
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για ταχύτητα μετάδοσης, όγκο δεδομένων και εύρος ζώνης οδηγούν την έρευνα σε όλο και πιο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες. Η ανάπτυξη της οπτικής τεχνολογίας καθιστά πλέον δυνατή τη μετάδοση δεδομένων με παλμούς φωτός με τρόπο παρόμοιο με τους ηλεκτρικούς παλμούς: παρουσία παλμού αντιστοιχεί στο δυαδικό ψηφίο 1 ενώ απουσία στο ψηφίο 0. Το ορατό φως έχει συχνότητα περίπου 10^8 Mhz πράγμα που σημαίνει ότι το εύρος ζώνης ενός συστήματος οπτικής μετάδοσης μπορεί να είναι τεράστιο.

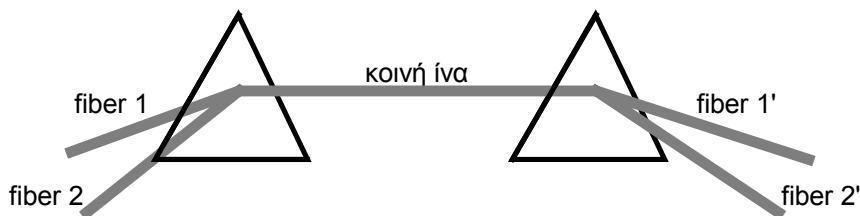
Οι συνιστώσες ενός τέτοιου συστήματος είναι τρεις: η πηγή του φωτός, το μέσο μετάδοσης του φωτός και ο ανιχνευτής. Η φωτεινή πηγή μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα σε φως, έτσι κάθε φορά που σ' αυτήν εφαρμόζονται ηλεκτρικοί παλμοί εκπέμπει παλμούς φωτός.

Πηγή φωτός μπορεί να είναι μια δίοδος φωτεινής εκπομπής ή μια δίοδος λείζερ. Το μέσο μετάδοσης είναι μια πολύ λεπτή ίνα από γυαλί ή τηγμένο διοξείδιο του πυριτίου (silica), ενώ το ρόλο του ανιχνευτή παίζει μια φωτοδίοδος η οποία λειτουργεί αντίστροφα από την πηγή φωτός, δηλαδή κάθε φορά που πέφτει πάνω της φως παράγει ρεύμα.

Ο τρόπος μετάδοσης των δεδομένων μέσα από τις οπτικές ίνες τις χαρακτηρίζει σε πολύτροπες (multimode fibers), όταν το φως προσπίπτει με συγκεκριμένες γωνίες στην διαχωριστική επιφάνεια του άκρου της ίνας οπότε στη συνέχεια διαδίδεται μέσα σ' αυτή με συνεχείς ανακλάσεις, και σε μονότροπες (single mode fibers), όταν η διάμετρος της ίνας είναι της τάξης μεγέθους του μήκους κύματος του φωτός (εξαιρετικά μικρή), οπότε ενεργεί σαν κυματοδηγός και το φως διαδίδεται σε μια ευθεία γραμμή.

2. WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Η τεχνική WDM που σημαίνει πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος είναι για τα κανάλια οπτικών ινών το αντίστοιχο της πολυπλεξίας στο πεδίο της συχνότητας (FDM) που χρησιμοποιείται ευρέως. Ένας απλός τρόπος περιγραφής της πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος φαίνεται στο σχ. 1 όπου δύο φωτεινές ακτίνες περνούν μέσα από ένα πρίσμα και στην έξοδο τους από αυτό μοιράζονται την ίδια ίνα.



Σχ. 1

Στη συνέχεια περνούν από ένα άλλο πρίσμα στην έξοδο της ίνας από το οποίο χωρίζονται στην αρχική τους μορφή. Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι πολύ γενικό και αφορά απλά την αρχή, βάση της οποίας γίνεται η πολυπλεξία των φωτεινών σημάτων. Εδώ το σύστημα είναι σταθερό από την άποψη ότι η οπτική ίνα 1 στέλνει δεδομένα στην 1' και η 2 στην 2'. Υπάρχει η δυνατότητα όμως στα σημερινά συστήματα WDM να γίνεται μεταγωγή, ώστε τα δεδομένα οποιασδήποτε εισόδου να καταλήγουν σε όποια έξοδο απαιτείται.

Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος έχει ανέλθει σαν το πιο αποδοτικό μέσο για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στον τομέα των επικοινωνιακών εφαρμογών. Τα πλεονεκτήματα δικτύων WDM σε σχέση με τα συμβατικά είναι το μεγάλο εύρος ζώνης, μικρή απώλεια ισχύος, αξιοπιστία, ασφάλεια, ταχύτητα και διαφάνεια πρωτοκόλλων.

2.1 Αρχικές λύσεις του προβλήματος πολυπλεξίας

Ένας απλός τρόπος πολυπλεξίας σημάτων σε ένα μοναδικό μέσο μεταφοράς τους (κανάλι) είναι η πολυπλεξία στο πεδίο συχνότητας (FDM) με την οποία στην ουσία ανατίθενται διαφορετικές συχνότητες στο κάθε σήμα ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους. Ένας άλλος τρόπος είναι η πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου (TDM) με την οποία ανατίθενται στο κάθε σήμα διαφορετικές χρονικές σχισμές (time slots). Τα πρώτα τηλεφωνικά συστήματα πολυπλεξίας χρησιμοποιούσαν FDM, ωστόσο η πολυπλεξία TDM κυριάρχησε στη διαχείριση πολλαπλών data streams μέσα από ένα καλώδιο.

Σε ένα δίκτυο που βασίζεται στην πολυπλεξία στο χρόνο (TDM), τα κανάλια εξετάζονται σειριακά και στο κάθε ένα από αυτά διατίθεται στην κάθε περίοδο μια χρονική σχισμή για μετάδοση δεδομένων. Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση η χρονική σχισμή μένει αχρησιμοποίητη και ο έλεγχος περνά κανονικά στο επόμενο κανάλι. Το πέρασμα από όλα τα κανάλια στη διάρκεια μιας περιόδου δημιουργεί το πλαίσιο δεδομένων (frame) το οποίο από άποψη μεγέθους είναι σταθερό, πράγμα που σημαίνει ότι όταν κάποια κανάλια δεν έχουν δεδομένα για μετάδοση υπάρχουν "άχρηστα" bit. Λόγω ότι τα πλαίσια φτάνουν σε συγκεκριμένους και αναμενόμενους χρόνους η τεχνική TDM χρησιμοποιείται εκτενώς στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος για μετάδοση φωνητικών μηνυμάτων. Παραδείγματα κυκλωμάτων TDM είναι τα T1 (15 Mbit/sec) και T3 (45Mbit/sec) που χρησιμοποιούνται και για ήχο (voice) και για δεδομένα (data). Μια άλλη τεχνολογία που βασίζεται στην τεχνική αυτή είναι το SONET [1] (Synchronous Optical Network) γνωστό και σαν SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Η τεχνολογία αυτή έχει κερδίσει έδαφος χάρη στην επέκταση της σε όλο και μεγαλύτερα εύρη ζώνης και χρησιμοποιείται πάνω στις τεχνικές ATM και TCP/IP. Βασική συστατική μονάδα στο SONET είναι ομάδες από κυκλώματα DS-O (64Kbit/sec) που

πολυπλέκονται σε μια ταχύτερη γραμμή οπτικού φέροντος (Optical Carrier) 51 Mbits/sec που αποτελεί ένα κύκλωμα OC-1. Τα κυκλώματα αυτά μπορεί να πολυπλεχθούν παραπέρα σε ακόμη ταχύτερα κυκλώματα π.χ. OC-3 στα 155 Mbits/sec, OC-12 (που αποτελείται από τρία OC-3) στα 622 Mbits/sec, OC-48 (που μπορεί να φέρει τέσσερα OC-3) κ.λ.π. [2] [3].

