

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακή Διατριβή στα Πληροφορικά Συστήματα



**Συγκέντρωση Κίνησης για Μεταγωγή Ριπών (Optical Burst
Switching) σε Ευρυζωνικά Οπτικά Δίκτυα Κορμού**

Χαράλαμπος Νικολάου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Κυριάκος Βλάχος**

Φεβρουάριος 2013

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Συγκέντρωση Κίνησης για Μεταγωγή Ριπών (Optical Burst Switching) σε Ευρυζωνικά Οπτικά Δίκτυα Κορμού

Χαράλαμπος Νικολάου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Κυριάκος Βλάχος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε
προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση

μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
στα Πληροφοριακά Συστήματα

από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Φεβρουάριος 2013

Περίληψη

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη αλγορίθμων, πρωτοκόλλων και τεχνικών για την διαχείριση μεγάλων ροών που υπάρχουν στα δίκτυα κορμού. Μέχρι σήμερα ο γρηγορότερος και πιο αξιόπιστος τρόπος μετάδοσης δεδομένων που χρησιμοποιείται είναι μέσω οπτικών ινών. Για τον λόγο αυτό, στη παρούσα διατριβή το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή στις τεχνολογίες οπτικών ινών. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η κατάσταση των δικτύων οπτικών ινών όπως είναι σήμερα, με τις διάφορες τεχνικές πολυπλεξίας και μεταγωγής, καθώς και οι προοπτικές για βελτίωση με νέες τεχνικές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα προβλήματα που δημιουργούνται από την αυξανόμενη ζήτηση όσον αφορά την χωρητικότητα και το εύρος ζώνης στα δίκτυα κορμού. Η αύξηση των χρηστών διαδικτύου και οι απαιτητικές εφαρμογές δημιουργούν τεράστιες ροές δεδομένων. Έτσι στην ενότητα αυτή αναλύονται συγκεκριμένες τεχνικές και αλγόριθμοι αναγνώρισης, του πια από τις υπάρχουσες ροές στα δίκτυα κορμού ανήκει στην κατηγορία των μεγάλων ροών (elephant flows). Επίσης η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει και πιθανά μοντέλα στήριξης της ποιότητας υπηρεσίας που μπορούν να προσφέρουν οι μεγάλες ροές.

Το τρίτο κεφάλαιο καταπιάνεται με την ανάλυση και τη λειτουργία της οπτικής μεταγωγής ριπών, μιας τεχνολογίας η οποία στηρίζεται και χρησιμοποιεί τις δυνατότητες του εύρου ζώνης και χωρητικότητας, των οπτικών ινών. Με αυτό τον τρόπο η τεχνολογία αυτή προβάλλει σαν μία πιθανή λύση στην εξυπηρέτηση των μεγάλων ροών στα δίκτυα κορμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία του προσομοιωτή δικτύων OMNET++ ο οποίος χρησιμοποιείται για να γίνει η προσομοίωση της οπτικής μεταγωγής ριπών. Με τον τρόπο αυτό μελετούνται οι διάφοροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την λειτουργία της μεταγωγής αυτής.

Το τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της μεταπτυχιακής διατριβής, στον οποίο συζητούνται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την προσομοίωση της μεταγωγής ριπών όπως και κάποιες μελλοντικές μελέτες οι οποίες μπορούν να γίνουν για εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων σχετικά με το είδος της μεταγωγής.

Summary

The goal of this M.Sc dissertation is to perform a research on algorithms, protocols and techniques for managing huge volume of data flowing in backbone networks. To date, the highest speeds and most reliable data transmission are achieved through fiber optics. Hence this dissertation begins with an introduction to fiber optic technology, which presents the state of the art in fiber optic networks, showcasing various switching and multiplexing techniques, and prospects for improvement with new techniques.

The second chapter describes the problems faced by the increasing demand for capacity and bandwidth in backbone networks. The continuously growing number of Internet users and the demanding applications used by these users, generate huge streams of data. Consequently we discuss in this section major techniques and algorithms, for identification of existing flows in backbone networks that belong to the class of huge data flows (elephant flows). Also possible communication models, are presented, which are able to support the quality of service that elephant flows can offer.

The third chapter deals with the analysis and operation of optical burst switching. This refers to a technology that is based on fiber optics capabilities and uses the bandwidth and the capacity of optical fibers. Via this approach the technology is considered as a solution that allows serving elephant flows in backbone networks.

The fourth chapter describes the operation of the network simulator OMNET + +, which is used to execute simulations on optical burst switching. The simulations showcase and reveal various factors affecting the operation of optical burst switching.

The final chapter presents the conclusion of this M.Sc dissertation. It discusses the results drawn from the simulations on optical burst switching and potential future work that can well provide more fine grained conclusions on this kind of data transfer.

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση αυτής της διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω των επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κυριάκο Βλάχο για την υπομονή και την στήριξη του κατά την διάρκεια της εργασίας μου.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Δικτύων	1
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Είδη Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων Και Μεταγωγής.....	2
1.2.1	Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Την Γεωγραφική Τοποθεσία Και Απόσταση Των Κόμβων Και Των Τερματικών.....	3
1.2.2	Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Τους Περιορισμούς Στην Πρόσβαση Των Χρηστών Στα Δίκτυα	4
1.2.3	Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Το Τηλεπικοινωνιακό Μοντέλο Το Οποίο Χρησιμοποιείται Από Τους Κόμβους Και Τα Τερματικά	5
1.2.4	Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Το Είδος Της Μεταγωγής Το Οποίο Χρησιμοποιεί Το Δίκτυο	5
1.3	Τα Δίκτυα Οπτικών Ινών Όπως Είναι Σήμερα	6
1.3.1	Είδη Μεταγωγής Και Εφαρμογές.....	6
1.3.2	Πολυπλεξία Στα Οπτικά Δίκτυα	9
1.3.3	Αρχιτεκτονική Των Οπτικών Δικτύων	12
1.4	Νέες Τεχνολογίες Οπτικών Δικτύων.....	13
1.4.1	Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος (Wavelength Routing Networks):	13
1.4.2	Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγή Πακέτων(Optical Packet Switching Networks-OPSN):	13
1.4.3	Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγή Ριπών (Optical Burst Switching Networks - OBS) :	14
1.5	Δομή και Ανάπτυξη Διατριβής.....	14
2.	Μεγάλες Ροές Δεδομένων στα Δίκτυα Κορμού (Elephant Flows)	16
2.1	Εισαγωγή	16
2.2	Μοντέλα Δέσμευσης Οπτικών Μονοπατιών για την Εξυπηρέτηση των Μεγάλων Ροών	17
2.2.1	Αρχιτεκτονική Οπτικών Δικτύων του Τύπου Service Oriented	17
2.2.2	Αρχιτεκτονική Οπτικών Δικτύων του Τύπου Self-Managed.....	19
2.3	Τεχνικές και Πρωτόκολλα Αναγνώριση Μεγάλων Ροών.....	20
2.3.1	MPLS (Multiprotocol Label Switching) and GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching).....	21
2.3.2	Αναγνώριση μεγάλων ροών (elephant flow) βάση της περιοδικής δειγματοληψίας πακέτων	28
2.3.3	Αναγνώριση Μεγάλων Ροών από Δεδομένα με Μία Τεχνική Βασισμένη σε FPGA Cache. 30	
2.4	Διασφάλιση της Ποιότητας Εξυπηρέτησης των Μεγάλων Ροών	32
3.	Οπτική Μεταγωγή Ριπών(OBS).....	36
3.1	Εισαγωγή	36

3.2	Αλγόριθμοι Συναρμολόγησης Δεδομένων- Πακέτων σε Ριπές	38
3.2.1	Αλγόριθμοι με Χρονικό Όριο (timer based)	38
3.2.2	Αλγόριθμοι με Όριο Μεγέθους Ριπής (threshold based)	39
3.2.3	Αλγόριθμοι με Χρονικό Όριο και Μέγιστο Μέγεθος (hybrid)	39
3.3	Σηματοδοσία (Signalling) στα Δίκτυα Μεταγωγής Ριπών	39
3.3.1	Το Πρωτόκολλο Μονόδρομης Σηματοδοσίας Just Enough Time (JET)	40
3.3.2	Το Πρωτόκολλο Αμφίδρομης Σηματοδοσίας Tell-And-Wait (TAW)	41
3.4	Αρχιτεκτονική των Δικτύων Μεταγωγής Ριπών	42
3.4.1	Αρχιτεκτονική και Υποδομή των OBS	42
3.4.2	Αρχιτεκτονική των Κόμβων στα Δίκτυα OBS	43
3.5	Συγκρούσεις στα Δίκτυα OBS	45
4.	Παρουσίαση του προσομοιωτή OBSModules στο OMNET++	47
4.1	Εισαγωγή	47
4.2	OBS Modules	48
4.2.1	Περιγραφή Περιφερικών Κόμβων στο OBSModules	48
4.2.2	Περιγραφή των κόμβων πυρήνα στο OBSModules	49
4.2.3	Περιγραφή του Περιβάλλοντος και της Λειτουργίας του OBS Modules στο OMNET++	51
4.3	Εκτέλεση Προσομοιώσεων στο OMNET++	52
5.	Επίλογος	55
5.1	Αποτελέσματα	55
5.2	Συμπεράσματα	57
5.3	Ιδέες για μελλοντικές αναβαθμίσεις	57

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου τύπου LAN σε MAN και MAN σε WAN.....	4
Εικόνα 2: Παραδείγματα μοντέλων (α) point to point και (β) broadcast	5
Εικόνα 3: (α) Η τεχνική της πολυπλεξίας κατά μήκος κύματος (WDM).(β) Η τεχνική WDM μέσα από ένα γράφημα της συχνότητας συναρτήσει του χρόνου	10
Εικόνα 4: (α) Η τεχνική της οπτικής πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (OTDM). (β) Η τεχνική OTDM μέσα από ένα γράφημα της συχνότητας συναρτήσει του χρόνου κατά αναλογία με το σχήμα	11
Εικόνα 5: Σύνδεσμοι οπτικών δακτυλίων τύπου SONET.....	12
Εικόνα 6: Μοντέλο υπηρεσίας δικτύου τύπου Service Oriented	18
Εικόνα 7: Αρχιτεκτονική δικτύων τύπου Self-Managed.....	19
Εικόνα 8: Μετάδοση δεδομένων μεταξύ ανομοιογενών δικτύων	22
Εικόνα 9: Lambdas σε μία οπτική ίνα	24
Εικόνα 10: Βήματα διαχείρισης σφαλμάτων από το GMPLS	26
Εικόνα 11: Οι μνήμες cache βάση της πολιτικής S3-LRU	31
Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική των δικτύων OBS.....	36
Εικόνα 13: Διαχωρισμός των μηνυμάτων ελέγχου από την μετάδοση των ριπών.....	37
Εικόνα 14: Το πρωτόκολλο Just Enough Time	41
Εικόνα 15: Κόμβος πυρήνα του δικτύου OBS.....	44
Εικόνα 16: Επιπλέον μονάδες που υπάρχουν στους περιφερικούς κόμβους OBS.....	44
Εικόνα 17: Dispatcher, Burstifier and Sender σε ένα assembler του OBS Modules	49
Εικόνα 18: Assembler σε περιφεριακό κόμβο OBS	49
Εικόνα 19: Κόμβος πυρήνα στο OBS Modules.....	50
Εικόνα 20: Δήγμα του γραφικού περιβάλλοντος στο OMNET	52
Εικόνα 21: Τοπολογία δικτύου προς μελέτη.....	53
Εικόνα 22: Τοπολογία στην οποία έγιναν προσομοιώσεις συναρμολόγησης ριπών	53
Εικόνα 23: Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει του χρονικού ορίου για την συναρμολόγηση πακέτων σε ριπές	56
Εικόνα 24 Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει του threshold για την συναρμολόγηση πακέτων σε ριπές	56
Εικόνα 25: Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει της αύξησης του φορτίου για διαφορετικούς χρόνους προσομοίωσης.....	57

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Δικτύων

1.1 Εισαγωγή

Αναμφίβολα η σημερινή εποχή παρουσιάζει αυξανόμενες ανάγκες στον τομέα των δικτύων όσον αφορά την χωρητικότητα και το εύρος ζώνης που μπορούν να υποστηρίξουν. Ο αυξανόμενος αριθμός των χρηστών – τερματικών στα δίκτυα και η παροχή όλο και πιο πολύπλοκων υπηρεσιών, είναι μερικοί από τους λόγους που κάνουν επιτακτική την αύξηση της χωρητικότητας και του εύρους ζώνης τόσο στα δίκτυα πρόσβασης όσο και στα δίκτυα κορμού. Σήμερα η τεχνολογία που έχει την δυνατότητα να καλύψει αυτή την ανάγκη είναι η φωτονική. Μέσο μετάδοσης της τεχνολογίας αυτής είναι η οπτική ίνα η οποία και χρησιμοποιείται στα περισσότερα δίκτυα κορμού από τους διάφορους παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. [08]

Παρόλα αυτά δεν έχει καταστεί ακόμα δυνατό να εκμεταλλευτούν όλες οι δυνατότητες που προσφέρει η χρήση της οπτικής ίνας. Αυτό θα γίνει μόνο με την ανάπτυξη των “αμιγώς οπτικών δικτύων”, τα οποία χαρακτηρίζονται από την αμιγώς οπτική επεξεργασία του σήματος και την πλήρη αποφυγή οποιασδήποτε ηλεκτρονικής διάταξης στο δίκτυο. Στα αμιγώς οπτικά δίκτυα η μετάδοση των πληροφοριών θα γίνεται μέσα από ένα ενιαίο οπτικό δίκτυο με την αποφυγή οποιασδήποτε οπτοηλεκτρονικής μετατροπής κάτι που θα αυξήσει κατά πολύ την ταχύτητα μετάδοσης. [01,15]

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των διαφόρων τύπων τηλεπικοινωνιακών δικτύων και των χαρακτηριστικών τους, στα είδη μεταγωγής και μετά θα γίνει μία σύντομη αναφορά στα ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών και των δυνατοτήτων που έχουν για περαιτέρω εκμετάλλευση. Τέλος παρουσιάζεται η δομή της διατριβής.

1.2 Είδη Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων Και Μεταγωγής

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τέσσερα διαφορετικά κριτήρια.[05,06]

- 1) Γεωγραφική τοποθεσία των κόμβων και των τερματικών που απαρτίζουν το δίκτυο.
- 2) Περιορισμούς στην πρόσβαση του δικτύου
- 3) Τηλεπικοινωνιακό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται από τους κόμβους και τα τερματικά.
- 4) Το είδος της μεταγωγής το οποίο χρησιμοποιείται από τους κόμβους και τα τερματικά.

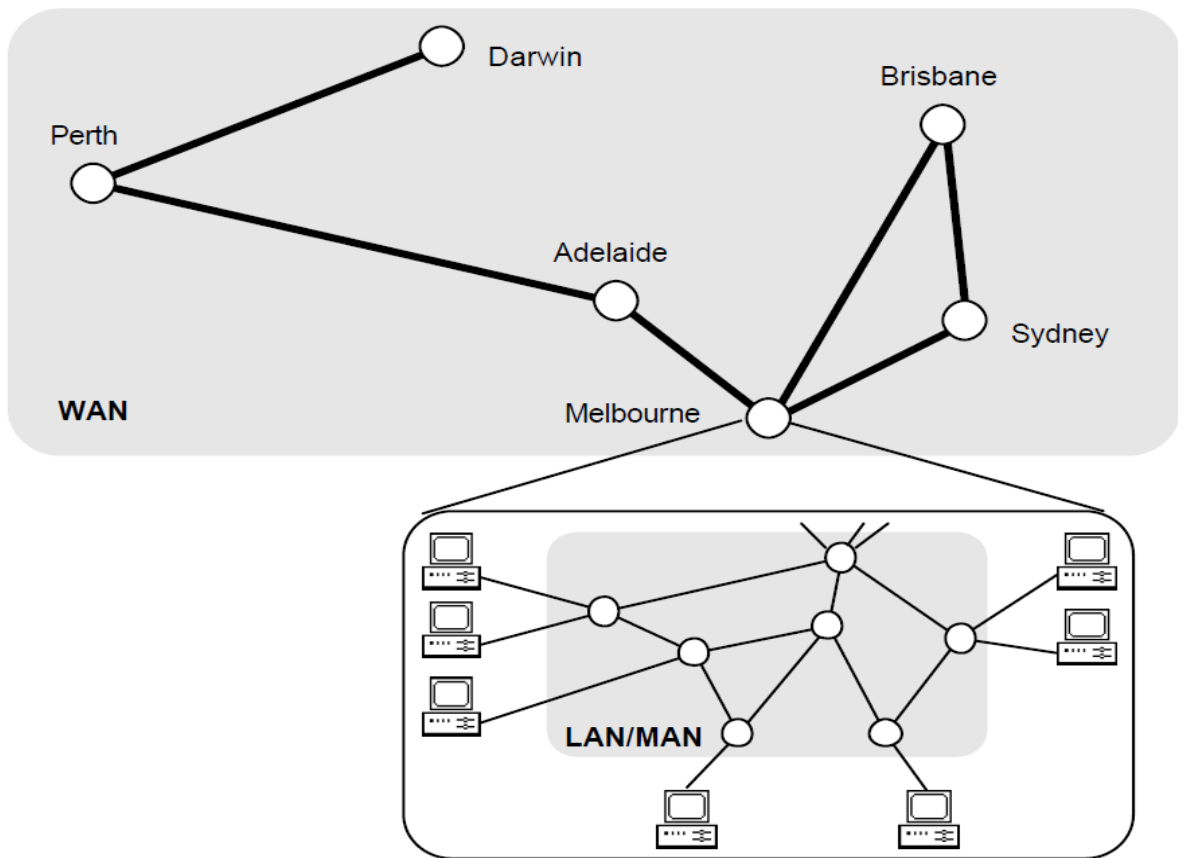
1.2.1 Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Την Γεωγραφική Τοποθεσία Και Απόσταση Των Κόμβων Και Των Τερματικών

Ανάλογα με την απόσταση που έχουν τα τερματικά και οι κόμβοι ενός δικτύου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Τοπικά δίκτυα ή δίκτυα πρόσβασης LAN (Local Area Network) Είναι τοπικά δίκτυα που αποτελούνται από τερματικά που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις, όπως σε ένα σχολείο, μία βιβλιοθήκη ή ένα γραφείο. Τα δίκτυα του τύπου αυτού μπορεί να είναι ενσύρματα ή και ασύρματα δίκτυα με έξοδο στο διαδίκτυο ή χωρίς και είναι το τελευταίο στάδιο ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου (αν το τοπικό δίκτυο είναι συνδεδεμένο πχ στο διαδίκτυο) πριν η πληροφορία φτάσει τελικά στον χρήστη. Παρόλο που δεν απαιτείται μεγάλη χωρητικότητα λόγω του μικρού αριθμού των χρηστών τους, και των σχετικά χαμηλών απαιτήσεων σε εύρος ζώνης που έχουν οι χρήστες αυτοί, σήμερα τα δίκτυα αυτά μπορεί να χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες μεταξύ των τερματικών τους ανάλογα και με τον τύπο των καλωδίων, δρομολογητών ή και των switch τα οποία μπορεί να περιλαμβάνονται στο κάθε δίκτυο αυτού του τύπου.
- Μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan Area Networks). Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν υπηρεσίες και εξυπηρετούν χρήστες που βρίσκονται σε αποστάσεις κάποιων δεκάδων χιλιομέτρων και έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Τέτοιοι χρήστες είναι οι παροχής internet που χρησιμοποιούν τέτοια δίκτυα για την εσωτερική σύνδεση των πόλεων που εξυπηρετούν. Έτσι αυτά τα δίκτυα πρέπει να εξυπηρετήσουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών μιας και καλούνται να εξυπηρετήσουν το απαιτητικό και πολυπληθές κοινό μίας πόλης.
- WAN (Wide Area Networks). Είναι τα δίκτυα τα οποία συνδέουν τα μητροπολιτικά δίκτυα. Έτσι αυτά τα δίκτυα μπορεί να καλύπτουν εκτάσεις της τάξεως εκατοντάδων ή ακόμα και χιλιάδων χιλιομέτρων. Συνήθως αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν στατικές ευρυζωνικές συνδέσεις μεγάλης χωρητικότητας, κάτι που κάνει τις συνδέσεις τους περισσότερο προβλέψιμες συγκριτικά με την κίνηση των δεδομένων στα Μητροπολιτικά δίκτυα.

Παραδείγματα των δικτύων που προαναφέρονται φαίνονται στην εικόνα 1 πιο κάτω :

Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου τύπου LAN σε MAN και MAN σε WAN



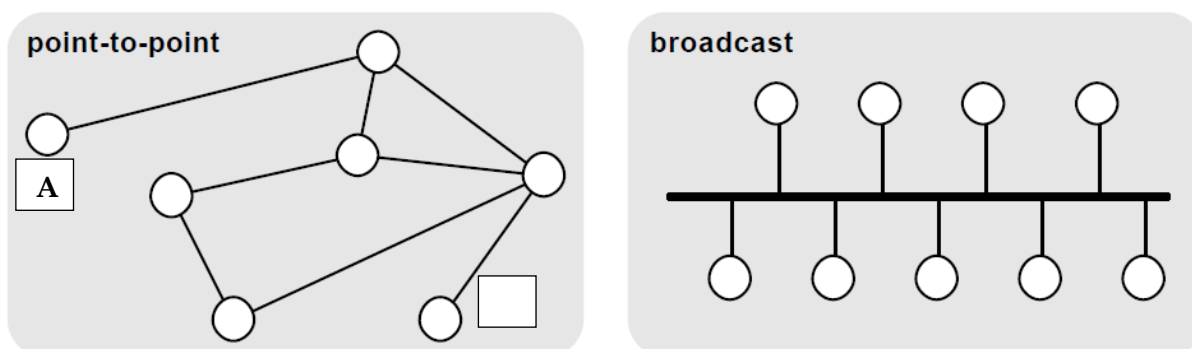
1.2.2 Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Τους Περιορισμούς Στην Πρόσβαση Των Χρηστών Στα Δίκτυα

Τα δίκτυα τα οποία εξυπηρετούν διαφόρους οργανισμούς όπως οι τράπεζες, σχολεία, κυβερνητικές υπηρεσίες, νοσοκομεία κτλ. χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι οι πιθανοί χρήστες των δικτύων αυτών πρέπει να έχουν την έγκριση του οργανισμού στον οποίο ανήκει το συγκεκριμένο δίκτυο και από το ότι στις πλύστες των περιπτώσεων πρέπει να βρίσκονται φυσικά στον χώρο του δικτύου. Έτσι το είδος των δικτύων αυτών χαρακτηρίζεται ως ιδιωτικό (private). Από την άλλη τα δίκτυα στα οποία για να συνδεθεί κάποιος χρήστης χρειάζεται κάποιου είδους εγγραφή και η πληρωμή κάποιου τέλους σύνδεσης αυτά ονομάζονται δημόσια δίκτυα (public).

