύντομο χρονικό διάστημα τυχόν προβλήματα στην παροχή υπηρεσιών
- Να διαγνώσει τα προβλήματα που αναφέρονται από τους συνδρομητές
- Να έχει την δυνατότητα να παρατηρεί τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών επίδοσης και αξιοπιστίας των υπηρεσιών που παρέχει.

Αρκετά εργαλεία έχουν προτυποποιηθεί προκειμένου να απαντήσουν στις διαχειριστικές προκλήσεις του Carrier Ethernet, όπως:

- IEEE 802.3ah OAM: παρέχει εργαλεία για link detection και remote failure indication σε μια σύνδεση.
- IEEE 802.1ag Connectivity Fault Management: παρέχει εργαλεία για το επίπεδο των υπηρεσιών OAM καθώς και εργαλεία detecting, isolating και reporting σχετικά με προβλήματα διασύνδεσης στα δίκτυα των παρόχων.
- ITU Y.1731: εργαλείο που καλύπτει την διαχείριση της συνδεσιμότητας και επιπλέον παρέχει στατιστικά σχετικά με τις παραμέτρους της απόδοσης ενός δικτύου όπως είναι το frame loss ratio και το frame delay.
- MEF 15 :καθορίζει τις απαιτήσεις για την διαχείριση δικτυακών στοιχείων από ένα εξωτερικό σύστημα διαχείρισης.

Από την ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του γίνεται γρήγορα αντιληπτό ότι το Carrier Ethernet καταφέρνει να ενισχύει τα ήδη αποδεδειγμένα πλεονεκτήματα του Native Ethernet ενώ παρέχει στους παροχείς υπηρεσιών, μια υπηρεσία με Carrier Class χαρακτηριστικά που είναι πλήρως εναρμονισμένη λειτουργικά με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες TDM, Frame-Relay, Leased Line αλλά παρουσιάζεται -ως προς την μετάδοση των δεδομένων- πιο εξελιγμένη, ευέλικτη και εύρωστη, στοιχεία που την καθιστούν από άποψης κόστους πιο αποτελεσματική. Αυτό μεταφράζεται σε χαμηλότερα κόσθη εξόδων των αρχικών κεφαλαίων Capital Expenditures (CAPEX) και χαμηλότερα κόσθη λειτουργικών εξόδων lower Operational Expenditures (OPEX) γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ανταγωνιστικό για τους παροχείς υπηρεσιών.

## **2.4 Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Carrier Ethernet**

Από τη στιγμή που το Carrier Ethernet προσφέρθηκε και επίσημα ως παρεχόμενη υπηρεσία από τους παροχείς υπηρεσιών, θα πρέπει να καθοριστούν επακριβώς οι λειτουργικές του προδιαγραφές. Ο καθορισμός των λειτουργικών προδιαγραφών του Carrier Ethernet αποκτά ιδιαίτερη σημασία και αυτό γιατί το Native Ethernet δεν παρουσιάστηκε σαν υπηρεσία καθώς προσφέρθηκε σαν ένα προϊόν η καλύτερα σαν μια λύση για τα τοπικά δίκτυα, όπου ο εξοπλισμός είχε ήδη καθοριστεί ενώ η οργάνωση και η διαχείριση θα γινόταν από τον εκάστοτε οργανισμό ή επιχείρηση. Πλέον το Carrier Ethernet προσφέρεται σαν υπηρεσία όπου η οργάνωση και η διαχείριση θα γίνεται από τους παροχείς υπηρεσιών

προς τους συνδρομητές με την αντίστοιχη φυσικά χρέωση. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των λειτουργικών προδιαγραφών του Carrier Ethernet ο οργανισμός Metro Ethernet Forum(MEF).

Το MEF κατάφερε να αναπτύξει ένα ολόκληρο πλαίσιο εργασίας(βλ Σχήμα 5) προκειμένου να καθορίσει τις υπηρεσίες του Carrier Ethernet αλλά και να βοηθήσει στην ευρύτερη κατανόηση του.Το μοντέλο αυτό ονομάζεται Ethernet Service Model(ESM).



Σχήμα 5.Ethernet Service Model

Η βασική αρχιτεκτονική του μοντέλου Ethernet Service ,όπως αυτό καθορίζεται από το MEF χαρακτηρίζεται από δύο κύρια στοιχεία.

- Τον εξοπλισμό του συνδρομητή (customer premises equipment)
- Το δίκτυο Ethernet του παρόχου υπηρεσιων (Service Ethernet Network)

Βασικά ο εξοπλισμός του συνδρομητή (δρομολογητής η μεταγωγέας με δυνατότητα υποστήριξης 802.1Q) θα συνδεθεί με το δίκτυο του παρόχου υπηρεσιών(διαμέσου του User Network Interface(UNI, όπου αναλύεται παρακάτω) μέσω του πρωτοκόλλου Ethernet.

Το δίκτυο του παρόχου υπηρεσιών αποτελείται τόσο από φυσικά δικτυακά στοιχεία όσο και από λογικά με κύριο μέλημα την μεταφορά των Ethernet frames διαμέσου τοπικών μητροπολιτικών και απομακρυσμένων δικτύων. Εν τέλει η υπηρεσία του Carrier Ethernet θα παρέχεται από τον Service Provider στον τελικό χρήστη διαμέσου του Ethernet Virtual Connection (EVC, όπου αναλύεται παρακάτω).

Το MEF έχει αναπτύξει ένα μοντέλο τριών επιπέδων που αφορά το δίκτυο των Services Providers. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει το Application Layer όπου υποστηρίζει όλες τις εφαρμογές του τελικού χρήστη που μεταφέρονται διαμέσου του δεύτερου επιπέδου, του επιπέδου συνδεσιμότητας υπηρεσιών Ethernet (Ethernet Service Layer) και στη συνέχεια μεταφέρονται τα δεδομένα διαμέσου άλλων υπηρεσιών από το τρίτο επίπεδο, το επίπεδο μεταφοράς (Transport Layer).

Στο δεύτερο επίπεδο καθορίζονται οι υπηρεσίες για το Carrier Ethernet οι οποίες τελικά θα μεταφερθούν διαμέσου του Transport Layer που εμπερικλείει τις δικτυακές τεχνολογίες μεταφοράς δεδομένων και υπηρεσιών.

Κάθε ένα από τα τρία επίπεδα αποτελείται από επιπλέον τρία υποστρώματα:

- To data plane
- To control plane
- To management plane

Το data plane το οποίο αναφέρεται και ως user/transport/forwarding plane είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των δεδομένων των τελικών χρηστών. Το control plane είναι υπεύθυνο να διασφαλίζει ότι η υπηρεσία παρέχεται σύμφωνα με τις οδηγίες του management plane. Το management plane παρέχει τα λειτουργικά στοιχεία που υποστηρίζουν το FCAPS (Fault, Configuration, Account, Performance, Security).

## 2.5 Υπηρεσίες Ethernet

Οι υπηρεσίες του Carrier Ethernet έχουν δυο βασικά χαρακτηριστικά τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης αναφοράς καθώς αποτελούν τα δομικά στοιχεία της λειτουργικότητας της υπηρεσίας που θα παρέχουν οι παροχείς υπηρεσιών.

### 2.5.1 User-Network Interface (UNI)

Το user network interface είναι η διεπαφή του συνδρομητή με τον πάροχο υπηρεσιών (βλ Σχήμα 6). Στην πραγματικότητα ορίζεται σαν σημείο αναφοράς προκειμένου να ξεχωρίσει τις αρμοδιότητες του παρόχου έναντι στον συνδρομητή. Εκεί όπου τελειώνει η ευθύνη του παρόχου ξεκινά ο εξοπλισμός άρα και η ευθύνη του συνδρομητή.

Το UNI διασπάται επιπλέον σε UNI που αφορά τον συνδρομητή (UNI C) και σε UNI που αφορά το δίκτυο (UNI N).

- UNI Client :Στο UNI-C εφαρμόζεται το σύνολο του λειτουργιών που απαιτούνται για την ομαλή σύνδεση (φυσική ή λογική) του συνδρομητή στο δίκτυο του παρόχου. Η λειτουργικότητα της σύνδεσης εξαρτάται τόσο από τον συνδρομητή όσο και από τον πάροχο υπηρεσιών.
- UNI Network:Αφορά το σύνολο των λειτουργιών που γίνονται για την διασύνδεση ενός μητροπολιτικού δικτύου με το δίκτυο του παρόχου. Οι επιμέρους λειτουργίες αφορούν αποκλειστικά τους παρόχους.

### 2.5.2 Ethernet Virtual Connection (EVC)

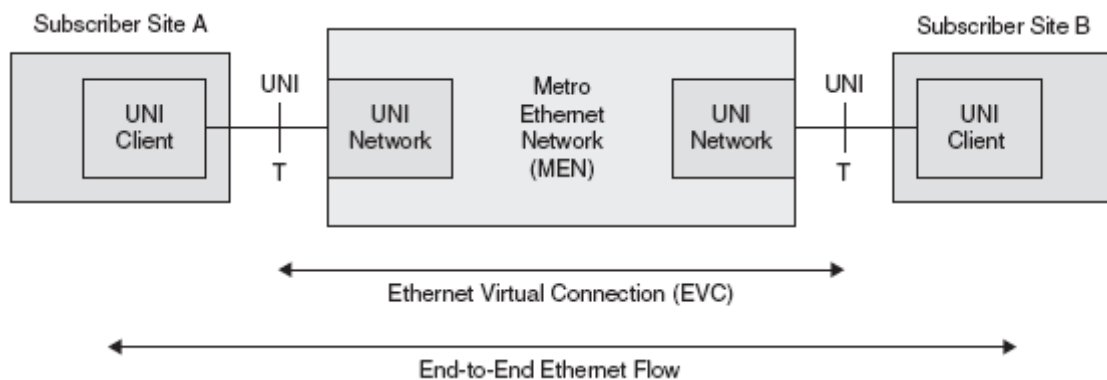
Το Ethernet Virtual Connection (βλ Σχήμα 6) χαρακτηρίζεται από δύο κύριες λειτουργίες:

- Επιτρέπει την σύνδεση δυο ή περισσότερων UNI's για την μεταφορά ροής δεδομένων ανάμεσα σε συνδρομητικά δίκτυα διάμεσου του δικτύου του παρόχου.
- Εμποδίζει την μεταφορά δεδομένων μεταξύ δυο UNI's που δεν ανήκουν στο ίδιο ethernet virtual circuit.

Επίσης για την μεταφορά της πληροφορίας μέσα από ένα EVC ισχύουν τα παρακάτω:

- Ένα frame δεν επιστρέφει ποτέ πίσω σε ένα uni από όπου αρχικά προσήλθε.
- Τα περιεχόμενα του frame δεν αλλάζουν από την αρχή έως το τέλος.

Το MEF καθόρισε δυο τύπους EVC ,το point to point όπου δύο UNI's είναι συνδεδεμένα αποκλειστικά μεταξύ τους και τα multipoint to multipoint όπου δυο ή και περισσότερα UNI's είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.



Σχήμα 6 UNI's & EVC

### 2.5.3 Network to Network Interfaces (NNI)

Κατά την μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των τελικών χρηστών είναι πιθανό αυτή να διαπεράσει από τα δίκτυα διαφορετικών παρόχων. Τα σημεία διεπαφής μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών ονομάζονται Network to Network Interfaces. Το MEF έχει καθορίσει διαφορετικούς τύπους NNI

- External Network-to-Network Interface (E-NNI)
- Internal Network-to-Network Interface (I-NNI)
- Network Interworking Network-to-Network Interface (NI-NNI)
- Service Interworking Network-to-Network Interface (SI-NNI)

Από όλα όσα έχουμε αναφέρει έως τώρα καταλαβαίνουμε ότι το Carrier Ethernet είναι στην πραγματικότητα υπηρεσίες διασύνδεσης όπου επιτρέπουν την μετάδοση των Ethernet frames από άκρο εις άκρο. Οι υπηρεσίες του Ethernet παραδίδονται μέσα από ένα EVC το οποίο παρέχεται από τους παρόχους υπηρεσιών διαμέσου των συνδέσεων των UNI's.

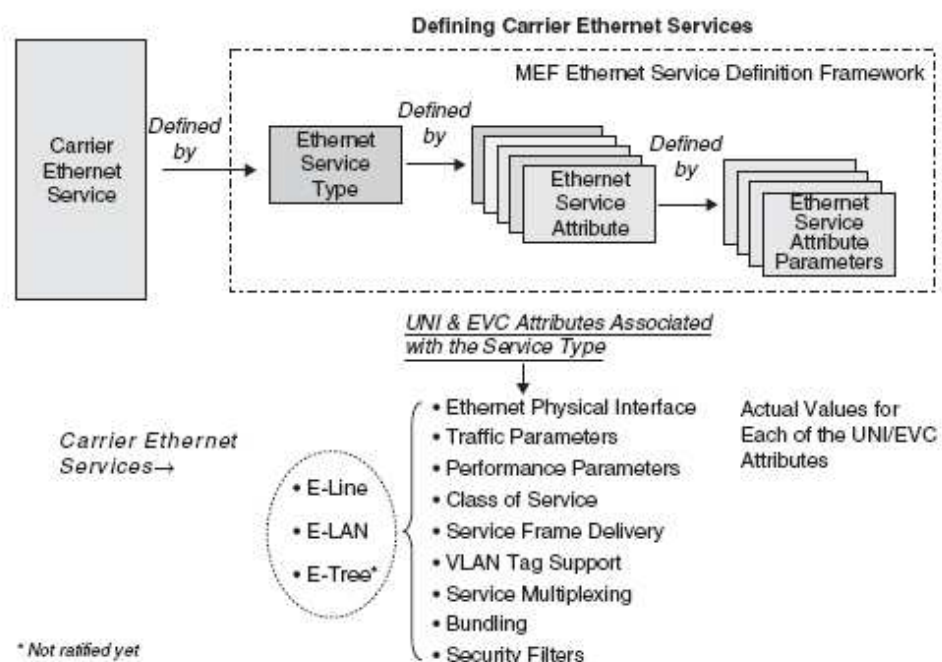
Το MEF προκειμένου να αποσαφηνίσει τον ορισμό των υπηρεσιών του Carrier Ethernet τόσο από την πλευρά του συνδρομητή όσο και από την πλευρά του παρόχου δημιούργησε το Ethernet Services Definition Framework(βλ σχήμα 6).Κάθε τύπος υπηρεσίας καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του και

μάλιστα από συγκριμένες παραμέτρους των χαρακτηριστικών του ,όπου δείχνουν τις δυνατότητες ή καλύτερα τις ικανότητες της παρεχόμενης Carrier Ethernet υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες ή καλύτερα τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε υπηρεσίας εφαρμόζονται είτε στα UNI's, είτε στα EVC's, είτε και στα δυο.

## 2.6 Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών Ethernet

Τα χαρακτηριστικά των παρεχόμενων Carrier Ethernet υπηρεσιών(βλ σχήμα 7) κατά το MEF είναι:

- Φυσική Διεπαφή Ethernet(Ethernet Physical Interface)
- Παραμετροι Κινησης(Traffic Parameters)
- Παραμετροι Αποδοσης(Performance Parameters)
- Τάξη της υπηρεσιας(Class of service)
- Παράδοση των πλαισίων Υπηρεσιών(Service frame delivery)
- Υποστήριξη ετικέτας νοητών δικτύων(Vlan tag support)
- Πολύπλεξη Υπηρεσιων(Service Multiplexing)
- Ομαδοποιηση(Bundling)
- Φιλτρα Ασφαλείας(Security Filters)



Σχήμα 7.Ethernet Services Attributes

### 2.6.1 Φυσική Διεπαφή Ethernet (Ethernet Physical Interface)

Σε ένα UNI το Ethernet Physical Interface έχει επιμέρους χαρακτηριστικά όπως:

- Φυσικό Μέσο :Το φυσικό μέσο καθορίζεται από τα πρότυπα του 802.3-2000.Κάποια παραδείγματα είναι το 10BaseT, 100BaseSX, 1000BaseLX κτλ.
- Ταχύτητα: Καθορίζεται από την ταχύτητα του μέσου και μπορεί να είναι 10Mbps,100Mbps,1Gbps,10Gbps,100Gbps.
- Τρόπος Λειτουργίας: Καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας του φυσικού μέσου, δηλαδή αν θα λειτουργεί σε full η half duplex η σε κατάσταση auto negotiation.
- Επίπεδο Mac:Καθορίζει ποιο πρότυπο 802.3-2000 υποστηρίζεται στο Ethernet Frame.

### 2.6.2 Παράμετροι της Κίνησης(Προφίλ Εύρους Ζώνης)

Το MEF έχει καθορίσει την ιδιότητα του προφίλ εύρους ζώνης και αφορά ένα UNI ή ένα EVC. Το προφίλ εύρους ζώνης ορίζει τον ρυθμό ταχύτητας με τον οποίο θα διασχίσουν τα frames ένα UNI. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι μπορεί να καθορισθεί από τον συνδρομητή και ανάλογα με τις ανάγκες του, το εγγυημένο εύρος ζώνης θα χρεωθεί από τον παροχο.

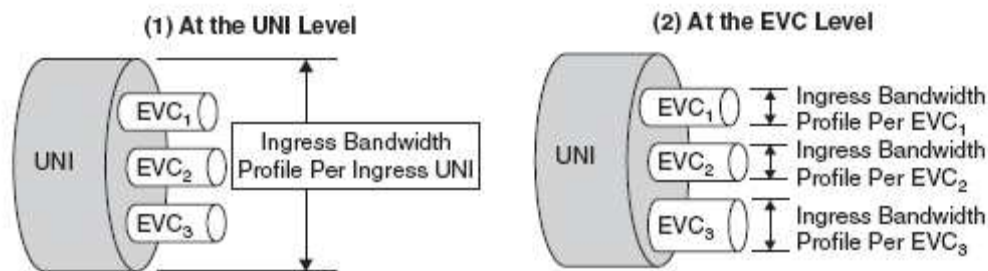
Το προφίλ εύρους ζώνης εξαρτάται άμεσα από τέσσερις παραμέτρους της κίνησης που είναι Committed Information Rate(CIR), Committed Burst Size (CBS), Excess Information Rate (EIR) και Excess Burst Size (EBS).

- Committed Information Rate(CIR):Είναι η ελάχιστη ταχύτητα σε bps που εγγυάται ο πάροχος.
- Committed Burst Size (CBS): Το CBS αντιστοιχεί στον ελάχιστο αριθμό των bytes που πρέπει να είναι διαθέσιμα προκειμένου να ξεκινήσει η μετάδοση της πληροφορίας. Από τη στιγμή που ξεκινά η μετάδοση, δεν είναι δυνατόν να διακοπεί, πάρα μόνο αν δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα να στείλει.
- Excess Information Rate (EIR): χρησιμοποιείται για να ελέγξει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ενός εικονικού κυκλώματος, όταν δεν υπάρχει συμφόρηση του δικτύου.
- Excess Burst Size (EBS):είναι το όριο για το μέγιστο αριθμό της επιπλέον κίνησης που μπορεί να περάσει από ένα enc.

Από το MEF έχουν προσδιορισθεί δυο τύποι για το προφίλ εύρους ζώνης οι οποίοι εστιάζουν στην εισερχόμενη κίνηση.

- Εισερχόμενο προφίλ εύρους ζώνης ανά εισερχόμενο UNI(βλ σχήμα 8(1)):Όλη η εισερχόμενη κίνηση, δηλαδή η ροή δεδομένων από τον παροχο υπηρεσιών που εισέρχεται στο ίδιο UNI θα έχει συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Ο έλεγχος του ρυθμού θα γίνει με τις παραμέτρους της κίνησης EIR και CIR.

- Εισερχόμενο προφίλ εύρους ζώνης ανά EVC(βλ σχήμα 8(2)): Όλη η εισερχόμενη κίνηση, δηλαδή η ροή δεδομένων από τον παροχο υπηρεσίας που εισέρχεται σε διαφορετικά UNI's τα οποία ανήκουν στο ίδιο EVC,θα έχει συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Ο έλεγχος του ρυθμού θα γίνει με τις παραμέτρους της κίνησης EIR και CIR.



Σχημα 8. Bandwidth Profile Types

### 2.6.3 Παράμετροι Απόδοσης(Performance Parameters)

Τα χαρακτηριστικά της επίδοσης τα οποία επηρεάζουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες από τον παροχο είναι :

- Διαθεσιμότητα(Availability): Η διαθεσιμότητα μπορεί να εγγυηθεί με συμβόλαιο εγγύησης της υπηρεσίας.
- Καθυστέρηση(Frame Delay): Σημαντική παράμετρος που έχει αντίκτυπο σε πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου και ορίζεται ως η μέγιστη καθυστέρηση που προσμετράτε σε ποσοστό επί τοις εκατό με επιτυχία.
- Διακύμανση Καθυστέρησης(Frame Jitter): Παράμετρος διακύμανσης καθυστέρησης που έχει επίσης πολύ σημαντικό αντίκτυπο σε πολυμεσικές εφαρμογές. Τέτοιες εφαρμογές απαιτούν χαμηλή οριοθέτηση της μεταβολής καθυστέρησης προκειμένου να λειτουργήσει απρόσκοπτα.
- Απώλεια πακέτων(Frame loss): Παράμετρος απώλειας της πληροφορίας που ορίζεται με ποσοστό επί τοις εκατό της απώλειας των frames μεταξύ των δυο UNI's.