Το πρόβλημα όμως με το SONET και γενικά με την πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου (TDM) είναι ότι όσο πιο πολλά σήματα πολυπλέκονται στις ίνες τόσο πιο πολύ αυξάνουν οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα και ταχύτητα σε συστατικά του δικτύου που έχουν σχέση με την μεταγωγή κυκλωμάτων και δρομολόγηση. Επίσης δημιουργούνται ενδιάμεσα επίπεδα υψηλότερων ταχυτήτων και απαιτούνται συνεπώς νέοι ενδιάμεσοι πολυπλέκτες. Έτσι, αλλαγή στην ταχύτητα μετάδοσης συνεπάγεται αλλαγή σε δομικά συστατικά του δικτύου. Επιπρόσθετα, ένα άλλο μειονέκτημα έχει να κάνει με τη δυνατότητα επέκτασης. Σήμερα η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης για κυκλώματα TDM είναι 10 Gbits/sec και βασιζόμενοι στην ιεραρχία του SONET μπορούμε να δούμε ότι το επόμενο βήμα είναι τα 40 Gbits/sec, πράγμα αμφίβολο για το αν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τον σημερινό εξοπλισμό. Εδώ λοιπόν η τεχνική WDM (που είναι το αντίστοιχο της FDM για τα οπτικά δίκτυα) φαίνεται πιο προσοδοφόρα στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων. Η τεχνική αυτή διαχωρίζει το φως που περνά μέσα από μια ίνα σε μήκη κύματος. Το κάθε μήκος κύματος μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες ακόμη και της τάξης των 10 Gbits/sec μέσα από την ίδια ίνα, που στην περίπτωση της προηγούμενης τεχνικής θα απαιτούνταν διαφορετικές ίνες για το κάθε μήκος κύματος. Τα δίκτυα WDM μπορούν μέσα από τις ίνες τους να μεταδώσουν ταυτόχρονα διαφορετικά και ανεξάρτητα σήματα π.χ. OC-3 για ήχο/φωνή σε ένα μήκος κύματος και σήματα αναλογικού video σε άλλο και OC-12 ATM σε κάποιο άλλο μέσα στην ίδια ίνα. Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον όλα δείχνουν ότι η χωρητικότητα θα αυξηθεί στα 128 και παραπάνω μέσα από μια ίνα [2]. Σήμερα η τεχνική DWDM (Dense Wave Division Multiplexing = Πυκνή Πολυπλεξία στο πεδίο του Μήκους

Κύματος) έχει ενταχθεί στην τεχνική WDM. Τεχνικά είναι το ίδιο πράγμα αλλά όπως φαίνεται και από το όνομα η DWDM εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης. Συχνά οι δύο αυτές τεχνικές αναφέρονται σαν μια, WDM, χωρίς να διακρίνεται η ειδοποιός διαφορά. Παρακάτω θα εξετασθούν σαν μια τεχνική με τον όρο WDM, εκτός αν αναφέρεται χωριστά ο όρος DWDM. Σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων το κόστος εγκατάστασης είναι ελκυστικότερο από ότι για τις τεχνικές TDM ωστόσο για μικρές αποστάσεις ακόμη δεν φαίνεται να είναι επιτακτική η αλλαγή από κυκλώματα TDM σε WDM/DWDM. Σήμερα σε δίκτυα MAN ή και WAN ο υπάρχον εξοπλισμός αφορά κυρίως συστήματα TDM γιατί αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε πρώτη, παρά το ότι η τεχνική WDM είναι πιο αποδοτική.

Σε τοπικά καθώς και σε μητροπολιτικά δίκτυα (LAN's και MAN's), με τις τελευταίες εξελίξεις στις τεχνικές WDM, OTDM (Optical Time Division Multiplexing - Πολυπλεξία στο χρόνο για οπτικά συστήματα), CDMA (Code Division Multiple Access) κ.λ.π. ,ή σε συνδυασμούς των τεχνικών αυτών, είναι πλέον δυνατή τεχνικά η δημιουργία πολλαπλών καναλιών ικανών για μεταφορά αρκετών Gbit/sec. Ειδικότερα όσον αφορά την εξέλιξη στην τεχνολογία WDM οι προκλήσεις που υπάρχουν (πέρα από την συνεχή ανάπτυξη αποδοτικών ως προς το κόστος συστατικών δικτύου) αφορούν στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων MAC (Medium Access Control - Έλεγχος Προσπέλασης Μέσου) εκμεταλλεύοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την οπτική τεχνολογία στις περιοχές των οπτικών πηγών και αναμεταδοτών, δεκτών, φίλτρων, ενισχυτών, οπτικών μετατροπέων ώστε να είναι αποδοτικότερη και πληρέστερη η χρήση του τεράστιου εύρους ζώνης που παρέχεται.

3. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕ WDM ΣΕ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Δύο προσεγγίσεις έχουν προταθεί για τα δίκτυα WDM: 1. Τα δίκτυα ενός βήματος - single hop και 2. Τα δίκτυα πολλαπλών βημάτων - multi hop networks. Τα multi-hop δίκτυα στηρίζονται στην χρήση ενδιάμεσων συστατικών σταθερά συντονισμένων ή συντονιζόμενων με αργό ρυθμό όπου κατασκευάζεται μια ψευδο-στατική τοπολογία δικτύου. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι ο κάθε κόμβος χρειάζεται να έχει πρόσβαση σε ένα μικρό αριθμό καναλιών στα οποία μπορεί να επιτευχθεί υψηλός ταυτοχρονισμός και κλιμακοποίηση (scalability). Ωστόσο το κάθε πακέτο πρέπει να ταξιδέψει από ένα ή περισσότερους ενδιάμεσους σταθμούς από τους οποίους εισάγεται χρονική καθυστέρηση και επιπλέον απαιτείται επιπρόσθετος μηχανισμός δρομολόγησης. Σε αντίθεση με τα multi-hop δίκτυα, τα single hop δίκτυα είναι ιδανικά για LAN γιατί στηρίζονται σε απευθείας σύνδεση των κόμβων μεταξύ τους.

Ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης μέσου στα δίκτυα WDM αφορούν κυρίως τις απαιτήσεις σε επεξεργασία, την χρονική καθυστέρηση κατά το συντονισμό/μεταγωγή σε διαφορετικά μήκη κύματος, το χρόνο μετάδοσης, τη διαχείριση της κίνησης π.χ. με σύνδεση ή χωρίς, και το κόστος.

