



Α.Τ.Ε.Ι Καλαμάτας Παράρτημα Σπάρτης  
Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

## **ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ – (PONS)**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του

**ΠΕΤΡΟΥ Π. ΜΠΑΚΟΓΙΩΡΓΑ**

Αριθμός Μητρώου: 2005080

Επιβλέπων: Γιάννης Λιαπέρδος

Καθηγητής Εφαρμογών ΑΤΕΙ Καλαμάτας(Παράρτημα Σπάρτης)

Σπάρτη, Νοέμβριος 2011



Αφιερώνεται στην οικογένεια μου.

**Περιεχόμενα**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	9
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1.1 Ιστορική ανασκόπηση.....	9
1.1.2 Δομή Οπτικών Ινών.....	10
1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	12
1.3 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΙΝΟΟΠΤΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ.....	13
1.4 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	14
1.4.1 Οπτικός πομπός.....	14
1.4.2 Οπτικός δέκτης.....	15
1.4.3 Οπτικός ενισχυτής.....	16
1.4.4 Κυματοδηγός δρομολόγησης πλέγματος(AWG).....	19
1.5 Η ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ ΩΣ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	20
1.5.1 Γενικά.....	20
1.5.2 Εξασθένηση.....	20
1.5.3 Διασπορά.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PONs).....	23
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
2.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ.....	24
2.2.1 Παθητικό Δέντρο.....	25
2.2.2 Παθητικός Δακτύλιος.....	26
2.2.3 Παθητικός Δίαυλος.....	27
2.2.4 Σύγκριση.....	29
2.3 ΦΥΣΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ.....	30
2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	33
2.4.1 APON.....	33
2.4.2 EPON.....	36
2.4.3 GPON.....	39
2.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ APON, EPON & GPON.....	41
2.6 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΤΗ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	47
3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ FIBER TO THE HOME – (FTTH).....	47
3.1.1 Εισαγωγή.....	47



3.1.2 Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας FTTH.....	48
3.2 ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ FIBER TO THE HOME.....	50
3.2.1 Οπτική ίνα στην καμπίνα – Fiber To The Cabinet (FTTC).....	50
3.2.2 Οπτική ίνα στο κτίριο – Fiber To The Building (FTTB).....	51
3.3 ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΙΝΑΣ.....	51
3.3.1 Εισαγωγή.....	51
3.3.2 Σύγκριση Χαλκού – Ίνας.....	51
3.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ FTTx.....	55
3.4.1 Γενικά.....	55
3.4.2 Home Run Fiber.....	56
3.4.3 Active Ethernet.....	57
3.4.4 Passive Star (Passive Optical Network – PON).....	58
3.5 WDM PASSIVE OPTICAL NETWORKS.....	63
3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ (PON & ACTIVE NETWORKS).....	65
3.6.1 Reverse PON και Customer Owned Last Mile.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	70
4.1.2 Ανταγωνισμός με βάση τις εγκαταστάσεις.....	70
4.2.2 Βασισμένο πρότυπο «ανοικτής πρόσβασης» για τον ανταγωνισμό.....	72
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79



## Περίληψη

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Networks - PONs) θεωρούνται ως λύση για την παροχή υψηλής ταχύτητας δικτύων πρόσβασης. Το κέρδος κόστους που έρχεται ως αποτέλεσμα της μείωσης στον αριθμό διεπαφών μεταξύ των κόμβων, έχει επιτρέψει την αυξανόμενη χρήση των PON που παραδίδει ίνα στο σπίτι (Fiber to the Home) και την ίνα στο curb. Εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις, η ανάγκη για τις υψηλό ποσοστό διάσπασης (splitting ratio) ή για εκτεταμένη προσιτότητα (reach) προσδίδουν μεγάλες απώλειες οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με ενισχυτές. Στην εργασία αυτή θα γίνει μελέτη του φυσικού στρώματος ενός τέτοιου Παθητικού Δικτύου, μέσω θεωρητικού μοντέλου που αναλύει τις λειτουργικές απαιτήσεις τόσο παθητικών όσο και ενισχυμένων συστημάτων. Η εργασία θα δώσει συμπεράσματα σχετικά με τον αριθμό των χρηστών και της απόστασης ενός τέτοιου δικτύου με και χωρίς ενισχυτή.



## Abstract

Passive Optical Networks – (PONs), are considered as a solution for providing high speed access networks. The benefit cost is the result of reducing the number of interfaces between nodes, has enabled the increasing use of PON delivering Fiber to the Home and Fiber to the curb. However, in many cases the need for a high percentage of splitting ratio or extended reach gives large losses which can only be dealt with amplifiers. In this paper we will be studying the physical layer of such a passive network, through a theoretical model that analyzes the functional requirements of both passive and enhanced systems. The work will provide conclusions about the number of users and distance of such a network with and without amplifier.



**“Revolution will not be televised”**

**Gill Scott Heron**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να κατανοήσουμε τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα-PONs και τα οφέλη που έχουν καθώς και τεχνικές με τις οποίες μπορούν να συνδυαστούν για καλύτερες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Άλλωστε στην ψηφιακή εποχή που ζούμε οι τηλεπικοινωνίες είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και σίγουρα το διαδίκτυο έχει αλλάξει την καθημερινότητα και την επικοινωνία μας.

Πράγμα που σημαίνει πως οι εταιρικοί χρήστες και πόσο μάλλον οι οικιακοί πελάτες έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις για καλύτερες διαδικτυακές υπηρεσίες είτε αυτό λέγεται ταχύτητα, είτε internet στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Η εξέλιξη αυτή έχει φέρει τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα(Passive Optical Networks) προ των πυλών. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONs) πραγματεύονται για τις διάφορες εφαρμογές που παραδίδουν οπτική ίνα στο σπίτι ,ευελιξία, δυνατότητα ευρείας κάλυψης και οικονομικώς αποδοτικό διαμοιρασμό των ακριβών οπτικών ζεύξεων συγκριτικά με τις συμβατικές λύσεις σημείου-προς-σημείο για περισσότερο από μια δεκαετία.