### 2.6.4 Κλάση Ποιότητας Υπηρεσίας(Class of Service :CoS)

Η Κλάση Ποιότητας Υπηρεσίας (Class of Service - CoS) δίνει τη δυνατότητα διαφορετικής αντιμετώπισης των εφαρμογών. Εφαρμογές ευαίσθητες στην καθυστέρηση ή στη δέσμευση χωρητικότητας έχουν διαφορετική αντιμετώπιση από τους δικτυακούς πόρους των παροχων υπηρεσιών. Η κλάση ποιότητας της υπηρεσίας μπορεί να εφαρμόσει είτε ανά :

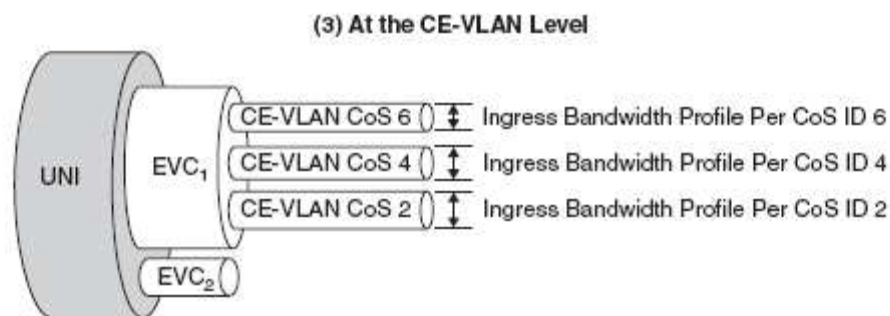
- Φυσική θύρα:Υπάρχει η δυνατότητα διαφοροποίησης στην κλάση ποιότητας της υπηρεσίας ανά θύρα στην οποία εισέρχονται και έρχονται δεδομένα. Όλη η κίνηση που εισέρχεται και εξέρχεται από την θύρα θα έχει το ίδιο Cos.



- Customer Equipment VLAN (CE-VLAN or 802.1p): Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα πεδίο 3-bit μέσα σε ένα Ethernet frame. Προσδιορίζει μια τιμή προτεραιότητας μεταξύ 0 και 7 και χρησιμοποιείται για τη διαφοροποίηση της κυκλοφορίας.

Η κλάση της ποιότητας της υπηρεσίας μπορεί να εφαρμοστεί και ανά προφίλ εύρους ζώνης. Οπότε εισάγεται ένας νέος τύπος προφίλ, ο τρίτος στη σειρά που είναι :

- Εισερχόμενο προφίλ εύρους ζώνης ανά κλάση της ποιότητας της υπηρεσίας (βλ σχήμα 9): Τα frames που προέρχονται από τον παροχο υπηρεσιών και ανήκουν ίδια κλάση ποιότητας της υπηρεσίας (και αφορούν το ίδιο EVC) θα έχουν συγκεκριμένο εύρος ζώνης.



Σχήμα 9. Bandwidth Profile-Cos

## 2.6.5 Μετάδοση πληροφορίας

Ένα EVC επιτρέπει την μετάδοση της πληροφορίας ανάμεσα στα UNI's που ανήκουν σε αυτό. Τα frames μπορεί να είναι data frames, control frames και management frames. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι μετάδοσης της πληροφορίας, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

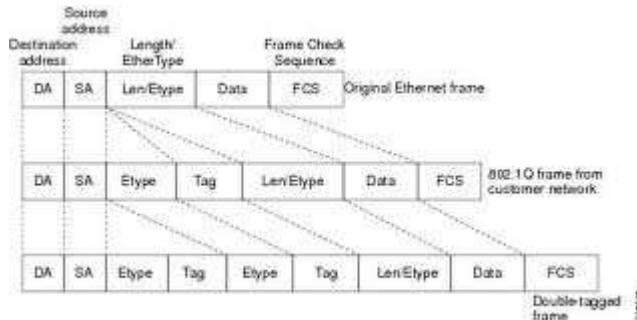
- Μετάδοση Unicast Frames: Το unicast frame καθορίζεται από την φυσική διεύθυνση του παραλήπτη. Το EVC μπορεί και καθορίζει ποια frames παραδόθηκαν ή απερρίφθησαν μεταξύ των UNI's.
- Μετάδοση Multicast Frames: Τα multicast frames αφορούν μια ομάδα από φυσικές διευθύνσεις καθώς και ζευγάρια UNI's. Το EVC μπορεί και καθορίζει ποια frames παραδόθηκαν ή απερρίφθησαν μεταξύ των UNI's.
- Μετάδοση Broadcast Frames: Τα broadcast frames αφορούν όλα τα ζευγάρια UNI's στο EVC. Το EVC μπορεί και καθορίζει ποια frames παραδόθηκαν ή απερρίφθησαν μεταξύ των UNI's.

## 2.6.6 Υποστήριξη ετικέτας νοητών δικτύων (Vlan tag support)

### 2.6.6.1 Vlan Tagging

Η υποστήριξη της υπηρεσίας vlan tagging (βλ σχήμα 10) επιτρέπει στα Ethernet services frames να γίνουν tagged μέσα από το πρωτόκολλο 802.1. Το tagging των frames επιτρέπει στα UNI's να γνωρίζουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το vlan id όπου προορίζεται κάθε frame .

Τα Vlan's των συνδρομητών ονομάζονται customers vlan ή C-Vlan.



Σχήμα 10. Vlan tag

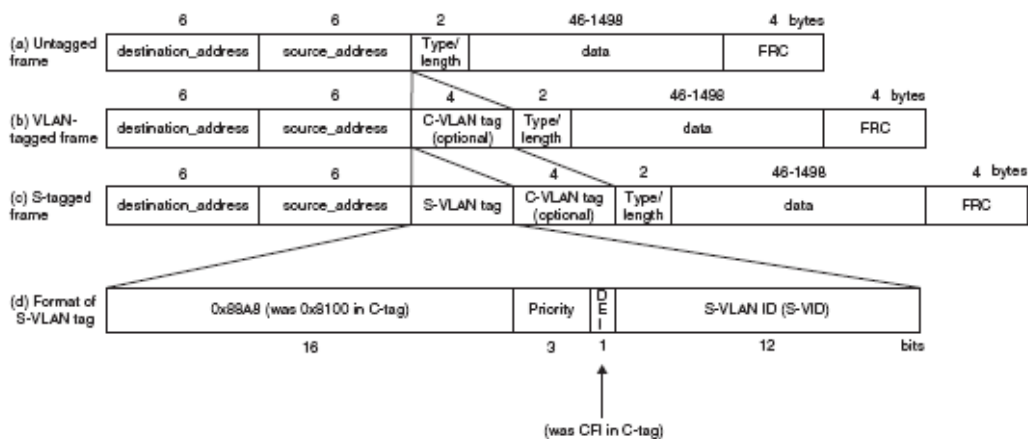
### 2.6.6.2 Provider Bridges—Q-in-Q

Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω το 802.1q χρησιμοποιείται από τους συνδρομητές για το tagging των Ethernet frames. Μόλις οι παροχείς υπηρεσιών ξεκίνησαν να εφαρμόζουν τη vlans τεχνολογία στα δικά τους δίκτυα, προέκυψε η ανάγκη για δικό τους πλέον πρωτόκολλο tagging.

Το πρωτόκολλο αυτό είναι το 802.1ad(provider bridges) και επέτρεψε στους παροχείς υπηρεσιών να προσθέτουν στο frame των συνδρομητών ένα επιπλέον tag το οποίο ονομάζεται Service Vlan Id ή S-Vid. Πλέον τα frames που μεταδίδονται μέσα από του παροχούς θα έχουν και το C-tag (από το C-Vlan) και το S-tag(από το S-Vlan). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Q in Q(βλ σχήμα 11).

Τα frames που βρίσκονται στο δίκτυο των παροχών θα προωθούνται με βάση το S-Vlan tag ενώ στο δίκτυο των χρηστών θα προωθούνται με βάση το C-Vlan tag.

Με το 802.1ad οι παροχεί υπηρεσιών κατάφεραν να επεκτείνουν τον αριθμό των vlans που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν και γενικότερα να αντιμετωπίσουν τη σχέση χρηστών-vlan με περισσότερη ευελιξία.



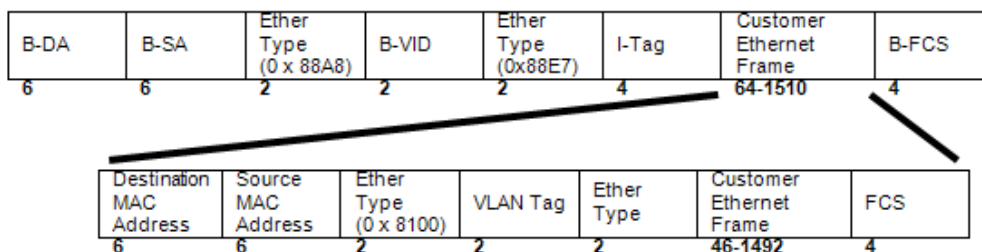
Σχήμα 11. Q in Q frames

## 2.6.7 Backbone Bridges—MAC-in-MAC

Το Q in Q παρότι έλυσε το πρόβλημα σχετικά με τον αριθμό των vlans δεν έδινε σιγουριά για την οριστική διαφοροποίηση των παροχων από τους συνδρομητές. Το 802.1ah (Provider Backbone Bridges ή Mac in Mac) κατάφερε να επιτρέψει την πραγματική ιεραρχική κλιμάκωση ανάμεσα στα δίκτυα των παρόχων και των πελατών.

Το PBB ενθλακώνει το Ethernet frame σε ένα άλλο Ethernet frame με mac addresses που αφορούν το δίκτυο του παρόχου. Το νέο frame εμπεριέχει φυσικά το native αλλά και source και destination mac addresses, το backbone Vlan-id (B-Vid) και το backbone service id(I-Sid).Το backbone Vlan-id χρησιμοποιείται προκειμένου να καθορίσει ο πάροχος τα μονοπάτια που θα διανύσει το frame στο δίκτυο του ενώ το backbone service id επιτρέπει τον καθορισμό των πελατών και την δημιουργία qos ανά πελάτη και όχι πλέον ανά vlan.

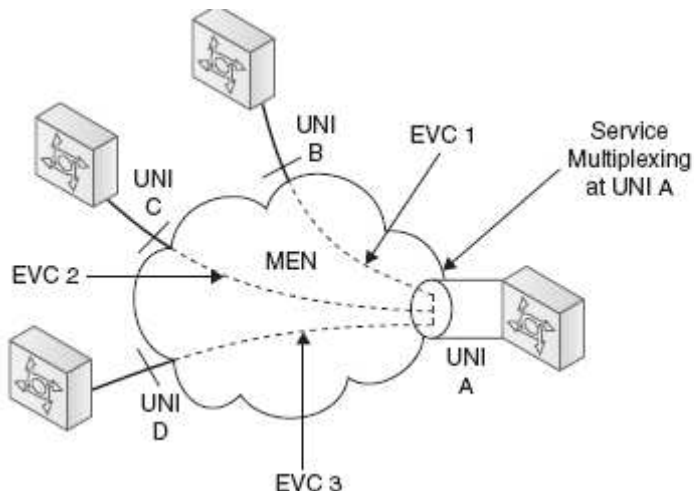
Επειδή υπάρχει εκ νέου ενθυλάκωση στο Ethernet Frame και ο πάροχος χρησιμοποιεί δικές του Mac Addresses για την προώθηση της πληροφορίας ονομάστηκε ως τεχνική Mac in Mac(βλ σχήμα 12).



Σχήμα 12. Mac in Mac frames

## 2.6.8 Πολυπλεξη Υπηρεσιών (Service Multiplexing)

Η πολυπλεξη των υπηρεσιών επιτρέπει σε ένα UNI να υποστηρίξει πολλαπλά EVC. Η υποστήριξη πολλαπλών EVC(βλ σχήμα 13) στην ουσία αποτρέπει την ύπαρξη επιπλέον φυσικών διεπαφών, δηλαδή επιπλέον κόστους για εξοπλισμό.



Σχημα 13. Service Multiplexing

### 2.6.9 Ομαδοποίηση (Bundling)

Η ομαδοποίηση επιτρέπει σε δυο ή περισσότερα Vlan id's από την πλευρά των συνδρομητών να αντιστοιχίζονται σε ένα μόνο EVC ενός UNI. Η ομαδοποίηση των vlan's συμφωνείται μεταξύ του παροχού υπηρεσιών και του συνδρομητή.

### 2.6.10 Φίλτρα Ασφάλειας (Security Filters)

Τα φίλτρα ασφάλειας εφαρμόζονται στα UNI's και τους επιτρέπουν να φιλτράρουν τα Ethernet Frames και να αποδέχονται μόνο την πληροφορία που θεωρούν ασφαλή. Ο έλεγχος θα είναι βασισμένος στις source και destination mac ενός frame.

## 2.7 Τύποι συνδεσιμότητας

Το MEF έχει ορίσει τρεις γενικές κατηγορίες συνδεσιμότητας για το Carrier Ethernet. Αυτές είναι :

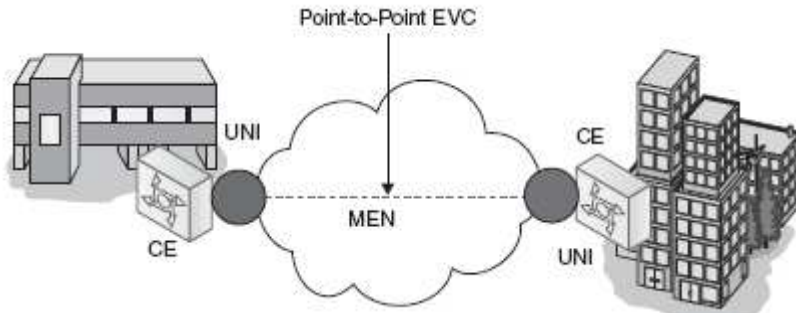
- E-LINE
- E-LAN
- E-TREE

Όλες οι υπηρεσίες του Carrier Ethernet θα ανήκουν σε μια από τις τρεις κατηγορίες και θα διαφοροποιούνται από τις παραμέτρους των υπηρεσιών για το EVC και το UNI.

### 2.7.1 Ethernet Line (E-LINE) Service

Πρόκειται για μια point to point σύνδεση ανάμεσα σε δυο UNI's. Υπάρχουν επιλογές για την σύνδεση που έχουν να κάνουν τόσο με το εύρος ζώνης όσο και με την εγγύηση της απόδοσης κατά την μετάδοση της πληροφορίας. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί πολυπλεξία μεταξύ των UNI's, δηλαδή θα μπορούν να δημιουργηθούν περισσότερες από μια E-LINE συνδέσεις στην ίδια φυσική θύρα του

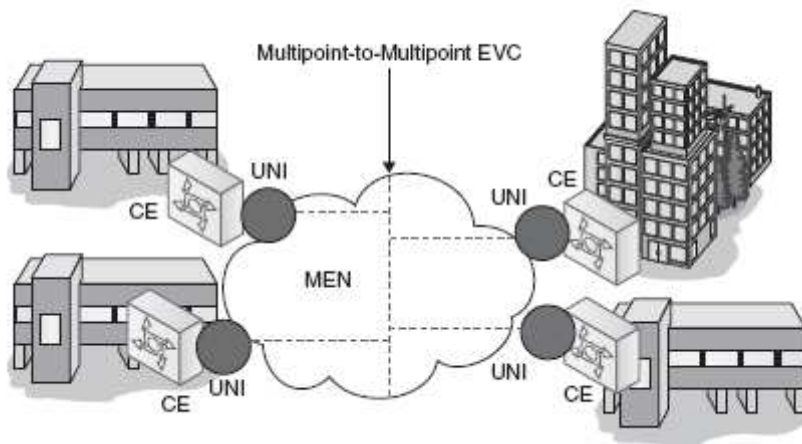
UNI. Η υπηρεσία E-LINE (βλ σχήμα 14) χωρίς την πολυπλεξία έχει κοινά στοιχεία με τις παραδοσιακές leased lines συνδέσεις.



Σχήμα 14. E-LINE service

### 2.7.2 Ethernet LAN (E-LAN) Service

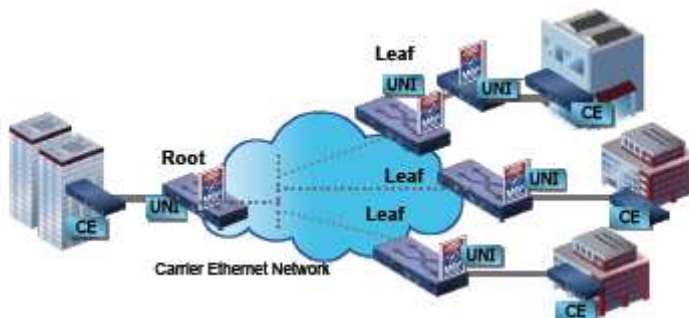
Πρόκειται για μια multipoint to multipoint σύνδεση της οποίας μέλη είναι μια πλειάδα από UNI's όπου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Υπάρχουν επιλογές κατά την σύνδεση που έχουν να κάνουν τόσο με το εύρος ζώνης όσο και με την εγγύηση της απόδοσης κατά την μετάδοση της πληροφορίας. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί πολυπλεξία μεταξύ των UNI's, δηλαδή θα μπορούν να δημιουργηθούν περισσότερες από μια E-LAN συνδέσεις (βλ σχήμα 15) στην ίδια φυσική θύρα του UNI.



Σχήμα 15. E-LAN service

### 2.7.3 Ethernet Tree Service

Πρόκειται για μια point to multipoint συνδεση(βλ σχήμα 16).Ορίζεται ένα UNI ως root και τα υπόλοιπα που λαμβανουν μέρος στην συνδεση ως leaves. Καθε leaf μπορεί να μιλαει με ένα root αλλά δεν μπορεί να μιλαει απευθείας με τα υπόλοιπα leaves.



Σχήμα 16.E-Tree service

Σε συνέχεια των παραπάνω το MEF καθόρισε άλλες δυο υποκατηγορίες σύνδεσης ανάλογα με το αν η σύνδεση θα είναι port-based ή vlan-based.

Έτσι κατηγοριοποιούνται οι συνδέσεις σε

- Ethernet Private Line (EPL) (E-LINE Service):Χρησιμοποιεί την υπηρεσία E-LINE επιτρέποντας την point to point σύνδεση ανάμεσα στα UNI's η οποία μπορεί να εγγυηθεί για την ποιότητα της υπηρεσίας. Δεν επιτρέπεται η πολυπλεξία της φυσικής σύνδεσης.
- Ethernet Virtual Private Line (EVPL) (E-LINE Service): Χρησιμοποιεί την υπηρεσία E-LINE επιτρέποντας την point to point σύνδεση ανάμεσα στα UNI's η οποία μπορεί να εγγυηθεί για την ποιότητα της υπηρεσίας. Στη σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται πολυπλεξία δημιουργώντας πολλαπλές λογικές συνδέσεις μέσα στην φυσική σύνδεση.
- Ethernet Private LAN (E-PLAN) (E-LAN Service ):Χρησιμοποιεί την υπηρεσία E-LAN επιτρέποντας την σύνδεση multipoint to multipoint μεταξύ των UNI's δημιουργώντας στην ουσία ένα lan με απομακρυσμένα σημεία.
- Ethernet Virtual Private LAN (EVPLAN) (E-LAN Service): Χρησιμοποιεί την υπηρεσία E-LAN επιτρέποντας την σύνδεση multipoint to multipoint μεταξύ των UNI's δημιουργώντας στην ουσία ένα lan με απομακρυσμένα σημεία.Με αυτή την σύνδεση υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω κλιμάκωση καθώς μπορείς να δημιουργήσεις επιπλέον virtual domains στο ήδη multipoint to multipoint δίκτυο σου μεταξύ των UNI's.

## **2.8 Πλεονεκτηματα Carrier Ethernet**

Η εφαρμογή του Carrier Ethernet στα στα δίκτυα των παροχων και η παροχή του πλέον σαν υπηρεσία στους τελικούς χρήστες ακολουθείται από μια σειρά από πλεονεκτηματα τόσο για τους ίδιους τους παρόχους όσο και για τους συνδρομητες.

Όσον αφορά τους συνδρομητες αναμενεται να χρησιμοποιησουν μια υπηρεσία που ήδη γνωρίζουν(λογω υπαρξης του Ethernet),ευελικτη σε ευρος ζώνης και πολύ πιο οικονομική.Ενω από την πλευρα των παρόχων θα έχουν την δυνατοτητα να παρέχουν περισσοτερες υπηρεσιες με μεγαλυτερη κλιμακωση ανα συνδρομητη και με χαμηλοτερα λειτουργικα κοστη.

## **2.9 Σύνοψη**

Το Carrier Ethernet αποτελεί την μετεξέλιξη του Native Ethernet με επιπλέον χαρακτηριστικά που το καθιστούν ικανό να λειτουργήσει σε πολύ μεγαλύτερα δίκτυα όπως είναι αυτά των παρόχων υπηρεσιων. Την ικανότητα αυτή χρησιμοποιούν ήδη οι παροχοι παρέχοντας το Carrier Ethernet στους συνδρομητές τους ως υπηρεσία. Το Carrier Ethernet παρέχει υψηλά ποσοστά διαλειτουργικότητας με τα ήδη υπάρχοντα τοπικά δίκτυα ενώ παρέχει χαμηλά κόστη υλικοτεχνικής υποδομής για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Ο συνδυασμός αυτών των δυο χαρακτηριστικών επιτρέπει την ολοένα και μεγαλύτερη αποδοχή του.

## **3 QUALITY OF SERVICE**

### **3.1 Γενικά**

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και πλήρης ανάλυση των χαρακτηριστικών της ποιότητας της υπηρεσίας(Quality Of Service).Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές, η αρχιτεκτονική, το μοντέλο λειτουργίας και η χρησιμότητα της στα δίκτυα σύγκλισης.