1.2.3 Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Το Τηλεπικοινωνιακό Μοντέλο Το Οποίο Χρησιμοποιείται Από Τους Κόμβους Και Τα Τερματικά

Τα τηλεπικοινωνιακά μοντέλα τα οποία μπορεί να έχουμε μεταξύ των κόμβων είναι είτε point-to-point είτε broadcast. Στην περίπτωση του μοντέλου point-to-point όταν αποστέλλεται κάποιο μήνυμα από κάποιο κόμβο σε κάποιο άλλο αυτό το μήνυμα ακολουθεί ένα συγκεκριμένο δρόμο μέσα στο δίκτυο για να φτάσει στον τελικό κόμβο. Από την άλλη όταν έχουμε μοντέλο broadcast όλοι οι κόμβοι μπορούν να δουν ένα μέρος του μηνύματος, την διεύθυνση αποστολής (destination address). Αν αυτή δεν είναι η διεύθυνση τους τότε απορρίπτουν το μήνυμα και αυτό λαμβάνεται μόνο από τον κόμβο στον οποίο ανήκει η διεύθυνση αποστολής. Στην εικόνα 2 φαίνονται σχηματικά τα δύο είδη μοντέλων.

Εικόνα 2: Παραδείγματα μοντέλων (α) point to point και (β) broadcast



1.2.4 Κατηγορίες Δικτύων Ανάλογα Με Το Είδος Της Μεταγωγής Το Οποίο Χρησιμοποιεί Το Δίκτυο

Στα μοντέλα α) και β) της εικόνας 2 το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιεί και τα δύο είδη μεταγωγής, μεταγωγή κυκλώματος ή μεταγωγή πακέτου. Ας υποθέσουμε ότι ο κόμβος A στέλνει κάποιο μήνυμα χρησιμοποιώντας μεταγωγή κυκλώματος στον B. Τότε με βάση αυτού του είδους την μεταγωγή, δεσμεύεται κάποιο μονοπάτι από τον A στον B μέχρι το μήνυμα του A να σταλεί ολοκληρωτικά στον B με μία συνεχή ροή από bits. Με τον όρο δεσμεύεται κάποιο μονοπάτι εννοούμε ότι δεσμεύεται κάποιο μέρος του εύρους ζώνης αυτού του μονοπατιού.

Στην περίπτωση τώρα που το δίκτυο χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου για την αποστολή του μηνύματος τότε το μήνυμα μετατρέπεται σε πακέτα συγκεκριμένου μεγέθους και αυτά στέλνονται στο δίκτυο μέχρι τον επόμενο κόμβο όπου και μπορεί να αποθηκευτεί. Δεν δεσμεύεται κάποιο μονοπάτι αλλά τα πακέτα φτάνουν στον προορισμό τους μέσω διαφορετικών κόμβων με βάση κάποιες πληροφορίες που προστίθενται σε αυτά σαν επικεφαλίδες. Έτσι κάθε πακέτο στέλνεται με βάση την κίνηση που μπορεί να υπάρχει μεταξύ δύο κόμβων κάτι που κάνει το όλο δίκτυο πιο αποδοτικό όταν υπάρχουν μεγάλες ροές από πακέτα.

1.3 Τα Δίκτυα Οπτικών Ινών Όπως Είναι Σήμερα

Όπως όλα τα δίκτυα, έτσι και τα δίκτυα οπτικών ινών όπως υλοποιούνται σήμερα, μπορούν να διαχωριστούν σε πολλές κατηγορίες, ανάλογα με την αρχιτεκτονική τους, τη δομή τους και τη χρήση τους. Παρόλα αυτά, το κοινό χαρακτηριστικό όλων των τύπων μεταξύ των σημερινών δικτύων οπτικών ινών, είναι η εφαρμογή της οπτικής τεχνολογίας αποκλειστικά για μετάδοση πληροφορίας. Συγκεκριμένα οι οπτικές ίνες αντικαθιστούν σταδιακά τα καλώδια χαλκού για αύξηση της χωρητικότητας των ζεύξεων, ενώ σε κάθε κομβικό σημείο του δικτύου το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό για την επεξεργασία και τη δρομολόγησή του από ηλεκτρονικά κυκλώματα μεταγωγής. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα ενότητα, περιγράφει τις τεχνολογίες και τις τεχνικές υλοποίησης δικτύων οπτικών ινών οι οποίες είναι διαθέσιμες μέχρι σήμερα.

1.3.1 Είδη Μεταγωγής και Εφαρμογές

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υποδομών των εγκατεστημένων δικτύων, ανάλογα με τον τρόπο μεταγωγής της κίνησης σε αυτά: τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου.

Η **μεταγωγή κυκλώματος** είναι μια πολύ βασική έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί στα τηλεφωνικά δίκτυα για πολλά χρόνια. Όταν πραγματοποιείται μια κλήση μεταξύ των δύο μερών, η σύνδεση διατηρείται κατά τη διάρκεια της κλήσης. Επειδή συνδέει δύο σημεία και στις δύο κατευθύνσεις, η σύνδεση ονομάζεται ένα κύκλωμα. Αυτό είναι το θεμέλιο του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου (PSTN). Πιο συγκεκριμένα η τεχνική αυτή δεσμεύει ένα κανάλι επικοινωνίας

συγκεκριμένου εύρους (στην περίπτωση της τηλεφωνικής επικοινωνίας ~ 4KHz), για όλο το χρονικό διάστημα που διαρκεί η κλήση είτε μεταδίδονται δεδομένα είτε όχι. Αυτό κάνει τα δίκτυα αυτού του τύπου αναποτελεσματικά γιατί δεν μπορούν να χειριστούν οντότητες δεδομένων μικρού μεγέθους σε εύρος ζώνης, και ότι σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (απαιτούμενο εύρος ζώνης μικρότερο της μέγιστης τιμής) το δεσμευμένο εύρος ζώνης παραμένει ανεκμετάλλευτο. Αναμφισβήτητα όμως το πιο θετικό στοιχείο της τεχνικής αυτής είναι η εγγύηση της ποιότητας της υπηρεσίας, γιατί οι πόροι του δικτύου δεσμεύονται από την αρχή και αποδεσμεύονται όταν τελειώσει η επικοινωνία. Όμως όπως εξηγήθηκε πιο πάνω, η τεχνική αυτή της μεταγωγής περιορίζει αρκετά την ευελιξία του δικτύου.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών υιοθετήθηκε η τεχνική της **μεταγωγής πακέτου**. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης μίας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης, με την χρήση πακέτων από δεδομένα για την μεταφορά πληροφορίας από διαφορετικές επικοινωνίες, στο ίδιο καλώδιο ταυτόχρονα. Έτσι η κατασκευή δικτύων δεδομένων σε πολύ χαμηλότερο κόστος με μεγαλύτερη απόδοση, ευελιξία και ανθεκτικότητα γίνεται εφικτή. Η ιδέα αυτή της διαίρεση της κάθε επικοινωνίας σε επιμέρους, ίσου μεγέθους πακέτα είναι το κλειδί της τεχνικής αυτής. Τα πακέτα αυτά αποστέλλονται ατομικά στον προορισμό τους μέσω του δικτύου, και ολόκληρο το μήνυμα συναρμολογείται όταν φθάσουν όλα τα πακέτα. Υπάρχουν μια σειρά από διαδικασίες για την αναμετάδοση των πακέτων που μπορεί να χαθούν μέσα στο δίκτυο.

Στο Διαδίκτυο, ένα τυπικό μήκος πακέτου είναι περίπου ένα kilobyte, ή χιλίους χαρακτήρες. Ένα μεγάλο μήνυμα μπορεί να χωριστεί σε χιλιάδες ατομικά πακέτα. Η αρχή ενός πακέτου ονομάζεται "επικεφαλίδα" και περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

Πηγή. Η διεύθυνση IP του υπολογιστή του αποστολέα του πακέτου.

Προορισμός. Η διεύθυνση IP του υπολογιστή που προορίζεται το πακέτο.

Μήκος. Το μήκος του πακέτου σε bytes.

Αριθμός. Ο συνολικός αριθμός των πακέτων στο πλήρες μήνυμα.

Αριθμός ακολουθίας. Ο αριθμός του εν λόγω πακέτου σε όλη τη λίστα των πακέτων που απαρτίζουν την παρούσα ανακοίνωση.

Αυτά τα στοιχεία δίνουν τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται ένας δρομολογητή δικτύου για να στείλει τα πακέτα και κατεπέκταση τα μηνύματα στον προορισμό τους. Για παράδειγμα, ο υπολογιστής προορισμού μπορεί να ζητήσει την αναμετάδοση των πακέτων που λείπουν, αφού γνωρίζει τον αριθμό του συνόλου των πακέτων και ως εκ τούτου μπορεί να καταλάβει ποια δεν έχει. Για πρόσθετη αξιοπιστία, οι επικεφαλίδες των πακέτων περιέχουν επίσης έναν κωδικό διόρθωσης σφαλμάτων, ο οποίος είναι ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει ένα μαθηματικό συνδυασμό των υπόλοιπων δεδομένων του πακέτου. Εάν έστω και ένα bit του πακέτου έχει αλλάξει κατά την μετάδοση, τότε ο επανυπολογισμός του κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων από ένα δρομολογητή δεν θα ταιριάζει με τον κωδικό που μεταδόθηκε στο μήνυμα, και το πακέτο θα απορριφθεί με αποτέλεσμα ο υπολογιστής προορισμού να υποβάλλει αίτηση για την αναμετάδοση του πακέτου.

Τα **συστήματα μεταγωγής πακέτων** επιτρέπουν στα διάφορα δίκτυα να βελτιώνουν τη λειτουργία τους με το να ανακτούν τα χαμένα πακέτα κατά την μετάδοσή τους. Η μεταγωγή στα διάφορα δίκτυα στο διαδίκτυο γίνεται από συσκευές οι οποίες ονομάζονται δρομολογητές και τρέχουν προγράμματα δρομολόγησης στα σημεία σύνδεσης τους. Επίσης χρησιμοποιούν μια σειρά από τυποποιημένα πρωτόκολλα δρομολόγησης για να ενεργοποιήσουν τα εισερχόμενα πακέτα από το ένα δίκτυο στο άλλο.

Από την στιγμή που τα λογισμικά στους δρομολογητές μπορούν να δημιουργούν και να αποφασίζουν για κάποιο προορισμό στιγμιαία, τότε τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων μπορούν να παρακάμπτουν προβληματικές συνδέσεις ακόμα και κάτω από συνθήκες μεγάλης κίνησης δεδομένων. Δεδομένου ότι τα συστήματα δρομολόγησης δουλεύουν με ηλεκτρονική ταχύτητα, αυτό σημαίνει ότι τα μηνύματα μπορούν να αποσταλούν μέσω μεγάλων ακόμα και προβληματικών δικτύων, πολύ γρήγορα.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των δικτύων μεταγωγής πακέτων είναι ότι χρησιμοποιούν όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης ενός συνδέσμου πολύ αποτελεσματικά, με την κοινή του χρήση ανά πάσα στιγμή, ώστε κανείς από τους δεσμούς να μην μένει αχρησιμοποίητος ή να είναι βαρυφορτωμένος σε σχέση με τους υπόλοιπους. Στις αρχές

της δεκαετίας του 1970, το κόστος της ηλεκτρονικής κατέβηκε σε σημείο όπου έγινε δυνατό να διαχειριστεί αποτελεσματικά, με αποτέλεσμα να καταστεί δυνατή η εγκατάσταση εξοπλισμού δρομολόγησης σε κάθε κόμβο ενός δικτύου κάτι που οδήγησε την ανάπτυξη των τοπικών δικτύων, σε δίκτυα ευρείας περιοχής για πρώτη φορά.

Σήμερα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στο διαδίκτυο χρησιμοποιούν πολύπλοκους αλγόριθμους και με την πάροδο του χρόνου έχουν βελτιστοποιηθεί ως προς την απόδοση τους. Στην πράξη, οι συνδέσεις στο διαδίκτυο σήμερα είναι πολύ αξιόπιστες, και έτσι όλα τα πακέτα για ένα συγκεκριμένο υπολογιστή στέλνονται συνήθως στην ίδια διαδρομή για όσο διάστημα παραμένει σε λειτουργία. Επίσης, οι διακόπτες (switches) στους κόμβους των δικτύων γίνονται όλο και πιο γρήγοροι, όπου με τους οπτικούς διακόπτες γίνεται μεγάλη πρόοδος στην ταχύτητα, με αποτέλεσμα να έχουμε σχεδόν μηδενικό χρόνο μεταγωγής όταν ένα πακέτο μετακινείται από το ένα δίκτυο στο άλλο, αφού αυτό γίνεται σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός.

1.3.2 Πολυπλεξία Στα Οπτικά Δίκτυα

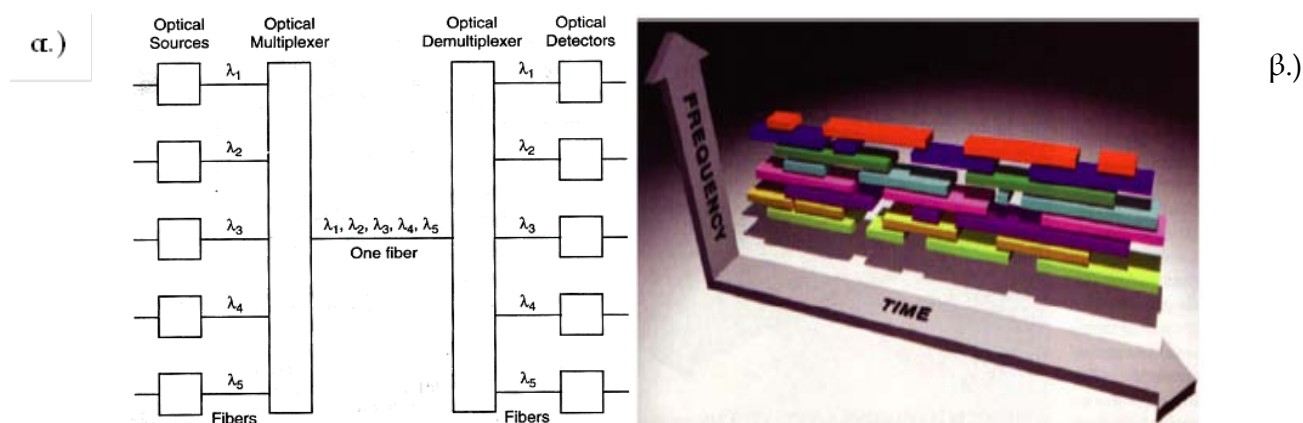
Μεταξύ των βασικών κινήτρων σε κάθε είδος επικοινωνίας είναι να βελτιωθεί η πιστότητα μετάδοσης, να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, και να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των σταθμών, μεταξύ των οποίων μπορεί να γίνει η μετάδοση. Όλα αυτά γίνονται εφικτά με τη χρήση οπτικών ινών. Η οπτική ίνα προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα μετάδοσης (π.χ. συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων και ομοαξονικό καλώδιο). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της είναι το τεράστιο εύρος ζώνης και η πολύ χαμηλή εξασθένηση με χαμηλό θόρυβο. Το πρώτο έχει σαν αποτελέσματα τον μεγάλο ρυθμό μετάδοσης και το δεύτερο, οδηγεί στην μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις, χωρίς να χριστεί ενίσχυση. Αυτές οι προοπτικές μπορεί να βοηθηθούν περαιτέρω με τη χρήση τεχνικών πολυπλεξίας (multiplexing). [3]

1) Πολυπλεξία Κατά Μήκος Κύματος (wavelength division multiplexing)

Αυτό το είδος της πολυπλεξίας επιτρέπει την χρησιμοποίηση της ίδιας οπτικής ίνας, για την μεταφορά δεδομένων από διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις ταυτόχρονα. (σχήμα 3). Διαιρεί δηλ. το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων σε κανάλια και το αφιερώνει για την μετάδοση δεδομένων σε κάθε κανάλι. Αυτό γίνεται με την μετάδοση διαφορετικού

μήκους κύματος σημάτων ταυτόχρονα. Λόγω της αύξησης του αριθμού των χρησιμοποιούμενων καναλιών και της πολύ κοντινής απόστασης που έχουν αυτά σε σχέση με το μήκος κύματος τους η τεχνική WDM πολύ συχνά αναφέρεται πλέον και ως πυκνή πολυπλεξία κατά μήκος κύματος (Dense WDM- DWDM).

Εικόνα 3: [16] (α) Η τεχνική της πολυπλεξίας κατά μήκος κύματος (WDM). (β) Η τεχνική WDM μέσα από ένα γράφημα της συχνότητας συναρτήσεως του χρόνου



Για οποιοδήποτε δεδομένο μήκος κύματος μετάδοσης λ και της αντίστοιχης συχνότητας f , η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) ορίζει πρότυπα συχνότητας Δf απόστασης ως 100 GHz, το οποίο μεταφράζεται σε μια απόσταση $\Delta \lambda$ του μήκους κύματος 0,8-nm. Υπάρχουν τρία παράθυρα μετάδοσης οπτικών σημάτων όπως φαίνονται και στον πιο κάτω πίνακα.

Operating Wavelength	Window
850nm	800nm - 900 nm
1310nm	1250nm - 1350nm
1550nm	1500nm - 1600nm

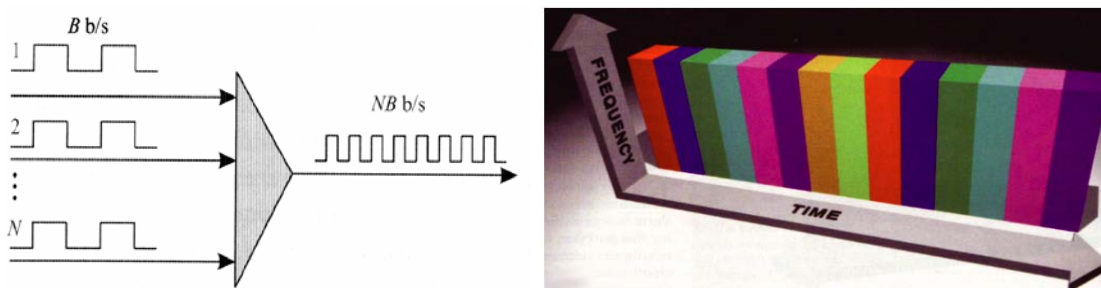
Τα συστήματα DWDM λειτουργούν στο παράθυρο των 1550 nm, λόγω των χαμηλών χαρακτηριστικών εξασθένησης του γυαλιού στο συγκεκριμένο μήκος κύματος και το γεγονός ότι οι ενισχυτές οπτικών σημάτων λειτουργούν στην περιοχή 1530-1570nm. Τα εμπορικά διαθέσιμα WDM δίκτυα, που έχουν ανακοινωθεί από μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, περιλαμβάνουν ως και 160 κανάλια με ρυθμό μετάδοσης

2.5–10 Gb/s το καθένα ή 80 κανάλια με ρυθμό μετάδοσης 40 Gb/s ανά κανάλι. Σε ερευνητικό επίπεδο οι επιδόσεις των WDM συστημάτων μετάδοσης είναι πολύ πιο εντυπωσιακές, υποδεικνύοντας τις τεράστιες δυνατότητες και τη δυναμική αυτών. Έτσι, πειράματα έχουν επιδείξει επιτυχή μετάδοση συνολικής διέλευσης 10.92 Tb/s (273×40 Gb/s) σε απόσταση 117 Km, 6.4 Tb/s (159×42.7 Gb/s) σε απόσταση 2.100 Km, 3.65 Tb/s (365×11.6 Gb/s) σε απόσταση 6.850 Km, 3.2 Tb/s (80×42.7 Gb/s) σε απόσταση 5.200 Km. Για τη μετάβαση της τεχνολογίας από το εργαστήριο στην αγορά έχει δειχθεί από θεωρητικές και στατιστικές μελέτες ότι απαιτούνται περίπου 2-3 χρόνια.

2) Οπτική Πολυπλεξία Με Διαίρεση Χρόνου (Optical Time Division Multiplexing - OTDM)

Εκτός βέβαια από την WDM τεχνική χρησιμοποιείται σε μικρότερο βαθμό και η τεχνική πολυπλεξίας OTDM. Στην OTDM τα δεδομένα μεταδίδονται σε ένα και μόνο κανάλι, μέσα από το οποίο παρεμβάλλονται με οπτικό τρόπο τα δεδομένα πολλών ροών κατά διάφορα χρονικά διαστήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η WDM όσο και η OTDM δεν είναι ανταγωνιστικές τεχνικές αλλά συμπληρωματικές βοηθώντας η μία την άλλη στην περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό εκμεταλλευόμαστε ακόμα καλύτερα τη μεγάλη χωρητικότητα που προσφέρει η ίνα ως μέσο μετάδοσης και βελτιώνουμε αρκετά τη διέλευση πληροφορίας (throughput) μέσα από το οπτικό δίκτυο. Στο σχήμα πιο κάτω φαίνεται η αρχή της πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου και ένα γράφημα της συχνότητας συναρτήσει του χρόνου.

Εικόνα 4: [16] (α) Η τεχνική της οπτικής πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (OTDM). (β) Η τεχνική OTDM μέσα από ένα γράφημα της συχνότητας συναρτήσει του χρόνου κατά αναλογία με το σχήμα



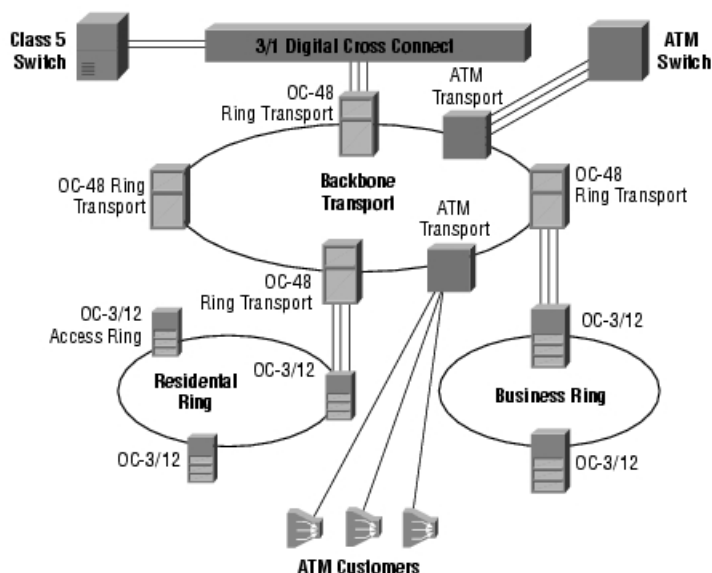
Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την μετάδοση στα OTDM όταν αυξάνει ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι κυρίως η χρωματική διασπορά και η διασπορά

τρόπων πόλωσης της ίνας . Από τα θετικά της τεχνικής αυτής είναι ότι με την χρήση ενός και μόνο καναλιού αποφεύγεται η διέγερση των μη γραμμικών φαινομένων της οπτικής ίνας.