Στο κείμενο που ακολουθεί θα αναλύσουμε τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα αφού πρώτα κάνουμε μια σύντομη ιστορική αναδρομή και παραθέσουμε και κάποιες βασικές γνώσεις που είναι απαραίτητες για να μπορέσει να κατανοήσει τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα και ο απλός αναγνώστης που δεν είναι εξοικειωμένος με το αντικείμενο.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1.1 Ιστορική ανασκόπηση

Χρήση οπτικών σημάτων για τη μετάδοση πληροφοριών γινόταν ήδη από την αρχαϊκή εποχή (αρχαίες ελληνικές φρυκτωρίες) ενώ είναι σε όλους γνωστή η χρήση του καπνού για την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των Ινδιάνων της Αμερικής. Παρόμοιας λογικής ήταν και ο οπτικός τηλεγράφος του Γάλλου μηχανικού Claude Chappe ο οποίος εγκαταστάθηκε το 1794 και χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ Παρισιού και Λιλ.

Στα μέσα του 19ου αιώνα, ο John Tyndall κατόρθωσε να μεταδώσει ορατό φως μέσω ρέοντος νερού, χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης. Το 1880, ο Α.Γ. Bell παρουσίασε το φωτόφωνο, μια διάταξη η οποία μπορούσε να μεταδώσει ηχητικά σήματα διαμορφώνοντας μια φωτεινή δέσμη και ανιχνεύοντας τις μικρομεταβολές της με τη βοήθεια οπτικού δέκτη.

Από το 1910 έως το 1920, έγιναν διάφορες θεωρητικές εργασίες με θέμα τη διάδοση οπτικών σημάτων μέσω διαφανών διηλεκτρικών ράβδων (Χόνδρος-Debye, Schriever κλπ.). Με βάση τις εργασίες αυτές, κατασκευάστηκαν (B. O' Brien and N.S. Karany, δεκαετία του 1950) οι πρώτες ίνες για μεταφορά φωτός σε μικρές αποστάσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν (και ακόμη χρησιμοποιούνται) σε ιατρικά ενδοσκόπια.

Το 1966, οι C. Kao και C. Hockam δημοσίευσαν την περίφημη εργασία τους με την οποία πρότειναν τη χρήση οπτικών ινών για τη μεταφορά σημάτων εφόσον ο συντελεστής εξασθένησης στις οπτικές ίνες μπορούσε να μειωθεί από τα 1000 dB/km στα 20 dB/km. Μάλιστα, στην εργασία τους απέδιδαν την εξασθένηση των οπτικών σημάτων στις προσμείξεις που υπήρχαν στο υλικό των ινών. Τέσσερα χρόνια αργότερα (1970), η Corning Glass παρουσίασε ίνες με συντελεστή εξασθένησης 17 dB/km (στο ορατό φως), τιμή η οποία μειώθηκε στα 4 dB/km, δύο (2) μόλις χρόνια αργότερα. Σήμερα, οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές παρουσιάζουν συντελεστή εξασθένησης της τάξης των 0,2 dB/km. Την δεκαετία του 1980, μία επανάσταση άρχισε στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, που προκλήθηκε από την χρήση της σχετικά καινούργιας τεχνολογίας των οπτικών ινών. Από τότε, η γρήγορη μείωση του κόστους και η αυξημένες

απαιτήσεις των δικτύων, οδήγησαν σε τεράστια πρόοδο στην τεχνολογία που απαιτείται για τα οπτικά δίκτυα, τα οφέλη της οποίας μόλις τώρα αρχίζουν να φαίνονται.

Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ στον σχεδόν ένα αιώνα που υπάρχουν. Τα δίκτυα που κάποτε προσέφεραν βασικές τηλεφωνικές υπηρεσίες, τώρα είναι σε θέση να μεταδίδουν το ισοδύναμο μερικών χιλιάδων εγκυκλοπαιδειών ανά δευτερόλεπτο. Αν θελήσουμε να ταξινομήσουμε τα δίκτυα κορμού Ευρωζωνικών Δικτύων θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα δίκτυα N-ISDN ανήκουν στην πρώτη γενιά, τα B-ISDN ανήκουν στη δεύτερη ενώ το οπτικό δίκτυο ανήκει στην τρίτη γενιά. Αν και τα δίκτυα αυτά αποτελούσαν αντικείμενο έρευνας από τη δεκαετία του 80 η χρησιμοποίησή τους σε πραγματικές ινσοπτικές ζεύξεις και τηλεπικοινωνιακά δίκτυα άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του 90. Παρότι, ως υλοποιήσιμη λύση, η τεχνολογία WDM (μια τεχνολογία οπτικών δικτύων η οποία χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η χωρητικότητα του μέσου μεταφοράς των δεδομένων) εμφανίστηκε πριν λιγότερο από 10 χρόνια, η πρόοδος που σημειώθηκε στις επιδόσεις των συστημάτων WDM, ήταν ραγδαία. Ζεύξεις WDM εγκαθίστανται συνεχώς για τον εμπλουτισμό τόσο των εθνικών όσο και των διεθνών ινσοπτικών δικτύων. Σύμφωνα με τη μελέτη της αμερικανικής συμβουλευτικής εταιρείας KMI, η αξία των συστημάτων WDM που ήταν εγκαταστημένα ανά τον κόσμο, το 1998, ανερχόταν περίπου σε 2.160.000.000 Ευρώ με εκτιμώμενη αύξηση 28% ανά έτος μέχρι το 2004. Από την αξία αυτή, ποσοστό 61% αφορούσε συστήματα εγκαταστημένα στις ΗΠΑ μέχρι το 2004.