### **3.2 Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ολένα και ταχύτερη ανάπτυξη τόσο στις εφαρμογές των τελικών χρηστών όσο και στη διαφορετικότητα των τύπων της μεταδιδόμενης δικτυακής κίνησης(δεδομένα,φωνή,video).Οι διαφορετικοί τύποι εφαρμογών με τη σειρά τους παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερες απαιτήσεις δικτυακών πόρων.Η ανάγκη τόσο για μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα των εφαρμογών αλλά και για καλύτερη διαχείριση στο σύνολο της μεταδιδόμενης κίνησης όδηγησε στη εισαγωγή πολιτικών δικτυακής κίνησης.Οι πολιτικές δικτυακής κίνησης διαχειρίζονται την πληροφορία ορίζοντας προτεραιότητες ανάλογα με την κρισιμότητα της και αποτελούν δομικό στοιχείο της ποιότητας της υπηρεσίας(quality of service).

Η ποιότητα της υπηρεσίας επέτρεψε στους διαχειριστές των δικτύων να σταθούν πιο έτοιμοι στις προκλήσεις των αυξημένων αναγκών των εφαρμογών αλλά και στις αυξημένες απαιτήσεις των δικτύων σύγκλισης.

### **3.3 Ορισμός**

Ένας πολύ απλός αλλά ταυτόχρονα ουσιαστικός ορισμός για την ποιότητα της υπηρεσίας είναι:

"Ποιότητα της Υπηρεσίας είναι η δυνατότητα του δικτύου να παρέχει ειδικές ή ξεχωριστές υπηρεσίες σε επιλεγμένους χρήστες η εφαρμογές, σε βάρος άλλων χρηστών η εφαρμογών."

### **3.4 Χαρακτηριστικά QOS**

Για την καλύτερη κατανόηση της ποιότητας της υπηρεσίας είναι σκόπιμο να γίνουν κάποιες παραδοχές και να επεξηγηθούν οι βασικές συνιστώσες της.

Η παραδοχή είναι ότι πλέον θα γίνεται αναφορά σε δίκτυα σύγκλισης.Δηλαδή δίκτυα τα οποία μπορούν και μεταδίδουν ταυτόχρονα πακέτα φωνής, δεδομένων και video παρέχοντας υψηλα ποσοστά απόδοσης και αξιοπιστίας στις εφαρμογές των τελικών χρηστών.

Η απόδοση και η αξιοπιστία ενός δικτύου σύγκλισης εξαρταται άμεσα από συγκεκριμένες παραμέτρους οι οποίες αποτελούν και τις βασικές συνιστώσες της ποιότητας της υπηρεσίας.Αυτές είναι :



- **Bandwidth Capacity** (ικανότητα εύρους ζώνης) : Η ικανότητα του δικτύου να μπορεί να μεταδώσει γρήγορα πακέτα φωνής, δεδομένων και video.
- **Delay** (καθυστέρηση) : Ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο πληροφορίας για να φτάσει από τον αποστολέα στον τελικό παραλήπτη. Συνήθως ο χρόνος αυτός ονομάζεται και end to end delay.
- **Jitter** (διακύμανση της καθυστέρησης) : Είναι η διακύμανση της καθυστέρησης η οποία φαίνεται απο την διαφορά στην καθυστέρηση μετάδοσης end to end ανάμεσα σε δυο πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή πληροφορίας.
- **Packet Loss** (απώλεια πακέτων) : Η απώλεια πακέτων κατα την μετάδοση απο τον αποστολέα στον παραλήπτη σε ένα δίκτυο.

Σκοπός της ποιότητας της υπηρεσίας είναι να επιτρέψει στα δίκτυα σύγκλισης την δυνατότητα για παροχή δικτυακών υπηρεσιών ελεγχόμενου delay και jitter, ελεγχόμενης ικανότητας παροχής εύρους ζώνης και ελαχιστοποίησης των ποσοστών απώλειας πακέτων.

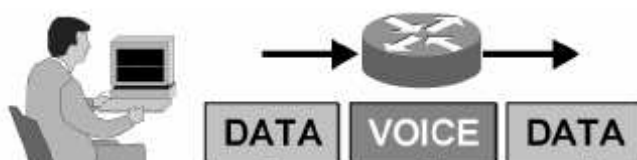
## 3.5 Βασικά Βήματα Qos

Κατά την εφαρμογή της ποιότητας της υπηρεσίας σε ένα δίκτυο σύγκλισης διακρίνονται τρία σημαντικά βήματα.

### 3.5.1 Αναγνώριση των διαφορετικών τύπων της δικτυακής κίνησης

Σε κάθε δίκτυο σύγκλισης υπάρχουν διαφορετικού τύπου δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές δικτυακές απαιτήσεις. Η αναγνώριση των διαφορετικών τύπων της δικτυακής κίνησης έχει απώτερο σκοπό την πλήρη κατηγοριοποίηση τους για την χρήση πολιτικών κίνησης ανα τύπο. Συνήθως υπάρχει η βασική κατηγοριοποίηση σε πακέτα φωνής, video και δεδομένων (βλ σχημα 17).

- Τα πακέτα φωνής και video έχουν απαιτήσεις ικανού εύρους ζώνης για την μετάδοση τους, η καθυστέρηση δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 150 ms, η διακύμανση της καθυστέρησης τα 30 ms ενώ το ποσοστό απώλειας πακέτων το 1%.
- Τα πακέτα των δεδομένων είναι πιο ευέλικτα σχετικά με τις δικτυακές τους απαιτήσεις. Καταρχήν οι περισσότερες εφαρμογές δεδομένων χρησιμοποιούν το πρωτοκολλο tcp, όπου καθιστά την end to end επικοινωνία αξιόπιστη εξαλείφοντας ουσιαστικά τις απώλειες πακέτων. Ανάλογα λοιπόν την κρισιμότητα της εφαρμογής για κάθε επιχείρηση ή οργανισμό διακρίνονται επιπλέον κατηγορίες για τις εφαρμογές δεδομένων.

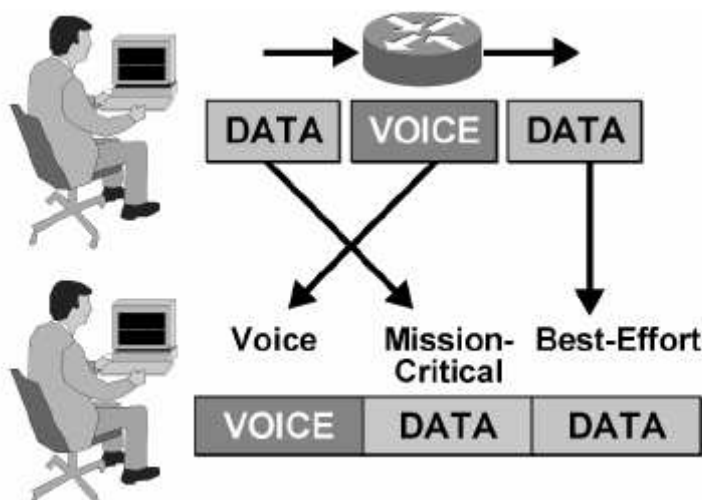


Σχημα 17. Αναγνώριση των διαφορετικών τύπων της δικτυακής κίνησης

### 3.5.2 Κατηγοριοποίηση της κίνησης

Η κατηγοριοποίηση της κίνησης θα γίνει με βάση την παροχή της ίδιας ποιότητας της υπηρεσίας ανα κατηγορία. Δηλαδή θα υπάρξουν κατηγορίες για δεδομένα φωνής, για κρίσιμες εφαρμογές του οργανισμού, για εφαρμογές που δεν μας ενδιαφέρει τόσο η γρήγορη μετάδοσή τους κτλ.

Η κατηγοριοποίηση της κίνησης αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα στην εφαρμογή της ποιότητας της υπηρεσίας. Τυχόν λάθος θα αποφέρει προβλήματα στη γενικότερη λειτουργία ενός δικτύου έχοντας σημαντικό αντίκτυπο στην αποδοχή και αξιοπιστία του (βλ σχήμα 18).



Σχημα 18. Κατηγοριοποίηση της κίνησης

### 3.5.3 Καθορισμός των πολιτικών δικτυακής κίνησης

Το τελευταίο βήμα έχει να κάνει με τον καθορισμό πολιτικών δικτυακής κίνησης ανα κατηγορία κίνησης (βλ σχήμα 19). Ανάλογα λοιπόν τις απαιτήσεις κάθε κατηγορίας δημιουργούνται πολιτικές με τις οποίες τα πακέτα έχουν διαφορετική αντιμετώπιση κατά την μεταδοσή τους από τον αποστολέα έως τον τελικό παραλήπτη. Οι πολιτικές αυτές σχετίζονται με:

- Καθορισμός ελάχιστου εύρου ζώνης ανα κατηγορία
- Καθορισμός μέγιστου εύρου ζώνης ανα κατηγορία
- Ανάθεση προτεραιοτήτων στην ροή της κίνησης ανα κατηγορία
- Ο καθορισμός πολιτικών ποιότητας της υπηρεσίας σε ένα δίκτυο σύγκλισης έχει ιδιαίτερη σημασία και αντίστοιχη βαρύτητα με τις πολιτικές ασφαλείας ενός δικτύου.



Σχημα 19.Καθορισμός πολιτικων δικτυακής κινησης

### 3.6 Μοντέλα παροχής Ποιότητας της Υπηρεσίας

Η ποιότητα της υπηρεσίας διακρίνεται σε τρία μοντέλα τα οποία περιγράφουν την εφαρμογή της στα δίκτυα σύγκλισης. Το πρώτο μοντέλο είναι το Best-Effort με το οποίο ουσιαστικά δεν εφαρμόζεται η ποιότητα της υπηρεσίας στην ροή της μεταδιδόμενης πληροφορίας και δεν μπορεί να εγγυηθεί την μετάδοση των δεδομένων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη. Το δεύτερο μοντέλο είναι το Integrated Services (IntServ) το οποίο δεσμεύει συγκεκριμένους πόρους εύρους ζώνης ανα ροή της πληροφορίας και εγγυάται την μετάδοση της πληροφορίας από άκρο εις άκρο. Το τρίτο μοντέλο είναι το Differentiate Service (DiffServ) το οποίο εφαρμόζει την ποιότητα της υπηρεσίας ανά πακέτο χρησιμοποιώντας πεδιά από την επικεφαλίδα του Ipv4 και όχι ανα ροή πληροφορίας όπως το Intserv. Το DiffServ εγγυάται την μετάδοση της επικοινωνίας από άκρο εις άκρο ενώ αποτελεί το πιο ευέλικτο μοντέλο εφαρμογής της ποιότητας της υπηρεσίας. Ακολουθεί αναλυτική αναφορά των μοντέλων εφαρμογής. Τα τρία μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν ταυτόχρονα σε οποιοδήποτε δίκτυο σύγκλισης.

#### 3.6.1 Μοντέλο Best-Effort

Το μοντέλο εφαρμογής best-effort κυριάρχησε και συνεχίζει να λειτουργεί στη μετάδοση πληροφορίας στο διαδίκτυο. Ουσιαστικά το μοντέλο αυτό δεν κάνει χρήση της ποιότητας της υπηρεσίας στη μετάδοση της πληροφορίας και για αυτό τον λόγο δεν μπορεί να εγγυηθεί την μεταφορά δικτυακής κίνησης από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Όλη η δικτυακή κίνηση μεταχειρίζεται το ίδιο είτε πρόκειται για πακέτα φωνής, video ή δεδομένων, χωρίς φυσικά να υπάρχουν επιπλέον προτεραιότητες. Το ότι είναι Best-Effort δεν σημαίνει ότι η πληροφορία δεν θα διαβιβαστεί στον τελικό παραλήπτη, απλά δεν είναι εγγυημένη. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν tcp έχουν ένα προβαδισμα σε αυτό το μοντέλο καθώς το πρωτόκολλο εγγυάται την μετάδοση της πληροφορίας. Τι γίνεται όμως για τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν udp, όπου είναι εφαρμογές κυρίως φωνής και video; Οι εφαρμογές αυτές είναι εξαιρετικά δύσκολο να λειτουργήσουν με το μέγιστο της απόδοσης τους καθώς δεν πρέπει να ξεπερνούν τα κατωφλια καθυστέρησης, διακύμανσης καθυστέρησης και απώλειας πακέτων που ορίσαμε παραπάνω.

#### 3.6.2 Μοντέλο IntServ

Η μετάδοση πακέτων φωνής και δεδομένων, χρειάζεται εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, που φυσικά το best-effort μοντέλο δεν μπορούσε να την παρέχει. Το μοντέλο Intserv κατάφερε να εγγυηθεί την ποιότητα

της υπηρεσίας από άκρο εις άκρο για την μεταδοση των δεδομενων, με κάπως δύσκαμπτο τρόπο για τις απαιτησεις της νέας γενιάς δικτυων. Η λειτουργία του μοντέλου IntServ επέτασσε την δεσμευση συγκεκριμενων πορων ευρους ζωνης για την μετάδοση της πληροφορίας. Ανεξάρτητα από το αν χρειαζοταν όλο το δεσμευμενο ευρος ζωνης, θα παρεμενε δεσμευμενο. Το μοντέλο IntServ χαρακτηριστηκε και ως δυσκαμπτη ποιότητα υπηρεσίας (hard qos). Η δυσκαμπτη ποιότητα υπηρεσίας παρουσιάζει μεγάλη λειτουργικότητα καθώς εγγυαται συγκεκριμένο ευρος ζωνης με συγκεκριμενα ποσοστα καθυστερησης, διακυμανσης καθυστερησης και απωλειας πακέτων κατά την μεταδοση από ακρο εις ακρο αλλά σε περιπτωση αναγκης επιπλεον δικτυακων πορων για την μεταφορα επιπροσθετης κίνησης παρουσιάζει σημαντικα προβληματα. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως στατικη ποιότητα υπηρεσίας.

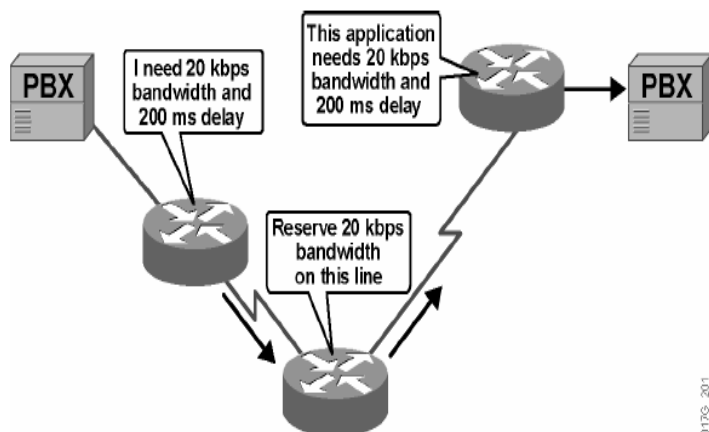
Κατά την δημιουργία μιας συνδεσης μεταξύ δυο άκρων διαπραγματευονται τις παραμετρος της ποιότητας της υπηρεσίας και χρησιμοποιώντας το Call Admission Control συμφωνουν οτι οποιαδήποτε νεα προσθηκη δικτυακου φορτου δεν θα επηρεασσει τις λαμβανομενες εγγυησεις.

Για την δεσμευση πορων ευρους ζωνης χρησιμοποιειται το πρωτοκολλο RSVP. Το RSVP επιτρεπει στις εφαρμογες να δεσμευσουν το απαιτητο ευρος ζώνης (βλ σχημα 20) και να ζητησουν συγκεκριμενη ποιότητα της υπηρεσίας για την μεταδοση ροης δεδομενων από ακρο εις ακρο. Το RSVP έχει την δυνατοτητα για δυο διαφορετικους τυπους λειτουργίας.

- Best-Effort
- Εγγυημένο (Guaranteed)
- Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load)

Ο πρώτος στην ουσία δεν παρέχει καθολου ποιότητα της υπηρεσίας, ο δευτερος παρέχει αυστηρά καθορισμένα όρια καθυστέρησης και είναι κατάλληλος για υπηρεσίες πολυμέσων (μεταφορά ήχου ή εικόνας). Ο τρίτος, ισοδυναμεί με best – effort σε συνθήκες μη φορτωμένου δικτύου. Ωστόσο, όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο, η ποιότητα υπηρεσίας των ροών αυτού του τύπου δεν επιδεινώνεται. Είναι κατάλληλος για εφαρμογές όπου είναι ανεκτή κάποια καθυστέρηση ή και απώλεια πακέτων, όπως η εφαρμογή Video on Demand. Υπηρεσίες αυτού του είδους ονομάζονται προσαρμοζόμενες υπηρεσίες πραγματικού.

Το μοντέλο IntServ μπορεί να παρέχει τις ισχυρότερες δυνατές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας για την μεταδοση ροων πληροφορίας σε δίκτυα συγκλισης, αλλά είναι φανερό οι αφυναμίες κλιμάκωσης στην περίπτωση πολλαπλων ροών πληροφορίας στο ίδιο δίκτυο. Επίσης ως κύρια αδυναμία του χαρακτηριζεται το γεγονός ότι πρέπει όλο το μονοπατι που θα διανυσει η πληροφορια να παρέχει τις ιδιες εγγυησεις ποιότητας στις ροες με αποτελεσμα οι ενδιαμεσοι δρομολογητες να επιφορτίζονται με επιπλεον πληροφορία.



Σχημα 20.IntServ Model

### 3.6.3 Μοντέλο DiffServ

Το μοντέλο DiffServ σχεδιαστηκε προκειμένου να ξεπεράσει τα τεχνολογικά όρια και τις αδυναμίες των δυο προηγούμενων μοντέλων. Το DiffServ παρέχει σχεδόν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, ενώ χαρακτηρίζεται σαν ελαφριά ποιότητα υπηρεσίας (soft qos). Κατά τη soft qos, οι παραμετροί της ποιότητας της υπηρεσίας καθορίζονται hop by hop, με τα ενδιαμέσως μονοπατία από την αρχή έως τον τελικό προορισμό να εφαρμόζουν διαφορετικές πολιτικές. Επειδή ουσιαστικά η ποιότητα της υπηρεσίας αλλάζει από βήμα σε βήμα, το μοντέλο DiffServ δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ποιότητα της υπηρεσίας από ακρό εις ακρό, αλλά βεβαίως παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και κλιμακώση κατά την εφαρμογή του.

Κατά την λειτουργία του το DiffServ χωρίζει την δικτυακή κίνηση σε κλάσεις ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκαστοτε οργανισμού. Σε κάθε κλάση αντιστοιχεί ένα επίπεδο υπηρεσίας. Καθώς τα πακέτα διασχίζουν ένα δίκτυο, οι ενδιαμέσως δικτυακές συσκευές αναγνωρίζουν την κλάση που ανήκει το πακέτο και καθορίζουν το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη κλάση. Ο κύριος στόχος του μοντέλου DiffServ που ήταν η ευελιξία της παροχής ποιότητας της υπηρεσίας επετεύχθη, διότι προκειται για ιδιαίτερα δυναμική μορφή.

### 3.6.4 IntServ vs DiffServ

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, μπορούμε να συνοψίσουμε τα χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων, έτσι ώστε να γίνουν πιο ευδιακριτές οι διαφορές τους.

- Το IntServ μοντέλο εγγυάται ποιότητα υπηρεσίας ανά ροή
- Το DiffServ μοντέλο παρέχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, όχι για ροές αλλά για πακέτα πληροφορίας
- Στο IntServ μοντέλο δημιουργείται πολυπλοκότητα στους ενδιάμεσους σταθμούς (δρομολογητές)
- Στο DiffServ μοντέλο η λειτουργικότητα των ενδιαμέσων σταθμών είναι πιο ευκόλη

- Στο IntServ μοντελο η δυνατότητα κλιμακωσης είναι μειωμενη
- Στο DiffServ μοντελο υπάρχει μεγαλη δυνατοτητα κλιμακωσης
- Στο IntServ μοντελο η ποιτητα της υπηρεσίας είναι προσανατολισμενη στην συνδεση απο ακρο εις ακρο
- Στο DiffServ μοντελο η ποιτητα της υπηρεσίας είναι προσανατολισμενη σε πακέτα πληροφορίας

### 3.7 Μηχανισμοί της Ποιοτητας της Υπηρεσίας

Οι μηχανισμοι της ποιτητας της υπηρεσίας χρησιμοποιούνται προκειμένου να εφαρμοσουν τις πολιτικές ποιτητας υπηρεσίας στις δικτυακές συσκευές, που θα διασχίσουν τα πακέτα πληροφορίας. Όταν ένα πακέτο εισέλθει σε ένα δίκτυο "μαρκάρεται" με μια ταυτοτητα κλάσης. Ανάλογα λοιπόν την κλάση του κάθε πακετου ορίζεται καποιος μηχανισμός της ποιτητας της υπηρεσίας όπου θα αποφασίσει αν θα σπευσει στην προωθηση του πακετου, την καθυστέρηση του πακέτου, την συμπίεση του πακετου, τον διαχωρισμό του σε μικροτερα κομματια ή την οριστική αποβολη του από το δίκτυο.

Οι μηχανισμοί ποιτητας της υπηρεσίας επιγραμματικά είναι:

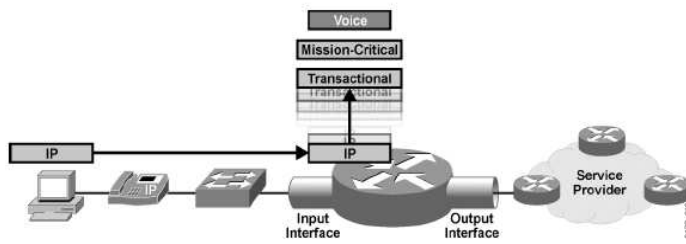
- Ταξινόμηση Πακετων(Packet Classification)
- Σημαδεμα Πακέτων(Marking)
- Διαχειριση Συμφορησης(Congestion Management)
- Αποφυγη Συμφορησης(Congestion Avoidance)
- Πολιτικές & Σχηματισμός(Policing and Shaping)
- Αποτελεσματικοτητα Σύνδεσης(Link Efficiency)

Ακολουθεί αναλυτικη αναφορά στους μηχανισμούς ποιτητας της υπηρεσίας.