3.1 Κατηγορίες πρωτοκόλλων διαχείρισης σε LAN

Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ανήκουν σε τρία βασικά είδη ανάλογα με το πως εντοπίζονται τα κανάλια [4]:

- α) **Πρωτόκολλα τυχαίας προσπέλασης**, στα οποία το κανάλι επιλέγεται τη στιγμή στην οποία λαμβάνει χώρα η έναρξη της εκπομπής του πακέτου.
- β) **Πρωτόκολλα ανάθεσης σχισμής με καθορισμό**, όπου το κανάλι επιλέγεται κατά το χρόνο που λαμβάνει χώρα ο ορισμός της διαμόρφωσης του δικτύου (configuration).
- γ) **Πρωτόκολλα εντοπισμού πριν την εκπομπή**, όπου το κανάλι επιλέγεται πριν γίνει η εκπομπή του πακέτου.

Φυσικά υπάρχουν και πολλά υβριδικά πρωτόκολλα που ουσιαστικά αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω κατηγοριών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το να έχουν οι κόμβοι του δικτύου τη δυνατότητα να συντονίζονται σε διάφορα μήκη κύματος ώστε να μεταφέρονται από τις ίνες ταυτόχρονα δεδομένα. Αυτό που διαφοροποιεί τις διάφορες τεχνικές είναι ο τρόπος ανάθεσης του μήκους κύματος καθώς και η διαχείριση συγκρούσεων στο ίδιο μήκος κύματος.

3.1.α Πρωτόκολλο τυχαίας προσπέλασης

Χαρακτηριστικό αυτών των πρωτοκόλλων είναι η απλότητα και το γεγονός ότι το δίκτυο μπορεί να διαχειρίζεται έναν αυθαίρετο αριθμό καναλιών. Το βασικό όμως πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι η σχετικά φτωχή απόδοση λόγω των συγκρούσεων εκπομπής (transmission collisions). Γι' αυτό το λόγο τα πρωτόκολλα αυτά υιοθετούν και μηχανισμούς βασισμένους στα πρωτόκολλα ALOHA ή slotted-ALOHA ή CSMA/CD (Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φορτίου και Ανίχνευση Σύγκρουσης)[3].

Ωστόσο τα πρωτόκολλα αυτά αν και έχουν πετύχει να κυριαρχήσουν σε συμβατικά LAN (όπως του Ethernet π.χ. CSMA/CD) δε φαίνεται ότι θα επαναλάβουν την επιτυχία αυτή και στα οπτικά δίκτυα. Η αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου CSMA/CD στηρίζεται στη μεγάλη τιμή του λόγου του χρόνου εκπομπής ενός πακέτου (transmission time) και του χρόνου διάδοσης (propagation delay) όπου έχουμε μεγάλα πακέτα έως και 1500 bytes και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 10 Mbit/s. Στα οπτικά δίκτυα όμως η κατάσταση είναι διαφορετική με αποτέλεσμα ακόμη και σε μέτρια φορτία κυκλοφορίας να γίνονται αρκετές συγκρούσεις που οδηγούν το σύστημα σε κορεσμό.

3.1.β Πρωτόκολλα ανάθεσης σχισμής με καθορισμό

Τα πρωτόκολλα αυτά αναθέτουν σχισμή (slot) σε κάποιο κόμβο θεωρώντας ότι η κυκλοφορία είναι γνωστή και σταθερή. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα παρακάτω:

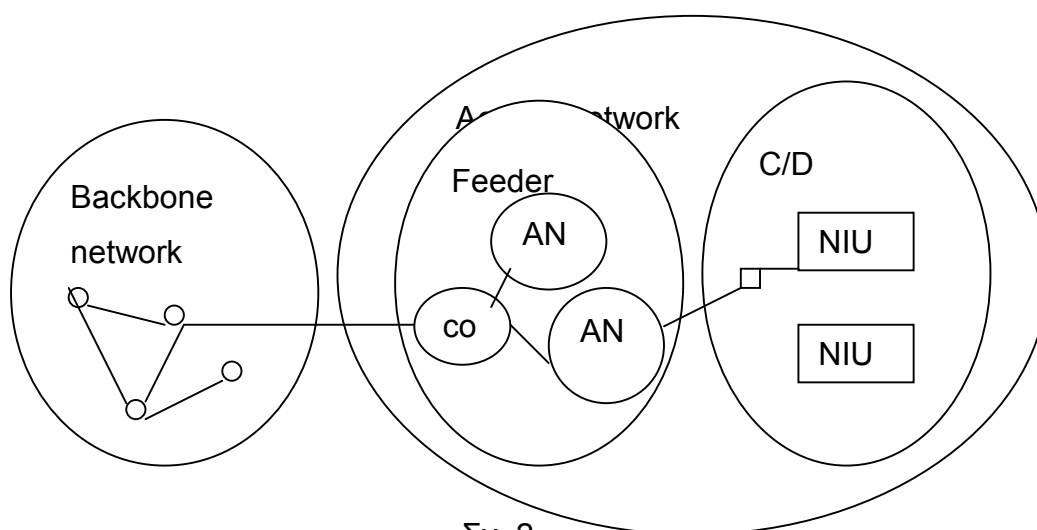
- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις πακέτων.
- Οι τεχνικές αυτές δεν επηρεάζονται από την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay).
- Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται συστατικά δικτύου που είναι σταθερά συντονισμένα σε συγκεκριμένα μήκη και συνεπώς οι απαιτήσεις υλοποίησης είναι χαμηλές.

3.1.γ Πρωτόκολλα εντοπισμού καναλιού πριν από την εκπομπή

Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν από τα προηγούμενα στο ότι βασίζονται στη διασπορά της πληροφορίας της κατάστασης του δικτύου προκειμένου να γίνει επιλογή καναλιού. Τα πρωτόκολλα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο που μεταδίδεται η πληροφορία αυτή, στον τρόπο που συλλέγεται, και στον τρόπο που χρησιμοποιείται.

4.ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Γενικά ο όρος δίκτυο πρόσβασης αναφέρεται στο τμήμα της επικοινωνιακής δομής που φτάνει στο κτίριο/εγκαταστάσεις του πελάτη. Λόγω της γεωγραφικής εγγύτητας με τον τελικό χρήστη το δίκτυο πρόσβασης είναι τελείως διαφορετικό από ένα δίκτυο κεντρικού κορμού (backbone network) και εμπεριέχει διαφορετικές οικονομικές και τεχνολογικές προκλήσεις. Ενώ τα δίκτυα κεντρικού κορμού έχουν επωφεληθεί από τα επιτεύγματα όσον αφορά στα συστήματα μεταγωγής και μετάδοσης σε υψηλές ταχύτητες, τα δίκτυα πρόσβασης δεν έχουν εξελιχθεί ανάλογα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 ένα δικτύου πρόσβασης αποτελείται από δύο κυρίως μέρη: το δίκτυο συλλογής και διανομής (collection and distribution network) που θα αναφέρεται στο τμήμα C/D του δικτύου και που λειτουργεί σαν σύνδεσμος ανάμεσα στη μονάδα διασύνδεσης δικτύου του πελάτη (NIU-Network Interface Unit) με ένα απομακρυσμένο κόμβο πρόσβασης (Remote AN-Access Node) και το δίκτυο τροφοδότησης (feeder network) που συνδέει τους κόμβους πρόσβασης (AN) με τα κέντρα (Central Offices-Co) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω του δικτύου κεντρικού κορμού (backbone network) που δε θεωρείται τμήμα του δικτύου πρόσβασης.