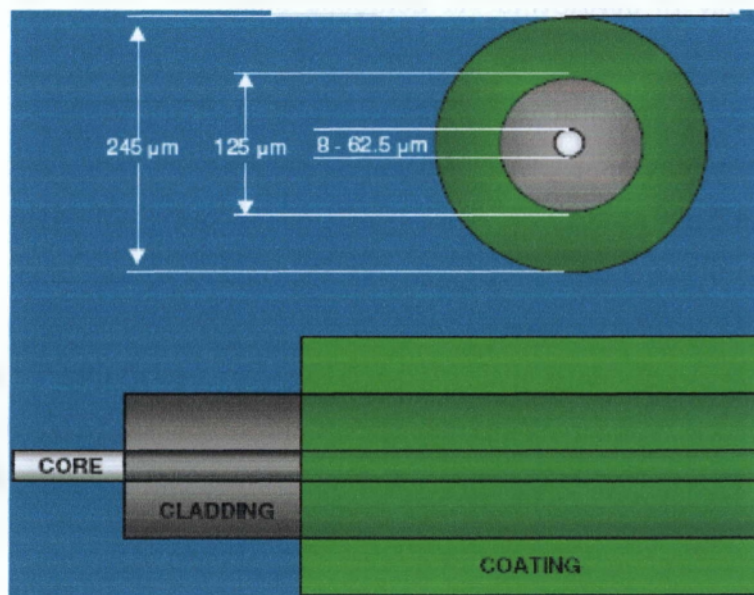
### 1.1.2 Δομή Οπτικών Ινών

Οι οπτικές ίνες είναι διηλεκτρικοί κυματοδηγοί κυκλικής, συνήθως, διατομής και, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, μπορεί να είναι κατασκευασμένες από πλαστικό ή γυαλί. Συνήθως, αποτελούνται από δύο περιοχές, μια εσωτερική που ονομάζεται πυρήνας (core) και διαδίδει το οπτικό σήμα και μια εξωτερική που ονομάζεται περίβλημα (cladding) το οποίο περιορίζει το οπτικό σήμα εντός του πυρήνα. Για λόγους προστασίας, το περίβλημα της ίνας περιβάλλεται από πλαστική επένδυση (coating) η οποία δεν συμμετέχει στη διάδοση του οπτικού σήματος αλλά προστατεύει την ίνα από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος (σχήμα 1.1).

Ως μέσα μετάδοσης, οι οπτικές ίνες κυματοδηγούν οπτικά κύματα τα οποία έχουν παραχθεί από μία οπτική πηγή (laser ή LED). Τα κύματα αυτά χρησιμοποιούνται ως φέροντα (εξαιρετικά υψηλής συχνότητας) επί των οποίων έχουν υπερτεθεί αναλογικά ή ψηφιακά σήματα πληροφορίας (η «υπέρθεση» αυτή επιτυγχάνεται με την αυξομείωση, δηλαδή τη

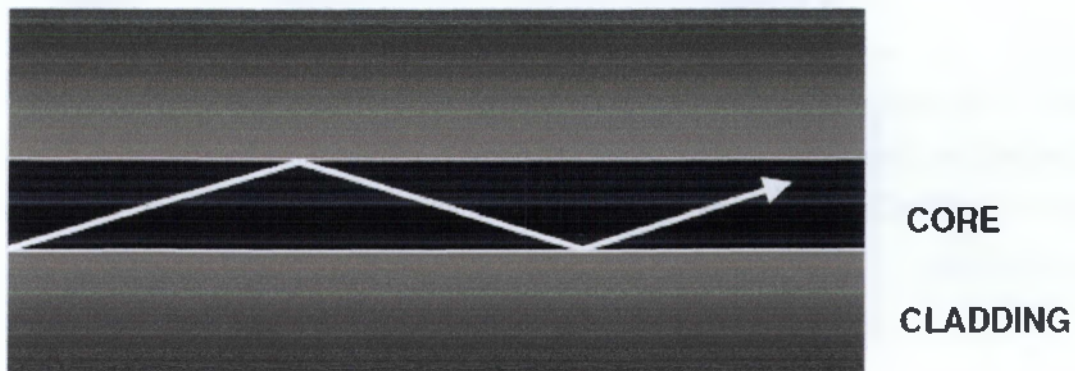
διαμόρφωση, της ισχύος των οπτικών κυμάτων από τα αναλογικά ή ψηφιακά σήματα πληροφορίας). Η κυματοδότηση των οπτικών κυμάτων πραγματοποιείται στην περιοχή εντός και γύρω από τον πυρήνα της οπτικής ίνας που για το λόγο αυτόν έχει δείκτη διάθλασης ( $n_{\text{core}}$ ) υψηλότερο από αυτόν του περιβλήματος ( $n_{\text{clad}}$ ).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι οπτικών ινών οι οποίοι, μεταξύ άλλων, διαφέρουν ως προς το υλικό κατασκευής (π.χ. γυαλί ή πλαστικό), τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (π.χ. μικρή ή μεγάλη διάμετρος πυρήνα) αλλά και αυτές κάθε αυτές τις παραμέτρους διάδοσης του οπτικού σήματος.



**Σχήμα 1.1** Τυπικές διατομές οπτικών ινών

Η μετάδοση μέσω οπτικών ινών βασίζεται στην αρχή της ανάκλασης του φωτός στο εσωτερικό τους (Σχήμα 1.2).



**Σχήμα 1.2** Ανάκλαση του φωτός

Τα οπτικά κύματα (Light waves- “modes”) ανακλώνται και οδηγούνται κατά μήκος της οπτικής ίνας.

## 1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

♦ Το τεράστιο εύρος ζώνης που παρέχουν. Για παράδειγμα, μια ίνα που λειτουργεί στην περιοχή 1525-1565 nm παρέχει ένα εύρος συχνοτήτων λειτουργίας της τάξης των 5000 GHz. Παρ'όλο που το εύρος αυτό απέχει, ακόμη, πολύ από το να αξιοποιηθεί ολόκληρο, οι σημερινές ίνες έχουν τη δυνατότητα για μεταφορά σημάτων ρυθμού 2,5 Gbit/s (περί τα 30.000 τηλεφωνικά κυκλώματα) σε αποστάσεις της τάξης των 100 km ενώ με χρήση τεχνικών WDM, η χωρητικότητα αυτή μπορεί να αυξηθεί στα 320 Gbit/s.

♦ Η πολύ χαμηλή εξασθένηση των σημάτων κατά τη μετάδοσή τους μέσω οπτικών ινών. Δεδομένου ότι μια ίνα, στα 1550 nm, παρουσιάζει συντελεστή εξασθένησης της τάξης των 0,2 dB/km, είναι εφικτή η υλοποίηση ζεύξεων μήκους άνω των 100 km χωρίς την ανάγκη για χρήση ενδιάμεσων ενισχυτών ή αναγεννητών.

♦ Η «αναισθησία» των οπτικών ινών σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Τα οπτικά καλώδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιβαρυνμένα βιομηχανικά περιβάλλοντα, κατά μήκος σιδηροτροχιών ή παράλληλα με τα καλώδια του ενεργειακού δικτύου χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας μετάδοσης. Επίσης, επειδή οι οπτικές ίνες αποτελούνται από διηλεκτρικό (μονωτικό) υλικό, τα οπτικά καλώδια μπορούν να διατρέχουν εκρηκτικά ή τοξικά περιβάλλοντα, στα οποία η χρήση ηλεκτρικών καλωδίων είναι προβληματική. Επιπλέον οι ινοοπτικές ζεύξεις είναι απρόσβλητες σε κεραυνούς.