#### 3.7.1 Ταξινόμηση Πακετων(Packet Classification)

Η ταξινόμηση των πακέτων γίνεται αναγνωρίζοντας και διασπώντας την δικτυακή κίνηση σε τάξεις και εφαρμοζεται κατά την είσοδο της δικτυακής κίνησης στο δίκτυο(βλ σχημα 21). Η ταξινόμηση των πακέτων γίνεται βάση συγκεκριμενων πεδίων του IP Header, τα οποία είναι:

- Differentiated services code point (DSCP)
- IP Precedence
- Source address
- Destination address



Σημα 21.Ταξινομηση Πακετων

### 3.7.2 Σημαδεμα Πακέτων(Marking)

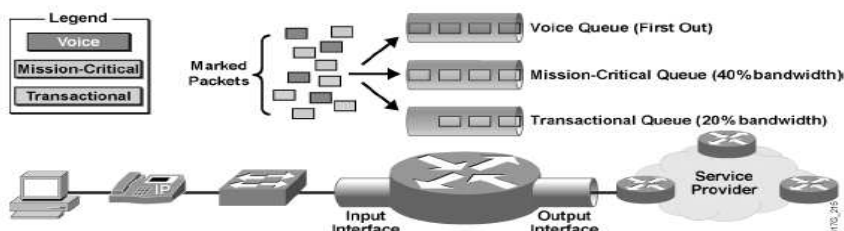
Ο μηχανισμός λειτουργεί σημαδεύοντας ένα πακετο ως μελος μιας συγκεκριμένης δικτυακης ταξης ετσι ώστε να αναγνωριζεται καθολη την κινηση του σε ένα δίκτυο.

### 3.7.3 Διαχειριση Συμφορησης(Congestion Management)

Η διαχείρισης συμφόρησης σημαδευει κάθε πακετο ετσι ώστε να αποφασίσει σε ποια ουρα αναμονης θα το τοποθετησει κατά την διαρκεια μιας δικτυακης συμφορησης(βλ σχημα 22).Αναλογα με την ταξινομηση των πακετων θα είναι και η συμπεριφορα του δικτυου,δίνοντας προτεραιότητα σε συγκεκριμενα πακέτα.

Η διαχείριση συμφορησης χρησιμοποιει τις παρακατω μεθοδους:

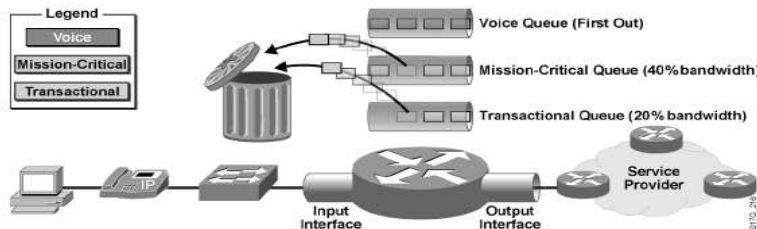
- FIFO
- Weighted fair queuing (WFQ)
- Class-based weighted fair queuing (CBWFQ)
- Low-latency queuing (LLQ)



Σημα 22.Διαχειριση Συμφορησης

### 3.7.4 Αποφυγή Συμφορησης(Congestion Avoidance)

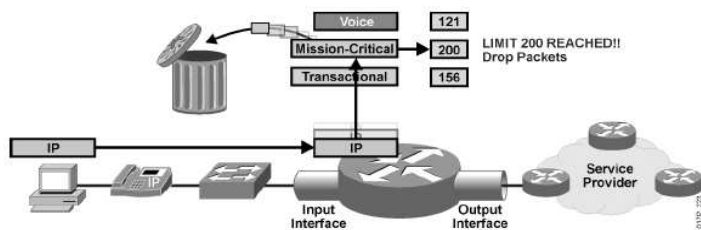
Η αποφυγή συμφορησης επιτυγχανεται με την αποβολη πακέτων από ένα δικτυο.Συνηθως εφαρμόζεται στο τημα του δικτυου(βλ σχημα 23).Φυσικα ο μηχανισμός αυτος δεν μπορει να εφαρμοστει σε δίκτυα τα οποια μεταφερουν πακετα φωνης και video.



Σχημα 23.Αποφυγή Συμφορησης

### 3.7.5 Αστυνομειυση & Σχηματισμός(Policing and Shaping)

Οι μηχανισμοι αυτοι χρησιμοποιουνται σε ένα δίκτυο με σκοπο να ελεγχουν τον ρυθμό της πληροφοριας.Και οι δυο μηχανισμοι χρησιμοποιουν την ταξινομηση προκειμενου να διαφοροποιησουν την δικτυακη κινηση και μετα συγκρινουν τον ρυθμό της, με τις τιμές που έχει ορίσει ως ανωτερες ή κατωτερες ο διαχειριστής.Αναλογα με το αποτελεσμα της συγκρισης εφαρμοζουν τις αντιστοιχες πολιτικές(βλ σχημα 24).Η κυρια διαφορά τους είναι ότι ο μηχανισμός traffic-policing αποβαλλει τα πακετα ενώ ο traffic-shaping τα τοποθετει σε ουρες αναμονης.



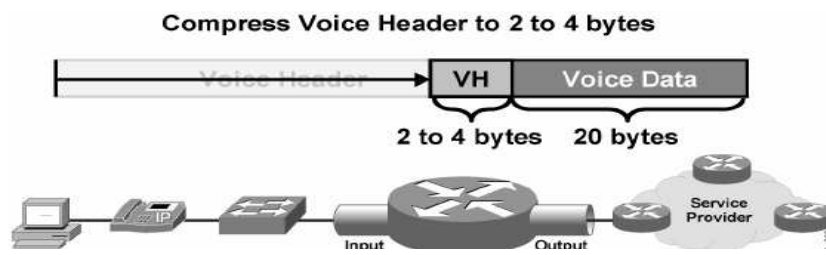
Σχημα 24.Αστυνομειυση και Σχηματισμός

### 3.7.6 Αποτελεσματικότητα Σύνδεσης(Link Efficiency)

Ο μηχανισμός αποτελεσματικότητας της συνδεσης χρησιμοποιει εφαρμογές μέσα από τις οποιες μπορει να διαχειριστει το ευρος ζωνης αποτελεσματικα.Καποιες εφαρμογές που χρησιμοποιουνται είναι :

- Συμπιεση Πακέτων(βλ σχημα 25):Η συμπιεση του Header του RTP (πρωτοκολλου που χρησιμοποιειται για την μεταδοση πακετων φωνην και δεδομενων) δημιουργει ελαφροτερα πακετα,που μεταδιδονται ταχυτερα.
- Θρυμματισμος πακετων:Ο θρυμματισμός των μεγαλων πακετων δεδομενων επιτρέπει στα μικροτερα πακετα φωνης την ταχυτερη μεταδοση τους





Σχημα 25.Αποτελεσματικότητα Συνδεσης

## 4 ΔΙΚΤΥΑ ETHERNET (ETHERNET NETWORKS)

### 4.1 Εισαγωγή

Ενα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια στον χώρο των τηλεπικοινωνιών είναι η ραγδαία αύξηση των αναγκών τους ευρους ζωνής τόσο για τα δίκτυα των παροχών υπηρεσιών όσο και για τα δίκτυα των συνδρομητών. Η ανάγκη για μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ευρους ζωνής οφείλεται τόσο στην αύξηση του πληθους των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο, όσο και στις αυξημένες απαιτήσεις των διαδικτυακών εφαρμογών. Η ανάγκη για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην διαθεσιμότητα του ευρους ζωνής αλλά και στην ευρεση μιας οικονομικής και αποδεκτης λύσης από τους συνδρομητές οδήγησε τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς στην εφαρμογή της από ακρο σε ακρο συνδεσης μέσω του πρωτοκόλλου Ethernet.

### 4.2 Δίκτυο Metro Ethernet

Οι απαιτήσεις για μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ευρους ζωνής αλλά και γενικότερα η ανάγκη για χρήση μιας πιο ευελικτης και από αποψη κόστους πιο οικονομικής τεχνολογικά λύσης οδήγησε τους παρόχους στην εφαρμογή του Ethernet στα μητροπολιτικά δίκτυα ευρείας περιοχής. Όπερ σημαίνει ότι η πληροφορία από άκρο έως άκρο θα μεταδίδεται μέσα σε Ethernet frames, ενώ ο εξοπλισμός του συνδρομητή θα συνδέεται με τον παροχο με ταχυτητες που θα φτάνουν έως και τα 100 Gbps. Το μεγάλο πλεονεκτημα του Ethernet είναι ότι μπορεί να μεταφερθεί πάνω από άλλα πρωτοκόλλα μετάδοσης όπως είναι το Sonet και το Mpls, τα οποία "κρυβουν" τις αδυναμίες του (διότι το ethernet δεν αναπτύχθηκε για την εφαρμογή του σε δίκτυα των παροχών υπηρεσιών) και προσθέτουν τα δικά τους χαρακτηριστικά έτσι ώστε να προκύψει μια αποτελεσματική λύση για τα δίκτυα των παροχών.

### 4.3 MultiProtocol Label Switching

#### 4.3.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο Multi-Protocol Label Switching (MPLS) αποτελεί ένα μηχανισμό προώθησης πακέτων, καθώς δίνει τη δυνατότητα στους δρομολογητές να προωθούν τα MPLS πακέτα βάσει μιας ετικέτας (label) στην επικεφαλίδα τους. Κάθε πακέτο του πρωτοκόλλου MPLS ενθυλακώνει τα IP πακέτα με επικεφαλίδα που αποτελείται από μια αριθμητική ετικέτα 20 bit, ένα πεδίο 3 bit που ονομάζεται Experimental (EXP) και χρησιμοποιείται για την ποιότητα της υπηρεσίας, μια ένδειξη στοίβας ετικετών 1 bit, και ένα πεδίο 8 bit που ονομάζεται Time To Live (TTL) και έχει τον ίδιο ρόλο που είχε και στο πεδίο του IP Header. Το πρωτόκολλο MPLS σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει κάτω από πολλά άλλα πρωτόκολλα (όπως IPX, ATM, PPP, Frame Relay, Ethernet, Token Ring).

Η λειτουργία του Mpls, έχει ιδιαίτερη σημασία στα παρακάτω πεδία :

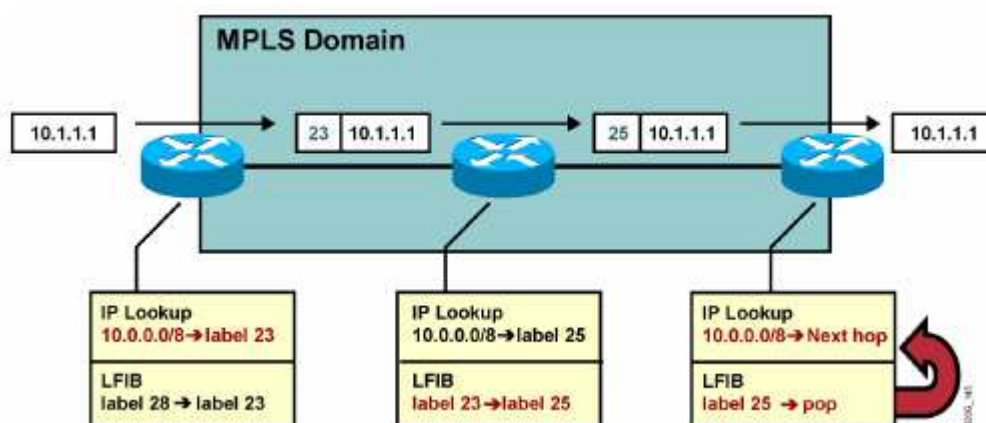
- Αύξηση λειτουργικότητας
- Κλιμάκωση

- Εξέλιξη στην προώθηση της πληροφορίας
- Ολοκλήρωση

### 4.3.2 Ορολογία

Ακολουθούν καποιες ορολογίες που θα φανουν χρήσιμες κατά την αναγνωση του κεφαλαίου.

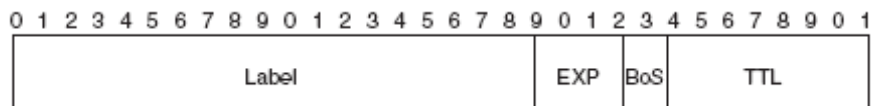
- MPLS network : δίκτυο το οποίο αποτελείται από δικτυακο εξοπλισμό που υποστηρίζει το πρωτοκολλο Mpls
- MPLS Label Switch Router (LSR)(βλ σχημα 26) : ο δρομολογητής που υποστηρίζει το πρωτοκολλο MPLS και έχει την δυνατότητα να προσθέσει, να αφαιρέσει ή να μετατρέψει την ετικέτα ενός πακέτου με σκοπο την προώθηση του στο δικτυο Mpls.Ο LSR με τη σειρα του χωρίζεται σε επιπλεον τρεις κατηγορίες.
- Ingress Edge LSR : ο δρομολογητης ο οποίος δεχεται την εισερχομενη στο mpls δικτυο πληροφορία,επειτα εφαρμοζει ενα ελεγχο δρομολογησης και στη συνεχεια προσθετει στην πληροφορια την ετικετα που της αντιστοιχει.
- Middle LSR : ο δρομολογητης ο οποίος βρικεται στο ενδιαμεσο και απλα μετατρέπει την ετικετα στην πληροφορία.
- Egress Edge LSR:ο δρομολογητης ο οποίος δεχεται την κινηση που ειναι ετοιμη να εξελθει απο το Mpls δικτυο και αφαιρει την ετικετα απο την εξερχομενη πληροφορια.



Σχημα 26. Label Switched Router

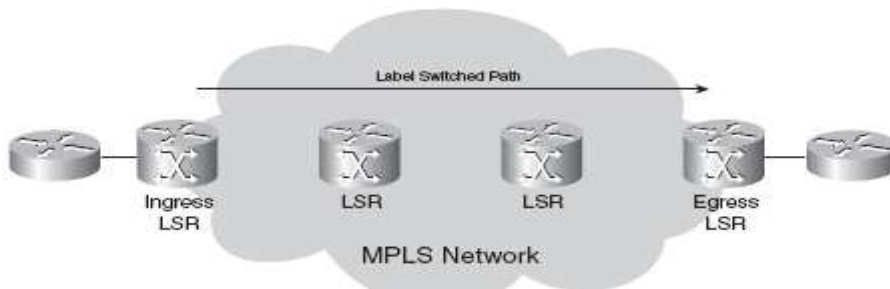
- Forwarding Equivalent Class (FEC) : είναι μια ομάδα πακέτων που προωθείται με τον ίδιο τρόπο (απο το ίδιο μονοπατι και με τους ιδιους ορους προωθησης).

- Mpls Label (βλ σχημα 27): είναι μια αριθμητική ετικετα 32 bit, όπου προστιθεται σε ένα προθεμα του πακέτου και καθορίζει τις προϋποθεσεις και τους προωθητικούς μηχανισμούς που θα εφαρμοστούν στο πακέτο. Τα πρωτα 20 bits καθορίζουν τον αριθμο της ετικέτας, τα επομενα 3 bits (exp) καθορίζει την ποιότητα της υπηρεσίας, το Bos bit καθορίζει αν η ετικέτα είναι στην αρχη ή στο τέλος του σωρου και το TTL έχει ακριβως τον ιδιο ρολο που έχει στον IP Header



Σχημα 27. Mpls Label

- Label Switching Path (LSP) (βλ σχημα 28) : είναι ένα ολοκληρωμένο μονοπάτι σε ένα Mpls δικτυο, όπου ακολουθεί η πληροφορία απο τον αποστολέα εως στον παραληπτη.



Σχημα 28. Mpls Path

- LIB (Label Information Base) : Αποθηκεύει όλες τις ετικέτες που έχουν διαφημιστεί από άλλους LSRs στο MPLS δίκτυο.
- LFIB (Label Forwarding Information Base) : Χρησιμοποιείται από τη διεργασία προώθησης πακέτων (ανάλογο του IP forwarding table, όπου περιέχει: incoming και outgoing label, FEC, next hop). Ουσιαστικά αποτελεί συνδυασμό του LIB και του IP routing table

### 4.3.3 Λειτουργία MPLS

Το MPLS ουσιαστικά καταφλερνει να απλοποιήσει την δρομολογηση μειωνοντας τον φόρτο αποθηκευσης και προωθησης πακετων που είχε η πατροπαραδοτη δρομολογηση, ενώ ταυτοχρονα αυξάνεται και η ευελιξια δρομολογησης.

Οι Label Switching Routers (LSR) κατά την προωθηση ενός πακετουεκτελουν τα ακολουθα βήματα:

- Ο LSR παίρνει μια απόφαση προώθησηςκάθε πακέτου που βασίζεται στη διεύθυνση προορισμού

- Στη συνέχεια αποφασίζει την ετικέτα που προσδιορίζει την κλάση ισοδυναμίας προώθησης (Forwarding Equivalence Class - FEC) ή κατεύθυνση του πακέτου στο MPLS δίκτυο.
- Τέλος ενθυλακώνει το πακέτο σε ένα MPLS πακέτο όπου στην επικεφαλίδα υπάρχει η αριθμητική ετικέτα.

Κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής που βρίσκεται στο MPLS δίκτυο χρησιμοποιεί την αριθμητική ετικέτα κάθε πακέτου και την τοποθετεί σε έναν πίνακα ετικετών όπου από αυτόν πλέον θα βρίσκει τον επόμενο δρομολογητή στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο MPLS με τη νέα του ετικέτα.

Ο δρομολογητής LSR που βρίσκεται στην έξοδο του δικτύου MPLS αφαιρεί την επικεφαλίδα από τα MPLS πακέτα και τα προωθεί σύμφωνα με τα πεδία της. Κατά την προώθηση του πακέτου στο MPLS δίκτυο, το πακέτο διασχίζει ένα μονοπάτι, το Label Switching Path. Η δυνατότητα δημιουργίας προκαθορισμένων μονοπατιών σε ένα δίκτυο MPLS είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του MPLS γιατί ουσιαστικά παρέχει ευελιξία στον τρόπο δρομολόγησης από τον διαχειριστή. Επίσης ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επιλέξει μονοπάτια βάσει κάποιων πολιτικών και κριτηρίων, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική τόσο η προώθηση και κατά συνέπεια και η διαχείριση της κίνησης στο MPLS δίκτυο. Σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους δρομολόγησης το MPLS μας δίνει τα παρακάτω σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Η προώθηση των πακέτων μπορεί να γίνει από δικτυακές συσκευές που λειτουργούν σε χαμηλότερο επίπεδο από το επίπεδο δικτύου, αρκεί να μπορούν να αναγνωρίσουν και να διαχειριστούν τις αριθμητικές ετικέτες.
- Μερικές φορές τα πακέτα μιας συγκεκριμένης ροής είναι υποχρεωτικό να ακολουθήσουν ένα συγκεκριμένο μονοπάτι που έχει προκαθοριστεί πριν καν εισέλθουν σε ένα δίκτυο. Η χρησιμότητα εγγυάται στην χάραξη πολιτικών κίνησης.
- Υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων
- Αυξημένη απόδοση
- Traffic engineering
- Υποστήριξη QoS

Στην πραγματικότητα αυτό που κάνει το MPLS είναι να μπορεί να ελεγχθεί πλήρως η προώθηση των πακέτων με τον λιγότερο δυνατό φορτό για τους δρομολογητές. Παρόλο που το συνεχές μαρκαρίσμα των πακέτων ανά δρομολογητή παραπέμπει στην ποιότητα της υπηρεσίας, το MPLS δεν σχεδιάστηκε για αυτήν. Το MPLS είναι περισσότερο ένας μηχανισμός προώθησης παρά ένα ακόμα πρωτόκολλο που εξασφαλίζει την ποιότητα της υπηρεσίας.

Για τη διάδοση των αριθμητικών ετικετών στους δρομολογητές και τη δημιουργία LSP χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Label Distribution Protocol (LDP), καθώς και μια βελτιωμένη έκδοση του πρωτοκόλλου RSVP.