1.3.3 Αρχιτεκτονική Των Οπτικών Δικτύων

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι δομημένα σε τρία επίπεδα, όπως έχει προαναφερθεί : Στα δίκτυα κορμού , τα μητροπολιτικά δίκτυα και τα δίκτυα πρόσβασης. Τα δίκτυα κορμού καλύπτουν αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων, τα δίκτυα πρόσβασης μερικά χιλιόμετρα, αφού συνδέουν τους χρήστες με τα OCs « Central Offices » και τα μητροπολιτικά δίκτυα εκτίνονται σε αποστάσεις της τάξης 10-100 χιλιομέτρων και συνδέουν τα δίκτυα πρόσβασης με τα δίκτυα κορμού. Η λειτουργία των οπτικών δικτύων σήμερα είναι βασισμένη πάνω στην λειτουργία των SONET (synchronous optical NETWORKS) οπτικών δακτυλίων. Συγκεκριμένα μικρότεροι βοηθητικοί δακτύλιοι χαμηλού ρυθμού μεταγωγής (π.χ. OC-3/12) συγκεντρώνουν την κίνηση από τα Central Offices και την αθροίζουν σε μεγαλύτερους κύκλους υψηλού ρυθμού μεταγωγής (π.χ. OC-48) όπως φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω.[08]

Εικόνα 5: Σύνδεσμοι οπτικών δακτυλίων τύπου SONET



Η λειτουργία των οπτικών δακτυλίων SONET σε συνδυασμό με το WDM κάνει σήμερα τα οπτικά δίκτυα αρκετά αποδοτικά.

1.4 Νέες Τεχνολογίες Οπτικών Δικτύων

Όπως είναι φυσικό την μεγαλύτερη συμφόρηση από δεδομένα την δέχονται τα δίκτυα κορμού, που όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο είναι τα δίκτυα τα οποία συνδέουν, για σκοπούς παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, μεγάλες πόλης και χώρες και καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις της τάξης των χιλιάδων χιλιομέτρων. Με την εισαγωγή της τεχνολογίας WDM, το ποσοστό διαθέσιμου εύρους ζώνης μετάδοσης (bandwidth) στα οπτικά δίκτυα έχει αυξηθεί αρκετά. Παρόλα αυτά το ποσοστό αυτό δεν είναι αρκετό για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων σε εύρος ζώνης με ταυτόχρονη μείωση του κόστους, της εκθετικής ανάπτυξης των χρηστών του Διαδικτύου. Για τον λόγο αυτό, διάφορα σενάρια οπτικών δικτύων έχουν μελετηθεί. Από τα σενάρια αυτά, τα πιο βασικά είναι τα πιο κάτω για τα οποία γίνεται μία σύντομη αναφορά: [02-04]

1.4.1 Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγής Κυκλώματος (Wavelength Routing Networks):

Σε αυτού του τύπου τα δίκτυα η διάδοση των δεδομένων βασίζεται στην δρομολόγηση μηκών κύματος όπου συνδέσεις κυκλωμάτων, γνωστά ως μονοπάτια φωτός (lightpaths) εγκαθίστανται μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Η εγκατάσταση αυτών επιτυγχάνεται με την αφιέρωση ενός μήκους κύματος για κάθε σύνδεσμο μεταξύ πηγής και προορισμού. Παρά το γεγονός ότι είναι εύκολα στην υλοποίηση, ο βασικός περιορισμός των οπτικών δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι ο περιορισμένος αριθμός των μηκών κύματος ανά δίαυλο. Επίσης, τα δίκτυα αυτά μειονεκτούν σε ευελιξία στην αλλαγή της κατάστασης των συνδέσμων, ειδικά όταν η κίνηση του δικτύου (traffic) είναι συνεχώς μεταβλητή.

1.4.2 Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγή Πακέτων (Optical Packet Switching Networks-OPSN):

Στα δίκτυα αυτά, η κίνηση μεταφέρεται σε οπτικά πακέτα μαζί με πληροφορία ελέγχου. Ενώ η ανάλογη πληροφορία ελέγχου δημιουργείται και επεξεργάζεται είτε μόνο οπτικά είτε ηλεκτρονικά μέσω ενός Οπτικό/Ηλεκτρονικό μετατροπέα (O/E) σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο, το υπόλοιπο φορτίο δεδομένων (data payload) είναι υποχρεωμένο να περιμένει

σε γραμμές καθυστέρησης του αντίστοιχου διαύλου για να προωθηθεί σε επόμενο κόμβο. Παρά το γεγονός ότι τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων χαρακτηρίζονται από καλή απόδοση και μπορούν εύκολα να αντιμετωπίσουν προβλήματα όπως συμφόρηση (congestion) ή αποτυχία (failure) στην μετάδοση των πακέτων, η υλοποίησή τους είναι δύσκολη, καθώς η τεχνολογία των οπτικών αποθηκευτών (buffers) είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια.

1.4.3 Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγή Ριπών (Optical Burst Switching Networks - OBS) :

Η πληροφορία στέλνεται με τη μορφή ριπών (bursts), τα οποία είναι μονάδες πακέτων μεταβλητού μήκους. Λόγω του μεγάλου μεγέθους των bursts, τα Δίκτυα Μεταγωγής Ριπών (OBS) μπορούν να θεωρηθούν ως ένας συνδυασμός της μεταγωγής πακέτων και κυκλωμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν η διάρκεια των bursts είναι μεγάλη, τα OBS λειτουργούν σαν τα WRNs, ενώ όταν η διάρκεια είναι πολύ μικρή έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τα OPSNs.

Από τα παραπάνω σενάρια, τα OBS δίκτυα έχουν θεωρηθεί ως μία από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες προς υλοποίηση, για την επόμενη γενιά των οπτικών δικτύων, η οποία καλείται να αντιμετωπίσει την ταχεία άνοδο της κίνησης του Διαδικτύου και την αυξανόμενη χρήση νέων απαιτητικών υπηρεσιών όπως VoIP τηλεφωνία, video on demand, grid computing. Στην τεχνολογία αυτή θα επικεντρωθεί και η παρούσα διατριβή.

1.5 Δομή και Ανάπτυξη Διατριβής

Η δομή της Μεταπτυχιακής Διατριβής οργανώνεται στα εξής κεφάλαια:

Το δεύτερο κεφάλαιο καταπιάνεται με το θέμα των μεγάλων ροών από δεδομένα (elephant flows) που υπάρχουν στα δίκτυα κορμού και δημιουργούν την μεγάλη συμφόρηση που υφίστανται τα δίκτυα του τύπου αυτού. Είναι φυσικό να υπάρχει μεγάλος όγκος από δεδομένα στα δίκτυα αυτά, από την στιγμή που στις πλύστες των περιπτώσεων που κάποιος βρίσκεται στο διαδίκτυο ζητά κάποια υπηρεσία που θα του παρασχεθεί μέσω αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική του Optical Burst Switching (OBS) ως λύση στο πιο πάνω θέμα, δουλεύοντας μαζί με κάποιους αλγορίθμους αναγνώρισης των μεγάλων ροών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της λειτουργίας του προσομοιωτή OMNet και της προσομοίωσης της τεχνικής OBS.

Το τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει συμπεράσματα και αποτελέσματα όπως και πιθανές βελτιώσεις του προσομοιωτή που μπορούν να γίνουν στον προσομοιωτή.

Κεφάλαιο 2

Μεγάλες Ροές Δεδομένων στα Δίκτυα Κορμού (Elephant Flows)

2.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα τα οποία δέχονται την μεγαλύτερη κίνηση από δεδομένα είναι αναμφίβολα τα δίκτυα κορμού. Αν σκεφτεί κάποιος ότι βάση μελετών το 80% του φόρτου αυτών των δικτύων προέρχονται από το 20% των ροών που υπάρχουν σε αυτά μπορεί να καταλάβει πόσο σημαντική είναι η αναγνώριση και η πρόβλεψη αυτών των ροών. Αυτές οι ροές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα είναι αριθμητικά λίγες και εξυπηρετούν μεγάλο όγκο δεδομένων. Μετακινώντας αυτές τις ροές από τα δίκτυα IP, αφιερώνοντας τους συγκεκριμένα οπτικά μονοπάτια στο οπτικό επίπεδο, επιτυγχάνουμε καλύτερης ποιότητας υπηρεσία για τις ροές αυτές όπως και για τα δίκτυα IP αφού αποφορτίζονται και γίνονται πιο εύκολα στην διαχείριση τους.

Για να γίνει η μετακίνηση των μεγάλων ροών σε οπτικά μονοπάτια πρέπει πρώτα να αναγνωριστούν ή να προβλεφτούν και να ανατεθούν στα είδη δημιουργημένα οπτικά μονοπάτια για αυτές τις ροές. Αυτό γίνεται από άτομα τα οποία είναι οι διαχειριστές των δικτύων (network administrators) , χειροκίνητα είτε χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένες τεχνολογίες όπως η GMPLS. Υπάρχουν μεγάλες ροές από δεδομένα οι οποίες μπορούν εύκολα να εντοπιστούν λόγω του είδους τις υπηρεσίας που προσφέρουν και άλλες όπως οι IP ροές (elephant flows) οι οποίες δεν έχουν κάποια συγκεκριμένη συμπεριφορά και καλύπτουν διάφορα είδη υπηρεσιών. Έτσι χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση σε ότι αφορά τους δικτυακούς τους παραμέτρους, κάτι που δεν μπορεί εύκολα να γίνει από τους διαχειριστές των δικτύων. Αυτό είναι σημαντικό να γίνει με τον καλύτερο τρόπο γιατί έχει να κάνει με την ποιότητα της υπηρεσίας που προσφέρεται από αυτά τα οπτικά μονοπάτια. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθούν διάφοροι τρόποι ανίχνευσης και πρόβλεψης αυτών των ροών με αποτέλεσμα την δέσμευση των κατάλληλων οπτικών μονοπατιών.

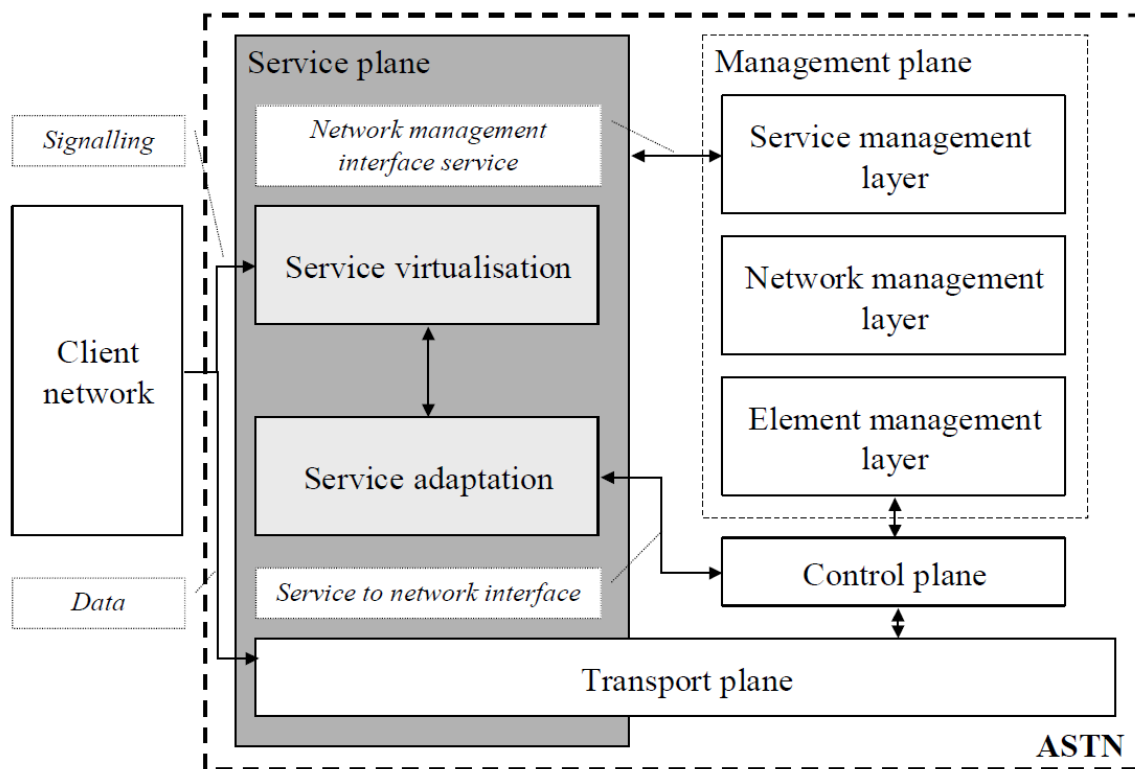
2.2 Μοντέλα Δέσμευσης Οπτικών Μονοπατιών για την Εξυπηρέτηση των Μεγάλων Ροών

Η διασφάλιση της ποιότητας που προσφέρουν τα είδη δημιουργημένα οπτικά μονοπάτια για να εξυπηρετήσουν τις μεγάλες ροές δεδομένων περνά μέσα από το πώς και πόσο εύκολα αυτά δεσμεύονται ,αλλάζουν και αποδεσμεύονται από τους διάφορους πιθανούς πελάτες. Για αυτό τον σκοπό έχουν πρόσφατα δημιουργηθεί δύο αρχιτεκτονικά μοντέλα τα service oriented optical networks και τα self-managed optical networks τα οποία αναλύονται πιο κάτω.[11]

2.2.1 Αρχιτεκτονική Οπτικών Δικτύων του Τύπου Service Oriented

Η αρχιτεκτονική αυτού του δικτύου βασίζεται πάνω στο μοντέλο υπηρεσίας (service plane) το οποίο φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 6 πιο κάτω. Τα δύο βασικά μέρη του μοντέλου αυτού είναι το Service adaptation block και το Service Visualization block. Το πρώτο μεταφράζει τα αιτήματα σύνδεσης από το μοντέλο μεταφοράς δεδομένων, σε μηνύματα τα οποία το μοντέλο ελέγχου μπορεί να καταλάβει και το δεύτερο επιτρέπει στις εφαρμογές των χρηστών να αναφερθούν σε πόρους του δικτύου.

Εικόνα 6: Μοντέλο υπηρεσίας δικτύου τύπου Service Oriented

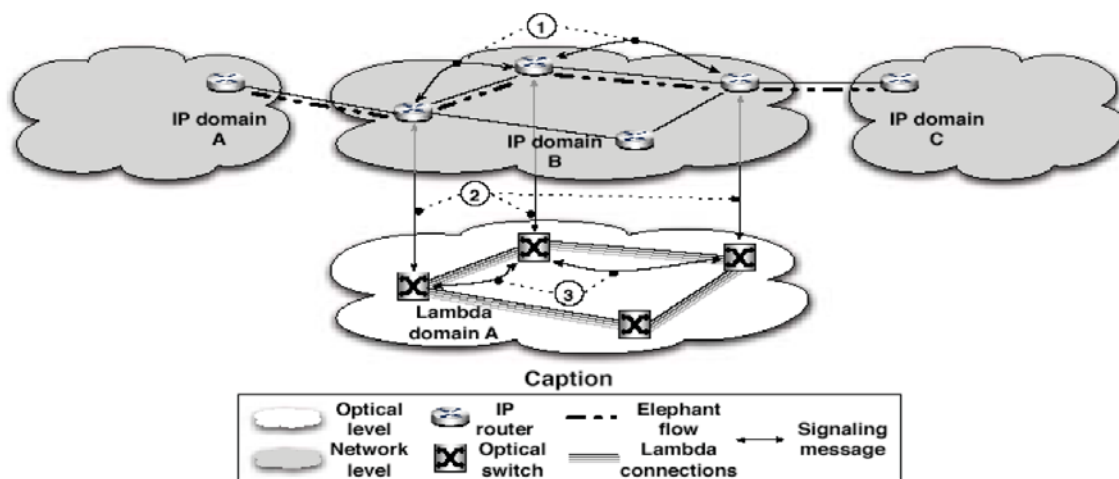


Ένα παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου αυτού είναι το European PHOSPHOROUS project, στο οποίο το Harmony χρησιμοποιείται ως βάση για το service-oriented IP / οπτικό δίκτυο. Το Harmony είναι ένα σύστημα πρόβλεψης multi/domain όπου οι χρήστες και οι εφαρμογές τους έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν end-to-end διαδρομές εκ των προτέρων. Με άλλα λόγια, το Harmony είναι ένας εσωτερικός πόρος του δικτυακού συστήματος διαμεσολάβησης, το οποίο κάνει λειτουργικά, ετερογενή τμήματα του δικτύου, εκτελώντας μια inter-domain διαδικασία (NRPS) για να προβλέψει το πώς θα κάνει την δέσμευση των πόρων του δικτύου, όπως για παράδειγμα το Generalized Multiprotocol Labelling System (GMPLS) το οποίο θα αναλυθεί αργότερα στο κεφάλαιο αυτό. Το Harmony βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική υπηρεσίας web και περιέχει ένα μοντέλο υπηρεσίας δικτύου (NSP). Στο PHOSPHOROUS, οι διεπαφές επικοινωνίας της (NRPS) και του (NSP) εκτελούν τις διαδικασίες για την διαχείριση τοπολογιών και δέσμευσης πόρων. Τα οπτικά πεδία του δικτύου δημοσιεύει μόνο άκρα των οπτικών μονοπατιών στο (NSP). Οι Intra-domain συνδέσεις είναι κρυμμένες από το (NSP) και διαχειρίζονται από το (NRPS) του δικτύου.

2.2.2 Αρχιτεκτονική Οπτικών Δικτύων του Τύπου Self-Managed

Στην πιο πάνω αρχιτεκτονική που περιγράφηκε, οι χρήστες ή οι εφαρμογές των χριστών διαχειρίζονται το πώς θα γίνει το αίτημα για εξασφάλιση οπτικού μονοπατιού. Στα δίκτυα self-managed όμως είναι τα οπτικά δίκτυα τα οποία αναγνωρίζουν τις μεγάλες ροές IP και είναι αυτά τα οποία σταδιακά ζητούν την δημιουργία οπτικών μονοπατιών για να εξυπηρετήσουν αυτές τις μεγάλες ροές και αποφορτίζοντας με αυτό τον τρόπο και τα δίκτυα IP για τις υπόλοιπες μικρές ροές δεδομένων. Στη πιο κάτω εικόνα φαίνεται η αρχιτεκτονική αυτών των δικτύων.

Εικόνα 7: Αρχιτεκτονική δικτύων τύπου Self-Managed



Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο σχήμα πιο πάνω, υπάρχει μία συνεργασία μεταξύ του network level και του optical level για την δημιουργία οπτικών μονοπατιών. Το network level αρχικά ανιχνεύει τις μεγάλες IP ροές. Μετά την ανίχνευση το network level σηματοδοτεί το optical level το οποίο αναλαμβάνει την δημιουργία Lambda connection μέσω των optical switch. Έτσι το κλειδί αυτής της προσέγγισης είναι ο χαρακτηρισμός της ροής και όχι ο χαρακτηρισμός της υπηρεσίας όπως στα δίκτυα του τύπου Service-oriented. Υπάρχουν αρκετές ερευνητικές εργασίες σχετικά με το χαρακτηρισμό της ροής, οι περισσότεροι εκ των οποίων βασίζονται στην ανάλυση των ιχνών και στη σύγκριση τους στα σημεία παρατήρησης (optical switches and IP routers). Αυτές οι εργασίες, εστιάζονται κυρίως στην εκτίμηση της ακριβής κατανομής του μεγέθους των ροών ή την κατανομή των πακέτων. Σημειώστε ότι τα δεδομένα για τον χαρακτηρισμό της ροής μπορούν να συγκεντρωθούν σε ένα ή περισσότερα σημεία παρατήρησης ή μπορούν να ληφθούν με διάφορες τεχνικές μετρήσεων, όπως η δειγματοληψία πακέτων. Οι μετρήσεις οι οποίες

υπολογίζονται κατά για την ανάλυση των ροών είναι πακέτα, bytes και η κατανομή των ports. Υπάρχουν βέβαια και έρευνες οι οποίες εστιάζονται στην κατανομή των ροών και λαμβάνουν υπόψη τους τον αριθμό (μέτρημα) των πακέτων , πληροφορίες συντονισμού και πληροφορίες αριθμού ακολουθίας πακέτων.

Άλλες σχετικές έρευνες εστιάζονται στην ανάλυση του όγκου (μέγεθος) των μεγάλων IP ροών καθώς και στην προηγούμενη συμπεριφορά τους. Υποστηρίζουν ότι ο όγκος της ροής μπορεί να είναι πολύ ασταθής, γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικά μεγέθη ροών σε διάφορα χρονικά διαστήματα της ίδιας ροής. Στις έρευνες αυτές οι μεγάλες ροές χαρακτηρίζονται παρατηρώντας το μέγεθός τους, τη διάρκεια τους, την απόδοση τους (throughput), και την εκρηχτικότητα τους, καθώς και την συσχέτιση τους λαμβάνοντας υπόψη τον πενταπλό παραδοσιακό ορισμό της ροής: ομαδοποιώντας πακέτα με την ίδια IP διεύθυνση πηγής και ίδια IP διεύθυνση προορισμού, το ίδιο πρωτόκολλο μεταφοράς, και τον ίδιο αριθμό θήρας πηγής και προορισμού. Πιο κάτω αναφέρονται κάποιες τεχνικές και αλγόριθμοι που βοηθούν στην αναγνώριση μεγάλων IP ροών.

2.3 Τεχνικές και Πρωτόκολλα Αναγνώριση Μεγάλων Ροών

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε σε κάποιες τεχνικές και πρωτόκολλα αναγνώρισης μεγάλων IP ροών. Η αναγνώριση ή καλύτερα η πρόβλεψη των ροών αυτών δίνει την δυνατότητα της εκ των προτέρων δημιουργίας οπτικών μονοπατιών για την εξυπηρέτηση τους. Πιο κάτω αναφέρονται οι τεχνικές MPLS (multiprotocol label switching) και GMPL [12] (generalized multiprotocol label switching), μια τεχνική αναγνώρισης βασισμένη στην περιοδική δειγματοληψία πακέτων[09] και μία τεχνική βασισμένη στην χρήση FPGA (field programmable gate array) - BASED cash.[14] Η τεχνική GMPLS περιγράφεται αναλυτικά, γιατί δεν είναι τεχνική η οποία κάνει μόνο αναγνώριση μεγάλων ροών.