♦ Η ασφάλεια που παρέχουν. Δεδομένου ότι η μετάδοση του σήματος συντελείται, κυρίως, στον πυρήνα της ίνας, η υποκλοπή σήματος είναι δύσκολη έως αδύνατη ενώ (ακόμη και αν επιτευχθεί) θα συνοδεύεται, υποχρεωτικά, από υποβάθμιση της οπτικής ισχύος του σήματος που θα γίνεται αντιληπτή στο δέκτη.

♦ Οι μικρές διαστάσεις και το μικρό βάρος των οπτικών ινών, που επιτρέπουν την κατασκευή καλωδίων μεγάλης χωρητικότητας (π.χ. 60 ή 96 ινών) μικρού, όμως, βάρους και διατομής κάτω των 2 cm.

### 1.3 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΙΝΟΟΠΤΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

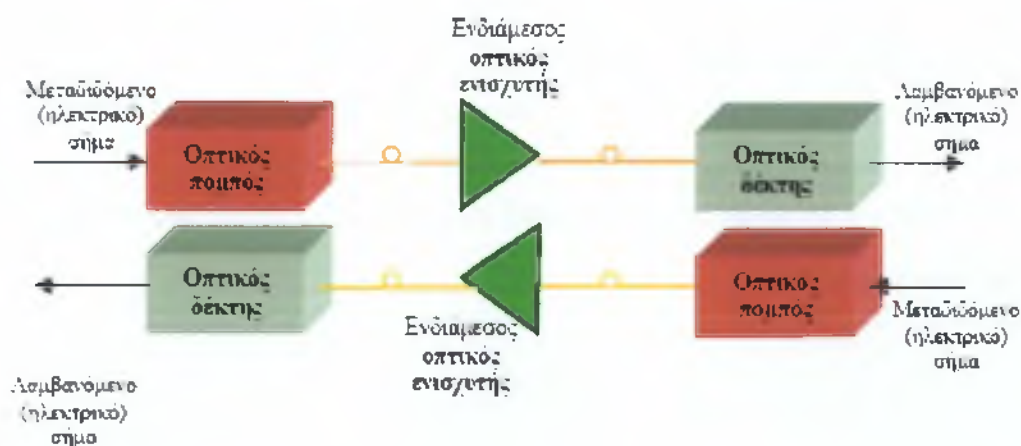
Η γενική δομή μιας «σημείου προς σημείο» (point-to-point) αμφίδρομης ινοοπτικής ζεύξης φαίνεται στο σχήμα 1.3. Τα βασικά στοιχεία της δομής μιας τέτοιας ζεύξης είναι (ανά «κατεύθυνση») τα εξής:

**Ο οπτικός πομπός:** Στη διάταξη αυτή, εισέρχεται το ηλεκτρικό σήμα (αναλογικό ή ψηφιακό) και διαμορφώνει το οπτικό φέρον που προέρχεται από μια οπτική πηγή (laser ή LED ημιαγωγού). Το οπτικό διαμορφωμένο σήμα μπορεί, στη συνέχεια, να ενισχυθεί από έναν οπτικό ενισχυτή ισχύος.

Το μέσο μετάδοσης, δηλαδή η οπτική ίνα. Η ίνα αυτή είναι συνήθως «ενταγμένη» σε ένα οπτικό καλώδιο.

**Οι ενδιάμεσοι οπτικοί ενισχυτές:** Χρησιμοποιούνται εάν το μήκος της ζεύξης είναι τέτοιο (συνήθως άνω των 100 km) που το οπτικό σήμα να εξασθενεί υπερβολικά και να χρειάζεται ενδιάμεση ενίσχυση. (Για ακόμη μεγαλύτερα μήκη και εφόσον ο αριθμός των διαδοχικών οπτικών ενισχύσεων υπερβαίνει τις 4-5, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ηλεκτροοπτικοί αναγεννητές).

**Ο οπτικός δέκτης:** Η διάταξη αυτή διαθέτει (εκτός των άλλων) μια φωτοδίοδο, η οποία λαμβάνει το οπτικό σήμα και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό, εξάγοντας την αρχική πληροφορία. (Συνήθως, πριν τη λήψη από τη φωτοδίοδο, το οπτικό σήμα προενισχύεται με τη βοήθεια οπτικού προενισχυτή).



**Σχήμα 1.3** Αμφίδρομη ινοοπτική ζεύξη «σημείου προς σημείο» (point-to-point) – σχηματική αναπαράσταση. Κάθε «κατεύθυνση», χρησιμοποιεί από έναν οπτικό πομπό, έναν οπτικό ενισχυτή και έναν οπτικό δέκτη. Οι χρησιμοποιούμενες ίνες είναι επίσης δύο, μία για κάθε κατεύθυνση. Το ηλεκτρικό σήμα (πληροφορία) μπορεί να είναι είτε αναλογικό είτε ψηφιακό.

## 1.4 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

### 1.4.1 Οπτικός πομπός

Οι οπτικοί πομποί (optical transmitters) είναι οι διατάξεις που παράγουν το οπτικό φέρον και στη συνέχεια το διαμορφώνουν με το ηλεκτρικό σήμα πληροφορίας που εφαρμόζεται στην είσοδό τους. Βασικό δομικό στοιχείο των οπτικών πομπών είναι οι οπτικές πηγές από τις οποίες γίνεται και η παραγωγή του οπτικού φέροντος. Όπως θα εξηγηθεί και παρακάτω, η διαμόρφωση του οπτικού φέροντος γίνεται είτε απευθείας επί της οπτικής πηγής (με εφαρμογή του σήματος πληροφορίας στην επαφή τροφοδοσίας της) είτε μέσω εξωτερικών ηλεκτροοπτικών διαμορφωτών οι οποίοι διασυνδέονται στην έξοδο της πηγής.