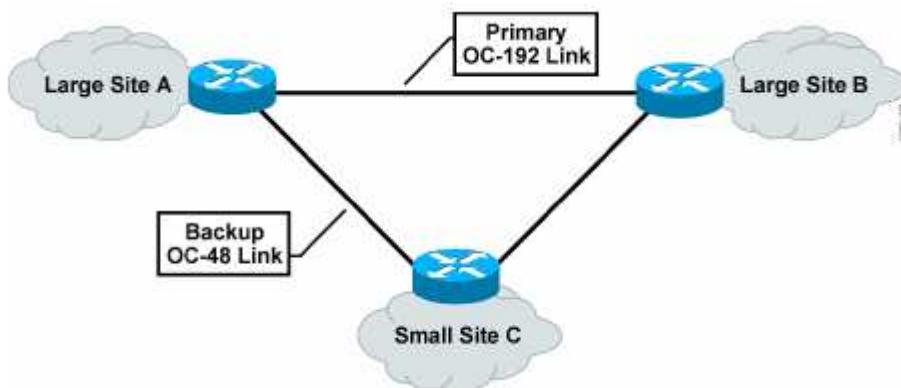
#### 4.3.4 Μηχανική Κινησης(Traffic Engineering)

Η εξαπλωση του πλήθους των χρηστών-συνδρομητών καθώς και οι προηγμένες απαιτήσεις των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών οδηγούν στην δυσκολία ακριβούς κατανομής δικτυακών πόρων που να ικανοποιούν επακριβώς τις λειτουργικές τους προϋποθέσεις. Συνεπεία αυτών είναι η διακυμάνση στην συμμόρφωση της δικτυακής κίνησης, έχοντας περιόδους πλήρους ηρεμίας και περιόδους πλήρους συμμόρφωσης. Η παρουσία όλων αυτών των προβλημάτων κάνει επιτακτική την ανάγκη για δυναμικούς μηχανισμούς που θα παρατηρούν, θα ελέγχουν και θα ρυθμίζουν την κίνηση με αποτελεσματικό τρόπο. Το MPLS μέσω του μηχανισμού μηχανικής κίνησης καταφέρνει να αυτοματοποιήσει τις διαδικασίες προώθησης της κίνησης και να μεταδίδει την πληροφορία με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Οι στόχοι της μηχανικής κίνησης του MPLS προσανατολίζονται στην κυκλοφορία και στους δικτυακούς πόρους. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιείται :

- Για τη δρομολόγηση των κυρίων μονοπατιών
- Για την παροχή ακριβούς ελέγχου
- Για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης
- Ελαχιστοποίηση της απώλειας πακέτων, των παρατεταμένων περιόδων συμμόρφωσης και μεγιστοποίηση του throughput
- Για την παροχή περισσότερων επιλογών, χαμηλότερου κόστους, και καλύτερης υπηρεσίας στους πελάτες

Το MPLS μέσω της μηχανικής κίνησης αναλύει την δικτυακή κίνηση και δημιουργεί tunnels μέσα στα οποία προωθεί την πληροφορία. Η πληροφορία ακόμα και αν προορίζεται για τον ίδιο προορισμό θα φτάσει εκεί από διαφορετικά μονοπατία με αποτέλεσμα να εξισορροπείται ο δικτυακός φόρτος (βλ σχήμα 29). Η μηχανική κίνηση αποφασίζει πιο μονοπάτι θα ακολουθήσει η πληροφορία βασισμένη στις ελεύθερες πηγές δικτυακών πόρων. Για την εφαρμογή της η μηχανική κίνησης απαιτεί να τηρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις:

- Κάθε LSR θα πρέπει να γνωρίζει όλη την τοπολογία του MPLS δικτύου (με την χρήση δυναμικής δρομολόγησης ospf ή is-is).
- Κάθε LSR θα πρέπει να γνωρίζει επιπλέον πληροφορίες (περιορισμούς συνδέσεων) σχετικά με τις συνδέσεις του δικτύου (με την χρήση δυναμικής δρομολόγησης ospf ή is-is).
- Για την δημιουργία των tunnels και την μεταδοχή των ετικετών, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο RSVP ή το πρωτόκολλο CR - LDP .



Σχήμα 29. Traffic Engineering

### 4.3.5 Mpls -Qos

Το πρωτοκόλλο Mpls και η ποιότητα της υπηρεσίας δείχνουν να συμβαδίζουν στον τρόπο λειτουργίας τους. Καταρχήν μπορούμε να διακρίνουμε στον τρόπο που λειτουργεί το Mpls και να βρούμε αρκετά ομοια χαρακτηριστικά με το μοντέλο DiffServ. Το συμπέρασμα προκύπτει από την ανάλυση της κίνησης ενός πακέτου αναδρομολογητή και την αλλαγή των παραμετρών κίνησης. Δεύτερο κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η δεσμεύση πόρων μέσω του Rsvp, κατά την υλοποίηση των tunnels (μηχανική κίνησης) η οποία μας παραπέμπει στο μοντέλο IntServ. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί το πεδίο στην επικεφαλίδα του Mpls όπου περιέχει τα EXP bits, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ποιότητα της υπηρεσίας.

## 4.4 Ethernet Over Mpls

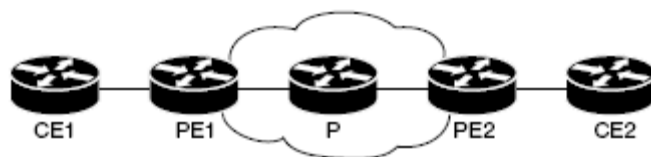
Ηδη έχουμε αναφερθεί σε ένα πολύ σημαντικό πλεονεκτήμα του πρωτοκόλλου MPLS, που είναι η δυνατότητα λειτουργίας κάτω από πολλά άλλα πρωτόκολλα (όπως IPX, ATM, PPP, Frame Relay, Ethernet, Token Ring). Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε την εφαρμογή του Ethernet over Mpls στα κατά την μεταδοση πληροφορίας από ακρο σε ακρο ανάμεσα σε δυο τελικούς χρήστες.

### 4.4.1 Λειτουργία EoMpls

Η τεχνολογία Ethernet Over Mpls επιτρέπει σε δυο ή περισσότερα δίκτυα την μεταδοση της πληροφορίας από ακρο σε ακρο μέσω ενός Mpls core δικτύου. Αλλά καλύτερα ας αναλυθεί η τεχνολογία EoMpls με το παρακάτω σχήμα και το ακολουθού παραδειγμα (βλ σχήμα 30).

Οι δρομολογητές C1 και C2 αποτελούν τον εξοπλισμό των απομακρυσμένων πελατών, οι PE1,P και PE2 αποτελούν τον εξοπλισμό του παρόχου. Το Backbone Mpls Δίκτυο το απαρτίζουν οι PE1,PE2,P. Σύμφωνα με την ορολογία του Mpls, οι PE1 και PE2 είναι οι Edge LSR δρομολογητές οι οποίοι αναλογα με τη φορά της κίνησης θα είναι ingress ή egress LSR. Ο δρομολογητής CE1 με τον δρομολογητή PE1 και αντιστοίχα οι δρομολογητές CE2 και PE2, συνδέονται δημιουργώντας μια point to point σύνδεση που ονομάζεται virtual circuit. Αντιστοίχα οι δρομολογητές PE1,PE2 και P συνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση δυναμικής δρομολογήσης προκειμένου να αναγνωρίσουν πλήρως την τοπολογία του δικτύου και στη συνέχεια εφαρμόζουν το πρωτοκόλλο Mpls με σκοπό η προώθηση των πακέτων να γίνεται πιο ευελικτη στο Mpls

δίκτυο. Οι δρομολογητές που βρίσκονται στα άκρα του Mpls δικτύου θα δημιουργήσουν μεταξύ τους μια virtual συνδεση που ονομάζεται pseudowire η virtual circuit.



Σχημα 30. Παραδειγμα Mpls

Εστω ότι ο CE1 θέλει να επικοινωνήσει με το δίκτυο του CE2 η διαδικασία είναι η εξής:

- Ο CE1 συνδεεται με τον PE1 έχοντας το ίδιο Vlan Id και του στέλνει την πληροφορία σε Ethernet Frame.
- Ο PE1 μέσω του δυναμικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης, του Mpls και του LDP δημιουργεί μια νοητή ψευτική συνδεση (pseudowire) με τον PE2 και ενθλακώνει τα Ethernet Frames σε Mpls pdu's προκειμένου να μεταφερθούν στο Mpls δίκτυο.
- Μόλις ο PE2 λάβει την πληροφορία θα αφαιρέσει τον Mpls Header και θα δρομολογήσει την πληροφορία προς τον CE2.
- Το κάθε virtual circuit που δημιουργείται μεταξύ των δρομολογητών του παροχού φέρει έναν αριθμό. Ο αριθμός αυτός παίρνει τιμές από 1 έως 429,467,295. Για λόγους ευχρηστίας πολλές φορές ο αριθμός των VC για μια σύνδεση από ακρο έως ακρο είναι ο ίδιος.
- Σε περίπτωση που θέλει ο CE2 να επικοινωνήσει με τον CE1 η διαδικασία που ακολουθείται είναι ακριβώς η ίδια, το μόνο που αλλάζει είναι ότι δημιουργείται μια επιπλέον ψευτική συνδεση ανάμεσα στον PE1 και στον PE2 αυτή τη φορά για την αντίθετη φορά της κίνησης.
- Οι δρομολογητές που δεν είναι ingress η egress δεν ασχολούνται καθόλου με οτιδήποτε αφορά το EoMpls

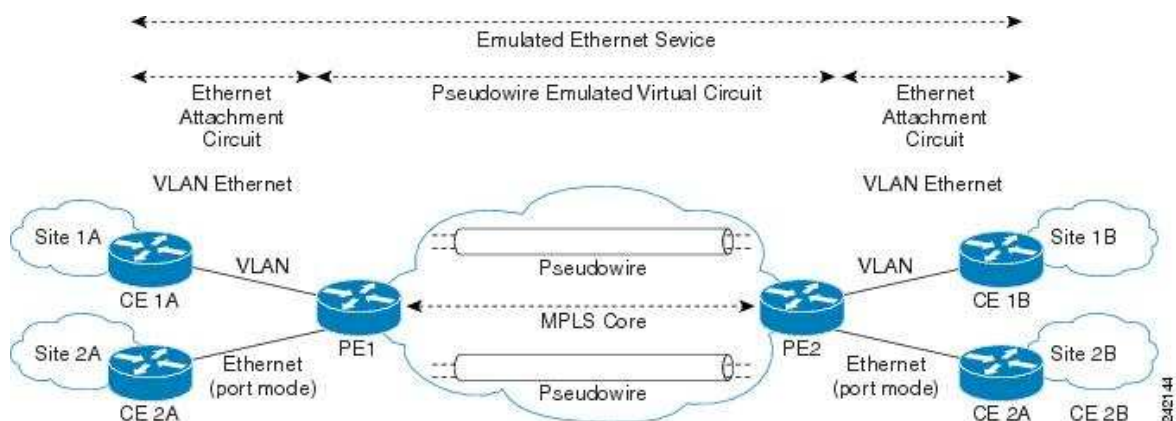




- Την λειτουργία raw ,όπου το ethernet frame μπορεί να έχει αλλά μπορεί και να μην έχει ετικέτα Vlan (vlan tag).
- Την λειτουργία tagged,,όπου το ethernet frame πρέπει να έχει ετικέτα Vlan (vlan tag).
- Η ετικέτα Vlan έχει τοπικό χαρακτήρα και χρησιμοποιείται προκειμένου να διαφοροποιησει την κίνηση στο Mpls δίκτυο.

Το EoMpls έχει επίσης δυο τρόπους λειτουργίας(βλ σχήμα 33) .

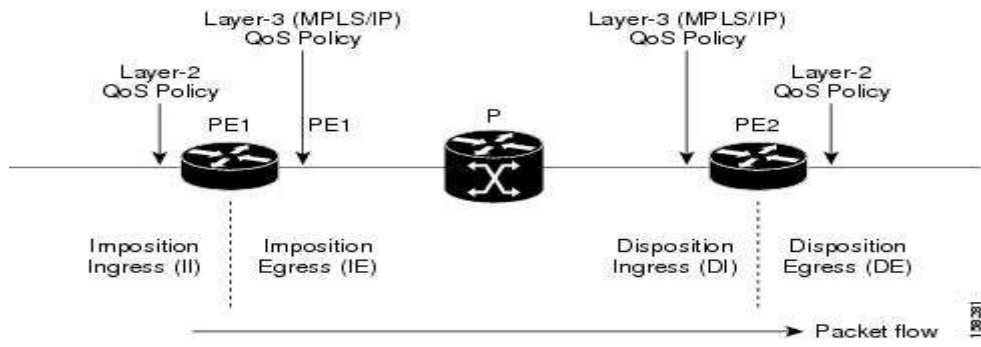
- Port-Mode :Η λειτουργία port επιτρέπει την μεταφορά των ethernet frames απο την διεπαφή του Ingress Lsr στην διεπαφή του Egress Lsr διαμεσου ενός Mpls δικτυου.Το ethernet frame κατα την μεταφορά του στο Mpls δικτυο δεν περιέχει το προοιμιο και το FCS.
- Vlan-Mode:Η λειτουργία vlan επιτρέπει την μεταφορά των ethernet frames μεταξύ ενός αρχικού vlan(802.1q tag) και ενός vlan προορισμού(802.1q tag).
- Για την λειτουργία του port το vc που δημιουργείται είναι τυπου 4,ενω για την λειτουργία vlan το vc είναι τυπου 5.



Σχήμα 33. EoMpls Modes

#### 4.4.5 Eompls Qos

Το EoMpls συνεργάζεται πλήρως με την ποιότητα της υπηρεσίας με σκοπο να διαφοροποιησει την δικτυακη κίνηση στα δικτυο του παροχου υπηρεσιων.Η εφαρμογη της ποιητητας υπηρεσίας στο EoMpls επιτυγχανεται με την χρηση των 3 bit exp ,που υπαρχουν στον header του Mpls.Η ποιητητα της υπηρεσίας εφαρμoζεται στον Ingress Lsr κατά την εισοδο της πληροφορίας στο δίκτυο του παρόχου(βλ σχημα 34).Οποιαδηποτε μορφή ποιητητας υπηρεσίας υπηρχε στο ethernet frame (802.1p) μεταφεραται ευκολα στα exp bits του Mpls.



Σχημα 34. EoMpls Qos

## 5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΟΜPLS ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ GNS 3

### 5.1 Graphical Network Simulator

Το GNS 3 είναι ένα ελεύθερο λογισμικό προσομοίωσης πολυπλοκών δικτυακών αρχιτεκτονικών, εξειδικευμένο στο παγκοσμίως γνωστό λειτουργικό σύστημα της Cisco, το Cisco Ios. Στην ουσία το GNS αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την εκμάθηση και την δοκιμή σε εργαστηριακό περιβάλλον τόσο του λειτουργικού συστήματος, όσο και του δικτυακού εξοπλισμού της κατασκευαστικής εταιρείας Cisco. Η δυναμικότητα του συγκεκριμένου λογισμικού έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπει την χρήση όλων των εντολών του λειτουργικού συστήματος, καθώς για την εφαρμογή του χρησιμοποιούνται πραγματικότητα Cisco Ios. Το εν λόγω λογισμικό επιτρέπει την χρήση δικτυακού εξοπλισμού, όπως δρομολογητές, μεταγωγείς, συστήματα ασφάλειας, μεταγωγείς frame relay και ATM. Ακολουθεί σχετική λίστα με τα μοντέλα του κατασκευαστή Cisco που υποστηρίζει:

- 1710
- 1720
- 1721
- 1750
- 1751
- 1760
- 2610
- 2610XM
- 2611
- 2611XM
- 2620
- 2620XM
- 2621
- 2621XM
- 2650XM
- 2651XM
- 2691
- 3620

- 3640
- 3660
- 3725
- 3745
- 7200
- 7600
- Cisco ASA 5500
- Cisco IPS/IDS

Το Graphical Network Simulator εκτελείται σε λειτουργικά Windows και Linux. Οι δυνατότητες του λογισμικού ως προς την αποδοσή του σε εικονικό περιβάλλον είναι 1000 πακέτα ανα δευτερολεπτό.

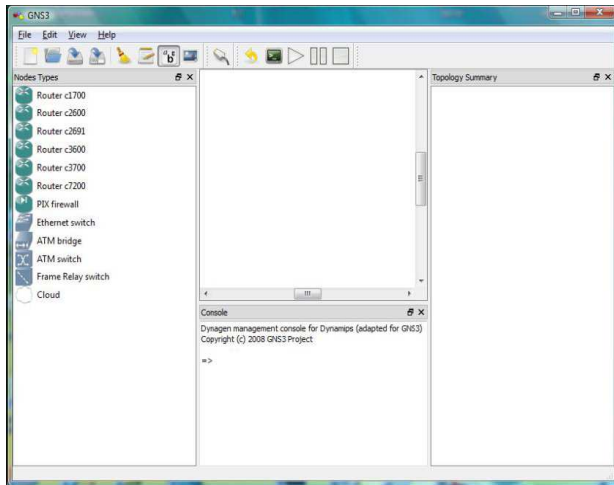
## **5.2 Γρηγορο Εγχειριδιο Εγκαταστασης (για Windows OS)**

Η πλήρης λειτουργία του Graphical Network Simulator προϋποθετεί τρία σημαντικά βήματα:

1. Download :Από το site [www.gns3.net](http://www.gns3.net) υπάρχει η δυνατότητα να κατεβεί το ελεύθερο λογισμικό.
2. Installation:Αφού κατεβεί το λογισμικό στη συνέχεια θα πρέπει να εγκατασταθεί στο λειτουργικό σύστημα του προσωπικού υπολογιστή. Η εγκατάσταση είναι πολύ ευκόλη καθώς το GNS παρέχει ένα ευχρηστο ερωτηματολόγιο εγκατάστασης.
3. Καθορισμός φακέλων Cisco Ios:Μετά την εγκατάσταση θα πρέπει να ορίσουμε στο λογισμικό τους φακέλους όπου θα εγκαταστήσουμε τα λειτουργικά συστήματα του δικτυακού εξοπλισμού της Cisco. Κάθε φορά που το λογισμικό εκτελείται θα ψάχνει στον φάκελο αυτό έτσι ώστε να βρει το λειτουργικό που του έχουμε ορίσει.

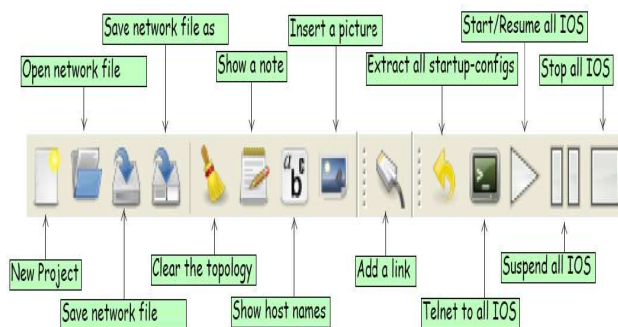
## **5.3 Γρηγορο Εγχειριδιο Χρησης**

Ενα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του GNS είναι η ευχρηστη και φιλική προς τον χρήστη διεπαφή που διαθέτει.



Σχήμα 35. Graphical Network Simulator

Το αρχικό μενού του Graphical Network Simulator παρέχει την δυνατότητα πολλαπλών επιλογών λειτουργίας της τοπολογίας.



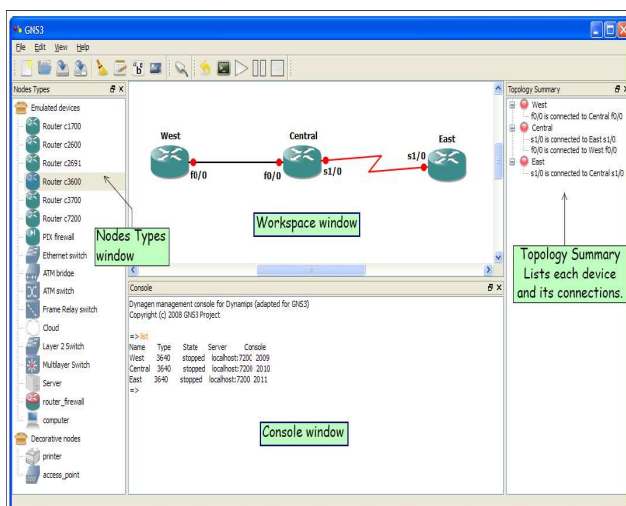
Σχήμα 36. Μενού Επιλογών

Υπάρχουν οι ακόλουθες επιλογές (βλ σχήμα 36):

- New Project: Αφορά την δημιουργία νέας τοπολογίας.
- Open network file: Αφορά το ανοίγμα ενός φακέλου για την ευρεση μιας ήδη δημιουργημενης τοπολογίας που έχει αποθηκευτεί.
- Save network file: Αφορά την αποθηκευση μιας τοπολογίας
- Save network file as: Αφορά την αποθηκευση μιας τοπολογίας με συγκεκριμένο όνομα.
- Clear the topology: Επιτρέπει την διαγραφή της τοπολογίας από την επιφάνεια διεργασίας.
- Show Hosts Names: Επιτρέπει την εμφάνιση των Hosts Names των δικτυακών στοιχείων.
- Insert a picture: Επιτρέπει την εισαγωγή φωτογραφίας ως Background στην τοπολογία.
- Add a link: Επιτρέπει την σύνδεση με ταξί δυο δικτυακών στοιχείων.

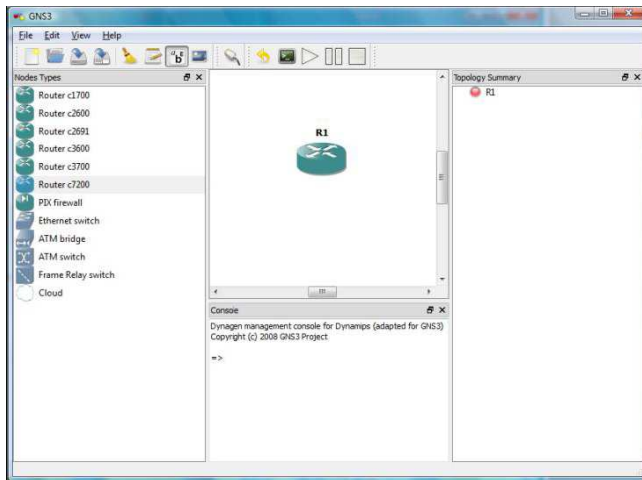
- Extract all startup-configs: Επιτρέπει την εξαγωγή του φακέλου εντολών που τρέχει στα δικτυακά στοιχεία σε αρχείο txt.
- Telnet to all Ios: Επιτρέπει την συνδεση μεσω Telnet στα λειτουργικά συστήματα των δικτακων στοιχειων της τοπολογίας.
- Start/resume all Ios: Επιτρέπει την έναρξη λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτακων στοιχειων της τοπολογίας.
- Suspend all Ios: Επιτρέπει την παυση λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτακων στοιχειων της τοπολογίας.
- Stop all Ios: Επιτρέπει την διακοπή λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτακων στοιχειων της τοπολογίας.