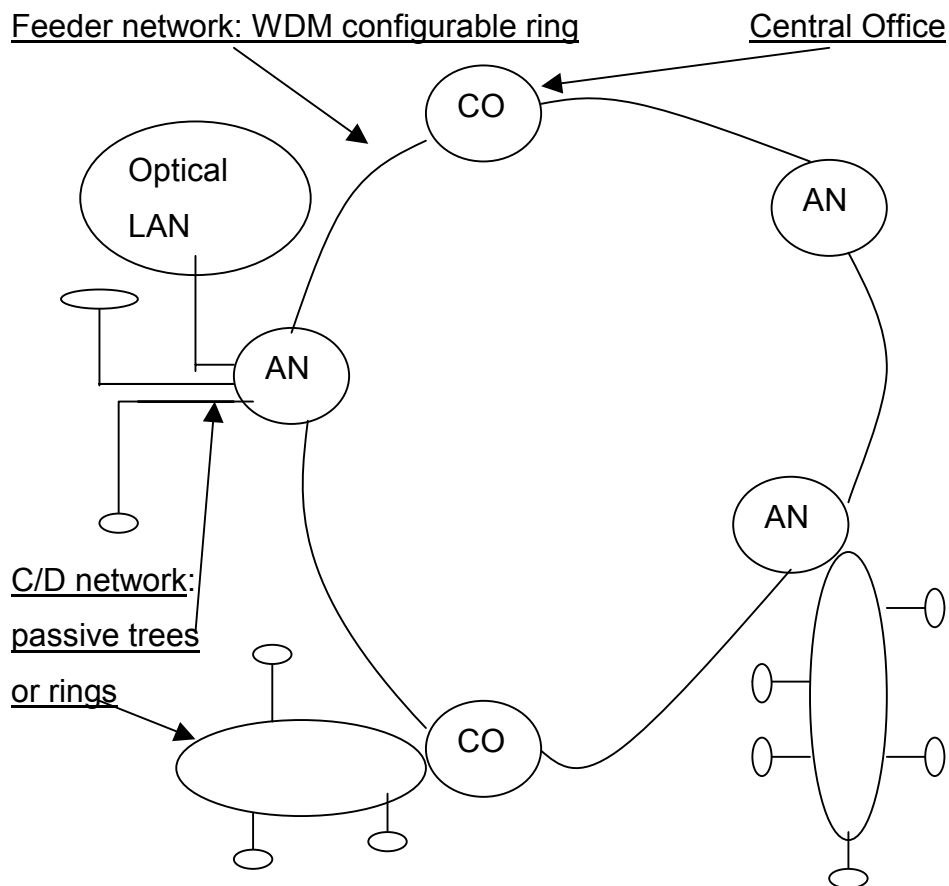


Σχ. 2

Παλαιότερα οι προσπάθειες επικεντρώνονταν στη σχεδίαση Παθητικών Οπτικών Δικτύων (PON-Passive Optical Network) για το τμήμα της Συλλογής και Διανομής. Η ανάγκη για παθητικές αρχιτεκτονικές προέκυψε από την ανάγκη για περιορισμό του κόστους και απλή συντήρηση. Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη παθητικών οπτικών δικτύων χαμηλού κόστους. Η ανάπτυξη σχετικά φτηνής τεχνολογίας - σε σχέση με το παρελθόν - καθιστά τα οπτικά δίκτυα ανταγωνιστικά σε σχέση με τα ηλεκτρονικά ακόμη και σε επίπεδο τοπικών βρόχων. Ωστόσο το γεγονός ότι ήδη έχουν εγκατασταθεί "χάλκινα" δίκτυα έχει οδηγήσει σε πολλές περιπτώσεις σε υβριδικές αρχιτεκτονικές που συνδυάζουν σύρματα και οπτικές ίνες. Η αρχιτεκτονική FTTC-Fiber To The Curb (οπτικές ίνες μέχρι τον κόμβο) χρησιμοποιεί μονάδα οπτικού δικτύου (ONU - Optical Network Unit) για την εξυπηρέτηση συνδρομητών [1]. Η ONU συνδέεται με το δίκτυο πρόσβασης μέσω ενός παθητικού οπτικού δικτύου και η σύνδεση του συνδρομητή και του ONU γίνεται μέσω συρμάτων (που ήδη υπάρχουν). Παρόμοια τεχνική χρησιμοποιείται και από εταιρείες καλωδιακής τηλεόρασης . Ωστόσο αυτές οι τεχνικές περιορίζονται σε ταχύτητες μετάδοσης μερικών δεκάδων Mbits/sec. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο μέλλον ή ακόμη σε μερικές περιπτώσεις στο παρόν οι απαιτήσεις αφορούν ταχύτητες αρκετών Gbits/sec. Εδώ λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη αρχιτεκτονικών που θα υποστηρίξουν αυτές τις απαιτήσεις.

4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Η γενικά προτεινόμενη αρχιτεκτονική [5] αποτελείται από ένα διαμορφούμενο (configurable) Feeder Network και ένα παθητικό δίκτυο C/D όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Το Feeder Network είναι ένα δίκτυο δακτυλίου WDM ενώ τα δίκτυα C/D είναι παθητικοί δακτύλιοι ή ενδεχομένως και δένδρα. Οι συνδρομητές συνδέονται με το δίκτυο C/D μέσω του κόμβου πρόσβασης AN και από εκεί και πέρα κάθε κόμβος πρόσβασης συνδέεται οπτικά πάνω στο Feeder Network με τους υπόλοιπους κόμβους και από εκεί με τα Κεντρικά Γραφεία (Central Offices).