Προκειμένου ένας οπτικός πομπός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά σε ινοοπτικές ζεύξεις, πρέπει να ικανοποιεί (μεταξύ άλλων) τις εξής βασικές απαιτήσεις:

- ♦ Να λειτουργεί σε ένα από τα «παράθυρα» ελάχιστης εξασθένησης, δηλαδή τα 850, 1310 ή 1550 nm (ιδιαίτερα στα δύο τελευταία).
- ♦ Το εκπεμπόμενο οπτικό φέρον να είναι, κατά το δυνατόν, μονοχρωματικό (το εύρος εκπομπής  $\Delta\lambda$ , γύρω από το κεντρικό μήκος κύματος λειτουργίας  $\lambda_0$  να είναι κάτω από 50 nm).
- ♦ Η ισχύς εξόδου του πομπού να είναι της τάξης του 1 mW.
- ♦ Να μπορεί να διαμορφωθεί από ψηφιακά σήματα υψηλού ρυθμού (ο οποίος, ανάλογα και με την εφαρμογή μπορεί να ανέρχεται και στα 10 Gbit/s). Δεδομένου ότι ο ρυθμός μετάδοσης  $R$  συνδέεται με το χρόνο ανόδου (rise time) του οπτικού πομπού  $t_{rise}$  μέσω της προσεγγιστικής σχέσης

$$R \approx 0,35 / t_{rise}$$

για να υπάρχει δυνατότητα λειτουργίας στα 10 Gbit/s, ο χρόνος ανόδου πρέπει να είναι της τάξης των 35 ps.

♦ Ο λόγος σβέσης (Extinction Ratio ή EX) να είναι υψηλός (πάνω από 8 dB). Ο λόγος αυτός ορίζεται ως

$$EX = 10 \cdot \log[P(1)/P(0)] \quad (1)$$

όπου  $P(1)$ ,  $P(0)$  η οπτική ισχύς που τελικά εκπέμπεται από τον πομπό και αντιστοιχεί σε (ηλεκτρικούς) ψηφιακούς παλμούς «1» και «0». Ο λόγος αυτός, συνήθως, απαιτείται να είναι άνω των 8 dB.

- ◆ Η επιφάνεια εκπομπής του πομπού να έχει διαστάσεις αντίστοιχες με αυτές των οπτικών ινών.
- ◆ Η λειτουργία του να είναι σταθερή και ανεξάρτητη των συνθηκών του περιβάλλοντος.
- ◆ Να έχει υψηλή αξιοπιστία.
- ◆ Να έχει, κατά το δυνατόν, χαμηλό κόστος.

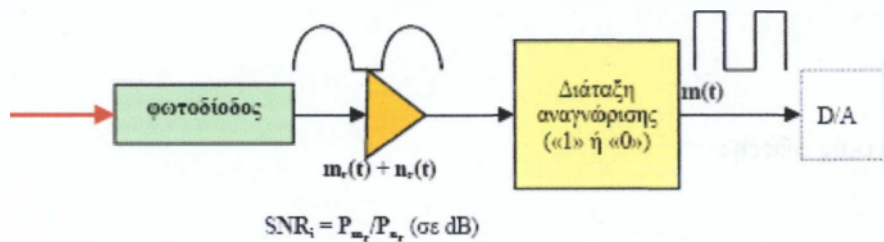
#### 1.4.2 Οπτικός δέκτης

Ο ρόλος του δέκτη σε μια ινοοπτική ζεύξη είναι η αποδιαμόρφωση του οπτικού σήματος και η εξαγωγή του ηλεκτρικού σήματος πληροφορίας. Υπό την έννοια αυτή, η συμπεριφορά του δέκτη είναι καθοριστική για τις επιδόσεις της ζεύξης, αφού ο δέκτης είναι η διάταξη που καλείται να αναπαραγάγει (μέσα από το, αλλοιωμένο από το θόρυβο, διαμορφωμένο οπτικό σήμα) το αρχικά μεταδοθέν σήμα πληροφορίας.

Προκειμένου ένας οπτικός δέκτης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά σε ινοοπτικές ζεύξεις, πρέπει να ικανοποιεί (μεταξύ άλλων) τις εξής βασικές απαιτήσεις:

- ◆ Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συχνότητες λειτουργίας των ινοοπτικών ζεύξεων (όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.2, η περιοχή λειτουργίας των διαθέσιμων οπτικών δεκτών καλύπτουν και τα τρία «παράθυρα» ελάχιστης εξασθένησης).
- ◆ Να μπορεί να αποδιαμορφώνει υψίρρυθμα ψηφιακά σήματα (ρυθμού 2,5 ή και 10 Gbit/s).
- ◆ Να έχει υψηλή ευαισθησία (sensitivity), δηλαδή να λειτουργεί ικανοποιητικά για χαμηλές τιμές της λαμβανόμενης ισχύος (οι διαθέσιμοι δέκτες μπορούν να λειτουργούν με σήματα 2,5 Gbit/s και ελάχιστη ισχύ λειτουργίας από  $-18$  έως  $-30$  dBm).
- ◆ Το μέγεθος του να είναι αντίστοιχο με αυτό των οπτικών ινών.
- ◆ Η λειτουργία του να είναι σταθερή και ανεξάρτητη των συνθηκών του περιβάλλοντος.
- ◆ Να έχει υψηλή αξιοπιστία.
- ◆ Να έχει, κατά το δυνατόν, χαμηλό κόστος.

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός οπτικού δέκτη είναι η φωτοδιόδος του. Η φωτοδιόδος αυτή «δέχεται» το οπτικό σήμα (ASK) και παρέχει στην έξοδό της ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο είναι το αρχικό σήμα πληροφορίας (αυτό που εφαρμόστηκε στην είσοδο του οπτικού πομπού) αλλοιωμένο από το θόρυβο και τις επιδράσεις των στοιχείων της ζεύξης (π.χ. την εξασθένηση και τη διασπορά). Στη συνέχεια, το σήμα ενισχύεται ενώ μια διάταξη αναγνώρισης καταστάσεων («1» ή «0») «αποκαθιστά» το αρχικό ψηφιακό σήμα ενώ (αν το απαιτεί η εφαρμογή) ένας ψηφιο-αναλογικός (D/A) μετατροπέας το μετατρέπει σε αναλογικό.