Το Gns χωρίζεται σε τεσσερα παραθυρα επιλογής.Το αριστερό τμήμα απαριθμει τα είδη των διαθεσιμων δικτυακων κόμβων.Ουσιαστικά εδώ θα παρατηρησουμε εικονιδια για πλατφορμες, όπως δρομολογητες,μεταγωγεις,συστηματα ασφαλειας και μεταγωγείς Frame relay και ATM.Το μεσσαίο τμήμα της διεπαφής περιεχει δυο παραθυρα.Το επανω τμημα αποτελεί την επιφανεια διεργασιας οπου θα δημιουργησουμε την τοπολογία.Το κατω τμημα ουσιαστικά μας δειχνει την κονσόλα (τον πυρηνα) του λογισμικού GNS (μοιαζει με το Dos).Στο δεξιο τμημα υπάρχει το παραθυρο όπου παρεχει συνοπτικά στοιχεία για την τοπολογία(βλ σχήμα 37).



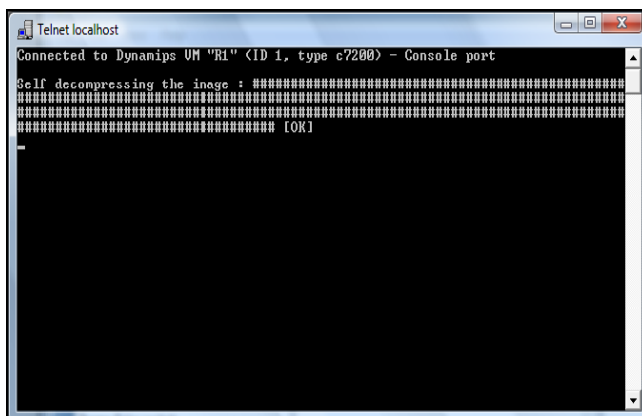
Σχήμα 37.Παραθυρα Επιλογων

Για την χρηση ενός δικτυακου στοιχειου στην τοπολογία αρκει να γίνει Drag η Drop στην επιφανεια διεργασιας(βλ σχημα 38).



Σχήμα 38. Drag n Drop

Με δεξί κλικ πάνω στο δικτυακό στοιχείο, εμφανίζεται ένα μενού από διαφορετικές επιλογές. Η αρχική επιλογή είναι το Configure όπου δίνει την δυνατότητα επιλογής καταλληλής παραμετροποίησης, όσον αφορά τα αποσπώμενα μέρη του δικτυακού στοιχείου (interfaces, flash, ram). Η επιλογή Start επιτρέπει την ενεργοποίηση του δικτυακού στοιχείου ενώ η αμσως επόμενη επιλογή Console, ξεκινάει το δικτυακό στοιχείο επιτρέποντας την διαχείριση του από τον χρήστη (βλ σχήμα 39).



Σχήμα 39. Console

Η παραμετροποίηση πολλών δικτυακών στοιχείων θα επιφέρει την χρήση επιπλέον πόρων μνήμης και επεξεργαστικής ισχύς για τον υπολογιστή όπου τρέχει το λογισμικό.

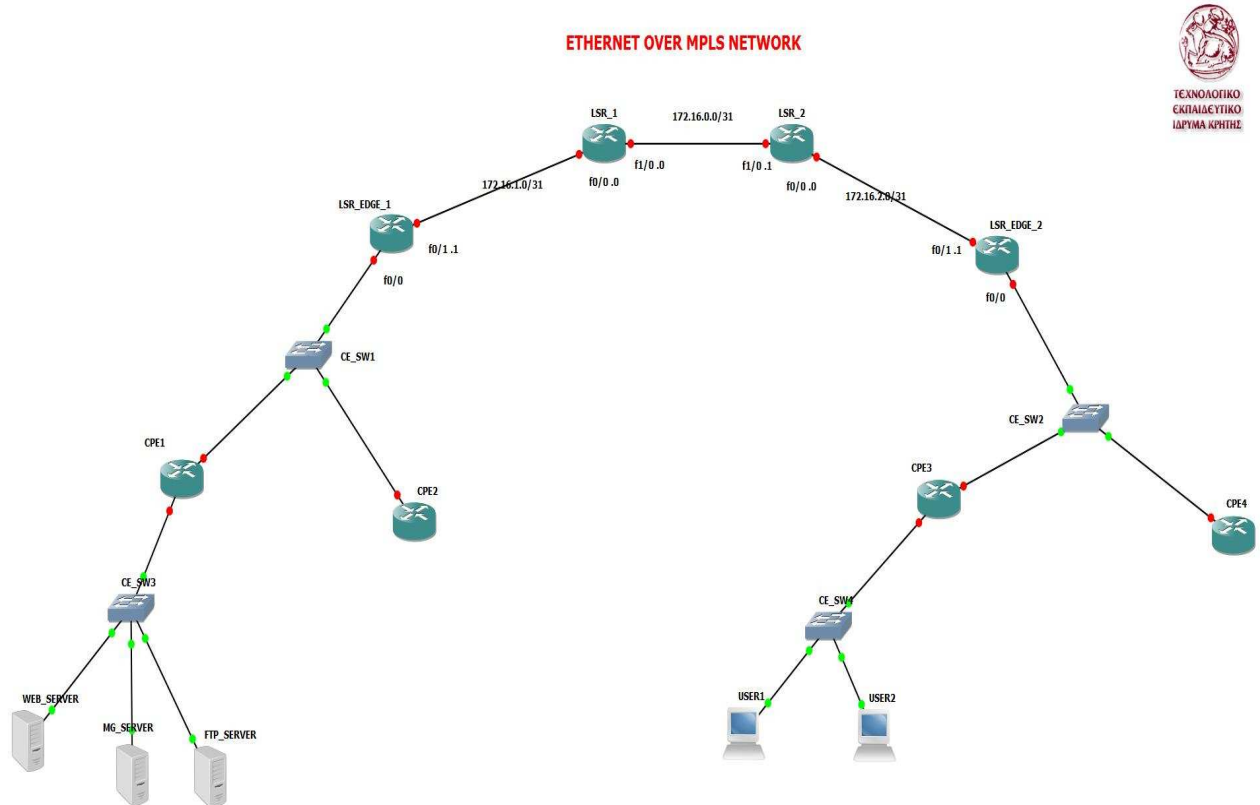
## 5.4 Προσομοίωση Τοπολογίας EoMpls

### 5.4.1 Τοπολογία Δικτύου

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να εντάξουμε -σε πειραματικό πλαίσιο- τις θεωρητικές αναφορές των προηγούμενων κεφαλαίων σε ένα υποθετικό EoMpls δίκτυο με τη χρήση του Graphical Network Simulator. Το EoMpls θα εξομοιώνει ένα πραγματικό δίκτυο εισάγοντας μηχανισμούς δημιουργίας virtual circuit καθώς και δημιουργία τεχνικών ποιότητας της υπηρεσίας.



Η αναφερόμενη τοπολογία του δικτύου είναι:



Σχήμα 40. Τοπολογία Δικτύου ΕοMpls

#### 5.4.1.1 Δικτυακά Στοιχεία

Η τοπολογία του Δικτύου ΕοMpls περιλαμβάνει τα κάτωθι δικτυακά στοιχεία:

- Δρομολογητής LSR\_1 και LSR\_2 : Αναφέρονται στους ενδιάμεσους δρομολογητές του παρόχου όπου αποτελούν τον πυρήνα του δικτύου ΕοMpls.
- Δρομολογητές LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE\_2: Αναφέρονται στους ακριανούς δρομολογητές του παρόχου που συνδέονται με το ένα interface με το core δίκτυο και με το άλλο με το δίκτυο του συνδρομητή.

- Μεταγωγείς CE\_SW1,CE\_SW2,CE\_SW3 και CE\_SW4:Αναφέρονται στον εξοπλισμό του συνδρομητή όπου συνδέει το δίκτυο του συνδρομητή με το δίκτυο του παρόχου, καθώς και σε διαδικτυακές συνδέσεις στο δίκτυο του συνδρομητή.
- CPE1,CPE2,CPE3,CPE4: Αναφέρονται σε εσωτερικούς δρομολογητές των δικτύων των συνδρομητών.
- User1, User2 : Αναφέρονται σε χρήστες του τοπικού δικτύου του συνδρομητή.
- WEB SERVER, FTP SERVER, MEDIA GATEWAY SERVER: Αναφέρονται στους servers του δικτύου του συνδρομητή

## 5.5 Σενάριο εξομίωσης

### 5.5.1 Χαρακτηριστικά Δικτυακής Αρχιτεκτονικής

Η δικτυακή αρχιτεκτονική αποτελείται από δύο κατηγορίες δικτύων, τα δίκτυα των συνδρομητών και το δίκτυο του παρόχου. Τα δίκτυα των συνδρομητών έχουν το χαρακτηριστικό ότι αποτελούνται από εξοπλισμό που ανήκει αποκλειστικά στον συνδρομητή και ότι η μετάδοση της πληροφορίας μέσα σε αυτά γίνεται με το πρωτόκολλο Ethernet. Το δίκτυο του παρόχου αποτελείται από δρομολογητές όπου μεταδίδουν την πληροφορία μέσω του πρωτοκόλλου Mpls. Οι δύο ακριανοί δρομολογητές LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE\_2 αποτελούν κομβικά στοιχεία για το εν λόγω δίκτυο καθώς αυτοί θα είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την ενθυλάκωση της Ethernet δικτυακής κίνησης μέσα σε Mpls πακέτο. Επίσης θα είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την προσθήκη και την αφαίρεση των Mpls Labels στα πακέτα της πληροφορίας.

### 5.5.2 Παραμετροποίηση Δικτυακών Στοιχείων

Η παραμετροποίηση των δικτυακών στοιχείων μέσω του Graphical Network Simulator, έγινε με σκοπό τη λειτουργία του EoMpls δικτύου και αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- Παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης :Η παραμετροποίηση αφορά την διευθυνσιοδότηση των δρομολογητών σε επίπεδο IP.
- Παραμετροποίηση Mpls πρωτοκόλλου:Η παραμετροποίηση του MPLS αφορά τους δρομολογητές LSR\_1,LSR\_2, LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE \_2 και περιλαμβάνει την ενεργοποίηση του MPLS,την ενεργοποίηση του Ospf και την ενεργοποίηση του LDP.
- Παραμετροποίηση Ethernet over Mpls:Η παραμετροποίηση του EoMpls αφορά τους δρομολογητές LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE \_2 και περιλαμβάνει την δημιουργία virtual circuits μεταξύ των ακριανών δρομολογητών για την μεταφορά της Ethernet πληροφορίας.

Ακολουθεί αναλυτική αναφορά στην παραμετροποίηση των δικτυακών στοιχείων

### 5.5.2.1 Παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης

Το πρώτο βήμα της παραμετροποίησης των δικτυακών στοιχείων αφορά την διευθυνσιοδότηση τους.

#### 5.5.2.1.1 Δίκτυα Συνδρομητών

- Το Δίκτυο A περιέχει τα δίκτυα των χρηστών CPE1, CPE2
- Το Δίκτυο B περιέχει τα δίκτυα των χρηστών CPE3, CPE4
- CPE1 IP Address:192.168.1.1 /24 (σύνδεση με τον μεταγωγό CE\_SW1/ διεπαφή Fa 0/0)
- CPE 2 IP Address:192.168.1.2/24(σύνδεση με τον μεταγωγό CE\_SW1/ διεπαφή Fa 0/0)
- CPE3 IP Address:192.168.2.1/24(σύνδεση με τον μεταγωγό CE\_SW2/ διεπαφή Fa 0/0)
- CPE4 IP Address:192.168.2.2/24(σύνδεση με τον μεταγωγό CE\_SW2/ διεπαφή Fa 0/0)

#### 5.5.2.1.2 Δίκτυα Παρόχου

Το δίκτυο του παρόχου περιλαμβάνει τα ακόλουθα δικτυακά στοιχεία:

- LSR\_1 IP Addresses : 172.16.0.1 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_2/ διεπαφή Fa 1/0) & 172.16.1.1 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_EDGE \_1 / διεπαφή Fa 0/0 )
- LSR\_2 IP Addresses : 172.16.0.2 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_1/ διεπαφή Fa 1/0) & 172.16.2.1 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_EDGE \_2 / διεπαφή Fa 0/0 )
- LSR\_EDGE \_1 IP Addresses : 172.16.1.2 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_1/ διεπαφή Fa 0/1)
- LSR\_EDGE \_2 IP Addresses : 172.16.2.2 /30 (σύνδεση με τον δρομολογητή LSR\_2/ διεπαφή Fa 0/1)

### 5.5.2.2 Παραμετροποίηση Mpls πρωτοκόλλου

Η παραμετροποίηση του πρωτοκόλλου Mpls αφορά τους δρομολογητές που βρίσκονται στο δίκτυο του παρόχου, δηλαδή τους LSR\_1, LSR\_2, LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE\_2. Το Mpls έχει τρία βασικά στάδια παραμετροποίησης. Ακολουθούν τα αρχεία παραμετροποίησης ανά δρομολογητή και ανά στάδιο παραμετροποίησης.

**1<sup>ο</sup> Στάδιο** : Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου Mpls (ενεργοποιείται σε όλες τις διεπαφές που ανήκουν στο Mpls δίκτυο).

#### LSR\_1

**interface FastEthernet0/0**

ip address 172.16.1.1 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

**interface FastEthernet1/0**

ip address 172.16.0.1 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

### LSR 2

**interface FastEthernet0/0**

ip address 172.16.2.1 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

**interface FastEthernet1/0**

ip address 172.16.0.2 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

### LSR EDGE 1

**interface FastEthernet1/0**

ip address 172.16.1.2 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

### LSR EDGE 2

**interface FastEthernet1/0**

ip address 172.16.2.2 255.255.255.252

**mpls ip → ενεργοποίηση Mpls**

**2° Στάδιο :** Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου LDP (ενεργοποιείται σε όλους τους δρομολογητές που ανήκουν στο Mpls δίκτυο).

**mpls label protocol ldp → ενεργοποίηση LDP**

Η ενεργοποίηση του LDP είναι προαιρετική διότι ούτος ή άλλως είναι το προκαθορισμένο πρωτόκολλο.

**3° Στάδιο :** Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης(ενεργοποιείται σε όλους τους δρομολογητές του Mpls δικτύου).Στο σενάριο ενεργοποιείται το OSPF.

**router ospf 65535 → ενεργοποίηση OSPF**

**network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0 → καθορισμός διαφημιζόμενων δικτύων**

- Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου δρομολόγησης

Ακολουθούν τα αρχεία παραμετροποίησης ανά δρομολογητή και ανά στάδιο παραμετροποίησης.

### 5.5.2.3 Παραμετροποίηση Ethernet over Mpls

Η παραμετροποίηση EoMpls θα γίνει στους ακριανούς δρομολογητές του MPLS δικτύου, δηλαδή στους LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE\_2.

Οι δυο δρομολογητές μέσω του EoMpls θα δημιουργήσουν ένα virtual circuit, μέσα από το οποίο θα μεταδίδεται layer 2 πληροφορία από τα τοπικά δίκτυα A και B. Η παραμετροποίηση του Mpls πραγματοποιείται σε δύο στάδια.

1<sup>ο</sup> Στάδιο : Προσδιορισμός Router Id

Ο προσδιορισμός του Router Id είναι χρήσιμος σε δικτυακά περιβάλλοντα καθώς αρκετά πρωτόκολλα τον χρησιμοποιούν προκειμένου να λειτουργήσουν. Στο σενάριο της δικτυακής αρχιτεκτονικής το Router Id χρησιμοποιείται προκειμένου να υποδείξουμε στους δρομολογητές το ζευγάρι όπου θα δημιουργήσει το virtual circuit. Ως Router Id συνήθως υποδεικνύουμε μια νοητή διεύθυνση, που ονομάζεται Loopback Address.

#### **LSR EDGE 1**

```
interface Loopback0
```

```
ip address 1.1.2.1 255.255.255.255
```

#### **LSR EDGE 2**

```
interface Loopback0
```

```
ip address 1.1.2.2 255.255.255.255
```

2<sup>ο</sup> Στάδιο : Δημιουργία Virtual Circuit (VC)

Σε κάθε διεπαφή του δρομολογητή όπου θα δημιουργηθεί το virtual circuit, θα πραγματοποιηθεί η κατάλληλη παραμετροποίηση.

#### **LSR EDGE 1**

Interface FastEthernet0/0

xconnect 1.1.2.2 10 encapsulation mpls → δημιουργία VC με αριθμό 10

Ο LSR\_EDGE\_1 θα συνδεθεί με τον δρομολογητή που έχει router-id 1.1.2.2 (LSR\_EDGE\_2), δημιουργώντας VC με αριθμό 10.

### **LSR\_EDGE\_2**

Interface FastEthernet0/0

xconnect 1.1.2.1 10 encapsulation mpls → δημιουργία VC με αριθμό 10

Ο LSR\_EDGE\_2 θα συνδεθεί με τον δρομολογητή που έχει router-id 1.1.2.1 (LSR\_EDGE\_1), δημιουργώντας VC με αριθμό 10.

Ακολουθεί η αναλυτική παραμετροποίηση των δικτυακών στοιχείων.

### **Backbone Routers**

#### ➤ **LSR\_1**

```
hostname LSR_1
```

```
!
```

```
ip cef
```

```
no ip domain lookup
```

```
!
```

```
mpls label protocol ldp
```

```
!
```

```
interface Loopback0
```

```
ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
```

```
!
```

```
interface FastEthernet0/0
```

```
ip address 172.16.1.1 255.255.255.252
```

```
duplex auto
```

```
speed auto
```

```
mpls ip
```

```
!  
interface FastEthernet1/0  
ip address 172.16.0.1 255.255.255.252  
duplex auto  
speed auto  
mpls ip  
!  
router ospf 65535  
router-id 1.1.1.1  
log-adjacency-changes  
network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
!  
ip http server  
no ip http secure-server  
!  
mpls ldp router-id Loopback0 force  
!  
control-plane  
!  
line con 0  
exec-timeout 0 0  
line aux 0  
line vty 0 4  
login  
!  
End
```

➤ **LSR\_2**

```
hostname LSR_2

!

ip cef

no ip domain lookup

!

mpls label protocol ldp

!

interface Loopback0

ip address 1.1.1.2 255.255.255.255

!

interface FastEthernet0/0

ip address 172.16.2.1 255.255.255.252

duplex auto

speed auto

mpls ip

!

interface FastEthernet1/0

ip address 172.16.0.2 255.255.255.252

duplex auto

speed auto

mpls ip

!

router ospf 65535

router-id 1.1.1.2

log-adjacency-changes
```



```
network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
```

```
!
```

```
ip http server
```

```
no ip http secure-server
```

```
!
```

```
mpls ldp router-id Loopback0 force
```

```
!
```

```
control-plane
```

```
!
```

```
line con 0
```

```
exec-timeout 0 0
```

```
line aux 0
```

```
line vty 0 4
```

```
login
```

```
!
```

```
end
```

## **Edge Routers**

### ➤ **LSR\_EDGE\_1**

```
hostname LSR_EDGE_1
```

```
!
```

```
boot-start-marker
```

```
boot-end-marker
```

```
!
```

```
logging message-counter syslog
```

```
!
```

```
no aaa new-model
```

```
ip source-route

ip cef

!

no ip domain lookup

no ipv6 cef

!

multilink bundle-name authenticated

mpls label protocol ldp

!

interface Loopback0

ip address 1.1.2.1 255.255.255.255

!

interface FastEthernet0/0

no ip address

duplex auto

speed auto

xconnect 1.1.2.2 10 encapsulation mpls

!

interface FastEthernet0/1

ip address 172.16.1.2 255.255.255.252

duplex auto

speed auto

mpls ip

!

router ospf 65535

router-id 1.1.2.1
```

```
log-adjacency-changes
network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
logging alarm informational
!
mpls ldp router-id Loopback0 force
!
control-plane
!
gatekeeper
shutdown
!
line con 0
exec-timeout 0 0
stopbits 1
line aux 0
stopbits 1
line vty 0 4
login
!
end
```

➤ **LSR\_EDGE\_2**

```
hostname LSR_EDGE_2
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
ip source-route
ip cef
!
no ip domain lookup
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
mpls label protocol ldp
!
archive
log config
  hidekeys
!
interface Loopback0
ip address 1.1.2.2 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
```

```
duplex auto

speed auto

xconnect 1.1.2.1 10 encapsulation mpls

!

interface FastEthernet0/1

ip address 172.16.2.2 255.255.255.252

duplex auto

speed auto

mpls ip

!

router ospf 65535

router-id 1.1.2.2

log-adjacency-changes

network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0

!

ip forward-protocol nd

ip http server

no ip http secure-server

!

logging alarm informational

!

mpls ldp router-id Loopback0

!

control-plane

!

gatekeeper
```

```
shutdown
```

```
!
```

```
!
```

```
line con 0
```

```
exec-timeout 0 0
```

```
stopbits 1
```

```
line aux 0
```

```
stopbits 1
```

```
line vty 0 4
```

```
login
```

```
!
```

```
End
```

### **Customer Routers**

#### ➤ CPE1

```
hostname CPE1
```

```
!
```

```
ip cef
```

```
no ip domain lookup
```

```
!
```

```
interface FastEthernet0/0
```

```
ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
```

```
duplex auto
```

```
speed auto
```

```
!
```

```
ip http server
```

```
no ip http secure-server
```

```
!  
control-plane  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
line aux 0  
line vty 0 4  
!  
End  
  ➤ CPE2  
hostname CPE2  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
!  
interface FastEthernet0/0  
  ip address 192.168.1.2 255.255.255.0  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
ip http server  
no ip http secure-server  
!  
control-plane  
!
```

```
line con 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
line aux 0
line vty 0 4
!
End
  ➤ CPE3
hostname CPE3
!
ip cef
no ip domain lookup
!
interface FastEthernet0/0
  ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
  duplex auto
  speed auto
!
ip http server
no ip http secure-server
!
control-plane
!
line con 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
```



```
line aux 0

line vty 0 4

!

End

    ➤ CPE4

Hostname

CPE4

!

ip cef

no ip domain lookup

!

interface FastEthernet0/0

ip address 192.168.2.2 255.255.255.0

duplex auto

speed auto

!

ip http server

no ip http secure-server

!

control-plane

!

line con 0

exec-timeout 0 0

privilege level 15

line aux 0
```

```
line vty 0 4
```

```
!
```

```
End
```

### 5.5.3 Επιβεβαίωση Λειτουργικότητας EoMpls

Η επιβεβαίωση της λειτουργικότητας του EoMpls πραγματοποιείται με την χρήση εντολών στους δρομολογητές, όπου δείχνουν την ενεργοποίηση των virtual circuits.