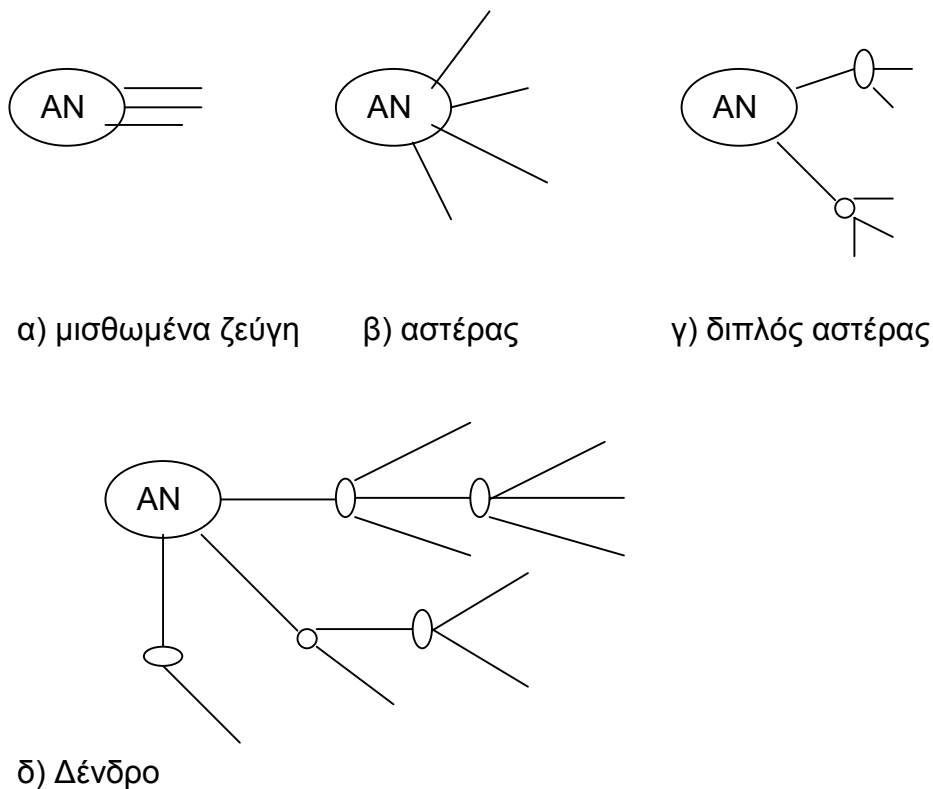
Σχ. 3

4.1.1 Αρχιτεκτονική δικτύου συλλογής και διανομής

Όπως τονίστηκε παραπάνω το δίκτυο C/D συλλογής και διανομής είναι ένα παθητικό οπτικό δίκτυο. Μέχρι τώρα έχουν γίνει πολλές προτάσεις αρχιτεκτονικών τέτοιων δικτύων [6]. Τέτοιες εναλλακτικές αρχιτεκτονικής φαίνονται στο σχήμα 4.

Η απλούστερη αρχιτεκτονική είναι αυτή που χρησιμοποιεί μισθωμένα ζεύγος από ίνες (**dedicated fiber pair**) για τον κάθε χρήστη αλλά φυσικά είναι ακριβή γιατί απαιτεί σημαντική ποσότητα ινών καθώς και μισθωμένους πομποδέκτες στο κόμβο πρόσβασης (AN-Access Node) για τον κάθε χρήστη. Η αρχιτεκτονική αστέρα εκπομπής (**broadcast star**) επιτρέπει στο φως (υπό μορφή laser) από τον κόμβο με έναν πομποδέκτη να διαμοιράζεται στους χρήστες αλλά απαιτεί επίσης μεγάλη ποσότητα οπτικών ινών. Μια πιο απλή προσέγγιση του προβλήματος γίνεται με τη χρήση **διπλού αστέρα** όπου οι χρήστες χωρίζονται σε ομάδες και εξυπηρετούνται από επιμέρους αστέρες. Η πιο γενική μορφή αρχιτεκτονικής κοινής ίνας είναι η αρχιτεκτονική **δένδρου**. Ένα ελάττωμα όμως όλων αυτών των αρχιτεκτονικών κοινής ίνας είναι η απώλεια ισχύος του σήματος λόγω των διακλαδώσεων των ινών. Ωστόσο, το πρόβλημα τείνει να μειωθεί με τις νέες γενιές διακλαδωτήρων και οπτικών ενισχυτών με αποτέλεσμα σήμερα αρχιτεκτονικές δένδρων, για παράδειγμα να μπορούν να εξυπηρετήσουν έως και 100 χρήστες σε αποστάσεις άνω των 10 Km και με ταχύτητες 155 Mbps [7]. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και αρχιτεκτονική δακτυλίου. Αρχιτεκτονική που βασίζεται σε ένα παθητικό οπτικό δίκτυο που χρησιμοποιεί δρομολόγηση μήκους κύματος στο άκρο του κόμβου αναθέτοντας στον κάθε χρήστη συγκεκριμένο μήκος κύματος επικοινωνίας είναι απαλλαγμένο από το μειονέκτημα των διακλαδώσεων και την επακόλουθη απώλεια ισχύος σήματος αλλά υπόκειται στον περιορισμό του αριθμού διατιθέμενων μηκών κύματος.

/



Σχ. 4

Αρχιτεκτονικές παθητικών οπτικών δικτύων (PON)

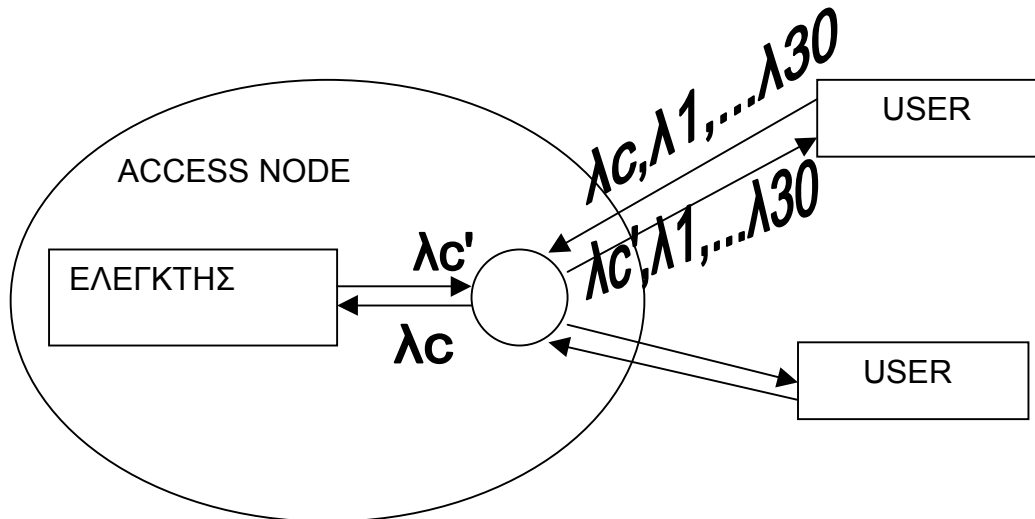
4.1.1.α Πρωτόκολλα Ελέγχου Προσβάσεως Μέσου (MAC)

Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα WDM δίκτυα χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος έχοντας μια σύνδεση αποκλειστικά για κάθε μήκος κύματος. Στα δίκτυα πρόσβασης όμως όπου οι χρήστες ενδέχεται να είναι πολύ περισσότεροι από τα διαθέσιμα μήκη κύματος η προσέγγιση πρέπει να είναι διαφορετική.

Επιπρόσθετα θα πρέπει να υπάρχει ευελιξία και κλιμάκωση ειδικά σε περιπτώσεις που ο ρυθμός των δεδομένων παρουσιάζει αλλαγές υποστηρίζοντας και περιόδους υψηλής δραστηριότητας και χαμηλής το ίδιο αποδοτικά.