2.3.1 MPLS (Multiprotocol Label Switching) and GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)

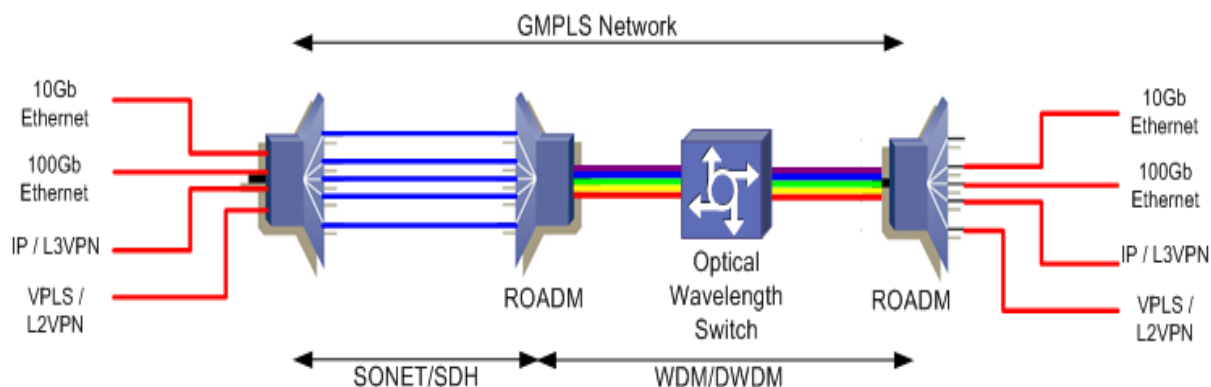
Ο σκοπός της λειτουργίας του **Multiprotocol Label Switching (MPLS)** είναι να επιταχύνει την προώθηση των πακέτων και η παροχή λύσεων σε θέματα διακίνησης στα δίκτυα (IP). Για να επιτευχθεί αυτό, η connectionless λειτουργία των δικτύων IP μετατρέπεται σε connection-oriented, όπου η σύνδεση μεταξύ της πηγής και του προορισμού γίνεται με μία προκαθορισμένη διαδρομή, βάση των ιδιοτήτων των χρηστών και των ενδιάμεσων. Για να επιτευχθεί η επιτάχυνση του συστήματος, μια συσκευή MPLS χρησιμοποιεί labels (ετικέτες) και όχι τις διευθύνσεις των μερών που λαμβάνουν μέρος στην επικοινωνία για να βρει το επόμενο hop για ένα ληφθέν πακέτο. Για να μπορέσει να λειτουργήσει η όλη διαδικασία χρησιμοποιούνται πίνακες (από τις συσκευές MPLS), στους οποίους αποθηκεύονται οι ετικέτες. Οι πίνακες και οι ετικέτες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός end-to-end μονοπατιού από τον αποστολέα στον παραλήπτη, το οποίο ονομάζεται Label Switched Path (LSP). Παραδοσιακά τα IP πρωτόκολλα που περιλαμβάνονται στην γκάμα των πρωτοκόλλων του MPLS είναι πρωτόκολλα δρομολόγησης (όπως π.χ. το Open Shortest Path First [OSPF] και το από ενδιάμεσο σύστημα σε ενδιάμεσο σύστημα [IS-IS]) και επεκτάσεις υφιστάμενων πρωτοκόλλων σηματοδότησης (όπως π.χ. το Resource Reservation Protocol [RSVP] και το constrain - based routing - label distribution protocol [CR-LDP]).

To GMPLS (Generalized MPLS) είναι μία επέκταση του MPLS, για να μπορεί να δίνει την δυνατότητα σε συσκευές να εναλλάσσουν δεδομένα μεταξύ περισσοτέρων τύπων δικτύου(π.χ. δίκτυο IP πακέτων, δίκτυο με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου κτλ). Αυτό το είδος τεχνικής υπόσχεται να απλοποιήσει την λειτουργία και την διαχείριση των δικτύων, με την πρόβλεψη των συνδέσεων για την end to end επικοινωνία και διαχείριση των πόρων των δικτύων προσφέροντας το επίπεδο της ποιότητας και διασφάλισης, το οποίο απαιτούν οι νέες υπηρεσίες. Για αυτό τον λόγο αυτή η ενότητα πιο κάτω συγκεντρώνεται σε αυτήν ειδικά την τεχνική η οποία υποστηρίζει την εναλλαγή δεδομένων μεταξύ ανομοιογενών δικτύων όπως για παράδειγμα δικτύων IP και οπτικών δικτύων που είναι και το αντικείμενο της διατριβής αυτής.

Όπως αναφέρεται και πιο πάνω, το MPLS μοντέλο αναγκάστηκε να εξελιχτεί για να συμπεριλάβει συσκευές οι οποίες κάνουν switching και σε wavelength (e.g DWDM, OXC)

με το GMPLS. Αυτό επιτρέπει σε δίκτυα τα οποία βασίζονται στην λειτουργία του GMPLS να προβλέπουν ή καλύτερα να υπολογίζουν εκ των προτέρων το καλύτερο μονοπάτι για μία ροή η οποία αρχίζει από δίκτυο IP μεταφέρεται σε δίκτυο SONET και μετά να πολυπλέκεται σε ένα συγκριμένο μήκος κύματος σε μία οπτική ίνα. Η εικόνα πιο κάτω δείχνει σχηματικά το πώς μια ροή από δεδομένα μεταδίδεται μεταξύ ανόμοιων δικτύων.

Εικόνα 8: Μετάδοση δεδομένων μεταξύ ανομοιογενών δικτύων



Όπως και στην περίπτωση του MPLS έτσι και το GMPLS δίνει λύσει σε θέματα που προκύπτουν λόγω διασυνδέσεων ανομοιογενών δικτύων, όπως είναι η λήψη απόφασης για την καλύτερη προώθηση των δεδομένων (forwarding), αναγνώριση πακέτων/ροών σε τύπους δικτύων τα οποία δεν ελέγχουν τις επικεφαλίδες των δικτύων όπως στην περίπτωση των οπτικών δικτύων (Switching Diversity) , αποτελεσματικού τρόπου διαχείρισης και διαμόρφωσης των διαθέσιμων πόρων (Configuration), η προσαρμοστικότητα (scalability), η πιθανή ανεπάρκεια πόρων(latency) και η παροχή αξιοπιστίας . Αυτά τα θέματα αναλύονται πιο κάτω.

Switching Diversity

Για να είναι σε θέση να υποστηρίξει συσκευές οι οποίες συνδέουν διαφορετικού τύπου δίκτυα ,το GMPLS εισάγει νέες προσθήκες στη μορφή των ετικετών σε σχέση με το MPLS. Η νέα μορφή ετικέτας αναφέρεται ως «General Label» και περιέχει πληροφορίες που επιτρέπουν στην συσκευή που λαμβάνει τα δεδομένα να τα προωθήσει, ανεξάρτητα από την κατασκευή τους (πακέτο, TDM, lambda, κλπ.). Μια General Label μπορεί να αναπαριστά ένα μήκος κύματος ή μια οπτική ίνα. Οι πληροφορίες που είναι

ενσωματωμένες σε μια General Label και έχουν να κάνουν με το switching περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. **Τον LSP (label switch path) τύπο κωδικοποίησης** που υποδεικνύει τον τύπο της ετικέτας που μεταφέρεται (π.χ., ένα πακέτο, lambda, SONET, κλπ.)

2. Το **switching type** που δείχνει αν ο κόμβος είναι σε θέση να κάνει μεταγωγή πακέτων, μήκους κύματος ή οπτικής ίνας

3. Μια **γενική ένδειξη του φορτίου** για να δείξει τι φορτίο μεταφέρεται από το LSP (ATM, Ethernet, κλπ.)

Αυτές οι πληροφορίες όπως και άλλες που αναφέρονται παρακάτω χρησιμοποιούνται από αλγόριθμους δρομολόγησης στους διάφορους κόμβους κατά την δημιουργία των βέλτιστων μονοπατιών για την κάθε περίπτωση.

Πρωώθηση (Forwarding)

Στην περίπτωση του MPLS τα Labels εξετάζονται σε κάθε κόμβο (συσκευή) για να αποφασίσουν για το output port του συγκεκριμένου κόμβου που θα προωθήσουν της πληροφορίες. Σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα έλεγχου χωρίζονται λογικά από τα δεδομένα πληροφορίας. Το GMPLS επεκτείνει αυτή την συμπεριφορά και οι συσκευές του έχουν την δυνατότητα τα χωρίζουν τα δεδομένα έλεγχου από τα δεδομένα πληροφορίας . Για παράδειγμα, η διαδρομή των δεδομένων ελέγχου μεταξύ των δύο συσκευών θα μπορούσε είναι μια εξωτερική γραμμή, όπως μία σύνδεση Ethernet, ή άλλες φυσικές συνδέσεις. Το GMPLS δεν υποχρεώνει τις συσκευές να προωθήσουν με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο τις πληροφορίες έλεγχου μεταξύ δύο κόμβων μιας και μπορεί αυτό να έχει μεγάλο κόστος για το δίκτυο.

Διαμόρφωση των LSP (Configuration)

Όταν ένα LSP ξεκινά να διαμορφώνεται από το δίκτυο πρόσβασης, μπορεί να απαιτείται η δημιουργία αρκετών άλλων LSPs μέχρι το τέλος του end-to-end μονοπατιού. Αυτές οι ενδιάμεσες LSPs μπορεί να βασίζονται σε συσκευές TDM και / ή LSC-based συσκευές. Αυτές οι συσκευές έχουν διαφορετικά εσωτερικά χαρακτηριστικά, και ως εκ τούτου, το

GMPLS πρέπει να διαχειριστεί αυτές τις διαφορές με τέτοιο τρόπο ώστε να επισπεύσει τη δημιουργία των end-to-end LSP. Δύο σημαντικές νέες έννοιες που εισάγονται στο GMPLS για να αντιμετωπιστούν αυτές οι διαφορές είναι η έννοια της προτεινόμενης ετικέτας και του αμφίδρομου LSP.

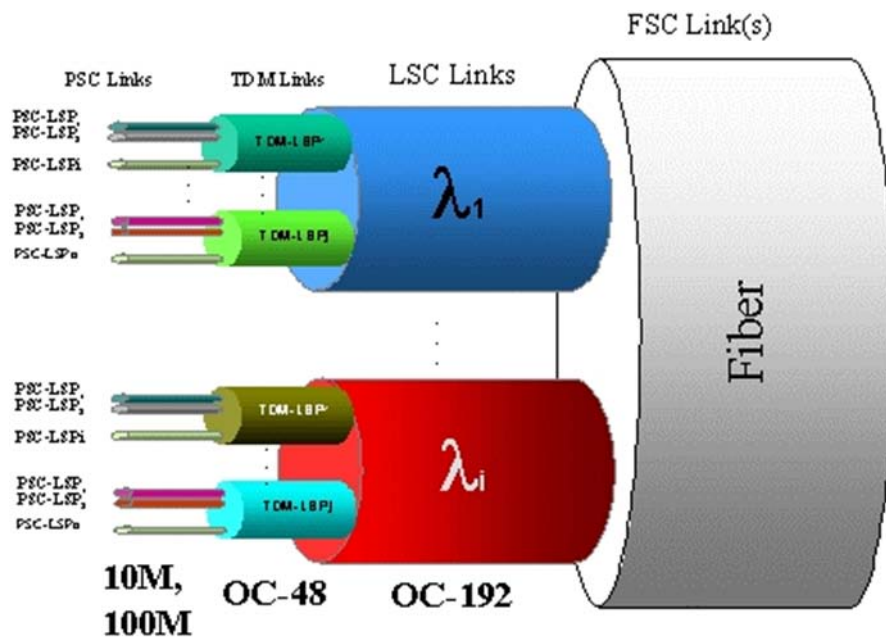
Πιο πάνω αναφέρθηκε ότι ένας κόμβος ο οποίος στέλλει δεδομένα σε ένα άλλο κόμβο, μπορεί να του προτείνει, προαιρετικά, και επικεφαλίδα. Ο κόμβος έχει το δικαίωμα της άρνησης της επικεφαλίδας αυτής και να προτείνει την δική του. Αλλά η προτεινόμενη ετικέτα επιτρέπει στα DCS (digital cross connect systems) να ρυθμίζονται από μόνα τους χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη ετικέτα, αντί να περιμένει να λάβει ετικέτα από τον κόμβο που δέχεται δεδομένα, και μετά να ρυθμίσει το υλικό του. Ωστόσο, εάν η μεταγενέστερη συσκευή απορρίψει την προτεινόμενη ετικέτα και προσφέρει τη δική της, η συσκευή που στέλλει δεδομένα οφείλει να ρυθμιστεί εκ νέου με τη νέα ετικέτα.

Το GMPLS υποστηρίζει την εγκατάσταση των αμφιδρόμων LSPs μέσω μιας σειράς πρωτοκόλλων σηματοδότησης (π.χ., RSVP [resource reservation protocol] / PATH και RESV [Representational State Transfer]). Αυτό βοηθά στο να αποφευχθεί η εξωγενής ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου, επιπλέον ψάξιμο και υπολογισμοί για το καλύτερο μονοπάτι, και καθυστέρηση κατά τη δημιουργία οπτικών μονοπατιών στα οπτικά switch.

Επεκτασιμότητα (Scalability)

Αναμένεται ότι ένα οπτικό δίκτυο αναπτύσσει δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες παράλληλες οπτικές ίνες, και η καθεμία εκατοντάδες έως και χιλιάδες lambda(εικόνα 9) μεταξύ δύο κόμβων όπως φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω.

Εικόνα 9: Lambdas σε μία οπτική ίνα



Για την αποφυγή χρήσης μεγάλο μέγεθος της βάσης δεδομένων για σύνδεσης και παροχής καλύτερης επεκτασιμότητας του δικτύου, η τεχνολογία GMPLS εισήγαγε την έννοια των ομαδοποιημένων συνδέσεων (Link bundling). Αυτό επιτρέπει την ομαδοποίηση πολλών συνδέσεων σε μία σύνδεση την οποία μεταφέρει σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης π.χ OSPF. Παρά το γεγονός ότι, με αυτό τον τρόπο κάποιες πληροφορίες χάνονται, η μέθοδος αυτή μειώνει σημαντικά το μέγεθος της βάσης δεδομένων με τα link-state όπως και τον αριθμό των συνδέσεων που θα πρέπει να αναμεταδίδονται. Μία ομαδοποιημένη σύνδεση χρειάζεται μόνο ένα κανάλι έλεγχου το οποίο βοηθά στην περεταίρω μύωση των σημάτων που εναλλάσσονται για την σηματοδότηση και την δρομολόγηση . Όπως είναι φυσικό υπάρχουν και ορισμένοι περιορισμοί στην για την δημιουργία των ομαδοποιημένων συνδέσεων όπως για παράδειγμα το ότι όλες οι ομαδοποιημένες συνδέσεις πρέπει να αρχίζουν και να τελειώνουν στο ίδιο LSR και ότι όλες οι συνδέσεις οι οποίες ανήκουν στην ομαδοποιημένη σύνδεση πρέπει να είναι του ίδιου τύπου (π.χ. Point-To-Point, Multicast)

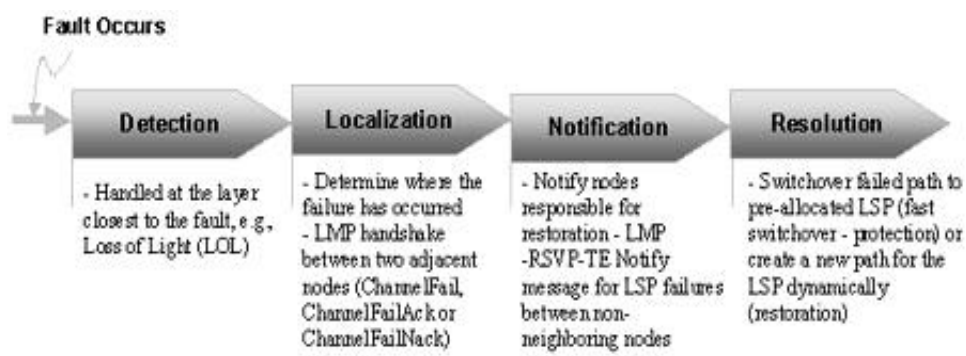
Συμπεράνουμε ότι η ομαδοποίηση των συνδέσεων οδηγεί σε απώλεια της των πόρων του δικτύου. Παρ όλα αυτά, το κέρδος στη μείωση των συνδέσμου που καταχωρούνται στη βάσης δεδομένων από link-state και η αύξηση της ταχύτητας στο ψάξιμο των πινάκων υπερκερνά κατά πολύ της απώλειας πληροφοριών.

Αξιοπιστία (Reliability)

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής GMPLS η δυνατότητα της αυτοματοποιημένης διαχείριση σφαλμάτων στη λειτουργία του δικτύου. Ένα σφάλμα σε έναν συγκεκριμένο τύπο δικτύου πρέπει να απομονώνονται και να επιλύεται χωριστά από τα άλλα δίκτυα. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για τα end-to-end LSPs τα οποία περνούν μέσα από άλλα LSPs τα οποία απαιτούν υψηλότερου βαθμό αξιοπιστίας αν τα πάρουμε ιεραρχικά. Μία κοινή οντότητα ελέγχου που να εκτείνεται στα διάφορα ανομοιογενή δίκτυα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τους διάφορους βαθμούς της απαιτούμενης αξιοπιστίας σε κάθε δίκτυο.

Τα βήματα που είναι απαραίτητα για τη διαχείριση των σφαλμάτων φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα

Εικόνα 10: Βήματα διαχείρισης σφαλμάτων από το GMPLS



Το GMPLS παρέχει προστασία σε συνδέσμου (ή κανάλια) μεταξύ δύο παρακείμενων κόμβων (span protection) και end-to-end προστασίας (path protection). Οι επεκτάσεις του GMPLS στο OSPF και IS-IS μεταδίδουν μια παράμετρο που ονομάζεται link-type-protection για να καταφέρουν να επιτύχουν span protection ενώ η διαδρομή(path) βρίσκεται σε κατάσταση δημιουργίας. Μετά τον υπολογισμό του μονοπατιού, η σηματοδότηση για την δημιουργία εναλλακτικών διαδρομών (paths) γίνεται μέσω του RSVP-TE ή CR-LDP. Για το span protection παρέχεται προστασία 1+1 ή M+N με την δημιουργία δευτερογενών μονοπατιών μέσω του δικτύου και τη χρησιμοποίηση κάποιου είδους σηματοδότηση γίνεται μετάβαση από την αρχική διαδρομή στην δευτερογενή (backup διαδρομή). Για προστασία της διαδρομής end-to-end, τα πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια μονοπάτια υπολογίζονται και σηματοδοτούνται έτσι ώστε να δείχνουν ότι τα δύο μονοπάτια μοιράζονται την παρακράτηση. Αυτό επιτυγχάνεται με τις επεκτάσεις στην δρομολόγηση των OSPF / IS-IS .

Η αποκατάσταση ενός προβληματικού μονοπατιού αναφέρεται στο αν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ενός εφεδρικού μονοπατιού. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τη δυναμική κατακράτηση των πόρων και υπολογισμού των διαδρομών. Υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι αποκατάστασης: η γραμμική (line) και του μονοπατιού (path). Η γραμμική αποκατάσταση βρίσκει μια εναλλακτική διαδρομή με ένα ενδιάμεσο κόμβο. Η διαδικασία της αποκατάστασης του τύπου μονοπατιού ξεκινά στον αρχικό κόμβο-πηγή και κατευθύνεται μέσω της διαδρομής (path) στον τελικό κόμβο μέχρι να βρεθεί που υπάρχει σφάλμα στο συγκεκριμένο LSP. Γενικά, τα συστήματα αποκατάστασης τα οποία βασίζουν την λειτουργία τους στον προς τα πίσω έλεγχο των μονοπατιών είναι πιο χρονοβόρα, αλλά είναι πιο αποδοτικά στη χρήση εύρους ζώνης, καθώς δεν δεσμεύουν από την αρχή οποιουδήποτε πόρους από το δίκτυο για ένα νέο LSP.

Αποτελεσματική διαχείριση των πόρων του δικτύου (Efficiency)

Η συμπερίληψη και διαχείριση των πόρων στα δίκτυα κορμού TDM και οπτικές συσκευές μέσω IP-based επίπεδο ελέγχου, απαιτεί νέα επίπεδα βελτιστοποίησης. Μία μέθοδος είναι η ομαδοποίηση των σύνδεσμων που συζητήθηκε νωρίτερα η οποία μειώνει το μέγεθος της βάσης δεδομένων με link-state ανά TDM και οπτικά δίκτυα. Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα στα TDM και οπτικά δίκτυα είναι η πιθανή χρήση τους από τις διευθύνσεις IP. Αυτό το θέμα αναπτύσσεται πιο κάτω.

Αντί να δίνεται μια διαφορετική διεύθυνση IP σε κάθε TDM ή οπτική σύνδεση, η έννοια των «μη αριθμημένων συνδέσεων» χρησιμοποιείται για να παρακολουθείτε αυτός ο τύπος συνδέσεων. Αυτό είναι απαραίτητο λόγω του ότι ο αριθμός των καναλιών TDM, των μήκων κύματος και των οπτικών ινών μπορούν εύκολα να φτάσουν ένα σημείο όπου η διαχείριση τους ανά διεύθυνση IP, θα γίνει πολύ χρονοβόρα. Επίσης οι IP διευθύνσεις θεωρούνται ανεπαρκής πόρος.

Οι μη αριθμημένες συνδέσεις είναι συνδέσεις οι οποίες δεν έχουν διεύθυνση IP, αλλά ένα συνδυασμό ενός μοναδικού αριθμού που χρησιμοποιείται στους δρομολογητές (router ID) και ένα αριθμό σύνδεσης, χρησιμοποιούνται για να εκπροσωπήσουν την κάθε σύνδεση. Οι συνδέσεις αυτές μεταφέρουν πληροφορίες διακίνησης και μπορούν να καθοριστούν στο επίπεδο σηματοδοσίας, ακριβώς όπως μια κανονική σύνδεση με μια

διεύθυνση IP. Τα πρωτόκολλα RSVP-TE και CR-LDP έχουν και τα δύο αναβαθμιστεί για να μεταφέρουν τις πληροφορίες αυτές κατά την σηματοδοσία. Το ίδιο έχει γίνει και με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (OSPF-TE, IS-IS-TE).