Εκτελούμε στον LSR\_EDGE\_1 την εντολή:

```
LSR_EDGE_1 #show mpls l2transport vc
```

Local intf	Local circuit	Dest address	VC ID	Status
-----	-----	-----	-----	-----
Fa0/0	Ethernet	1.1.2.2	10	UP

Ο LSR\_EDGE\_1 συνδέεται τοπικά στο Ethernet δίκτυο από το Fa 0/0 και δημιουργεί με τον δρομολογητή που έχει router-id το 1.1.2.2, virtual circuit με αριθμό 10 όπου είναι ενεργοποιημένο.

Αντίστοιχα για τον LSR\_EDGE\_2

```
LSR_EDGE_2 #show mpls l2transport vc
```

Local intf	Local circuit	Dest address	VC ID	Status
-----	-----	-----	-----	-----
Fa0/0	Ethernet	1.1.2.1	10	UP

Μεγαλύτερη ανάλυση στην δημιουργία virtual circuits παρέχει η παρακάτω εντολή, όπου μας ενημερώνει και για τις ετικέτες και για τα στατιστικά των virtual circuits:

```
LSR_EDGE_1 #show mpls l2transport vc 10 detail
```

```
Local interface : Fa 0/0 up, line protocol up, Ethernet up
Destination Address : 1.1.2.1, VC ID: 10, VC status : up
Output interface: Fa 0/1, imposed label stack {18 16}
Preferred path: not configured
Default path : active
Next hop :172.16.0.1
Tunnel label: 16, next hop 10.10.10.6
```

```

Create time: 00:11:37, last status change time: 00:1:32
Signaling protocol: LDP, peer 1.1.2.2:0 up
  MPLS VC labels: local 18, remote 16
  Group ID: local 0, remote 0
  MTU: local 1500, remote 1500
  Remote interface description:
Sequencing: receive disabled, send disabled
VC statistics:
  packet totals: receive 10, send 5
  byte totals:   receive 2704, send 682
  packet drops: receive 0, send 0

```

Την δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ δυο σημείων μας παρέχει η εντολή ping.

```
CPE1#ping 192.168.2.1
```

```
Type escape sequence to abort.
```

```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.2.1, timeout is 2 seconds:
```

```
Packet sent with a source address of 192.168.1.1
```

```
!!!!
```

```
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/2/4 ms
```

Η παραπάνω εντολή επιβεβαιώνει την λειτουργικότητα όλης της δικτυακής αρχιτεκτονικής του σεναρίου, καθώς επιβεβαιώνει την συνδεσιμότητα δυο απομακρυσμένων δικτύων διαμέσου ενός Mpls Core δικτύου με την χρήση τεχνολογίας EoMPLS.

## 5.5.4 Ανάλυση Μετάδοσης της Πληροφορίας

Το λογισμικό Graphical Network Simulator επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία του με το λογισμικό ανάλυσης των πακέτων δεδομένων Wireshark.

Εκτελέστηκε ανάλυση δομένων για την κίνηση που ξεκινά από τον δρομολογητή LSR\_EDGE\_2 και προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία αποτελούν δείγμα της παραπάνω ανάλυσης.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Frame	Info
1	0.000000	1.1.2.2	1.1.2.1	LDP	Yes	Hello Message

Frame 1: 80 bytes on wire (640 bits), 80 bytes captured (640 bits)

Ethernet II, Src: cc:00:0d:5c:00:10 (cc:00:0d:5c:00:10), Dst: cc:01:0d:5c:00:10 (cc:01:0d:5c:00:10)

MultiProtocol Label Switching Header, Label: 18, Exp: 6, S: 1, TTL: 254

Internet Protocol, Src: 1.1.2.2 (1.1.2.2), Dst: 1.1.2.1 (1.1.2.1)

User Datagram Protocol, Src Port: Idp (646), Dst Port: Idp (646)

Label Distribution Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Frame	Info
2	0.062000	1.1.2.1	1.1.2.2	LDP	Yes	Hello Message

Frame 2: 80 bytes on wire (640 bits), 80 bytes captured (640 bits)

Ethernet II, Src: cc:01:0d:5c:00:10 (cc:01:0d:5c:00:10), Dst: cc:00:0d:5c:00:10 (cc:00:0d:5c:00:10)

MultiProtocol Label Switching Header, Label: 19, Exp: 6, S: 1, TTL: 254

Internet Protocol, Src: 1.1.2.1 (1.1.2.1), Dst: 1.1.2.2 (1.1.2.2)

User Datagram Protocol, Src Port: Idp (646), Dst Port: Idp (646)

Label Distribution Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Frame	Info
3	0.266000	1.1.2.2	1.1.2.1	TCP	Yes	23046 > Idp [SYN] Seq=0 Win=4128 Len=0 MSS=536

Frame 3: 62 bytes on wire (496 bits), 62 bytes captured (496 bits)

Ethernet II, Src: cc:00:0d:5c:00:10 (cc:00:0d:5c:00:10), Dst: cc:01:0d:5c:00:10 (cc:01:0d:5c:00:10)

MultiProtocol Label Switching Header, Label: 18, Exp: 6, S: 1, TTL: 254

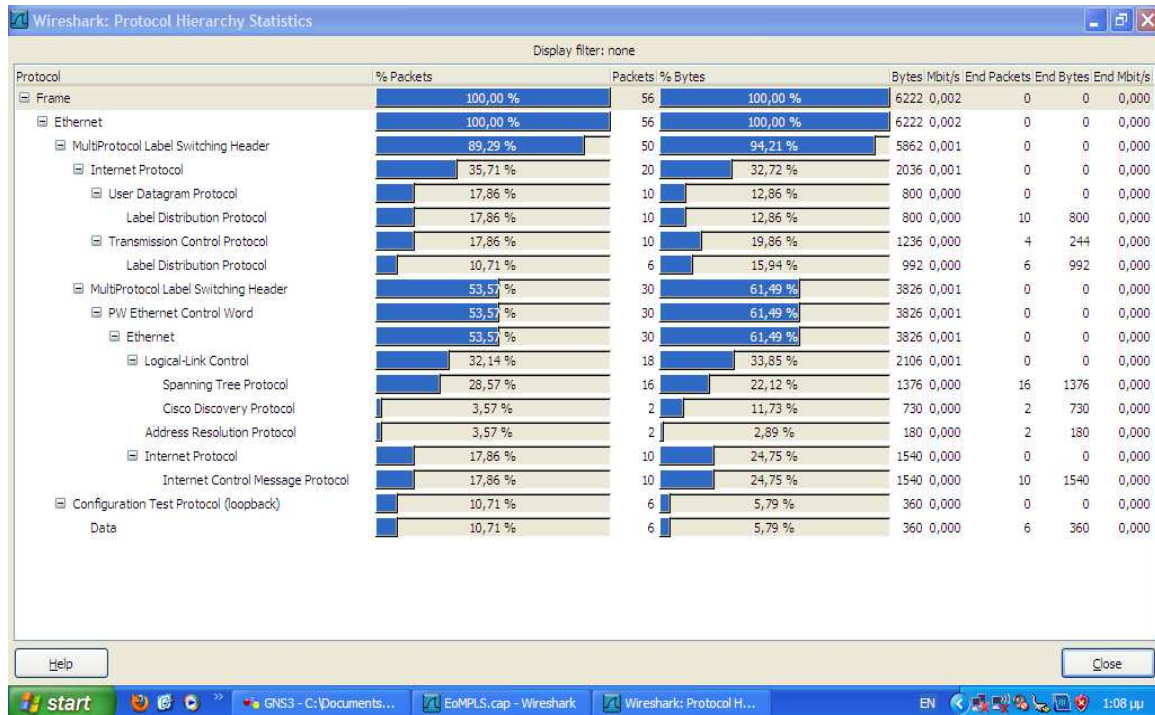
Internet Protocol, Src: 1.1.2.2 (1.1.2.2), Dst: 1.1.2.1 (1.1.2.1)

Transmission Control Protocol, Src Port: 23046 (23046), Dst Port: Idp (646), Seq: 0, Len: 0

Τα παραπάνω δείγματα παρουσιάζουν τα επίπεδα της πληροφορίας κατά την μετάδοση της από μια πηγή προς ένα προορισμό.

Παρατηρείστε ότι το Mpls βρίσκεται μεταξύ του δευτέρου και του τρίτου επιπέδου. Γι' αυτό το λόγο αναφέρεται σε αρκετές βιβλιογραφίες ότι ανήκει στο 2,5 layer.

Η μεγαλύτερη ανάλυση των δικτυακών πρωτοκόλλων οδήγησε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 41: Στατιστικά Πρωτοκόλλων Χρήσης

Το παραπάνω σχήμα παρέχει στατιστικά χρήσης των πρωτοκόλλων κατά την μετάδοση της πληροφορίας μεταξύ των δρομολογητών LSR\_EDGE\_1 και LSR\_EDGE\_2. Παρατηρούμε ότι το Ethernet είναι το πρωτόκολλο που κυριαρχεί.

## 5.5.5 Παραμετροποίηση Ποιότητας της Υπηρεσίας

Υπενθυμίζουμε ότι σε ένα Mpls δίκτυο υπάρχει η δυνατότητα για χρήση της ποιότητας της υπηρεσίας από τα exp bits που υπάρχουν στον Mpls header. Στη δικτυακή αρχιτεκτονική του σεναρίου μας θα παραμετροποιήσουμε τους ακριανούς δρομολογητές εισάγοντας μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας.

### 5.5.5.1 Παραμετροποίηση στην προτεραιότητα των πακέτων

Η παραμετροποίηση της ποιότητας της υπηρεσίας θα εκτελεστεί από τους ακριανούς δρομολογητές σε δύο στάδια.

1<sup>ο</sup> Στάδιο : Θα μαρκάρει τα πακέτα τα οποία έρχονται από το τοπικό δίκτυο στη διεπαφή του

2<sup>ο</sup> Στάδιο : Θα αλλάξει την προτεραιότητα των πακέτων για την δρομολόγηση τους στο Mpls δίκτυο.

Οι εντολές παραμετροποίησης των ακριανών δρομολογητών έχουν ως εξής :

LSR\_EDGE\_1(config)#class-map EoMpls\_qos → Δημιουργία class Map

```

LSR_EDGE_1 (config-cmap)#match any → Μαρκάρει όλη την κίνηση
LSR_EDGE_1 (config)#policy-map EoMpls_qos → Δημιουργία policy map
LSR_EDGE_1 (config-pmap)#class EoMpls_qos → Ορισμός class
LSR_EDGE_1 (config-pmap-c)#set mpls experimental 4 → Μετατροπή των bits
προτεραιότητας
LSR_EDGE_1 (config)# interface Fa 0/0
LSR_EDGE_1 (config-if)# service-policy input EoMpls_qos → Ενεργοποίηση της
πολιτικής στη διεπαφή

```

Η παραμετροποίηση των ακριανών δρομολογητών(είναι η ίδια και για τους δυο) έχει ως εξής :

```

class-map EoMpls_qos
match any
!
policy-map EoMpls_qos
class EoMpls_qos
set mpls experimental 4
!
interface fa 0/0
service-policy input EoMpls_qos

```

#### 5.5.5.2 Μηχανισμός πολιτικής κίνησης

Η ποιότητα της υπηρεσίας δίνει την δυνατότητα στους δρομολογητές να χρησιμοποιήσουν ένα συγκεκριμένο αριθμό εύρους ζώνης για να μεταδώσουν συγκεκριμένη μορφή πληροφορίας.

Η παραμετροποίηση της ποιότητας της υπηρεσίας θα εκτελεστεί από τους ακριανούς δρομολογητές σε δύο στάδια.

1<sup>ο</sup> Στάδιο : Θα μαρκάρει τα πακέτα πληροφορίας ανάλογα με τον τύπο του πρωτοκόλλου εφαρμογής.

2<sup>ο</sup> Στάδιο : Θα καθορίσει τον ακριβή αριθμό εύρους ζώνης, για την μετάδοση της πληροφορίας .

Οι εντολές παραμετροποίησης των ακριανών δρομολογητών έχουν ως εξής :

```

LSR_EDGE_1(config)#class-map HTTP → Δημιουργία class Map
LSR_EDGE_1 (config-cmap)#match protocol http → Μαρκάρει όλη την http κίνηση

```

```
LSR_EDGE_1 (config)#policy-map HTTP → Δημιουργία policy map
```

```
LSR_EDGE_1 (config-pmap)#class HTTP → Ορισμός class
```

```
LSR_EDGE_1 (config-pmap-c)#bandwidth percent 30 → Θα χρησιμοποιηθεί το 30% του  
εύρους ζώνης της διεπαφής.
```

```
LSR_EDGE_1 (config)# interface Fa 0/1
```

```
LSR_EDGE_1 (config-if)# service-policy output HTTP → Ενεργοποίηση της  
πολιτικής στη διεπαφή
```

Η παραμετροποίηση των ακριανών δρομολογητών(είναι η ίδια και για τους δυο) έχει ως εξής :

```
class-map HTTP
```

```
match protocol http
```

```
!
```

```
policy-map HTTP
```

```
class HTTP
```

```
bandwidth percent 30
```

```
!
```

```
interface fa 0/1
```

```
service-policy output HTTP
```

### 5.5.5.3 Επιβεβαίωση Ποιότητας της υπηρεσίας

Με την χρήση κατάλληλων εντολών μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την λειτουργία των μηχανισμών ποιότητας της υπηρεσίας.

Εκτελούμε την παρακάτω εντολή στους ακριανούς δρομολογητές.

```
LSR_EDGE_1#show policy-map
```

```
Policy Map HTTP
```

```
Class HTTP
```

```
Bandwidth 30 (%)
```

```
Policy Map EoMpls_qos
```

```
Class EoMpls_qos
```

Set experimental 4

Παρατηρούμε τους δύο μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας που ενεργοποιήσαμε, δηλαδή την προτεραιότητα στα εισερχόμενα πακέτα στη διεπαφή Fa 0/0 και τον καθορισμό του εύρους ζώνης για την http κίνηση που θα εξέλθει από την διεπαφή fa 0/1.

Ακόμα μια εντολή που δείχνει πληροφορίες για την ποιότητα υπηρεσίας ανά διεπαφή είναι :

```
LSR_EDGE_1#show policy-map interface
```

Η παραπάνω εντολή μας δείχνει τους μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας ανά διεπαφή, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τα πακέτα πληροφορίας τα οποία εισέρχονται ή εξέρχονται, καθώς και για τον αριθμό των πακέτων που απερρίφθησαν από τον δρομολογητή.

```
show policy-map interface
FastEthernet0/0
  Service-policy input: EoMpls_qos
  Class-map: EoMpls_qos (match-all)
    221 packets, 798 bytes
    5 minute offered rate 10000 bps, drop rate 0 bps
  Match: any
  Qos Set
    mpls experimental imposition 4
    Packets marked 0
.....
FastEthernet0/1

  Service-policy output: HTTP
  Class-map: HTTP (match-all)
    21 packets, 134 bytes
    5 minute offered rate 100000 bps, drop rate 0 bps
  Match: protocol http
  Queueing
    queue limit 64 packets
    (queu depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
    (pkts output/bytes output) 0/0
  Bandwidth 30% (30000 kbps)
```

## 5.5.6 Παραμετροποίηση της ποιότητας της υπηρεσίας μέσω της τεχνικής NBAR

Η μέθοδος ποιότητας της υπηρεσίας NBAR(network-based application recognition), αποτελεί μια τεχνική δυναμικής αναγνώρισης ροών πληροφορίας. Σε πρώτο στάδιο είναι ικανή να καθορίσει την αναγνώριση των πακέτων, ενώ σε δεύτερο στάδιο και με την συνεργασία άλλων μεθόδων όπως το Ip precedence έχει την δυνατότητα μαρκαρίσματος των πακέτων. Η μέθοδος NBAR επιτυγχάνει την αναγνώριση ροών πληροφορίας στηριζόμενο σε ανώτερα επίπεδα του (Layer 4-7 ) του OSI και επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση των εφαρμογών από τις οποίες προέρχονται τα πακέτα αλλά και τα ports που αυτές χρησιμοποιούν. Το NBAR έχει την ικανότητα να ανακαλύπτει και να καταγράφει τα διαφορετικά πρωτόκολλα που εισέρχονται σε μία διεπαφή του δρομολογητή και με την χρήση κατάλληλων εντολών μπορεί και παρέχει στατιστικά στοιχεία για το καθένα από αυτά. Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό του NBAR είναι οι Μονάδες Γλώσσας Προσδιορισμού Πακέτων (Packet Description Language Modules - PDLMS), που επιτρέπουν νέα πρωτόκολλα να ενσωματώνονται εύκολα στην ήδη υπάρχουσα λίστα πρωτοκόλλων του. Οι Μονάδες Γλώσσας Προσδιορισμού Πακέτων καταχωρούνται στη μνήμη flash και αργότερα μεταφέρονται στην μνήμη RAM, κατά την λειτουργία του δρομολογητή. Η



χρήση τους επιτρέπει στους δρομολογητές να ενημερώνονται χωρίς να χρειάζεται να εγκατασταθεί πιο νέα έκδοση λειτουργικού συστήματος ή ακόμα και νέο επανασετάρισμα.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τεχνική NBAR είναι η πιο σοφιστική μέθοδος ταξινόμησης των πακέτων πληροφορίας(packet classification), καθώς καταλαβαίνει σε επίπεδο εφαρμογών. Η ταξινόμηση των πακέτων ακολουθείται από το μαρκάρισμα τους, για την περαιτέρω μεταφορά τους στο διαδίκτυο. Το μαρκάρισμα των πακέτων μπορεί να γίνει με πολλές τεχνικές, εκ των οποίων η πιο ευέλικτη είναι βάση του πεδίου DSCP που βρίσκεται στον IP Header. Η DSCP τεχνολογία χρησιμοποιείται προκειμένου τα πακέτα να ακολουθήσουν συγκεκριμένη ποιότητα της υπηρεσίας(δικτυακή συμπεριφορά) ανα hop(per hop behavior) στο Core δίκτυο.



Σχήμα 42. Dscp Bits

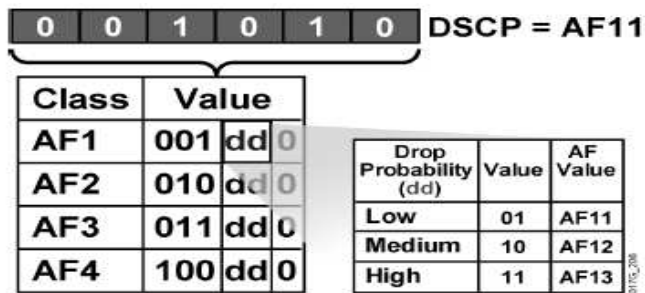
Το DSCP χρησιμοποιεί 6 bits(βλέπε σχήμα 42) προκειμένου να δώσει τιμές, όπου θα αντικατοπτρίζουν την συμπεριφορά των πακέτων στο δίκτυο. Το Phb (per hop behavior) σύμφωνα με το IETF ορίζει τρεις κατηγορίες συμπεριφοράς της κίνησης, από τις οποίες :

- Default PHB : Ορίζει τη best effort υπηρεσία
- Expedited Forwarding (EF) PHB : Ορίζει την υπηρεσία χαμηλής καθυστέρησης (low delay)
- Assured Forwarding (AF) PHB : Ορίζει την υπηρεσία εγγυημένου εύρους ζώνης ( bandwidth guarrantty)

Στο παρόν σενάριο θα εξετάσουμε την κατηγορία Assured Forwarding (AF) όπου έχει την δυνατότητα να :

- Εξασφαλίζει εγγυημένο εύρος ζώνης
- Επιτρέπει την διάθεση επιπλέον πόρων εύρους ζώνης, εφόσον υπάρχουν

Το πρότυπο RFC 2957 καθορίζει τέσσερεις κλάσεις για το Assured Forwarding, οι οποίες χαρακτηρίζονται από δυο ψηφία. Το πρώτο ψηφίο χαρακτηρίζει την κλάση του AF (παίρνει τιμές από 1 έως 4, από το IP Precedence), ενώ το δεύτερο ψηφίο αναφέρεται στο επίπεδο απορριψής της πληροφορίας, ή καλύτερα την πιθανότητα απόρριψής της πληροφορίας από το δίκτυο κατά την διάρκεια μιας συμφόρησης(παίρνει τιμές από 1-χαμηλή πιθανότητα απόρριψής έως 3- υψηλή πιθανότητα απόρριψής). Για παράδειγμα κατά την διάρκεια μιας συμφόρησης, ένα πακέτο με AF33 θα απορριφθεί πιο συχνά (στατιστικά) από ένα πακέτο με AF32.