Ένας τρόπος παροχής κλιμακωτής πρόσβασης είναι με αύξηση των διατιθέμενων μηκών κύματος. Ωστόσο ακόμη και αν τεχνολογικά κάτι τέτοιο μπορεί να είναι εφικτό, στο μέλλον, τόσο οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις, όσο και το γεγονός ότι ενδεχομένως σε κάποια δίκτυα η χρήση οπτικών ινών να είναι περιορισμένη, μια τέτοια προσέγγιση δεν αποτελεί λύση.

Εναλλακτικά, η χρήση κοινού μήκους κύματος από διαφορετικούς κόμβους με πολυπλεξία στα σημεία ένωσης οπτικών ινών και ηλεκτρονικών μερών του δικτύου χρησιμοποιεί αποδοτικά τις οπτικές ίνες αλλά εισάγει νέα προβλήματα κόστους και συντήρησης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού που θα έχει αυτήν την αποστολή. Μια άλλη πρόταση είναι η μεταφορά του προβλήματος μέσα στο δίκτυο πρόσβασης ώστε ο διαμοιρασμός του μήκους κύματος με χρήση κατάλληλου πρωτοκόλλου ελέγχου πρόσβασης να γίνεται μέσα σ' αυτό. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο τα περισσότερα πρωτόκολλα πρόσβασης απαιτούν την ύπαρξη ενός συστήματος συγχρονισμού σχισμών και συνήθως αρκετούς πομποδέκτες ανά κόμβο, αυξάνοντας έτσι το κόστος και την πολυπλοκότητα του δικτύου[8]. Πρόσφατα υπήρξε πρόταση [9] που αφορά στη χρήση ενός πομποδέκτη ανά κόμβο (σχήμα 5) χωρίς την ανάγκη συγχρονισμού, όπου οι χρήστες στέλνουν με τη χρήση ενός πρωτοκόλλου τυχαίας πρόσβασης, όπως το ALOHA, το μήνυμά τους στον κόμβο πρόσβασης, χρησιμοποιώντας το ίδιο μοιραζόμενο μήκος κύματος και δέχονται την απάντηση του ελεγκτή κόμβου σε ένα άλλο μήκος κύματος στο οποίο συντονίζονται όταν τελειώνει η εκπομπή τους.

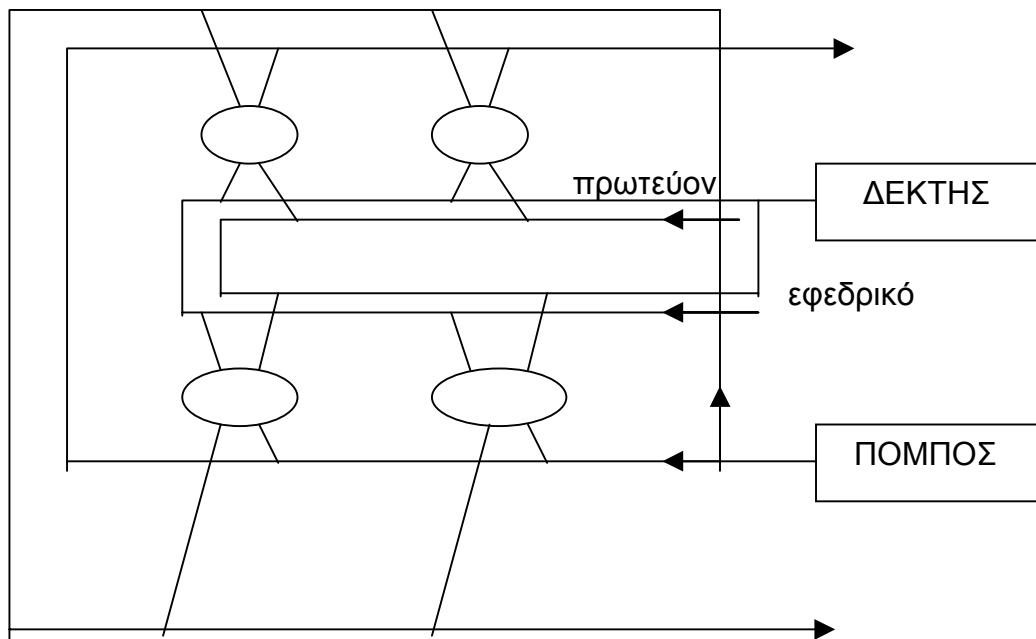


Σχ.5

Χρήση ενός πομποδέκτη ανά κόμβο χωρίς συγχρονισμό

4.1.1.β Προστασία και ανάκτηση

Η παθητική αρχιτεκτονική έχει το πλεονέκτημα ότι είναι λιγότερο ευάλωτη σε λάθη γιατί δεν υπάρχουν ενεργά συστατικά στο δίκτυο. Επίσης ενέχει και το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους λόγω χαμηλών έως ανύπαρκτων απαιτήσεων. Ωστόσο, σε περίπτωση σπασίματος της ίνας σε κάποιο σημείο εάν χρησιμοποιείται αρχιτεκτονική δένδρου αναπόφευκτα απαιτείται κάποιος μηχανισμός επαναδρομολόγησης μέσα στο δίκτυο προκειμένου να "αποκατασταθεί" η βλάβη. Αυτό όμως έχει και σαν συνέπεια την αλλαγή της δομής του δένδρου. Γι' αυτό τέτοιου είδους αρχιτεκτονική συνίσταται σε χρήστες που δεν απαιτούν άμεση αποκατάσταση βλάβης όπως σπίτια ή μικρές επιχειρήσεις. Αντίθετα, η συνδεσμολογία δακτυλίου δίνει τη δυνατότητα αντιμετώπισης βλαβών με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα[10]. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα στο σχήμα 6 με την χρήση διπλού ζεύγους ινών, ένα σαν πρωτεύον και ένα σαν εφεδρικό .



Σχ.6

Δακτύλιος προστασίας με δυο ζεύγη οπτικών ινών

4.1.2 Αρχιτεκτονική δικτύου τροφοδότη (Feeder Network)

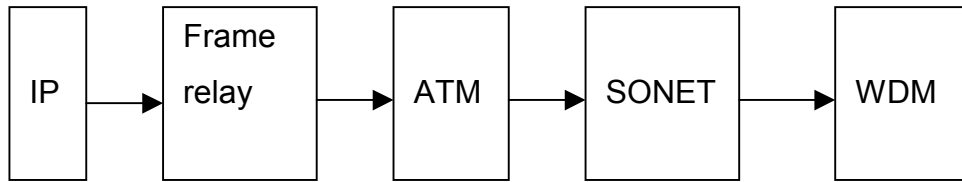
Το δίκτυο τροφοδότησης βασίζεται σε αρχιτεκτονική WDM δακτυλίου. Προκειμένου να γίνεται αποδοτική χρήση των ινών το δίκτυο χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό ηλεκτρονικών και οπτικών διακοπτικών υλικών. Οι ηλεκτρονικοί διακόπτες απαιτούνται για την παροχή των απαραίτητων ηλεκτρονικών υπηρεσιών όπως IP, ATM, SONET ή μεταγωγή πλαισίου. Αν και οι οπτικοί διακόπτες δεν είναι απολύτως απαραίτητοι η παρουσία τους διευκολύνει τις λειτουργίες του ηλεκτρονικού επιπέδου αφού μπορούν να ρυθμίσουν την κυκλοφορία και την οπτική τοπολογία του δικτύου[5].