2.3.2 Αναγνώριση μεγάλων ροών (elephant flow) βάση της περιοδικής δειγματοληψίας πακέτων

Η τεχνική αυτή είναι πολύ απλή τόσο στην εφαρμογή της όσο και στην πολυπλοκότητα της σαν τεχνική. Με την εφαρμογή μιας τέτοιας τεχνικής η οποία αναγνωρίζει μεγάλες ροές από δειγματοληψία πακέτων, έχουμε μεγάλα ωφέλει όχι μόνο στην απόδοση αλλά και στο κόστος της εφαρμογής. Σκοπός της τεχνικής αυτής είναι να βρει ένα όριο προσδιορισμού ενός δείγματος ροής από πακέτα, και βάση αυτό να καθορίσει αν η ροή αντιπροσωπεύει ένα elephant flow. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο θεώρημα του Bayes. Υποθέτουμε ότι η εκ των προτέρων κατανομή $Pr [X_j = i]$ (όπου Pr = πιθανότητα πυκνότητας, όπου X_j ο αριθμός των πακέτων της ροής j και το $i = 1,2,3$) είναι γνωστή. Το πώς καταλήγουμε στην κατανομή $Pr [X_j = i]$, περιγράφεται πιο κάτω.

Αν υποθέσουμε ότι λαμβάνεται δείγμα από n πακέτα από ένα σύνολο N πακέτων τότε η συχνότητα δειγματοληψίας είναι n/N . Αν όπου Y_j είναι ο αριθμός των πακέτων που έγινε δειγματοληψία της ροής δεδομένων j και η οποία έχει X_j πληθυσμό πακέτων. Επίσης θεωρώντας ότι το $X_j = x$ τότε η πιθανότητα με την οποία ο αριθμός των πακέτων Y_j ικανοποιεί την σχέση $Y_j = y$ είναι :

$$Pr [Y_j = y | X_j = x] = \binom{x}{y} \binom{N-x}{n-y} / \binom{N}{n} \quad (1)$$

Η οποία είναι μία υπεργεωμετρική κατανομή.

Τότε με βάση το θεώρημα του Bayes αν $Y_j \geq y$ τότε η πιθανότητα με την οποία το X_j ικανοποιεί την σχέση $X_j \geq x$ είναι και μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$Pr [X_j \geq x | Y_j \geq y] = \frac{\sum_{k=x} Pr [Y_j \geq y | X_j = k] Pr [X_j = k]}{\sum_{k=1} Pr [Y_j \geq y | X_j = k] Pr [X_j = k]} \quad (2)$$

Από την εξίσωση (2), συμπεραίνουμε ότι με δεδομένη την κατανομή $Pr [X_j = i]$, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον αριθμό των πακέτων δειγματοληψίας y από μία

ροή, για τον υπολογισμό της πιθανότητας με την οποία η συγκεκριμένη αυτή ροή έχει περισσότερα από κάποιο αριθμό χ πακέτων στον όλο πληθυσμό των πακέτων. Η ροή j είναι μεγάλου μεγέθους ροή (elephant flow), αν ο συνολικός αριθμός των πακέτων $X_j \geq \hat{\chi}$, όπου $\hat{\chi}$ είναι το όριο προσδιορισμό μιας ροής σαν (elephant flow). Στη συνέχεια, αν το $\Pr [X_j \geq \hat{\chi} | Y_j \geq \hat{y}]$ είναι αρκετά κοντά στο 1 για μία συγκεκριμένη δειγματοληψία ($y=\hat{y}$), η ροή j είναι πολύ πιθανό να έχει περισσότερα από χ πακέτα στον πληθυσμό. Με άλλα λόγια, εάν ο αριθμός των πακέτων δειγματοληψίας Y_j για μία ροή j , είναι μεγαλύτερος από το \hat{y} , υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα η ροή που αντιπροσωπεύεται από το δείγμα των πακέτων (Y_j) να είναι elephant flow.

Συνοψίζοντας η διαδικασία της αναγνώρισης μεγάλων ροών με την μέθοδο της δειγματοληψίας πακέτων πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια:

- 1ο. Προσδιορισμός του συνολικού πληθυσμού των πακέτων N και κατ' επέκταση την συχνότητα δειγματοληψίας. Επίσης προσδιορισμός του ορίου $\hat{\chi}$, του αριθμού των πακέτων, βάση του οποίου γίνεται ο καθορισμός του αν μία ροή είναι elephant ή όχι και της κατανομής $\Pr [X_j = i]$. Σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται και κάποια όρια σφαλμάτων τα οποία πρέπει και αυτά να ικανοποιούνται.
- 2ο. Υπολογισμός της πιθανότητας με την οποία μία ροή έχει περισσότερα από το προκαθορισμένο όριο πακέτα, με το οποίο ορίζεται κάποια ροή σαν elephant flow. Αυτός ο υπολογισμός γίνεται με το ότι έχει αναφερθεί στο πρώτο στάδιο και με την χρήση της σχέσης :

$$\hat{y} = \min_{y'} \{y' | FPR (y') \leq \epsilon\}, \text{ όπου } FPR = \text{false positive ratio}$$
- 3ο. Ακολούθως μετριέται η περιοδική δειγματοληψία των πακέτων όπως και ο αριθμός των πακέτων για κάθε ροή.
- 4ο. Τέλος, αν ο αριθμός των πακέτων από την δειγματοληψία για κάποια ροή είναι μεγαλύτερος από \hat{y} , τότε η συγκεκριμένη ροή θεωρείται σαν elephant flow.

2.3.3 Αναγνώριση Μεγάλων Ροών από Δεδομένα με Μία Τεχνική Βασισμένη σε FPGA Cache.

Ο στόχος αυτής της τεχνικής είναι η χρήση ενός χώρου προσωρινής αποθήκευσης της κατάστασης των μεγάλων ροών από το αρχικά στάδια της δημιουργίας τους. Η συγκεκριμένη τεχνική εκμεταλλεύεται την τεχνολογία FPGA (Field Programmable Gate Array) για να αντεπεξέλθει στην αύξηση της ταχύτητας των συνδέσεων στα δίκτυα κορμού.

Στην όλη διαδικασία χρησιμοποιείται ένα σύστημα υψηλής απόδοσης με πίνακα κατακερματισμού Naive Hash Table (NHV) το οποίο βασίζεται στη χρήση του πίνακα αυτού για να διαιρεί τον χώρο αναζήτησης σε μικρότερους χώρους με περίπου το ίδιο αριθμό καταχωρίσεων. Οι αναζητήσεις γίνονται με τον υπολογισμό μιας τιμής κατακερματισμού και με βάση μία αιτούμενη περιγραφή για την συγκεκριμένη αναζήτηση, έτσι ώστε να εντοπιστεί ο συγκεκριμένος χώρος αναζήτησης αρχικά, στον οποίο στη συνέχεια αναζητείται διαδοχικά μέχρι να προσδιορισθεί τελικά η συγκεκριμένη εισαγωγή. Δεδομένου ότι η εσωτερική μνήμη FPGA είναι περιορισμένη, αντί της πλήρους περιγραφής της ροής, κάθε εγγραφή περιέχει μόνο ένα μικρό αποτύπωμα της περιγραφής που γίνεται συνήθως στα IP δίκτυα με τα 5 παραδοσιακά χαρακτηριστικά (IP διεύθυνση πηγής και port, IP διεύθυνση προορισμού και port, protocol) που περιέχονται στην επικεφαλίδα ενός IP πακέτου. Η πιθανότητα δύο διαφορετικές ροές να συγκρουστούν χρησιμοποιώντας την ίδια τιμή κατακερματισμού μπορεί να μετριάσει από την σωστή εκτίμηση του bit-length b αποτυπώματος. Η πιθανότητα false positive p_f μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση(1) πιο κάτω. Αν οι διαιρεμένοι χώροι του πίνακα κατακερματισμού είναι 2^h , το bit-length του πίνακα κατακερματισμού και του αποτυπώματος είναι $h + b$, τότε έχουμε:

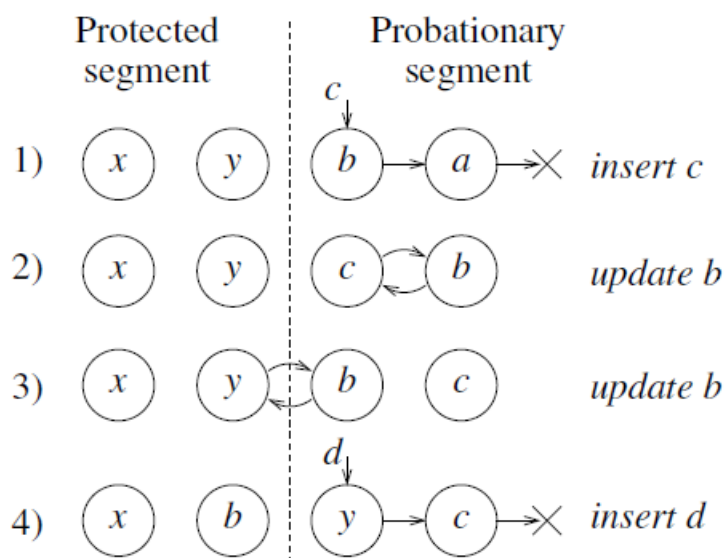
$$p_f = 1 - \frac{m!}{m^n(m-n)!} = 1 - \frac{2^{(h+b)!}}{2^{(h+b)^n} (2^{(h+b)} - n)!} \approx 1 - e^{-\frac{(n-1)n}{2 \cdot 2^{(h+b)}}} \quad (1)$$

Όπου m είναι ο συνολικός αριθμός των χώρων που δημιουργούνται από τον πίνακα κατακερματισμού και n ο αριθμός των εισαγωγών που είναι σε χρήση.

Οι μνήμες LRU (Least Recently Used cash) που χρησιμοποιούνται για καταχώριση των ροών είναι πολύ ευαίσθητες στην εισαγωγή νέων ανεπιθύμητων ροών.

Ροές που αποτελούνται από σχετικά πολύ λίγα πακέτα είναι πολύ συχνές. Η πολιτική του S^3 -LRU περιλαμβάνει ένα μηχανισμό για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου. Βάση της πολιτικής S^3 -LRU, οι μνήμες cache διαιρούνται σε δύο τμήματα: ένα τμήμα για δοκιμασία (probationary) και ένα προστατευμένο(protected)τμήμα, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.

Εικόνα 11: Οι μνήμες cache βάση της πολιτικής S^3 -LRU



Όταν έχουμε ένα cache miss, τότε η νέα ροή προστίθεται στο μπροστινό μέρος του δοκιμαστικού τμήματος στην S^3 -LRU λίστα και η λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιημένη ροή αυτού του τμήματος απομακρύνεται (στο σχήμα πιο πάνω το 1)). Όταν έχουμε ένα hit σε κάποια ροή τότε σημαίνει ότι αυτή η ροή είναι ήδη καταχωρημένη στην λίστα της μνήμης και η συχνότητα της γίνεται μεγαλύτερη από αυτήν που προηγείται στην λίστα για τον λόγο αυτό αλλάζουν θέση όπως και στο σημείο 2) του σχήματος πιο πάνω. Αν η ροή είναι ήδη μπροστά, διατηρεί τη θέση της. Η μετακίνηση μίας ροής από το τμήμα για δοκιμασία στο προστατευόμενο τμήμα γίνεται με την εναλλαγή της θέσης της με την

ροή που βρίσκεται τελευταία στο προστατευόμενο τμήμα της λίστας όπως στο σημείο 3) του σχήματος. Έτσι η πολιτική του S^3 -LRU προστατεύει τη μνήμη cache από ροές που είναι πρόσφατες μεν αλλά δεν θα έχουν την αναγκαία συχνότητα για να μπουν στο προστατευόμενο τμήμα. Πιο συγκεκριμένα η σειρά που έχουν οι ροές στα δύο τμήματα που δημιουργούνται, έχει να κάνει με το πόσο πρόσφατη είναι η καταγραφή της στο counter της, σε συνδυασμό με το counter της συχνότητας της. Έτσι μετακινώντας την κάθε ροή κατά με κάθε hit προς την προστατευόμενο τμήμα, η ροή αυτή έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι elephant flow και προστατεύεται από τις πρόσφατα εισερχόμενες ροές στο δοκιμαστικό τμήμα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με παλαιότερες τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούσαν στην πρώτη θέση της λίστας την πιο πρόσφατη καταχώριση.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα φίλτρα τα οποία είναι του τύπου hash-based, χρησιμοποιούν μία λίστα από counters (π.χ συχνότητας, πρόσφατης εισαγωγής) για κάθε ροή στον πίνακα κατακερματισμού, και κάθε counter κοινοποιείται μεταξύ πολλών ροών. Αυτό κάνει τις τεχνικές αυτές πολύ γρήγορες με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η χρήση τους ακόμα και στα δίκτυα κορμού που διαχειρίζονται μεγάλο όγκο δεδομένων. Επίσης, όταν τα φίλτρα είναι τόσο επιλεκτικά, που ο πίνακας ροών και το φίλτρο αυτό κάθε αυτό είναι τόσο μικρά που μπορούν να χωρέσουν σε ένα FPGA RAM.

2.4 Διασφάλιση της Ποιότητας Εξυπηρέτησης των Μεγάλων Ροών

Από την μέχρι τώρα συζήτηση είναι σαφές ότι τα Elephant flaws μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, οπότε το οποιοδήποτε σφάλμα κατά την μεταφορά τους, που θα είχε σαν αποτέλεσμα να χαθούν αυτά τα δεδομένα, θα κόστιζε τόσο σε πόρους του δικτύου, γιατί αυτά τα δεδομένα προφανώς θα χρειαστεί να ξαναμεταδοθούν, αλλά και θα πρόσφερε σε μία κακής ποιότητας υπηρεσία που θα άφηνε εκατομμύρια πελάτες κάποιας εταιρίας που παρέχει υπηρεσίες διαδικτύου ανικανοποίητους. Αρά η παροχή τέτοιων υπηρεσιών, εξυπηρέτηση των elephant flows δηλ., πρέπει να διασφαλίζεται και αυτό γίνεται με τον τρόπο που αναλύεται πιο κάτω.

Η σύνδεση μεταξύ δύο γεωγραφικά διαφορετικών περιοχών (π.χ. Νέας Υόρκης και Τορόντο) συνήθως παρέχεται από μία ανεξάρτητη αρχή που ονομάζεται παροχέας

υπηρεσιών (service provider, άλλος από των παροχέα υπηρεσιών διαδικτύου σε κάποια πόλη για παράδειγμα) . Το SLA (service level agreement) είναι μια σύμβαση μεταξύ του παροχέα και του πελάτη (π.χ. παροχέας υπηρεσιών διαδικτύου) των υπηρεσιών, και είναι η βάση για τη διασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας, διότι καθορίζει σε μετρίσιμους τεχνικούς όρους, τις υπηρεσίες που θα παρέχονται από τον παροχέα και τις κυρώσεις που θέτονται σε ισχύ αν ο παροχέας δεν μπορεί να ικανοποιήσει τους στόχους που τίθενται. Με άλλα λόγια, η SLA καθορίζει τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους της υπηρεσίας που παρέχεται στον πελάτη. Αυτοί οι παράμετροι συμπεριλαμβάνουν το εύρος ζώνης, ευαισθησία σε σφάλματα, το χρόνο αποκατάστασης της επικοινωνίας, την αξιοπιστία, τη διαθεσιμότητα και το bit error rate, που είναι μερικά παραδείγματα αυτών των παραμέτρων. Στο Διαδίκτυο, η πραγματικότητα είναι ότι τα end-to-end SLA είναι λιγοστά, και τα SLA μεταξύ των αυτών που παρέχουν υπηρεσίες διαδικτύου είναι περιορισμένα, πράγμα που δίνει μια ιδέα για την πολυπλοκότητα της διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας στα πλήρως αναπτυγμένα οπτικά δίκτυα. Εκτός αυτού η επιλογή των παραμέτρων που πρέπει να περιλαμβάνονται στα SLA και του τρόπου με τον οποίο αυτοί οι παράμετροι πρέπει να μετρώνται ή να ερμηνεύονται είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο.

Όμως είναι αυτονόητο ότι η εξασφάλιση της ποιότητας στις υπηρεσίες στα πλήρως αναπτυγμένα οπτικά δίκτυα πρέπει να θεωρείται επιβεβλημένη. Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται μέσω του διαδικτύου σήμερα είναι όλο και περισσότερο κρίσιμης σημασίας. Με άλλα λόγια, τα αναπτυγμένα οπτικά δίκτυα δεν θα έχουν πολλά να δώσουν, εκτός αν μπορούν να εγγυηθούν μια συγκεκριμένη απόδοση όπως θα καθορίζεται από τις παραμέτρους της ποιότητας υπηρεσίας που θα είναι συμφωνημένοι στα SLA. Η επίδοση της μετάδοσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα της υπηρεσίας σε οπτικά δίκτυα οπτικών σημάτων, διότι μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, πράγμα που σημαίνει ότι η κακή ποιότητα μετάδοσης έχει δραματικές επιπτώσεις για στην ποιότητα. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν πολλές μελέτες στη βιβλιογραφία για την πρόβλεψη οπτικών μονοπατιών καθώς και συστήματα διαχείρισης προβλημάτων στα πλήρως αναπτυγμένα οπτικά δίκτυα.

Οι απαιτήσεις σε ότι αφορά τις απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα υπηρεσιών των μελλοντικών εφαρμογών περιλαμβάνουν την εξατομίκευση των υπηρεσιών και των αυστηρότερων ποιοτικών παραμέτρων όπως η καθυστέρηση και η χωρητικότητα. Με

άλλα λόγια, τα μελλοντικά δεν θα μεταφέρουν μόνο περισσότερα δεδομένα IP, αλλά θα πρέπει επίσης να προσφέρουν διάφορες απαιτήσεις σε ποιοτικά θέματα και μοντέλα κυκλοφορίας. Τέλος, ορισμένες αναδυόμενες εφαρμογές, όπως το grid computing, χρειάζονται μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση των πόρων του δικτύου, η οποία περιλαμβάνει την δημιουργία και αποδέσμευση συνδέσεων σαν να ήταν εικονικοί πόροι που μπορούν να ελέγχονται από άλλα στοιχεία ή επίπεδα. Στο πλαίσιο αυτό, η κίνηση με γνώμονα την παροχή οπτικών μονοπατιών όπως περιγράφηκε πιο πάνω, προκύπτει ως μια πολύ ενδιαφέρουσα υποψήφια λύση για την επίλυση αυτών των μεγάλων προκλήσεων. Από την άλλη πλευρά, το ευρωπαϊκό σχέδιο Agave εισήγαγε την έννοια των παράλληλων Internet που επιτρέπουν end-to-end διαφοροποιήσεις των υπηρεσιών σε πολλούς τομείς. Αυτά είναι συνυπάρχων παράλληλα δίκτυα που αποτελούνται από διασυνδεδεμένα, ανά τομέα δίκτυα και θα επιτρέπουν την διαφοροποίηση όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσιών, τη διαθεσιμότητα και την ανθεκτικότητα.

Το σκεπτικό είναι ότι πίσω από το Agave τα SLA είναι μεταξύ των πελατών και αυτών που παρέχουν υπηρεσίες (SP-Service Providers), ενώ οι συμφωνίες για σύνδεσης γίνονται μεταξύ αυτών που παρέχουν υπηρεσίες και αυτών που παρέχουν δίκτυα IP (INP- IP Network providers). Εσωτερικά, οι SP έχουν δικές του συμφωνίες για συνδέσεις. Το Agave ορίζει ένα μοντέλο δικτύου, το οποίο έχει την λογική της κατάτμησης των πόρων του συγκεκριμένου δικτύου στο εσωτερικό ενός INP, που έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά της κυκλοφορίας από τις υπηρεσίες με τις κοινές απαιτήσεις σύνδεσης, σε διαφορετικής μεταχείρισης συνδέσεις, σχετικά με την δρομολόγηση, την προώθηση (ουρές και τον προγραμματισμό των μηχανισμών) και τη διαχείριση των πόρων (admission control, traffic shaping and policies). Στη συνέχεια, παράλληλα Internets είναι inter-domain επεκτάσεις αυτών των μοντέλων δικτύων, από την προοπτική ενός ενιαίου INP, και βασίζονται σε συμφωνίες με τους χρήστες και / ή με remote INPs (INP συμφωνίες διασύνδεσης). Η πιο κάτω εικόνα απεικονίζει την λειτουργική αρχιτεκτονική του Agave, το οποίο επιτρέπει την επίτευξη υποστήριξη του δικτύου της διαφοροποίησης των υπηρεσιών.

Κεφάλαιο 3

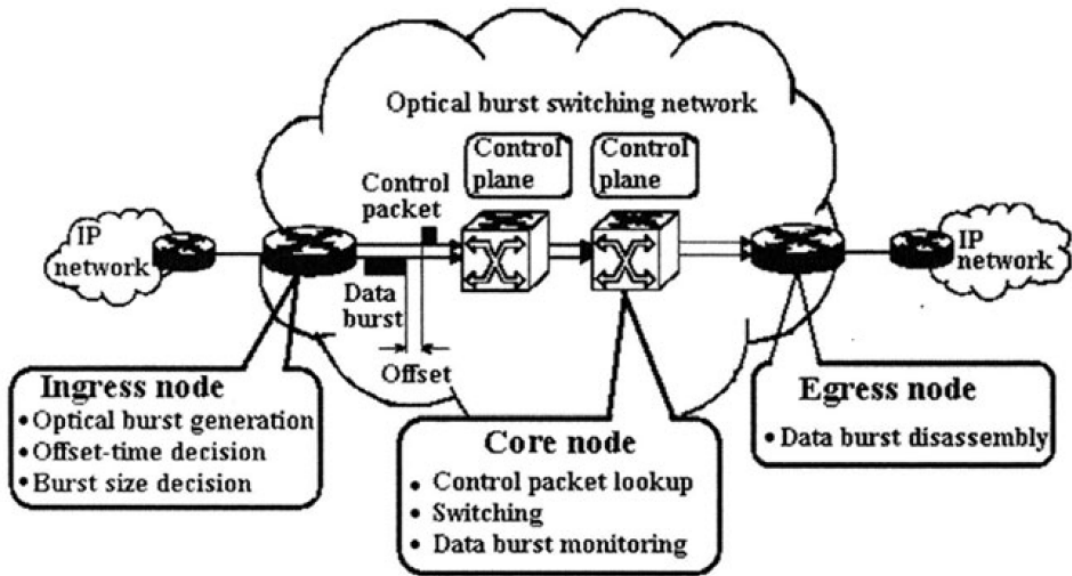
Οπτική Μεταγωγή Ριπών(OBS)

3.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα Οπτικής Μεταγωγής Ριπής (OBS δίκτυα, από το Optical Burst Switching) ήρθε ως μία πολύ υποσχόμενοι αρχιτεκτονική στον τομέα των οπτικών δικτύων. Η βασική ιδέα του OBS είναι η ομαδοποίηση των πακέτων σε ριπές, οι οποίες μεταφέρονται σε ένα OBS δίκτυο με πλήρως οπτικό τρόπο. Η λειτουργία αυτή γίνεται από ένα σύνολο οπτικών «κόμβων ραχοκοκαλιάς» (backbone optical network), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την προώθηση των burst μέσα στο οπτικό δίκτυο, από ένα σύνολο ακραίων κόμβων που είναι γνωστοί ως ingress και egress κόμβοι.[02,10,13]

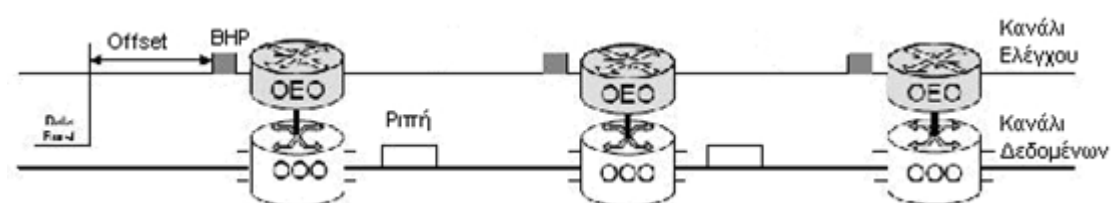
Παράδειγμα της αρχιτεκτονικής αυτής φαίνεται στην εικόνα πιο κάτω.

Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική των δικτύων OBS



Ένα πλεονέκτημα αυτής της λογικής είναι ότι πετυχαίνει αποδοτική δέσμευση πόρων, η οποία γίνεται για τη χρονική διάρκεια της μετάδοσης μιας ριπής (τυπικά μερικές δεκάδες ms). Σε ένα OBS δίκτυο λοιπόν τα πακέτα συναρμολογούνται σε ριπές και αποσυναρμολογούνται από ριπές στους κόμβους ingress και egress αντίστοιχα. Πριν την μετάδοση της κάθε ριπής προηγείται η μετάδοση ενός μηνύματος ελέγχου για να ενημερωθούν οι ενδιάμεσοι κόμβοι της επικοινωνίας για την επερχόμενη μετάδοση των ριπών, έτσι ώστε να δεσμεύσουν πόρους και να διευθετήσουν την μεταγωγή τους με τέτοιο τρόπο που η ριπή να μεταδοθεί στην σωστή θήρα εξόδου. Είναι εμφανές ότι γίνεται διαχωρισμός της μετάδοσης των ριπών από την μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου σε ένα πλήρες οπτικό και ένα ηλεκτρονικό δίκτυο αντίστοιχα (εικόνα 13).

Εικόνα 13: Διαχωρισμός των μηνυμάτων ελέγχου από την μετάδοση των ριπών



Αυτό διευκολύνει την επεξεργασία των πακέτων ελέγχου από τους ενδιάμεσους κόμβους οι οποίοι λαμβάνουν μέρος στην δημιουργία των οπτικών μονοπατιών για την μετάδοση των δεδομένων.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η συναρμολόγηση των δεδομένων-πακέτων σε ριπές, το κατάλληλο πρωτόκολλο στην σηματοδοσία και η κατάλληλη τεχνική με την οποία αντιμετωπίζονται οι συγκρούσεις, παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα του δικτύου στο σύνολο του. Για τον λόγο αυτό αποτελούν θέμα στις επόμενες υποενότητες του κεφαλαίου αυτού.

3.2 Αλγόριθμοι Συναρμολόγησης Δεδομένων-Πακέτων σε Ριπές

Όπως προαναφέρθηκε σημαντικό ρόλο στην απόδοση των οπτικών δικτύων μεταγωγής ριπής είναι η διαδικασία με την οποία τα πακέτα συναρμολογούνται σε ριπές. Η διαδικασία αυτή εκτελείται στους περιφερειακούς κόμβους εισόδου όπου και καταλήγουν τα πακέτα από άλλου είδους δίκτυα όπως π.χ. SONET, IP, ATM. Στο σημείο αυτό αποθηκεύονται τα πακέτα σε ουρές ανάλογα με τη διεύθυνση προορισμού του καθενός και στη συνέχεια αυτά ομαδοποιούνται σε ριπές (bursts). Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι αλγορίθμων για τη δημιουργία ριπών από τους ακραίους κόμβους. Ο πρώτος χρησιμοποιεί μία τεχνική με κάποιο χρονικό όριο(timer based) και ο δεύτερος ένα συγκεκριμένο μέγιστο όριο μεγέθους σε bytes. Υπάρχει και ένας τρίτο είδος ο οποίος συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο προαναφερθέντων.

3.2.1 Αλγόριθμοι με Χρονικό Όριο (timer based)

Με βάση αυτό το είδος αλγόριθμου, τα πακέτα που εισέρχονται στον ingress κόμβο του δικτύου μπαίνουν σε ουρές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους (IP address προορισμού κτλ.), και όταν περάσει ο χρόνος συναρμολόγησης του burst που είναι σταθερός και ίσος με κάποιο T_{max} , τότε το burst μεταδίδεται. Η ουρά εκκενώνεται και ο μετρητής χρόνου μηδενίζεται. Ξεκινά να μετρά πάλι όταν το νέο πακέτο φτάσει στην ουρά.

Η μέθοδος αυτή περιορίζει την μέγιστη καθυστέρησης ενός πακέτου σε T_{max} αλλά μπορεί να δημιουργεί burst με ανεπιθύμητο μέγεθος.

3.2.2 Αλγόριθμοι με Όριο Μεγέθους Ριπής (threshold based)

Είναι και αυτός ένα πολύ απλό είδος αλγόριθμου ο οποίος βασίζεται στο μέγιστο μέγεθος του burst. Τα πακέτα και εδώ αποθηκεύονται σε ουρές ανάλογα με τον προορισμό τους αλλά εδώ υπάρχει ένα κοινό και σταθερό μέγεθος για όλες τις ριπές. Αυτό είναι το ανώτατο μέγεθος που μπορεί να φτάσει το burst. Όταν μια ριπή φτάσει σε αυτό το μέγεθος αποστέλλεται στον προορισμό της ενώ μία νέα ριπή αρχίζει να δημιουργείται.

3.2.3 Αλγόριθμοι με Χρονικό Όριο και Μέγιστο Μέγεθος (hybrid)

Οι αλγόριθμοι του τύπου αυτού είναι μια προσπάθεια να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων τεχνικών και για αυτό το λόγο θέτει και τα δύο κριτήρια κατά τη δημιουργία ριπής. Έτσι, τα δεδομένα που εισέρχονται σε μια ουρά συνθέτουν μία ριπή είτε όταν συμπληρωθεί ο μέγιστος αριθμός πακέτων είτε όταν περάσει ο χρονικός ορίζοντας που έχει τεθεί, όποιο από τα δύο ενδεχόμενα συμβεί πρώτο.

3.3 Σηματοδοσία (Signalling) στα Δίκτυα Μεταγωγής Ριπών

Στα δίκτυα μεταγωγής ριπών όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου σηματοδοσίας για να προετοιμαστούν οι ενδιάμεσοι κόμβοι του δικτύου για την μετάδοση των ριπών. Βασικά σε ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας συμπεριλαμβάνεται η διαδικασία εγκατάστασης του μονοπατιού μεταγωγής και η οποιαδήποτε διαγραφή του και μετατροπή του. Με την χρήση ενός τέτοιου πρωτοκόλλου, το πακέτο ελέγχου μπορεί να δεσμεύσει πόρους για την αντίστοιχη ριπή. Στα οπτικά δίκτυα υπάρχουν δυο ειδών πρωτόκολλα σηματοδοσίας. Τα μονόδρομα (one way) και τα αμφίδρομα (two way).

Στα πρωτόκολλα σηματοδοσίας μίας κατεύθυνσης, ο κόμβος αποστολέας (συνήθως ο ingress κόμβος) στέλλει ένα μήνυμα στους υπόλοιπους κόμβους του οπτικού μονοπατιού, ενημερώνοντας τους για την δέσμευση των πόρων τους και την ρύθμιση του πύρινα τους για την σωστή μεταγωγή των ριπών. Η ιδιαιτερότητα αυτών των

πρωτοκόλλων είναι ότι ο κόμβος αποστολέας του πακέτου ελέγχου, δεν περιμένει μετά την αποστολή του πακέτου ελέγχου για την επιτυχή δέσμευση των πόρων, αλλά μεταδίδει την ριπή μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος (offset) μετά την αποστολή του μηνύματος ελέγχου. Η χρήση της καθυστέρησης κατά offset για την μετάδοση της ριπής, είναι αναγκαία για να προλάβει το μήνυμα ελέγχου να ενημερώσει όλους τους κόμβους του οπτικού μονοπατιού, αφού το μήνυμα ελέγχου σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο υφίσταται ΟΕΟ μετατροπή ενώ η μεταγωγή των ριπών γίνεται με οπτικό τρόπο. Το μειονέκτημα αυτού του είδους των πρωτοκόλλων είναι ότι απουσιάζει η επιβεβαίωση από τους ενδιάμεσους κόμβους, για τον αν έχουν διαθέσιμους πόρους για την δημιουργία του οπτικού μονοπατιού. Έτσι είναι πιθανό μία δέσμευση να αποτύχει και η ριπή να απορριφθεί. Αυτό κάνει τα πρωτόκολλα αυτού του τύπου αναξιόπιστα. Έχουν όμως πολύ μικρή επιβάρυνση ανάλογη του (offset).

Σε αντίθεση με τα μονόδρομα πρωτόκολλα τα αμφίδρομα, μετά την αποστολή του μηνύματος ελέγχου, ο κόμβος ο οποίος έστειλε το μήνυμα περιμένει να πάρει θετικό μήνυμα επιβεβαίωσης από όλους τους ενδιάμεσους κόμβους, για το αν έχουν ή όχι διαθέσιμους πόρους για την δέσμευση του μονοπατιού και μετά να στείλει την ριπή. Αν κάποιος κόμβος δεν έχει διαθέσιμους πόρους τότε δημιουργεί ένα αρνητικό μήνυμα το οποίο στέλλει στον κόμβο ο οποίος συναρμολόγησε την ριπή, για να μην την μεταδώσει. Το ίδιο μήνυμα ενημερώνει και τους υπολοίπους ενδιάμεσους κόμβους για να αποδεσμεύσουν τους πόρους που πιθανόν να έχουν δεσμεύσει για την μετάδοση της ριπής.

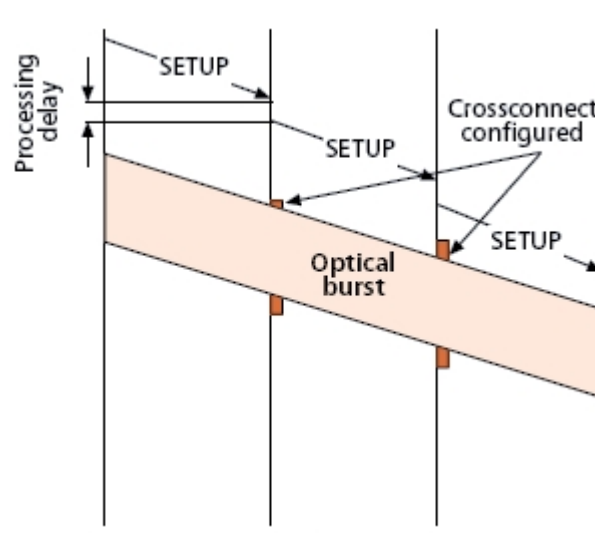
Πιο κάτω αναφέρονται κάποια από τα πιο σημαντικά πρωτόκολλα τα οποία απασχόλησαν κατά καιρούς την ερευνητική κοινότητα.

3.3.1 Το Πρωτόκολλο Μονόδρομης Σηματοδοσίας Just Enough Time (JET)

Το JET είναι ένα πρωτόκολλο μονόδρομης σηματοδοσίας το οποίο χρησιμοποιεί καθυστερημένη δέσμευση πόρων. Η καθυστέρηση (offset) αυτή εξαρτάται από το μήνυμα ελέγχου το οποίο στέλνεται από τον κόμβο τον οποίο ξεκινά το δίκτυο μεταγωγής ριπών. Το μήνυμα ελέγχου στέλνεται σε όλους τους κόμβους οι οποίοι θα αποτελέσουν και το οπτικό μονοπάτι για την μεταφορά των δεδομένων μέχρι και τον τελευταίο κόμβο του δικτύου OBS. Ο χρόνος του offset εξαρτάται από τον αριθμό των

κόμβων που θα λάβουν μέρος. Αν ο χρόνος μετάδοσης του μηνύματος έλεγχου είναι «α», ο αριθμός των κόμβων είναι «χ» και ο χρόνος για την διαμόρφωση του κάθε κόμβου για την μεταγωγή είναι Δτ τότε το offset = αχ + Δτ. Όπως σε όλα τα πρωτόκολλα αυτού του τύπου, αν σε οποιοδήποτε ενδιάμεσο κόμβο η δέσμευση πόρων αποτύχει, τότε η μετάδοση της ριπής απορρίπτεται. Το JET είναι ένα πολύπλοκο πρωτόκολλο το οποίο κρατά πληροφορίες σε όλους τους κόμβους του οπτικού μονοπατιού για όλες τις μεταδιδόμενες ριπές, σχετικά με το χρόνο έναρξης και τερματισμού τους, καθώς και για την διαθεσιμότητα οπτικών καναλιών. Στη πιο κάτω εικόνα φαίνεται η γραφικά η λειτουργία του πρωτοκόλλου αυτού.

Εικόνα 14: Το πρωτόκολλο Just Enough Time



Υπάρχουν και άλλα πρωτόκολλα αυτού του τύπου (one way) αυτό όμως είναι το πιο ελκυστικό στην υλοποίησή του, για αυτό και επικράτησε.

3.3.2 Το Πρωτόκολλο Αμφίδρομης Σηματοδοσίας Tell-And-Wait (TAW)

Το πρωτόκολλο Tell-And-Wait χρησιμοποιεί αμφίδρομη σηματοδοσία. Σε πρώτο στάδιο αποστέλλεται ένα μήνυμα έλεγχου από τον κόμβο τον οποίο ξεκινά η δημιουργία του μονοπατιού, κατά μήκος του μονοπατιού που θα ακολουθήσει η ριπή, για να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με το πια κανάλια στους κόμβους του μονοπατιού είναι διαθέσιμα. Όταν το μήνυμα έλεγχου φτάσει στον τελευταίο κόμβο του μονοπατιού, ένας αλγόριθμος επιλέγει κάποιο από τα διαθέσιμα κανάλια που βρέθηκαν κατά μήκος του μονοπατιού. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα μήνυμα επιβεβαίωσης ACK το οποίο

ταξιδεύει με κατεύθυνση από τον τελευταίο κόμβο του μονοπατιού προς πρώτο. Με το πέρασμα του μηνύματος επιβεβαίωσης από τους ενδιάμεσους κόμβους γίνεται και η δέσμευση των πόρων από αυτούς και όχι με το πέρασμα του μηνύματος ελέγχου. Με αυτό, υπάρχει η πιθανότητα κάποιο μήκος κύματος που είχε βρεθεί αρχικά ελεύθερο να έχει πλέον δεσμευτεί και να μην είναι διαθέσιμο. Τότε δημιουργείται ένα μήνυμα reject και αποστέλλεται στους κόμβους για αποδέσμευση των πόρων που ήδη είχαν κρατηθεί. Αν δεν προκύψει κάποιο πρόβλημα και το ACK φτάσει στον αρχικό κόμβο χωρίς οποιοδήποτε πρόβλημα, τότε ξεκινάει άμεσα η αποστολή των δεδομένων σε ριπή μέσω της διαδρομής που έχει είδη δεσμευτεί.

Έχοντας περιγράψει δύο παραδείγματα σηματοδοσίας, ένα για τον κάθε τρόπο που γίνεται η σηματοδοσία, μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα συγκρίνοντας τα δύο. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι βασικό πλεονέκτημα του TAW είναι η ελαχιστοποίηση της απώλειας ριπών λόγω ανταγωνισμού, χαρακτηριστικό πολύ σημαντικό για κίνηση ευαίσθητη στην απώλεια πακέτων. Το μειονέκτημα όμως σε αυτού του είδους τα πρωτόκολλα είναι ο μεγάλος Round Trip Time για την δημιουργία του οπτικού μονοπατιού. Στον αντίποδα τα πρωτόκολλα μονόδρομης σηματοδοσίας υπερέρχουν στον τομέα της από άκρο σε άκρο καθυστέρησης με την πολύ μικρή καθυστέρηση που προσφέρουν. Όμως στο θέμα της απώλειας ριπών, στα πρωτόκολλα μονόδρομης σηματοδοσίας δεν μπορούν να εξαλειφτούν και αποτελεί το βασικό τους μειονέκτημα.

3.4 Αρχιτεκτονική των Δικτύων Μεταγωγής Ριπών

Στην εισαγωγή του κεφαλαίου έχει γίνει μία καλή αναφορά για την αρχιτεκτονική των δικτύων OBS. Θα ήταν καλά να γίνει μία πιο λεπτομερής περιγραφή της αρχιτεκτονικής τόσο των δικτύων όσο και των κόμβων που λαμβάνουν μέρος στα δίκτυα αυτά για καλύτερη κατανόηση των θεμάτων που θα συζητηθούν στις επόμενες ενότητες.

3.4.1 Αρχιτεκτονική και Υποδομή των OBS

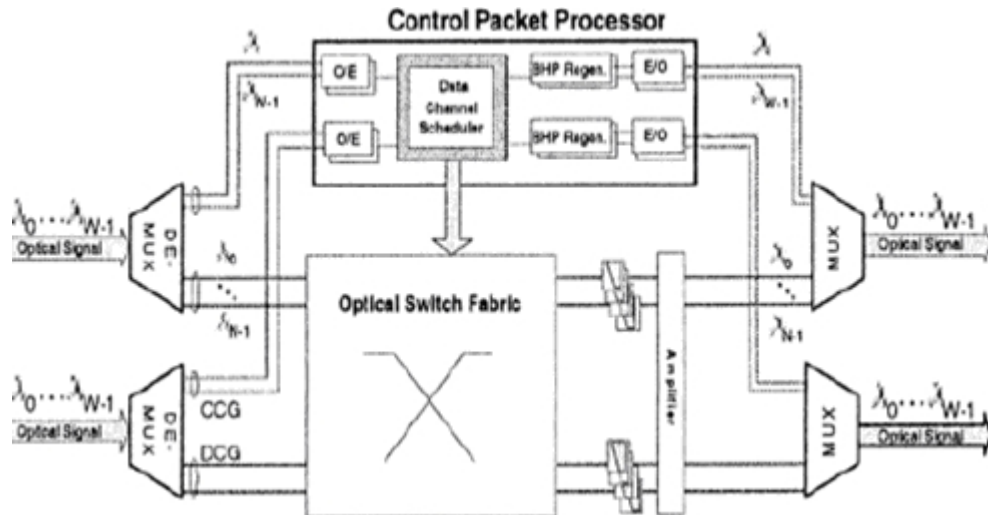
Τα δίκτυα Μεταγωγής Ριπής αποτελούνται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με οπτικές ίνες οι οποίες υποστηρίζουν την τεχνολογία WDM (Wavelength Division Multiplexing). Αυτοί οι κόμβοι διακρίνονται στους περιφερικούς (ingress και egress) ,

και στους κεντρικούς δρομολογητές επειδή έχουν ξεχωριστές λειτουργίες. Οι περιφερειακοί κόμβοι εισόδου (ingress) έχουν την ευθύνη της συναρμολόγησης των δεδομένων που πρόκυπτε να χρησιμοποιήσουν το OBS δίκτυο, σε ριπές. Οι περιφερειακοί κόμβοι εξόδου (egress), έχουν την ευθύνη της αποσυναρμολόγησης των ριπών και την αποστολή των δεδομένων στον προορισμό τους. Στις αρμοδιότητες των κόμβων αυτών εμπίπτει και η δρομολόγηση των ριπών, η ανάθεση μήκους κύματος σε αυτές όπως και η χρονοδρομολόγησή τους στους οπτικούς συνδέσμους εξόδου. Οι κεντρικοί δρομολογητές είναι υπεύθυνοι για την μεταγωγή των ριπών χωρίς να μετατρέπονται από οπτικό σε ηλεκτρικό και πάλι σε οπτικό σήμα, από τα κανάλια εισόδου του δρομολογητή σε κάποιο κανάλι εξόδου. Υπαρχή περίπτωση σε κάποιο κόμβο, δύο ριπές να ζητήσουν τον ίδιο κανάλι την ίδια χρονική στιγμή. Τότε υπάρχει σύγκρουση και επιλύεται συνήθως από τον δρομολογητή απορρίπτοντας τη μία ριπή. Υπάρχουν και άλλες τεχνικές που επιλύουν το θέμα με τις συγκρούσεις και θα τις συζητήσουμε σε επόμενη ενότητα.