Σχήμα 43. AF Classes (drop propability)

Οι τέσσερις κατηγορίες του AF(βλέπε σχήμα 43), δηλαδή οι τιμές των τριών πρώτων bits τα οποία εναλλάσσονται, αναφέρονται στο CoS (βλέπε σχήμα), όπου η AF 1X (όπου X η πιθανότητα απόρριψης)χρησιμοποιείται για medium priority εφαρμογές, η AF 2X για high priority εφαρμογές, η AF 3X για εφαρμογές φωνής και η AF4X για εφαρμογές video(βλέπε σχήμα 44).Υπενθυμίζουμε ότι η παραμετροποίηση του AF συνεχίζει στο Mpls Core Δίκτυο μέσω των Exp Bits.Οπότε οι πάροχοι των υπηρεσιών έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν sla's για τους πελάτες τους.

7	Reserved
6	Reserved
5	Voice Bearer
4	Videoconferencing
3	Call-Signaling
2	High-Priority Data
1	Medium-Priority Data
0	Best-Effort Data

Σχήμα 44.AF VS DSCP

#### 5.5.6.1 Σενάριο λειτουργίας Eompls – NBAR

Το σενάριο το οποίο θα μελετήσουμε αναφέρεται στη συνλειτουργία του EoMpls με τη μέθοδο ποιότητας της υπηρεσίας NBAR. Συγκεκριμένα θα καθορίσουμε την ποιότητα της υπηρεσίας κατά την διάρκεια μετάδοσης media streams από τον media gateway server προς τους χρήστες 1 και 2 διαμέσου του Core δικτύου Mpls.Δηλαδή θα δημιουργήσουμε ένα sla με προκαθορισμένες τιμές ποιότητας της υπηρεσίας όπου θα παρέχει ο πάροχος στον τελικό πελάτη.

Το SLA μεταξύ παρόχου και πελάτη θα εγγυάται τα ακόλουθα:

**Για τις εφαρμογές video :**

Bandwidth: 4 Mbps

Cir : 90 %

Drop Propability : Low

**Για τις εφαρμογές voice :**

Bandwidth: 2 Mbps

Cir : 70 %

Drop Propability : Low

**Για τις εφαρμογές Web :**

Bandwidth: 1,5 Mbps

Cir : 60 %

Drop Propability : low

**Για τις εφαρμογές ftp :**

Bandwidth: 0,5Mbps

Cir : 80 %

Drop Propability : Medium

Η παραμετροποίηση του LSR\_EDGE 1, αναλύεται στα παρακάτω βήματα.

- Δημιουργούνται 4 κατηγορίες κίνησης με βάση τα κύρια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν. Το classification γίνεται μέσω της τεχνικής NBAR.
- Σε κάθε κατηγορία ενεργοποιείται η ποιότητα της υπηρεσίας μέσω του Assured Forwarding και των κλάσεων που χρησιμοποιεί.
- Δημιουργείται αντιστοίχιση της ποιότητας της υπηρεσίας από το εσωτερικό δίκτυο των εξυπηρετητών media gateway, ftp, web με την ποιότητα της υπηρεσίας στο Mpls Core δίκτυο.
- Ενεργοποίηση πολιτικών ποιότητας της υπηρεσίας στα interfaces

Ακολουθούν οι εντολές παραμετροποίησης :

## **ΒΗΜΑ 1Ο :ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CLASS MAPS**

### **Video streaming**

```
LSR_EDGE 1(config)# class-map video-streaming
```

```
LSR_EDGE 1(config-cmap)#match protocol rtsp
```

### **Voice**

```
LSR_EDGE 1(config)# class-map voice-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-cmap)#match protocol rtp audio
```

### **Web Services**

```
LSR_EDGE 1(config)# class-map web-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-cmap)#match protocol secure-http
```

### **Ftp Services**

```
LSR_EDGE 1(config)# class-map ftp-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-cmap)#match protocol ftp
```

## **ΒΗΜΑ 2Ο : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ POLICY MAP**

```
LSR_EDGE 1(config)# policy map mark_packets
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class video-streaming
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set dscp cs4
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class voice-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set dscp ef
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class web-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set dscp af31
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class ftp-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set dscp af22
```

### **ΒΗΜΑ 3ο : ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ QOS-MPLS**

```
LSR_EDGE 1(config)# policy map Mpls_Qos
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class video-streaming
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set mpls experimental 5
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#bandwidth 5000 (Kbps)
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#police cir percent 90
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class voice-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set mpls experimental 4
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#bandwidth 2000 (Kbps)
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#police cir percent 70
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class web-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set mpls experimental 3
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#bandwidth 1500 (Kbps)
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#police cir percent 60
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap)#class ftp-in
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#set mpls experimental 2
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#bandwidth 500 (Kbps)
```

```
LSR_EDGE 1(config-pmap-c)#police cir percent 80
```

### **ΒΗΜΑ 4ο : ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ**

```
LSR_EDGE 1(config-if)#ip nbar protocol-discovery
```

```
LSR_EDGE 1(config)# interface fa 0/1
```

```
LSR_EDGE 1(config-if)#service policy output Mpls_Qos
```

```
LSR_EDGE 1(config-if)#service policy input mark_packets
```

### 5.5.6.2 Proof of Concept

Για την απόδειξη της τεχνικής της ποιότητας της υπηρεσίας στην Eompls αρχιτεκτονική θα χρησιμοποιήσουμε τις εντολές show στις διεπαφές του δρομολογητή LSR\_EDGE\_1 και το λογισμικό iperf.

Το iperf αποτελεί ένα εργαλείο, μέσα από το οποίο προκύπτουν μετρήσεις της απόδοσης του Bandwidth κατά την μεταφορά αρχείων που χρησιμοποιούν ως πρωτόκολλα μεταφοράς το TCP και το UDP. Στην ουσία επιτρέπει την μέτρηση της απόδοσης μιας end to end επικοινωνίας. Το λογισμικό iperf λειτουργεί στο μοντέλο client-server, συνεπώς θα πρέπει να εγκατασταθεί και στις δυο πλευρές. Στη συνέχεια και με την χρήση εντολών θα πρέπει να ορίσουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις προκειμένου να μελετήσουμε το εύρος ζώνης κατά τη διάρκεια μιας end to end επικοινωνία.

Η προκαθορισμένη κατάσταση είναι ο iperf client να συνδέεται με τον iperf server στη θύρα TCP 5001. Επίσης το bandwidth που δίνει το iperf είναι το bandwidth από τον client στον server.

Ο χρήστης για να ξεκινήσει τους δικτυακούς αρκεί αρχικά να τρέξει στο server την εντολή iperf -s και στον client την εντολή iperf -c 192.168.1.X, όπου 192.168.1.X η IP διεύθυνση του server.

Ακολουθούν περισσότερες εντολές για το iperf.

-f, --format : ο χρήστης μπορεί να εμφανίζει τα αποτελέσματα των τεστ που κάνει στο format που αυτός θέλει: bits(b), bytes(B), kilobits(k), kilobytes(K), megabits(m), megabytes(M), gigabits(g), gigabytes(G).

π.χ : iperf -c 192.168.1.6 -f b, θα επιστρέψει το αποτέλεσμα σε bits/sec.

iperf -s -i, --interval : ορίζει τα δευτερόλεπτα ανάμεσα σε περιοδικές αναφορές του bandwidth.

-t, --time : ορίζει το χρόνο σε δευτερόλεπτα που θα διαρκέσει το τεστ. Default τιμή: 10 sec.

-p, --port : ορίζει τη θύρα του server στην οποία θα ακούει ο client. Η default τιμή είναι η θύρα 5001.

π.χ : iperf -c 192.168.1.6 -p 12000 -t 30 -i 5

iperf -s -p 12000 -l, --len : ορίζει το μήκος του buffer για εγγραφή και ανάγνωση. Default τιμή 8 KB.

-r, --tradeoff : επιλογή για τεστ διπλής κατεύθυνσης.

-d, --dualtest : όπως παραπάνω αλλά τώρα το τεστ γίνεται ταυτόχρονα, με μία μέτρηση δηλαδή, δίνει το bandwidth και των δύο κατευθύνσεων.

iperf -s -w, --window : ορίζει το μέγεθος του TCP παράθυρου. π.χ : iperf -c 192.168.1.6 -w 2000

iperf -s -w 4000

-u, --udp : πραγματοποιεί ένα iperf udp τεστ.

-b, bandwidth #[KM]: για udp ορίζει το bandwidth να εμφανίζεται σε bits/sec. Η default τιμή είναι Mbit/sec.

-m, --print \_MMS : Το όρισμα αυτό επιτρέπει στο χρήστη να εμφανίσει στο τεστ που κάνει και το MMS-maximum segment size.

-P, --parallel : επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιεί παράλληλα τεστ σε διαφορετικές θύρες.

Αρχικά το πείραμα πραγματοποιήθηκε χωρίς να υπάρχει οποιαδήποτε τεχνική ποιότητας της υπηρεσίας. Μετρήθηκε η κίνηση udr και tcp πακέτων μεταφοράς για διαφορετικές κατηγορίες εφαρμογών (http, video, voice, ftp). Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις των πακέτων udr.

Το πρώτο πείραμα έγινε με συνεχόμενα αρχεία φωνής udr μεταβαλλόμενου μεγέθους, ξεκινώντας από αρχεία 5 MB και φτάνοντας στα 11 MB.

Ο server έχει ως διεύθυνση την 192.168.8.10 ενώ ο client (user 1) την 192.168.10.5

```
iperf -s -u -i 2
```

```
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 122 KByte (default)
-----
```

### Αρχείο video

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 32799
[ 3] 0.0- 2.0 sec 1.19 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.091 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 1.19 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.094 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 1.19 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.120 ms 0/ 851 (0%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 1.19 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.115 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 8.0-10.0 sec 1.19 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.090 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 5.96 MBytes 5.00 Mbits/sec 0.099 ms 0/ 4253 (0%)
```

### Αρχείο φωνής

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 32803
[ 3] 0.0- 2.0 sec 1.66 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.191 ms 0/ 100 (0%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 1.66 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.494 ms 50/ 1250 (4%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 1.66 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.420 ms 78/ 1251 (6.2%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 1.66 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.415 ms 85/ 1250 (6.8%)
[ 3] 8.0-10.0 sec 1.66 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.290 ms 25/ 1250 (2%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 8.47 MBytes 5.6 Mbits/sec 0.362 ms 113/ 5101 (4.67%)
```

### Αρχείο exe (εφαρμογή tftp)

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 34728
[ 3] 0.0- 2.0 sec 2.35 MBytes 6.1 Mbits/sec 0.778 ms 30/ 300 (10%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 2.35 MBytes 6.1 Mbits/sec 2.194 ms 591/ 1970 (30%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 2.36 MBytes 6.1 Mbits/sec 2.3980 ms 689/ 1971 (35%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 2.36 MBytes 6.1 Mbits/sec 2.415 ms 788/ 1970 (40%)
```

[ 3] 8.0-10.0 sec 2.36 MBytes 6.1 Mbits/sec 0.896 ms 493/ 1970 (25%)  
 [ 3] **0.0-10.0 sec 11,8 MBytes 6.1 Mbits/sec 1.9507 ms 2591/ 8181 (32%)**

Network Traffic	Throughput	Ρυθμός απώλειας πακέτων	Jitter
5.96 MB	5 Mbps	0%	0.099 ms
8.47 MB	5.6 Mbps	4.67%	0.362 ms
11.8 MB	6.1 Mbps	32%	1.9507 ms

Πίνακας 2.Αποτελέσματα iperf (udp packets)

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του iperf, παρατηρούμε την αύξηση των τιμών της απώλειας πακέτων και του jitter.Επειδή το πρωτόκολλο udp εξυπηρετεί κυρίως εφαρμογές μετάδοσης voice και video οι ανωτέρω τιμές κύριως της απώλειας πακέτων κρίνονται απαγορευτικές για τα δίκτυα σύγκλισης.

Το σενάριο θα πραγματοποιηθεί εκ νέου εισάγοντας τους μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας στον δρομολογητή LSR\_EDGE\_1.Το nbar θα χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει τα εισερχόμενα πακέτα, ενώ μέσω του bits των dscr και του cir θα εφαρμόσουμε το SLA σύμφωνα με συγκεκριμένες πολιτικές qos ανάλογα με την κατηγορία της πληροφορίας.

Κατόπιν εκτελούμε εκ νέου μια σειρά από πειράματα προκειμένου να μελετήσουμε τις μετρήσεις από τις διαφορετικές κατηγορίες udp πακέτων.

```
iperf -s -u -i 2
```

```
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 122 KByte (default)
```

---

### Αρχείο video

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 32799
[ 3] 0.0- 2.0 sec 1.19 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.081 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 1.19 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.084 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 1.19 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.110 ms 0/ 851 (0%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 1.19 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.108 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 8.0-10.0 sec 1.19 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.080 ms 0/ 850 (0%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 5.96 MBytes 3.6 Mbits/sec 0.093 ms 0/ 4253 (0%)
```



## Αρχείο φωνής

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 32803
[ 3] 0.0- 2.0 sec 1.66 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.091 ms 0/ 100 (0%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 1.66 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.294 ms 10/ 1250 (0.08%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 1.66 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.320 ms 14/ 1251 (1.11%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 1.66 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.315 ms 8/ 1250 (0.64%)
[ 3] 8.0-10.0 sec 1.66 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.190 ms 5/ 1250 (0.4%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 8.47 MBytes 1.4 Mbits/sec 0.242 ms 113/ 5101 (0.7%)
```

## Αρχείο exe (εφαρμογή tftp)

```
[ 3] local 192.168.8.10 port 5001 connected with 192.168.10.5 port 34728
[ 3] 0.0- 2.0 sec 2.35 MBytes 0.8 Mbits/sec 1.178 ms 0/ 300 (0%)
[ 3] 2.0- 4.0 sec 2.35 MBytes 0.7 Mbits/sec 2.394 ms 521/ 1970 (26%)
[ 3] 4.0- 6.0 sec 2.36 MBytes 0.6 Mbits/sec 2.398 ms 989/ 1971 (50%)
[ 3] 6.0- 8.0 sec 2.36 MBytes 0.8 Mbits/sec 2.415 ms 1088/ 1970 (55%)
[ 3] 8.0-10.0 sec 2.36 MBytes 0.7 Mbits/sec 1.96 ms 893/ 1970 (45%)
[ 3] 0.0-10.0 sec 11,8 MBytes 0.7 Mbits/sec 1.9507 ms 3491/ 8181 (42%)
```

Network Traffic	Throughput	Ρυθμός απώλειας πακέτων	Jitter
5.96 MB	3.6 Mbps	0%	0.093 ms
8.47 MB	1.4 Mbps	0.7%	0.242 ms
11.8 MB	6.1 Mbps	42%	2.069 ms

Πίνακας 3.Αποτελέσματα iperf(qos enabled)

Ο πίνακας 3, οδηγεί στην διεξαγωγή πολύτιμων αποτελεσμάτων σχετικά με τη παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας. Συμπερασματικά, καταλαβαίνουμε ότι η ποιότητα της υπηρεσίας διαχωρίζει την κίνηση δίνοντας προτεραιότητες σε κατηγορίες κίνησης, ανάλογα με την σημαντικότητά τους. Επίσης αποδुकνεί το γεγονός ότι ανα κατηγορία η πληροφορία θα έχει διαφορετική εγγύηση στην διαθέσιμότητα τους εύρους ζώνης. Έτσι παρατηρούμε ότι τα αρχεία video θα λάβουν το εγγυημένο εύρος ζώνης (βάση bandwidth και cir), όπως και τα αρχεία φωνής ενώ τα αρχεία που θα κατέβουν από τον tftp server υπόκεινται στην κατηγορία best effort, όπερ σημαίνει ότι δεν θα είναι εγγυημένο ούτε το εύρος ζώνης αλλά ούτε το ποσοστό απώλειας πακέτων της μεταφοράς της πληροφορίας.

Οι παρακάτω εντολές αποδुकνείουν τζν παραμετροποίηση των πολιτικών qos καθώς και το classification μέσω του nbar.

Εκτελώντας την εντολή :

```
LSR_EDGE_1#show policy-map
```

```
Policy Map mark_packets
```

```

Class video-streaming
Set dscp cs4
Class voice-in
Set dscp ef
Class web-in
Set dscp af31
Class ftp-in
Set dscp af22
Polisy Map Mpls_Qos
Class video-streaming
Police cir percent 90
Bandwidth 5000(kbps)
Class voice-in
Police cir percent 70
Bandwidth 2000(kbps)
Class web-in
Police cir percent 60
Bandwidth 1500(kbps)
Class ftp-in
Police cir percent 80
Bandwidth 500(kbps)

```

Ενώ για να παρατηρήσουμε το Classification μέσω της τεχνικής NBAR εκτελούμε :

```
LSR_EDGE_1#show ip nbar protocol-discovery
```

Protocol	30second bit rate (bps)	30second bit rate (bps)
-----	-----	-----
rtsp	3680	0
rtftp	1630	0
https	0	0
rtp	6140	0
citrix	0	0
Total	11480	

Οι μηχανισμοί ποιότητας της υπηρεσίας που χρησιμοποιήθηκαν εξετάστηκαν ενδελεχώς προκειμένου να αποδειχθεί ότι λειτουργούν σωστά και αποδοτικά. Είναι προφανές ότι θεωρητικά αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδανικό για κίνηση πραγματικού χρόνου που χρειάζεται υψηλή προτεραιότητα και

εγγυημένο εύρος ζώνης. Τέλος, βλέποντας όλα τα πειράματα και τα συμπεράσματά τους, η υπηρεσία QoS που προσπαθήσαμε να εφαρμόσουμε και να εξετάσουμε, χρησιμοποιώντας τους μηχανισμούς αυτούς, λειτούργησε αποτελεσματικά, βοηθώντας μας να εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα. Αυτό αποδεικνύεται από το ότι μείωσε, την καθυστέρηση, την απώλεια πακέτων και το jitter των ροών πληροφορίας, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε η ποιότητα των εφαρμογών που παρήγαγαν αυτή την κίνηση.

## **5.6 Επίλογος**

Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της παρούσας πτυχιακής βοηθώντας τους αναγνώστες να βγάλουν τα συμπεράσματα τους σχετικά με τους μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας για την μετάδοση δεδομένων σε πλαίσια Ethernet μέσω των δικτύων των παρόχων.

Το Ethernet λειτουργώντας σε συνδυασμό με το Mpls αλλά και τους μηχανισμούς ποιότητας της υπηρεσίας (QoS) είναι σε θέση να παρέχει αξιόπιστη, ασφαλή αλλά γρήγορη μετάδοση της πληροφορίας δεδομένων, φωνής αλλά και video ικανοποιώντας τις απαιτήσεις σύγχρονων διαδικτυακών εφαρμογών.

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα του Ethernet και η έως τώρα αποδοχή του στα τοπικά δίκτυα καθιστούν ιδιαίτερα κερδοφόρα την χρήση του και στα δίκτυα των παρόχων. Η καθ' ολοκλήρου μετάδοση της πληροφορίας από άκρο εις άκρο ενσωματωμένη σε πλαίσια Ethernet είναι πλέον γεγονός παρέχοντας σημαντικά οικονομικά οφέλη τόσο στους παρόχους αλλά και στους συνδρομητές, οι οποίοι θα πληρώνουν φθηνότερα μια υπηρεσία υψηλής ποιότητας και αξιοπιστίας για την μετάδοση δεδομένων. Τα σενάρια προσομείωσης αποδεικνύουν το γεγονός ότι η ποιότητα της υπηρεσίας επιτρέπει την δημιουργία sla's καθιστώντας τους παρόχους υπηρεσιών σίγουρους για το επίπεδο της προσφερόμενης υπηρεσίας στους τελικούς πελάτες διαμέσου του Core Eompls δικτύου.

## **6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

### **6.1 Βιβλιογραφία**

1. Cisco Press Metro Ethernet
2. MPLS.Implementing.Cisco.MPLS.v.2.1.Vol.1 & 2
3. The Challenges of Ethernet Access ([www.rad.com](http://www.rad.com))
4. Carrier Ethernet Network Solutions: Transport Protocol and Optical Backplane Design, By Claudio Ignacio Estevez Montero
5. Metro Ethernet Forum, MEF 1, Ethernet Services Model, Phase 1
6. Metro Ethernet Forum, MEF 5, Traffic Management Specification: Phase 1
7. Metro Ethernet Forum, MEF 6, Ethernet Services Definitions - Phase 1
8. Ethernet as a Carrier Grade Technology: Developments and Innovations, by Rafael Sanchez
9. A Business Case Comparison of Carrier Ethernet Designs for Triple Play Networks(<http://www.nspllc.com>)
10. Ethernet OAM tutorial([cisco.com](http://cisco.com))
11. Cisco.Press.Definitive.MPLS.Network.Designs.Mar.2005
12. Cisco.Press.MPLS.and.Next.Generation.Networks.Foundations.for.NGN.and.Enterprise.Virtualization
13. Cisco.Press.Layer.2.VPN.Architectures.Mar.2005
14. Cisco.Press.MPLS.and.VPN.Architectures.Volume.II
15. Implementing\_Cisco\_Quality\_of\_Service\_\_QoS\_\_v2.2\_Volumes\_1\_2
16. Cisco.Press.MPLS.Configuration.on.Cisco.IOS.Software
17. McGraw Hill Delivering Carrier Ethernet Extending Ethernet Beyond the LAN
18. Knowledgenet - Implementing Cisco Quality of Service (QoS)
19. [www.openmaniak.com/iperf.php](http://www.openmaniak.com/iperf.php)