Μια σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό του δικτύου τροφοδότησης είναι το είδος της ηλεκτρονικής πολυπλεξίας που γίνεται στον κόμβο πρόσβασης. Οι πελάτες μπορούν να επιλέξουν μια σειρά υπηρεσιών όπως SONET, ATM, IP, ή μεταγωγή πλαισίου. Μια λύση είναι η άμεση παροχή των υπηρεσιών αυτών από το δίκτυο στον κόμβο πρόσβασης, με συνέπεια όμως επιβάρυνση με ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε μεγάλο βαθμό του κόμβου πρόσβασης.

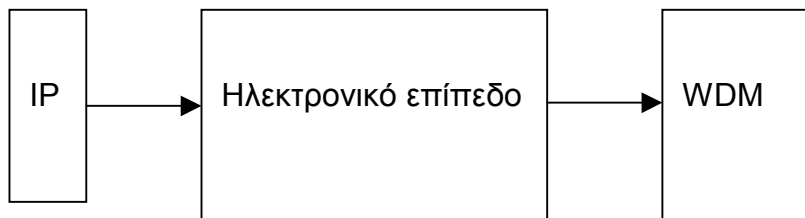
Η αντίθετη λύση είναι η προσφορά οπτικών υπηρεσιών (δηλαδή οπτικών διαδρόμων) πάνω στους κόμβους πρόσβασης και παροχή των παραπάνω ηλεκτρονικών υπηρεσιών στην περιοχή των κεντρικών γραφείων (central offices) του δικτύου που θα είναι προσβάσιμη από τους πελάτες οπτικά. Ωστόσο αυτή η επιλογή δεν εκμεταλλεύεται αποδοτικά τις οπτικές ίνες αφού μέχρι την προσπέλαση των κεντρικών γραφείων δεν γίνεται σε μεγάλο βαθμό πολυπλεξία.

Η ενδιάμεση πρόταση είναι η παροχή ορισμένων ηλεκτρονικών υπηρεσιών (και πολυπλεξία) όπως ATM πάνω στους κόμβους πρόσβασης και των υπολοίπων στην τοποθεσία των κεντρικών του δικτύου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7 οι πελάτες κάνουν πρόσβαση στο δίκτυο παροχής υπηρεσιών μέσω μεταγωγής πλαισίου (Frame relay) όπου τα IP πακέτα ενσωματώνονται σε πλαίσια, στη συνέχεια στο δίκτυο κεντρικού κορμού τα πλαίσια περνούν σε πρωτόκολλο ATM και στη συνέχεια μεταφέρονται με πλαίσια μεταφοράς SONET πριν φτάσουν στο επίπεδο WDM. Η πολλαπλότητα των επιπέδων προκαλεί καθυστερήσεις στις συνδέσεις και ελλιπή ποιότητα στις υπηρεσίες. Επιπρόσθετα τα επίπεδα αγνοούν το καθένα τα υπόλοιπα με αποτέλεσμα να επαναλαμβάνονται οι υπηρεσίες. Ένας απλούστερος σωρός πρωτοκόλλων φαίνεται στο σχήμα 8 όπου η κυκλοφορία επιπέδου IP υφίσταται ηλεκτρονική διαχείριση με βάση τις απαντήσεις του επιπέδου WDM.



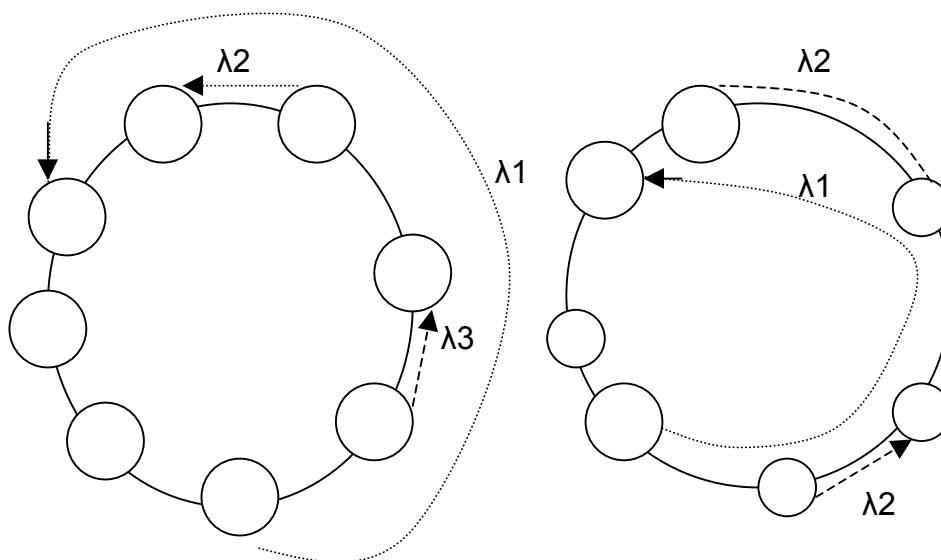
Σχ. 7



Σχ. 8

Στα δίκτυα WDM η φυσική τοπολογία (physical topology) είναι αυτή που γίνεται αντιληπτή από το οπτικό επίπεδο. Βασίζεται σε παθητικούς ή διαμορφούμενους οπτικούς κόμβους που συνδέονται με ίνες. Η εικονική τοπολογία (virtual topology) όπως γενικά γίνεται αντιληπτή από το ηλεκτρονικό επίπεδο βασίζεται σε κόμβους που συνδέονται με οπτικούς διαδρόμους (lightpaths). Κατά αυτόν τον τρόπο τα δίκτυα WDM συνδέουν τους ηλεκτρονικούς διακόπτες/μεταγωγείς με αρτηρίες υψηλού εύρους ζώνης χωρίς να δεσμεύουν ένα ζεύγος ινών για τον κάθε μεταγωγέα [11]. Τα δίκτυα WDM μπορούν να διαμορφώσουν τους οπτικούς διαδρόμους (lightpaths) παρέχοντας τη δυνατότητα δυναμικής βελτιστοποίησης του δικτύου ανάλογα με την κυκλοφορία, τη διαθεσιμότητα μηκών κύματος και εξοπλισμό σταθμών/κόμβων. Αυτό επιταχύνεται μεταβάλλοντας την εικονική τοπολογία μεταξύ των ηλεκτρονικών μεταγωγέων αλλάζοντας την τοπολογία των οπτικών διαδρόμων σε επίπεδο WDM [12][13][14].

Η επαναδιαμόρφωση αυξάνει τις δυνατότητες ολόκληρου του συστήματος αναθέτοντας εύρος ζώνης όπου απαιτείται. Ένα πολύ σημαντικό θέμα στη βέλτιστη χρήση του δικτύου και των πόρων του είναι η ανάθεση εύρους ζώνης. Στους κόμβους του δικτύου συνήθως τα δεδομένα δρομολογούνται από την είσοδο (οπτική ίνα) στην έξοδο (άλλη οπτική ίνα) των κόμβων στο ίδιο μήκος κύματος δίνοντας στο κάθε σήμα ένα ξεχωριστό μήκος κύματος. Υπάρχουν προτάσεις όμως για τη χρήση του ίδιου μήκους κύματος σε σήματα τα οποία δεν επηρεάζονται μεταξύ τους [15] όπως φαίνεται στο σχήμα 9.