3.4.2 Αρχιτεκτονική των Κόμβων στα Δίκτυα OBS

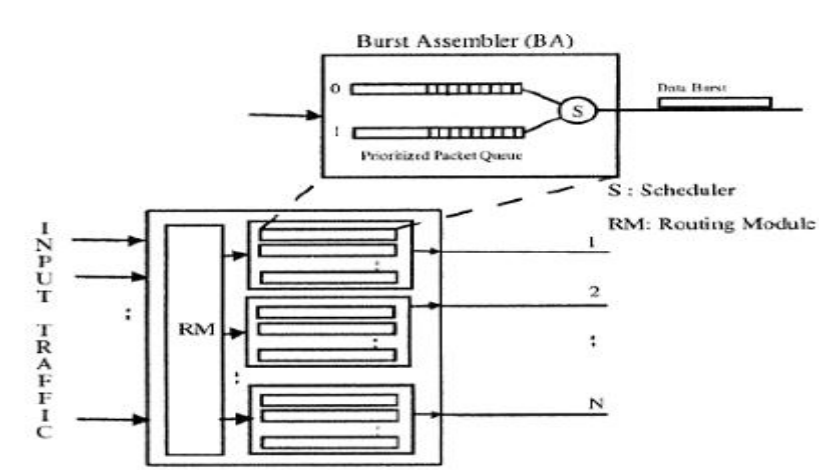
Από τις μέχρι τώρα αναφορές στα δίκτυα OBS, είδαμε ότι οι κόμβοι στα δίκτυα αυτά υπάρχει η ανάγκη να διαχειρίζονται μηνύματα σηματοδοσίας (μηνύματα ελέγχου, ACK, REJECT, κλπ) όπως επίσης να διεκπεραιώνουν αμιγώς οπτική μεταγωγή. Για να είναι αυτό εφικτό, το είδος των κόμβων αυτών αποτελείται από δύο μέρη. Τον οπτικό πυρήνα μεταγωγής και την μονάδα ελέγχου. Στη μονάδα ελέγχου πραγματοποιείται η επεξεργασία των μηνυμάτων ελέγχου που στέλνονται κατά την σηματοδοσία και η ενημέρωση του χρονοπρογραμματιστή, ο οποίος αποθηκεύει την πληροφορία κατάστασης για την διαθεσιμότητα των οπτικών καναλιών. Αν βρεθεί κάποιο διαθέσιμο οπτικό κανάλι που οδηγεί στον προορισμό του μηνύματος ελέγχου, τότε αυτό δεσμεύεται, ο πυρήνας μεταγωγής ρυθμίζεται κατάλληλα και το μήνυμα ελέγχου προωθείται στον επόμενο κόμβο του μονοπατιού. Εν συντομία, ένας κόμβος στα δίκτυα OBS είναι σε θέση να διαβάσει τις πληροφορίες που φέρουν τα μηνύματα έλεγχου (όπως και τα άλλα μηνύματα που ανταλλάσσονται κατά την σηματοδοσία), την επιλογή και δέσμευση κατάλληλου μήκους κύματος για την ριπή, και την μεταγωγή των ριπών στο οπτικό πεδίο. Πιο κάτω απεικονίζεται γραφικά ένας κόμβος OBS.

Εικόνα 15: Κόμβος πυρήνα του δικτύου OBS



Οι περιφερικοί κόμβοι, ingress και egress, είναι υπεύθυνοι και για την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση των ριπών αντίστοιχα. Για αυτό τον λόγο διαθέτουν μια επιπρόσθετη μονάδα, τη μονάδα συναρμολόγησης/αποσυναρμολόγησης ριπών. Οι ροές δεδομένων που φτάνουν στην είσοδο, και αποθηκεύονται σε buffers. Οργανώνονται συνήθως υπό την μορφή ουρών, μία για κάθε προορισμό. Τα πακέτα που είναι αποθηκευόμενα στις ουρές συναρμολογούνται σε ριπές με βάση τους αλγορίθμους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες ενότητες. Τέλος οι ριπές μεταδίδονται οπτικά στο δίκτυο με προορισμό κάποιον άλλο περιφερικό κόμβο(egress). Η αρχιτεκτονική της επιπλέον μονάδας που υπάρχει στους κόμβους αυτούς φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.

Εικόνα 16: Επιπλέον μονάδες που υπάρχουν στους περιφερικούς κόμβους OBS



3.5 Συγκρούσεις στα Δίκτυα OBS

Το φαινόμενο δύο οι περισσότερες ριπές να επιδιώκουν να δεσμεύσουν το ίδιο οπτικό κανάλι, σε επικαλυπτόμενες χρονικές περιόδους είναι πολύ πιθανό ιδίως στις περιπτώσεις που η σηματοδότηση είναι αμφίδρομη. Στις περιπτώσεις αυτές συμβαίνει συνήθως απώλεια ριπών και μειώνεται έτσι σημαντικά η απόδοση του δικτύου. Στην περίπτωση σύγκρουσης όμως, υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που στόχο έχουν να εξυπηρετήσουν όλες τις αποστολές δεδομένων χωρίς να σημειωθούν απώλειες. Οι μηχανισμοί υπάρχουν είναι:

Στο πεδίο του χρόνου - Στα οπτικά δίκτυα δεν έχει εφευρεθεί κάποιος τρόπος με τον οποίο να επιταχύνεται η αποθήκευση της πληροφορίας (όπως γίνεται με την αποθήκευση της πληροφορίας στο ηλεκτρονικό επίπεδο με buffer) σε οπτική μορφή για κάποιο χρονικό διάστημα, μέχρι να ελευθερωθούν οι απαραίτητοι πόροι. Μια λύση είναι η χρήση των Οπτικών Γραμμών Καθυστερήσης (Fiber Delay Lines - FDL). Τα FDL είναι μεγάλου μήκους οπτικές ίνες στις οποίες εισέρχεται το μήνυμα και με αυτό τον τρόπο καθυστερεί κάποιο διάστημα εκεί έως ότου να διασχίσει όλο το μήκος της. Η λύση αυτή είναι συγκριτικά με τις άλλες πιο ακριβή.

Στο πεδίο της συχνότητας - Έχει προαναφερθεί ότι οι κόμβοι ενός δικτύου OBS υποστηρίζουν πολυπλεξία κατά μήκος κύματος (WDM). Έτσι στην περίπτωση που δύο ριπές ζητούν να δεσμεύσουν το ίδιο κανάλι (μήκος κύματος) για την μετάδοσή τους τότε η μία από τις δύο ανατίθεται σε διαφορετικό κανάλι.

Στο πεδίο του χώρου – Μία άλλη επιλογή σε περίπτωση σύγκρουσης, είναι να παρακαμφθεί από την μία ριπή ο κόμβος στον οποίο τυχαίνει να γίνεται η σύγκρουση. Έτσι η μία (ή περισσότερες) ριπή στέλνεται μέσω άλλου κόμβου προς τον προορισμό της. Με αυτό τον τρόπο η ριπή ακολουθεί μεγαλύτερη διαδρομή και αυξάνει τις πιθανότητές της να βρει διαθέσιμους πόρους για να φτάσει στον προορισμό της.

Κεφάλαιο 4

Παρουσίαση του προσομοιωτή OBSModules στο OMNET++

4.1 Εισαγωγή

Το OMNeT ++ είναι μία πλατφόρμα προσομοίωσης η οποία περιλαμβάνει διάφορες βιβλιοθήκες προσομοίωσης γραμμένες σε κώδικα C++. Η πλατφόρμα αυτή δημιουργήθηκε αρχικά για προσομοιώσεις δικτύων (ενσύρματων, ασύρματων κτλ.) . Σε συγκεκριμένους τομείς, όπως ασύρματα ad-hoc δίκτυα, πρωτόκολλα του διαδικτύου, και οπτικά δίκτυα, παρέχονται επιπλέον μοντέλα τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν στην πλατφόρμα αυτή. Η τελευταία έκδοση του OMNET++ προσφέρεται σε περιβάλλον Eclipse IDE όπου υπάρχουν επεκτάσεις για προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο.[5]

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού γίνεται μία παρουσίαση του OBS Modules το οποίο είναι ένα συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης με αρκετές βιβλιοθήκες για την οπτική μεταγωγή ριπών.

4.2 OBS Modules

Το λογισμικό του OBS Modules, αναπτύχθηκε από μία ομάδα ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών του Δημόσιου Πανεπιστήμιο της Ναβάρρα στην Ισπανία. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει την μελέτη των δύο ειδών κόμβων που υπάρχουν στα δίκτυα OBS, τους περιφερικούς κόμβους (ingress, egress) και τους κόμβους πυρήνα (core nodes) όπως και των συνδέσεων το OBS δικτύου, με άλλου είδους δίκτυα δεδομένων που υποστηρίζονται σε OMNET ++, κυρίως IP δικτύων. Πιο κάτω περιγράφεται η αρχιτεκτονική των κόμβων, των συνδέσεων μεταξύ τους στο OBSModules και η λειτουργία του.

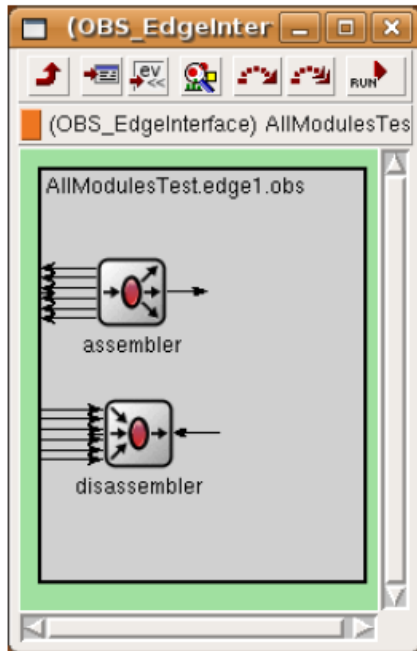
4.2.1 Περιγραφή Περιφερικών Κόμβων στο OBSModules

Οι περιφερικοί κόμβοι μοντελοποιούνται όπως ένας router με την προσθήκη OBS interface. Η εφαρμογή και η λειτουργία του βασίζεται στον router που είναι δημιουργημένος στο OMNET ++ / INET. Οι βασικοί παράμετροι που ρυθμίζουν την λειτουργία τους, είναι ανεξάρτητοι για κάθε περιφερειακό κόμβο. Ο περιφερικός κόμβος λειτουργεί σαν ingress node, όταν εισάγει την κυκλοφορία του OBS δικτύου και σαν egress node όταν αφαιρεί από την κυκλοφορία του OBS δικτύου. Όταν ένας περιφερειακός κόμβος λειτουργεί σαν ingress node τότε με κάποιο τρόπο πρέπει να δημιουργείται το burst και να μεταδίδεται μέσω κάποιων κόμβων πυρήνα του OBS δικτύου με προορισμό κάποιον egress node. Μετά το egress node πρέπει να διασπάσει το burst και να μεταδώσει την πληροφορία στους τελικούς αποδέκτες.

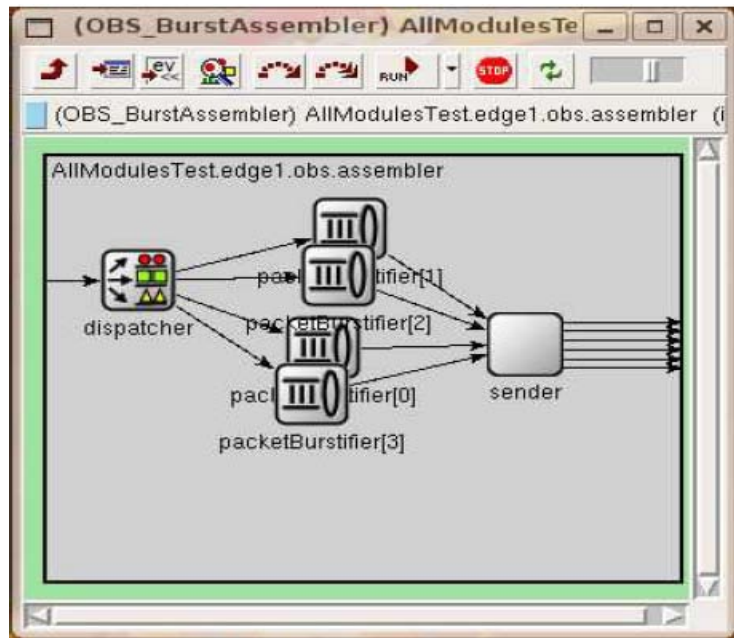
Αυτές οι δυνατότητες υπάρχουν σε ένα περιφερικό κόμβο στο OBSModules και δείχνονται γραφικά με τις εικόνες 17 και 18 πιο κάτω. Έχουμε αρχικά το assembler στην εικόνα 17 το οποίο δημιουργεί το burst. Η αντίθετη δουλειά γίνεται από το disassembler. Ανάλογα με τους διάφορους προορισμούς έχουμε και τα ανάλογα burst. Η οντότητα που αποφασίζει σε πιο burst θα μπει η κάθε πληροφορία π.χ πακέτο είναι

το dispatcher. Έτσι δημιουργούνται με τις οντότητες burstifiers οι ριπές ανάλογα με τον τρόπο συναρμολόγησής τους (timer, thresholds etc)

Εικόνα 18: Assembler σε περιφεριακό κόμβο OBS



Εικόνα 17: Dispatcher, Burstifier and Sender σε ένα assembler του OBS Modules



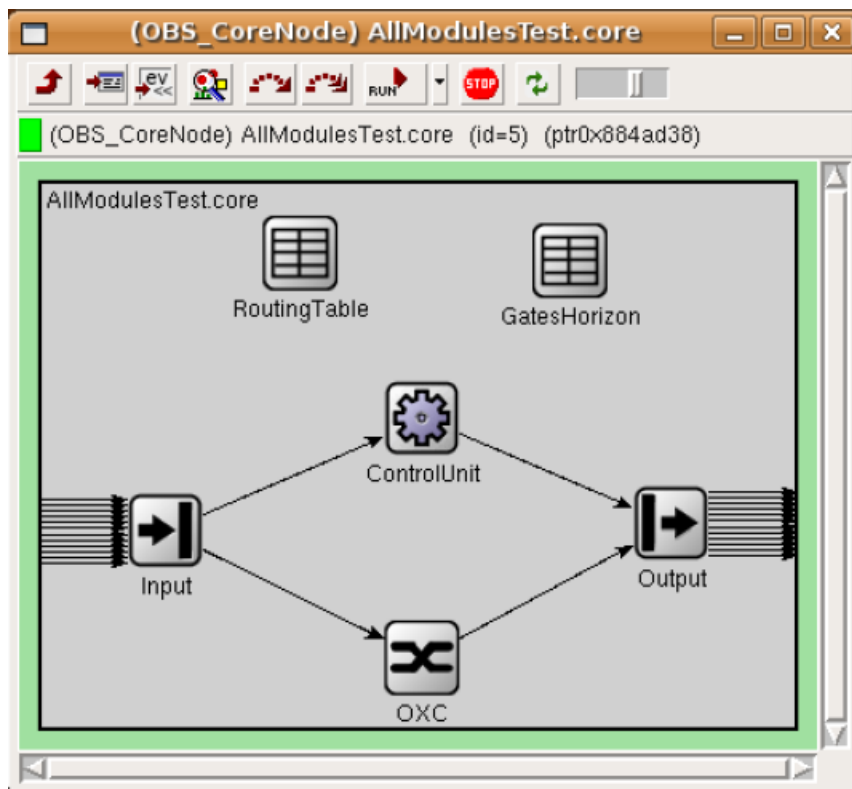
Μετά την δημιουργία των burst, αυτά στέλνονται στην μονάδα σύνδεσης των περιφερικών κόμβων με τους κόμβους πυρήνα. Η μονάδα αυτή (sender) λειτουργεί σαν ουρά και κρατά τις ριπές μέχρι την μετάδοση τους. Οπότε στέλνει αρχικά το μήνυμα έλεγχου και μετά ακολουθεί η αποστολή του burst. Αυτό γίνεται για να προλάβει αρχικά το μήνυμα έλεγχου να φτάσει στους κόμβους πυρήνα και να κάνουν την απαραίτητη δέσμευση πόρων για την οπτική μεταγωγή των ριπών.

4.2.2 Περιγραφή των κόμβων πυρήνα στο OBSModules

Έχει προαναφερθεί ότι η διαδικασία δέσμευσης πόρων (οπτικών καναλιών) στα δίκτυα OBS προϋποθέτει την αρχική μετάδοση κάποιου μηνύματος ελέγχου προς τους ενδιαφερόμενους κόμβους πυρήνα οι οποίοι θα λάβουν μέρος στην δέσμευση του οπτικού μονοπατιού. Οπότε ο κόμβος πυρήνα στο OBSModules πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται τα μηνύματα αυτά όπως επίσης να παίρνει και την σωστή απόφαση για την προώθηση των ριπών προς την ορθή κατεύθυνση.

Οι λειτουργίες αυτές διεκπεραιώνονται από τις μονάδες οι οποίες υπάρχουν σε ένα core node του OBSModules όπως φαίνεται στην εικόνα 19 πιο κάτω.

Εικόνα 19: Κόμβος πυρήνα στο OBS Modules



Η μονάδα ελέγχου (control unit) λαμβάνει τις αποφάσεις της βάση του routing table σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που υπάρχουν στα μηνύματα ελέγχου, και υποδεικνύει την θύρα εξόδου, μήκος κύματος και ετικέτα, ανάλογα με την θύρα εισόδου, το μήκος κύματος και την ετικέτα της κάθε ριπής. Στο OBSModules, το routing table παράγεται από σε ένα αρχείο, και παραμένει αμετάβλητο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτό όμως κατά την δημιουργία του κόμβου πυρήνα θα μπορούσε να αλλάξει, έτσι ώστε να συμπεριλάβει ένα δυναμικό πίνακα προώθησης που αλλάζει κατάσταση. Επίσης στο OBSModules υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης δύο από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα σηματοδότησης το Just In Time και το Just Enough Time κάνοντας μικρές αλλαγές στη μονάδα ελέγχου.

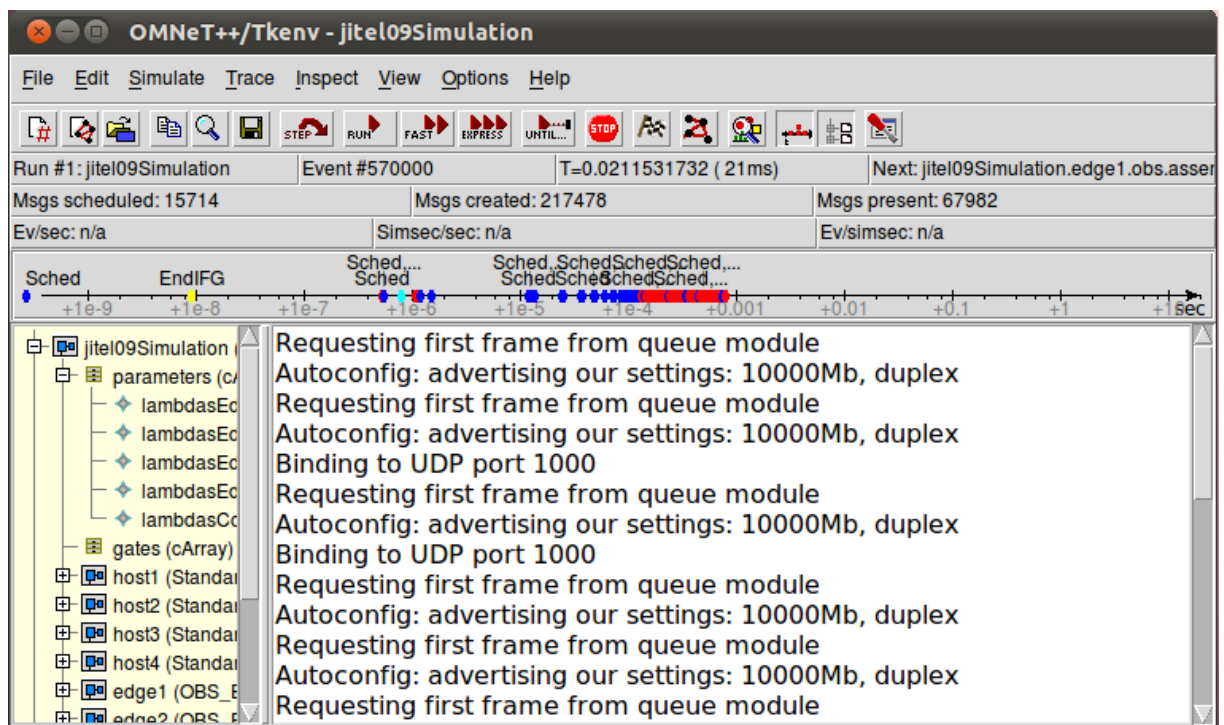
Η μονάδα Cross-Connect (OXC) προγραμματίζεται να κάνει μεταγωγή από το εισερχόμενο μήκος κύματος της εισερχόμενης οπτικής ίνας, σε αυτό που επιλέγηκε στην εξερχόμενη οπτική ίνα.

4.2.3 Περιγραφή του Περιβάλλοντος και της Λειτουργίας του OBS Modules στο OMNET++

Για να είναι εφικτή η λειτουργία του προσομοιωτή, πρέπει αρχικά να εγκατασταθεί η παλιά έκδοση του OMNET++ 3.4b2 σε περιβάλλον Linux και μετά το πακέτο INET. Μετά γίνεται εκτέλεση των αρχείων εγκατάστασης του OBSModules και σύνδεση κάποιων παραμέτρων με το OMNET++. Τότε δημιουργείται το εκτελέσιμο αρχείο που επιτρέπει να τρέξουμε προσομοιώσεις από το command line. Η δημιουργία ενός δικτύου βασίζεται στο περιεχόμενο του αρχείου με κατάληξη .net .Εκεί μέσα υπάρχουν οι αναφορές σε κλάσεις και βιβλιοθήκες για την δημιουργία των κόμβων του δικτύου που δημιουργείται, τις πύλες και συσκευές (submodules) που διαθέτουν και τις συνδέσεις μεταξύ τους (links). Υπάρχουν επίσης διευθύνσεις εικόνων που θα συμβολίζουν τις συσκευές στη γραφική απεικόνιση του δικτύου, καθώς και τη θέση κάθε συσκευής στην τοπολογία που δημιουργείται. Το δεύτερο σημαντικό αρχείο έχει την ονομασία omnetpp.ini και περιέχει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για την εκτέλεση της λειτουργίας ενός δικτύου OBS.

Η προσομοίωση εκτελούνται μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος (GUI) με την ονομασία Tkenv το οποίο δημιουργείται μετά την εκτέλεση του αρχείου από το command line. Μέσω αυτού μπορεί να αρχίσει η προσομοίωση (υπάρχουν διάφοροι τρόποι να γίνει αυτό π.χ βήμα με βήμα , γρήγορη κτλ όπως φαίνεται στην εικόνα 20) και να παρακολουθείται η κάθε διαδικασία σε πραγματικό χρόνο.