Σχήμα 1.4 Οπτικός Δέκτης

Στον παραπάνω δέκτη, η φωτοδιόδος λειτουργεί ως φωρατής περιβάλλουσας αναδεικνύοντας από το λαμβανόμενο σήμα ASK (ουσιαστικά την περιβάλλουσά του), το σήμα πληροφορίας  $m(t)$  με την τυχόν «αλλοίωση»  $n(t)$  εξαιτίας του θορύβου. Ο εν λόγω δέκτης χαρακτηρίζεται επίσης ως δέκτης άμεσης φώρασης.

### 1.4.3 Οπτικός ενισχυτής

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, για την αύξηση του μήκους των ινοοπτικών ζεύξεων (πέραν των ορίων που έθετε η εξασθένηση του οπτικού σήματος) χρησιμοποιούνταν ηλεκτροοπτικοί αναγεννητές. Οι διατάξεις αυτές, μέσω ενός οπτικού δέκτη, αντλούσαν το ηλεκτρικό σήμα πληροφορίας το αναγεννούσαν (αν ήταν ψηφιακό) ή το ενίσχυαν (αν ήταν αναλογικό) και στη συνέχεια, με τα αναγεννημένο ή ενισχυμένο σήμα, διαμόρφωναν (με απευθείας διαμόρφωση) ένα laser ημιαγωγού.

Τα βασικά μειονεκτήματα των αναγεννητών είναι το υψηλό τους κόστος, η δυσκολία εγκατάστασης και το γεγονός ότι, ως υβριδικές συσκευές, δεν εκμεταλλεύονται όσο θα



έπρεπε τις δυνατότητες της οπτικής ίνας. Ένα ακόμα μειονέκτημα των αναγεννητών είναι ότι στην περίπτωση της ταυτόχρονης μετάδοσης πολλών οπτικών σημάτων (με χρήση τεχνικών WDM) απαιτείται ξεχωριστός αναγεννητής για κάθε οπτικό σήμα.

Η απάντηση στους παραπάνω περιορισμούς είναι η αμιγώς οπτική ενίσχυση του σήματος (για πολλά χρόνια το όνειρο των σχεδιαστών ινοοπτικών ζεύξεων) που πραγματοποιήθηκε σε (επίπεδο πραγματικών εφαρμογών) μόλις στις αρχές της δεκαετίας του '90. Συγκριτικά με τους αναγεννητές, οι οπτικοί ενισχυτές, είναι φθηνότεροι, απλούστεροι ως διατάξεις και, το σημαντικότερο, ικανοί για ταυτόχρονη ενίσχυση όλων των σημάτων που μεταδίδονται σε μια συγκεκριμένη φασματική περιοχή (πχ. Στο παράθυρο λειτουργίας των 1550 nm). Κυριότερο μειονέκτημα τους, ο αναλογικός τρόπος ενίσχυσης των οπτικών σημάτων που έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση θορύβου μετά από έναν αριθμό διαδοχικών οπτικών ενισχύσεων.

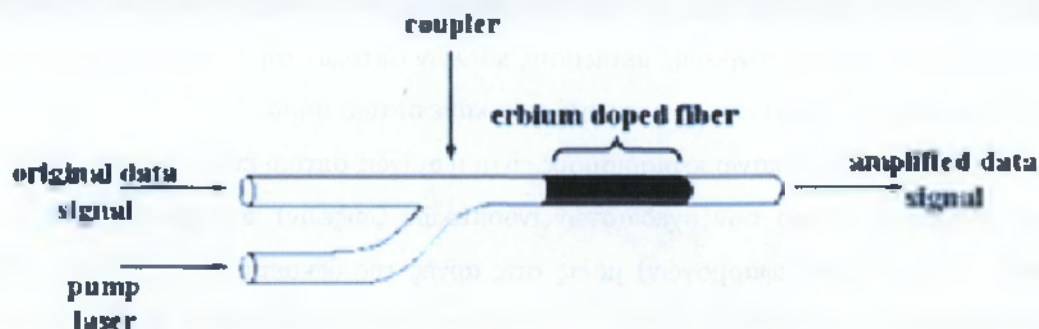
Τα είδη των οπτικών ενισχυτών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- **Erbium-Doped Fibre Amplifiers – EDFAs**

Αποτελούνται από ίνα πυριτίου, ο πυρήνας της οποίας είναι γεμάτος με ιόντα Ερβίου (Erbium). Η ίνα τροφοδοτείται από σήματα μέσω ηλεκτρομαγνητικού laser, με μήκη κύματος από 980 ως 1480 nm. Γύρω από την ίνα βρίσκεται ένας **συζεύκτης** (coupler), ο οποίος είναι επιλεκτικός ως προς το μήκος κύματος (wavelength selective) και χρησιμοποιείται για να συνδυάσει την έξοδο του laser με το σήμα εισόδου. Στην έξοδο, ένας διαχωριστής ξεχωρίζει το ενισχυμένο σήμα από τα υπόλοιπα. Ένας απομονωτής (isolator) χρησιμοποιείται στην είσοδο ή/και στην έξοδο, εμποδίζοντας έτσι τις ανακλάσεις πάνω στον ενισχυτή.

Αυτοί οι ενισχυτές χρησιμοποιούνται πιο τακτικά από άλλα είδη, γιατί:

- Υπάρχουν αξιόπιστα και ισχυρά ημιαγωγα ηλεκτρομαγνητικά laser σε μεγάλη ποσότητα.
- Η συσκευή αποτελείται μόνο από οπτική ίνα, κάτι το οποίο την κάνει ανεξάρτητη από την πολικότητα και έτσι το φως μπορεί να συνδεθεί άνετα μέσα σε αυτήν.
- Η συσκευή είναι απλή.
- Δεν υπάρχει διαφωνία (crosstalk).



Σχήμα 1.5 Erbium-Doped Fiber Amplifiers (EDFA)

- **Praseodymium-Doped Fiber Amplifier (PDFA)**

Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των σημάτων σε εύρος 1.3μm. Οι ενισχυτές αυτοί είναι παρόμοιοι με τους EDFA. Το μήκος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι 1017nm, περιοχή όπου τα ηλεκτρομαγνητικά laser δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένα. Αντί για ίνα πυριτίου έχουν ίνα φθορίου.