Σχ. 9

Ανάθεση του ίδιου μήκους κύματος σε κόμβους που δεν επηρεάζονται

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ένα από τα κυριότερα επίπεδα κυκλοφοριακού συνωστισμού είναι το επίπεδο IP. Η ιδέα της μεταγωγής σε χαμηλότερα επίπεδα μπορεί να

επεκταθεί στη μεταγωγή ηλεκτρονικών σημάτων μακράς διάρκειας στο οπτικό επίπεδο[16][17]. Προκειμένου να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση του δικτύου το πρωτόκολλο οπτικής μεταγωγής θα πρέπει να ομαδοποιεί τις ροές μηνυμάτων με ίδια χαρακτηριστικά προκειμένου να τις χειρίζεται μαζί. Αν και φαίνεται ότι ένα τέτοιο πρωτόκολλο θα αντιμετωπίζει την κυκλοφοριακή συμφόρηση θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη λύση και στα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση του, όπως ποιες ροές δεδομένων θα μεταγονται ηλεκτρονικά και ποιες οπτικά ή ακόμα και επέκταση σε ομαδοποίηση διαφορετικών συνόδων με διαφορετικά κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά.

Σήμερα οι πιο πολλές εφαρμογές στο Internet χρησιμοποιούν σαν βασικό πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς το TCP. Το πρωτόκολλο αυτό στηρίζεται σε παράθυρα δεδομένων που διατίθενται στους χρήστες για μετάδοση σημάτων. Ο έλεγχος γίνεται μεταβάλλοντας το μέγεθος των παραθύρων αυτών [18]. Στις συνδέσεις ανατίθενται κάποια παράθυρα τα οποία στη συνέχεια επιτρέπεται να αυξηθούν σε μέγεθος σταδιακά και με μικρό ρυθμό μέχρι μια τιμή. Αυτός ο μηχανισμός όμως δεν επιτρέπει στους χρήστες αυτού του πρωτοκόλλου να εκμεταλλευθούν πλήρως τις δυνατότητες που παρέχει η τεχνική WDM, γιατί στην περίπτωση που κάποιο μήκος κύματος είναι διαθέσιμο για μικρό χρονικό διάστημα κατά πάσα πιθανότητα δεν θα μπορέσει να επωφεληθεί από την αλλαγή. Επίσης οι υλοποιήσεις του TCP περιορίζουν το ρυθμό σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση μ' αυτά που προσφέρουν τα δίκτυα WDM. Θα πρέπει λοιπόν να αναπτυχθούν μηχανισμοί που θα επιτρέπουν στις συνδέσεις TCP να εκμεταλλεύονται πλήρως τις δυνατότητες και διαμορφώσεις της τεχνικής WDM καθώς επίσης να επιτρέπουν στις συνδέσεις να μεταβάλλουν το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων γρηγορότερα και δυναμικά.

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πιο σημαντική απαίτηση των μελλοντικών δικτύων είναι το μεγάλο εύρος ζώνης μετάδοσης. Επιπρόσθετα απαιτήσεις που αφορούν την απλότητα σε συντήρηση χαμηλό κόστος, αξιοπιστία και ασφάλεια είναι κριτήρια που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στη σχεδίαση των δικτύων.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των οπτικών δικτύων με τις τεχνικές της πολυπλεξίας στο μήκος κύματος αναμένεται να είναι η λύση στις μελλοντικές απαιτήσεις για ισχυρότερα και πιο αξιόπιστα δίκτυα γι' αυτό και η έρευνα που προσανατολίζεται προς αυτόν τον τομέα αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εικόνα των μελλοντικών δικτύων. Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε να δοθεί μια συνοπτική εικόνα σχετικά με τις προτάσεις που υπάρχουν χωρίς να επιχειρηθεί η αναλυτική περιγραφή πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικής. Άλλωστε ο τομέας αυτός σε σχέση με άλλους που σχετίζονται με τον κόσμο των δικτύων είναι σχετικά νέος και στο μεγαλύτερο βαθμό (για τις δυνατότητες που παρέχει) σήμερα ανεκμετάλλευτος. Η έρευνα συνεχώς προτείνει νέες αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα, που σε πάρα πολλές περιπτώσεις δεν διαφέρουν πολύ. Έτσι αντί της απαρίθμησης και της αναλυτικής τους περιγραφής προτιμήθηκε η περιγραφή των γενικών αρχών που διέπουν τις κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A.Tanenbaum, Computer Networks 3rd Edition
- [2] <http://www.networkmagazine.com/>, A.Karvi , Wave Division Multiplexing
- [3] Πομπόρτσης, Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών

- [4] Bo Li, Bandwidth management for high speed LANs using wavelength division multiplexing, Computer Communications vol.18 nr.8, 1995
- [5] E.Modiano, R.Barry, Architectural considerations in the design of WDM-based optical access networks, Computer Networks 31, 1999
- [6] S.s.Wagner, H.L.Lemberg, Technology and systems issues for a WDM-based fiber look architecture, IEEE Lightwave Technology 7, 1989
- [7] Ramaswani, Sivarajan, Optical networks, M.Kauffmann, 1998
- [8] Sudhakar, Karehrad, Georganas, Access protocols for passive optical star networks, Computer Networks and ISDN Systems 26, 1994
- [9] Modiano, Barry, Swanson, A novel architecture and medium access control protocol for WDM networks, Optical Networks and their Applications vol.20, Optical Society of America, 1998
- [10] Wu, Way, A novel passive protected bidirectional self-healing ring architecture, IEEE Lightwave Technology 19, 1992
- [11] Ramaswani, Sivarajan, Design of logical topologies for wavelength routed optical networks, IEEE Selected Areas in Communications 14, 1996
- [12] Schein, Modiano, Increasing traffic capacity in WDM ring networks via topology reconfiguration, OFC'99
- [13] Mohan, Murthy, Efficient algorithms for wavelength rerouting in WDM multi fiber unidirectional ring networks, Computer Communications 22, 1999
- [14] Vengopal, Rajan, Kumar, Impact of wavelength converters in wavelength routed all-optical networks, Computer Communications 22, 1999
- [15] Mohan, Murthy, Vijayashandar, Permutation routing in wavelength routed wrapped around shuffle networks using fewer wavelengths, Computer Networks and ISDN systems 30, 1998
- [16] Puh, Boyer, Broadband access comparing alternatives, IOEEE Communications Magazine 33, 1995
- [17] Rekhter et al. Cisco Systems' Tag switching architecture overview, IETF RFC 2105, 1997

[18] Lakshman, Madhow, The performance of TCP/IP for networks with high bandwidth delay products and random loss, IEEE/ACM Trans.Networking 5, 1997.