Εικόνα 20: Δήγμα του γραφικού περιβάλλοντος στο OMNET



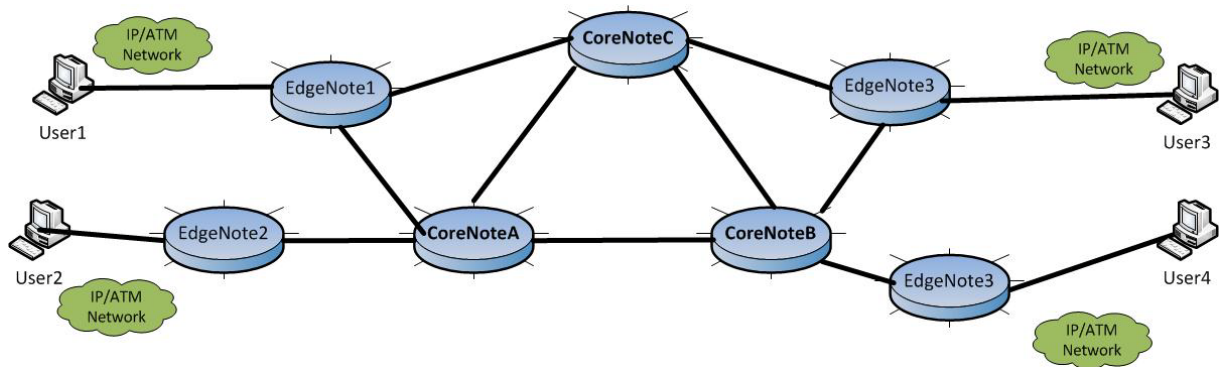
4.3 Εκτέλεση Προσομοιώσεων στο OMNET++

Η αρχική ιδέα βάση του στόχου της διατριβής ήταν η δημιουργία μίας τοπολογίας δικτύου OBS, που με την προσομοίωση της στο OMNET++ θα εξαγόταν συμπεράσματα σχετικά με την βελτίωση ή όχι της απόδοσης του δικτύου μετά την εφαρμογή μίας τεχνικής αντιμετώπισης συγκρούσεων. Σύγκρουση σε ένα οπτικό δίκτυο OBS, υπάρχει όταν δύο ή περισσότερες ριπές επιδιώκουν να δεσμεύσουν το ίδιο οπτικό κανάλι (μήκος κύματος) σε επικαλυπτόμενα χρονικά διαστήματα.

Με την τεχνική αυτή, στην οποία έχει γίνει αναφορά και σε προηγούμενο κεφάλαιο, μία από τις συγκρουόμενες ριπές, στέλνεται μέσω άλλου κόμβου προς τον τελικό προορισμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην απορριφθεί η μία από τις ριπές.

Η τοπολογία για την οποία θα γινόταν η προσομοίωση φαίνεται στην εικόνα 21 πιο κάτω.

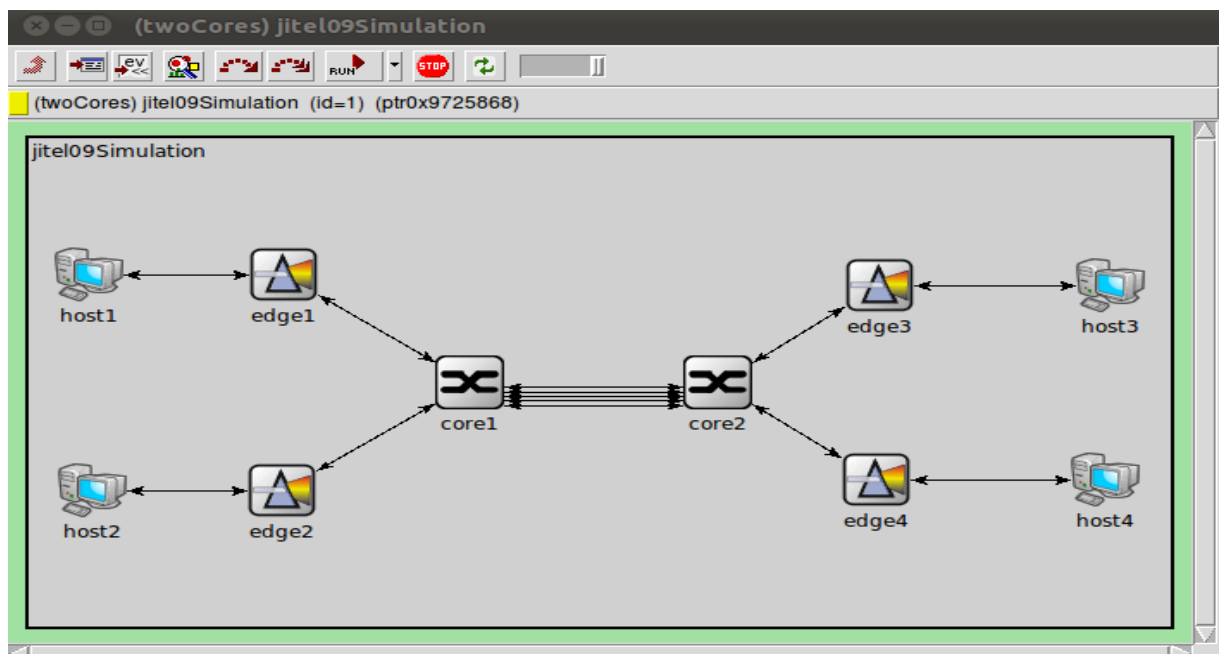
Εικόνα 21: Τοπολογία δικτύου προς μελέτη



Η προσομοίωση αυτή δεν έγινε δυνατό να εκτελεστεί λόγω της πολυπλοκότητας της. Από τα αποτελέσματά της θα έβγαιναν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το κέρδος που θα είχε το δίκτυο όσον αφορά τα end-to-end delays των πακέτων και το throughput των ριπών αντιμετωπίζοντας τις συγκρούσεις με αυτή την τεχνική.

Αντί αυτού, έγιναν προσομοιώσεις με την πιο κάτω τοπολογία συγκρίνοντας διαφορετικού τύπου τεχνικές συναρμολόγησης ριπών.

Εικόνα 22: Τοπολογία στην οποία έγιναν προσομοιώσεις συναρμολόγησης ριπών



Μέσω του file omnetpp.ini μας δίνεται η δυνατότητα να αλλάξουμε τους παράγοντες που ρυθμίζουν το μέγεθος του burst, το timer και το threshold και να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την πιθανότητα απώλειας ριπών για την κάθε περίπτωση.

Στο πρώτο σενάριο η συναρμολόγηση των πακέτων σε ριπές έγινε με βάση το χρονικό όριο time out (timer). Αυξάνοντας το εκθετικά και κρατώντας το φορτίο σταθερό μπορούμε να βρούμε ένα σωστό όριο για την συγκεκριμένη τοπολογία.

Στο δεύτερο σενάριο κάναμε κάτι ανάλογο εκτελώντας την τεχνική συναρμολόγησης ριπών με βάση το threshold, και αυξάνοντας το εκθετικά κρατώντας το φορτίο σταθερό, πήραμε κάποια αποτελέσματα σχετικά με το ποσοστό της πιθανότητας απώλειας ριπών. Έτσι μπορεί να επιλεγεί η σωστή παράμετρος για το threshold.

Επίσης μελετήθηκε και ένα άλλο σενάριο διατηρώντας σταθερό τον τρόπο με τον οποίο συναρμολογούνται οι ριπές και εκτελέστηκαν προσομοιώσεις συναρτήσεων της αύξησης του φορτίου, καταγράφοντας την πιθανότητα απώλειας ριπών. Αυτό έγινε για τρεις διαφορετικούς χρόνους προσομοίωσης και έγιναν τρία ξεχωριστά γραφήματα.

Τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης αποθηκεύονται σε files τα οποία ονομάζονται omnetpp.sca και omnetpp.vec. Αυτά για να δημιουργηθούν πρέπει να οριστούν πρώτα στο αρχείο omnet.ini.

Κεφάλαιο 5

Επίλογος

5.1 Αποτελέσματα

Όπως έχει προαναφερθεί δεν ήταν δυνατή η εκτέλεση της τοπολογίας όπως είχε από την αρχή μπει σαν στόχος. Η μελέτη της τοπολογίας θα έδειχνε κατά πόσο στην περίπτωση που υπάρχει σύγκρουση σε δίκτυο OBS, αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί με την προτεινόμενη τεχνική.

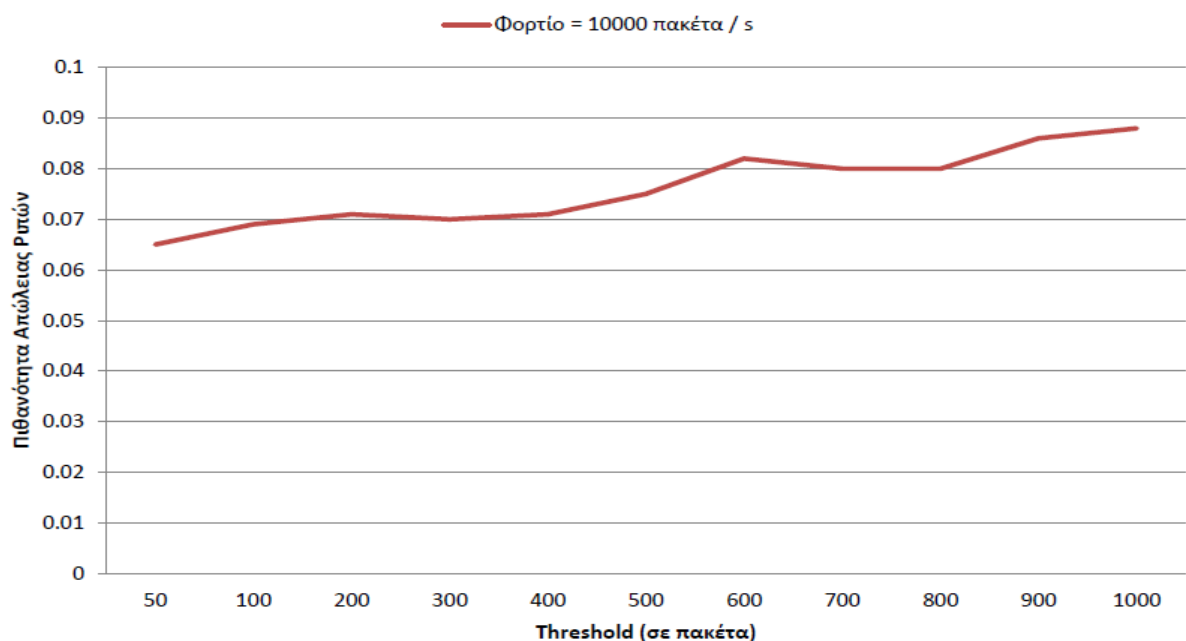
Αντί αυτού πραγματοποιήθηκαν τα σενάρια που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα σχετικά με τον τρόπο συναρμολόγησης ριπών και εξάχθηκαν τα πιο κάτω συμπεράσματα τα οποία βγαίνουν από τα γραφήματα πιο κάτω.

Εικόνα 23: Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει του χρονικού ορίου για την συναρμολόγηση πακέτων σε ριπές



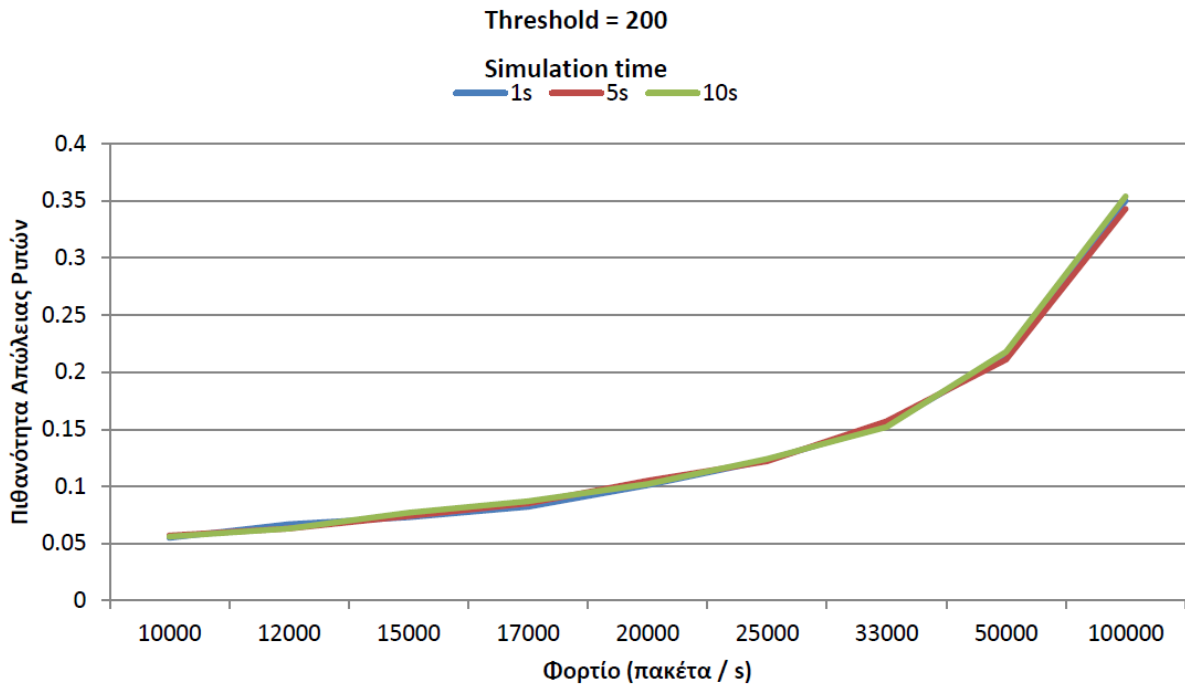
Από το γράφημα αυτό φαίνεται καθαρά ότι η πιθανότητα απώλειας ριπών αυξάνεται απότομα μετά που το χρονικό όριο φτάνει τα 5 ms. Αυτό είναι κάτι που αναμένεται γιατί γεμίζουν τα διαθέσιμα buffers στον προσομοιωτή και αρχίζουν οι ριπές και απορρίπτονται.

Εικόνα 24 Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει του threshold για την συναρμολόγηση πακέτων σε ριπές



Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το όριο threshold σε πακέτα για την συναρμολόγηση των ριπών τότε η πιθανότητα απώλειας δεν είναι τόσο απότομη όπως στην προηγούμενη περίπτωση αλλά είναι σχεδόν σταθερή.

Εικόνα 25: Πιθανότητα απώλειας ριπών συναρτήσει της αύξησης του φορτίου για διαφορετικούς χρόνους προσομοίωσης



Από τα γραφήματα αυτό φαίνεται καθαρά ότι ο χρόνος της προσομοίωσης δεν παίζει κανένα ρόλο στην απόρριψη ριπών. Οι τιμές πάρθηκαν βάση του τρίτου σεναρίου που αναφέρεται στην ενότητα 4.3 .

5.2 Συμπεράσματα

Στο πρώτο σενάριο στο οποίο αυξάνεται εκθετικά το χρονικό όριο (time out) για την συναρμολόγηση των ριπών, φαίνεται καθαρά και από το γράφημα ότι αρχικά η πιθανότητα απώλειας ριπών είναι σταθερή . Όταν όμως φτάσει κοντά στα 5ms η πιθανότητα απώλειας ριπών αυξάνεται απότομα. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί οι ριπές αργούν να φύγουν από τους περιφερικούς κόμβους εισόδου οπότε κάποιες από αυτές δεν βρίσκουν διαθέσιμους πόρους.

Στο δεύτερο σενάριο κάναμε κάτι ανάλογο εκτελώντας την τεχνική συναρμολόγησης ριπών με βάση το threshold, και αυξάνοντας το εκθετικά κρατώντας το φορτίο σταθερό,

πήραμε κάποια αποτελέσματα σχετικά με το ποσοστό της πιθανότητας απώλειας ριπών. Έτσι μπορεί να επιλεγεί η σωστή παράμετρος για το threshold. Επίσης από το γράφημα φαίνεται ότι σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο δεν έχουμε απότομη αλλαγή στην πιθανότητα απώλειας ριπών.

Με το τελευταίο σενάριο μελετήθηκε και μία άλλη περίπτωση, διατηρώντας σταθερό τον τρόπο με τον οποίο συναρμολογούνται οι ριπές, εκτελέστηκαν προσομοιώσεις συναρτήσεως της αύξησης του φορτίου, καταγράφοντας την πιθανότητα απώλειας ριπών. Αυτό έγινε για τρεις διαφορετικούς χρόνους προσομοίωσης και έγιναν τρία ξεχωριστά γραφήματα. Το σενάριο αυτό δείχνει ότι ο χρόνος της προσομοίωσης δεν επηρεάζει την πιθανότητα απώλειας ριπών.

Όπως προαναφέρθηκε το OMNET++ από μόνο του είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για εξειδικευμένες και συγκεκριμένες τεχνικές όπως αυτή που είχαμε σαν στόχο στην μεταπτυχιακή διατριβή, γιατί απαιτεί μεγάλη εμπειρία σε θέματα προγραμματισμού. Με την βοήθεια των συγκεκριμένων επεκτάσεων όμως (INET, OBSModules) που δημιουργήθηκαν από συγκεκριμένες ερευνητικές ομάδες αυτό μπορεί να γίνει αλλά χρειάζεται περισσότερη εξοικείωση με της διάφορες επεκτάσεις.

5.3 Ιδέες για μελλοντικές αναβαθμίσεις

Μελλοντική έρευνα και αναβαθμίσεις της μελέτης της Οπτικής Μεταγωγής Ριπών χρησιμοποιώντας αυτόν το προσομοιωτή θα μπορούσε να είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτής της τοπολογίας με κάποια άλλη η οποία να έχει περισσότερους κόμβους πυρήνα. Αυτό θα έδινε την δυνατότητα οι ριπές οι οποίες απορρίπτονται στην περίπτωση αυτής της τοπολογίας, να μεταδοθούν στον προορισμό τους μέσω άλλου οπτικού μονοπατιού. Αυτός είναι ένας τρόπος με τον οποίο κάποια ριπή αντί να απορριφτεί να συνεχίσει μέσω άλλου κόμβου προς τον προορισμό της, με κάποια καθυστέρηση.

Επίσης στην περίπτωση που υπήρχαν περισσότεροι κόμβοι θα μπορούσε να γίνει και κάποια σύγκριση των πρωτοκόλλων σηματοδότησης κάτι που δεν μπορεί να γίνει με δύο μόνο κόμβους πυρήνα.

Βιβλιογραφία

- [01] V. Chan, G. Weichenberg and M. Médard, “*Optical Flow Switching*,” in *IEEE Optical Network Design and Modeling*, Kyoto Japan, 2010.
- [02] Y. Chen, C. Qiao and X. Yu, *Optical Burst Switching(OBS): A new Area in Optical Networking Research*, IEEE Network, 2004.
- [03] B. Cuenot, “*Contribution to Engineering of WDM Nx160 Gbit/s Optical Transmission Systems. Analysis of Optical Signal Degradation Induced by Propagation Impairments*,” THE LOUIS PASTEUR UNIVERSITY OF STRASBOURG, Strasbourg , France, 2004.
- [04] J. Dunne, *Design Principles for Optical Packet Switch and Transport (OPST) Networks*, CTO Intune Networks, 2010.
- [05] F. Espina, J. Armendariz, N. García, D. Morató, M. Izal and E. Magaña, “*OBS network model for OMNeT++: A performance*,” *ICST Conference on Simulation Tools and Techniques* , 2010 Belgium.
- [06] S. Hekmat, *Communication Networks*, PragSoft Corporation, 2005.
- [07] J. Kurose and K. Ross, *Computer Networking : A top - down approach*, Boston, 2010.
- [08] N. Massa, *Fiber Optic Telecommunication*, Springfield,Massachusetts, 2000.
- [09] T. Mori, M. Uchida, R. Kawahara and J. Pan, “*Identifying elephant flows through periodically sampled packets*,” in *IMC 2004 Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, New York, 2004.
- [10] P. Pedroso, D. Careglio, R. Casellas, M. Klinkowski and J. S. Pareta, “*An integrated GMPLS/OBS Control Plane:RSVP and OSPF extensions proposal*,” in *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing*, 2008. CNSDSP 2008. 6th International Symposium, Barcelona, Spain, 2008.
- [11] C. Pinart, “*Anticipation of Traffic Demands to Guarantee QoS in IP/Optical Networks*,” pp. 417-340, 21 09 2010.
- [12] N. Yamanaka, K. Shiimoto and E. Oki, *GMPLS Technologies Broadband Backbone Networks and Systems*, Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2006.
- [13] K. Yiannopoulos, K. Vlachos and E. Varvarigos, “*Multiple-Input-Buffer and Shared-Buffer Architectures for Optical Packet- and Burst-Switching Networks*,” *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, vol. 25, no. 6, pp. 1379-1389, 2007.
- [14] M. Zadnik, M. Canini, A. Moore, D. Miller and W. Li, “*Tracking Elephant Flows in Internet Backbone Traffic With An FPGA-Based Cache*,” in *Field Programmable Logic and Applications*,

Prague, 2009.

[15] L. Zhang, "*Fast Scheduling for Optical Flow Switching*," Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2010.

[16] Ο. Zouraraki, "*Μεταγωγή Πακέτων Με Ίνες Υψηλής Μη Γραμμικότητας και Οπτικές Πύλες Υψηλού Βαθμού Ολοκλήρωσης*," PhD Thesis ΕΜΠ, Αθήνα, 2009.

Παράρτημα Α

Σημαντικοί Παράμετροι στο Αρχείο omnetpp.ini

A-1 Παράμετροι Συναρμολόγησης ριπών

```
**numFileBurstifiers = 0 // Όταν η παράμετρος αυτή είναι «0» τότε δεν έχουμε files  
// στα burst
```

```
**numPacketBurstifiers = 4 // Ο αριθμός των συναρμολογητών ριπών σε κάθε  
// edge note
```

```
**packetBurstifier[*].timeout = 0.005 // Το χρονικό όριο για δημιουργία της ριπής
```

```
**packetBurstifier[*].maxSize = 1000000000 // Το μέγιστο μέγεθος της ριπής
```

A-2 Παράμετροι Μηνύματος Έλεγχου Burst Control Packet

****sender.BCPSize = 128 // μέγεθος μηνύματος ελέγχου**

****sender.maxSchedBurstSize = 0 // μέγιστο μέγεθος σε (bits) της ουράς που υπάρχει στη μονάδα sender (0 = infinite queue)**

****sender.maxSchedBurstElems = 0 // μέγιστος αριθμός των συναρμολογημένων ριπών στην ουρά (0 = infinite)**

Παράρτημα Β

Σημαντικοί Παράμετροι στο Αρχείο run.ini

B-1 Καθορισμός της Επικοινωνίας

Με βάση αυτούς τους παράγοντες καθορίζεται η επικοινωνία μεταξύ των users για την συγκεκριμένη τοπολογία .

```
# Κίνηση για μελέτη
```

```
**host1.udpAppType="UDPBasicApp" //το είδος της κίνησης
```

```
**host1.udpApp[*].dest_addresses="host3" // ο προορισμός
```

```
**host1.udpApp[*].message_length=520000 // το μέγεθος του μηνύματος
```

```
**host1.udpApp[*].message_freq=exponential(0.0000325) // ο παράγοντας αυτός καθορίζει την πυκνότητα του φορτίου που το host1.
```


Κίνηση για επιβάρυνση του δικτύου

**host2.udpAppType="UDPBasicApp"

**host2.udpApp[*].dest_addresses="host4"

**host2.udpApp[*].message_length=520000

**host2.udpApp[*].message_freq=exponential(0.00065) // καθορισμός του φορτίου από το host2