- **Semiconductor Optical Amplifier (SOA)**

Είναι οι ενισχυτές που προϋπήρχαν των EDFA, αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε διακόπτες και σε συσκευές μεταλλαγής μήκους κύματος. Αποτελούνται από ένα laser, όπου οι τελικοί καθρέφτες έχουν αφαιρεθεί και αντικατασταθεί με αντιανακλαστικά επικαλυπτικά στρώματα. Το φως που εισέρχεται από τη μία πλευρά θα ενισχυθεί, καθώς κινείται μέσα στην ενεργή περιοχή και θα βγει από την άλλη πλευρά με μεγαλύτερη ισχύ. Η απολαβή (gain) μιας τέτοιας συσκευής μπορεί να είναι πολύ μεγάλη, εντείνοντας την ανάγκη για ισχυρά αντιανακλαστικά επικαλυπτικά στρώματα. Αν έστω και 1% της ισχύος που διαφεύγει από την κοιλότητα ανακλαστεί, μια υψηλή τιμή απολαβής μπορεί να προκαλέσει ταλάντωση. Όπως με όλες τις οπτικές συσκευές, μπορεί να υπάρχει κόρος απολαβής (gain saturation).

Η συσκευή παρουσιάζει ένα γραμμικό, μικρό πλάτος σήματος (small signal gain), μόνο αν το οπτικό σήμα είναι μικρό. Επειδή ένας SOA είναι ένα laser με αντιανακλαστικές επικαλύψεις, η οπτική ισχύς που μπορεί να δοθεί από αυτόν είναι της τάξης των 10mW.

Οι οπτικοί ενισχυτές μας παρέχουν τη δυνατότητα αναγέννησης των οπτικών σημάτων χωρίς την ανάγκη παρεμβολής οπτικό-ηλεκτρονικών μεταλλακτών. Επιπλέον, οι οπτικοί ενισχυτές έχουν την ικανότητα να ενισχύουν κανάλια WDM χωρίς την ανάγκη αποπολυπλεξίας. Οι

οπτικοί ενισχυτές ερβίου [EDFA]) που λειτουργούν σε οπτικό μήκος κύματος 1.5μm θεωρούνται ως "επανάσταση" στο πεδίο των επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. Με τη χρήση των παραπάνω οπτικών ενισχυτών EDFA είναι δυνατή η μετάδοση σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μια οπτική ζεύξη ,διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή post amplifier) ,μετά την έξοδο του οπτικού πομπού , προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενίσχυση του οπτικού σήματος.
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής γραμμής (in line amplifier) για την ενίσχυση του σήματος σε τακτές αποστάσεις(συνήθως 80-120 Km).
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως προενισχυτής (pre-amplifier) πριν την είσοδο του οπτικού δέκτη, προκειμένου το οπτικό σήμα να αποκτήσει επαρκή ισχύ για την άντληση , από το δέκτη του σήματος πληροφορίας.

Χρησιμοποιώντας οπτικούς ενισχυτές είναι δυνατόν να υλοποιηθούν ζεύξεις μήκους 500-600 km χωρίς χρήση αναγεννητών. Η τακτική που ακολουθείται είναι η οπτική ενίσχυση του σήματος με 4-5 οπτικούς ενισχυτές τοποθετημένους στις έξοδο του πομπού , στην είσοδο του δέκτη και σε ενδιάμεσες θέσεις ανά 100-130 km (η χρήση περισσότερων οπτικών ενισχυτών υποβαθμίζει το σηματοθορυβικό λόγο της ζεύξης).

#### 1.4.4 Κυματοδηγός δρομολόγησης πλέγματος(AWG)

Η τεχνική του πλέγματος κυματοδηγών (AWG) είναι επίσης βασισμένη στις αρχές της συμβολής του φωτός , με την ειδική ιδιότητα της περιοδικότητας που είναι η κυκλική φύση με την οποία πολλαπλές φασματικές διατάξεις δρομολογούνται προς την ίδια πόρτα εξόδου από την πόρτα εισόδου. Η συσκευή AWG, ονομάζεται οπτικός κυματοδηγός δρομολόγησης ή κυματοδηγός δρομολόγησης πλέγματος, αποτελείται από μια σειρά κυματοδηγών –κυρτών καναλιών- με σταθερή διαφορά στο μήκος μετάδοσης. Η τεχνική AWG έχει ως βασικότερο πλεονέκτημα τη δυνατότητα σχεδιασμού, ώστε οι διαδικασίες πολυπλεξίας/αποπολύπλεξίας να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Είναι κατάλληλη στις απαιτήσεις μεγάλου αριθμού

καναλιών, ενώ εμφανίζει χαμηλότερες απώλειες παρεμβολής (insertion losses). Ένα βασικό μειονέκτημά της είναι ευαισθησία των διατάξεών της στην θερμοκρασία, καθιστώντας την έτσι ακατάλληλη για ορισμένα περιβάλλοντα.

## 1.5 Η ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ ΩΣ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

### 1.5.1 Γενικά

Παρά τις μεγάλες δυνατότητες των οπτικών ινών για μεταφορά σημάτων, οι επιδόσεις τους υποβαθμίζονται από διάφορους μηχανισμούς οι οποίοι περιορίζουν τόσο το μέγιστο δυνατό μήκος  $L_{max}$  μιας ζεύξης όσο και το εύρος ζώνης  $B$  ή το ρυθμό μετάδοσης  $R$  που μια ζεύξη μπορεί να παρέχει για δεδομένο μήκος  $L$ .

Τα δύο βασικά φαινόμενα που καθορίζουν τις επιδόσεις των οπτικών ινών ως μέσω μετάδοσης είναι η εξασθένηση και η διασπορά. Η εξασθένηση εκδηλώνεται ως μείωση της κυματοδηγούμενης οπτικής ισχύος κατά μήκος της ίνας ενώ η διασπορά ως χρονική διαπλάτυνση των ψηφιακών παλμών στην έξοδο του οπτικού δέκτη. Άλλο περιοριστικό φαινόμενο είναι η τετρακυματική μίξη η οποία όμως εκδηλώνεται όταν στην οπτική ίνα επιδιώκεται η ταυτόχρονη μετάδοση περισσότερων του ενός ψηφιακών σημάτων μέσω χρήσης διαφορετικού μήκους κύματος για κάθε σήμα (Τεχνική WDM).

### 1.5.2 Εξασθένηση

Η εξασθένηση (attenuation) εκδηλώνεται ως μείωση της κυματοδηγούμενης οπτικής ισχύος κατά μήκος της ίνας και θέτει περιορισμούς στο μέγιστο δυνατό μήκος  $L_{max}$  μιας ινοοπτικής ζεύξης. Τα κυριότερα φαινόμενα που την προκαλούν είναι:

- ♦ Η σκέδαση (π.χ. σκέδαση Rayleigh, Mie, Raman, Brillouin)
- ♦ Η απορρόφηση ισχύος (είτε από το ίδιο το υλικό της ίνας είτε από προσμίξεις που εισχώρησαν σε αυτό).
- ♦ Άλλα φαινόμενα (όπως μικροκάμψεις, εισχώρηση υγρασίας, γήρανση κλπ.)

#### Συνοπτική περιγραφή των μηχανισμών εξασθένησης

#### **Η σκέδαση (scattering)**

Στις οπτικές ίνες εκδηλώνονται διάφοροι τύποι φαινομένων σκέδασης. Από αυτούς, η σκέδαση Rayleigh (που οφείλεται σε ανομοιογένειες του υλικού της ίνας) και η σκέδαση Mie

(που οφείλεται σε ατέλειες της κοινής επιφάνειας πυρήνα-περιβλήματος) είναι γραμμικές ενώ η σκέδαση Raman και η σκέδαση Brillouin συσχετίζονται με μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία εκδηλώνονται όταν η ισχύς του κυματοδηγούμενου σήματος είναι της τάξης των 100 mW και άνω.

### Η απορρόφηση (absorption)

Η απορρόφηση οπτικής ισχύος προκαλείται από συντονισμούς σε ατομικό επίπεδο, μέσω των οποίων ένα μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι συντονισμοί αυτοί δημιουργούνται είτε από το ίδιο το υλικό της ίνας (ενδογενής απορρόφηση) είτε από ξένα στοιχεία (π.χ. ρίζες υδροξυλίου  $\text{OH}^-$  και ιόντα σιδήρου  $\text{Fe}^{3+}$ , χαλκού  $\text{Cu}^{2+}$ , Νικελίου  $\text{Ni}^{2+}$ , χρωμίου  $\text{Cr}^{3+}$  κλπ.) τα οποία παρεισφύουν στην ίνα κατά τις διεργασίες κατασκευής (εξωγενής απορρόφηση). Από αυτές ιδιαίτερα σημαντική είναι η απορρόφηση εξαιτίας της ρίζας  $\text{OH}^-$  η οποία έχει μήκος κύματος συντονισμού τα 2720 nm και παρουσιάζει μέγιστα και στις αρμονικές 2720/(ν+1) nm (π.χ. στα 1360, 930 και 680 nm).

### Άλλοι μηχανισμοί

Εκτός από τη σκέδαση και την απορρόφηση, που ως μηχανισμοί εξασθένησης αφορούν το υλικό της ίνας αυτό καθαυτό, πρόσθετες απώλειες οπτικής ισχύος μπορούν να προκληθούν και από μηχανισμούς που, κυρίως, αφορούν τη χρήση οπτικών ινών στο πεδίο (υπό μορφή ινοοπτικού καλωδίου). Τέτοιοι μηχανισμοί είναι τυχόν κάμψεις που μπορεί να υποστούν οι ίνες, η εισχώρηση υγρασίας στο ινοοπτικό καλώδιο (κυρίως σε υποβρύχιες ζεύξεις) και η γήρανση του καλωδίου.

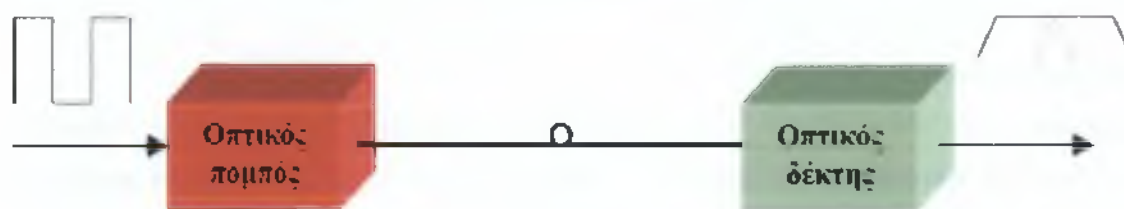
Σε ότι αφορά την εξασθένηση του οπτικού σήματος λόγω υπερβολικής κάμψης της ίνας, λαμβάνεται γενικά μέριμνα για τη διατήρηση μιας ελάχιστης ακτίνας καμπυλότητας έτσι ώστε η ίνα να μην υπόκειται σε υπερβολικές κάμψεις. Με βάση έναν εμπειρικό κανόνα, η ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα καμπυλότητας  $R$  για ελεύθερη ίνα είναι περίπου τα 30 mm ενώ για τα οπτικά καλώδια, η ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 5-πλάσιο της διαμέτρου του καλωδίου.

Τέλος, αναφορικά με την αύξηση των απωλειών λόγω γήρανσης του οπτικού καλωδίου, αυτή εκδηλώνεται ως προοδευτική υποβάθμιση της ποιότητας του καλωδίου (που οδηγεί σε μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος) λόγω των καταπονήσεων που αυτό υφίσταται το

περιβάλλον που έχει εγκατασταθεί. Γενικά, η γήρανση των οπτικών καλωδίων περιορίζει τη χρονική περίοδο χρήσης τους στα 25 χρόνια περίπου.

### 1.5.3 Διασπορά

Διασπορά (dispersion) είναι το φαινόμενο της χρονικής διαπλάτυνσης ενός σήματος πληροφορίας, καθώς αυτό μεταδίδεται μέσω μιας οπτικής ίνας, εξαιτίας της διαφορετικής ταχύτητας μετάδοσης των διαφόρων τμημάτων του σήματος. Έτσι, σε ένα ψηφιακό ινοοπτικό σύστημα, οι παλμοί εξόδου εμφανίζονται διαπλατυμένοι σχετικά με τους παλμούς εισόδου, γεγονός που δημιουργεί περιορισμούς στο ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να υλοποιηθεί, αφού υπερβολικά υψηλός ρυθμός μετάδοσης θα δημιουργούσε σημαντική διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference) λόγω της αλληλοεπικάλυψης των παλμών εξόδου (σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 Εκδήλωση του φαινομένου της διασποράς (σχηματική αναπαράσταση)

Υπάρχουν γενικά δύο είδη διασποράς, η διατροπική (intermodal) και η ενδοτροπική (intramodal) ή χρωματική (chromatic) διασπορά. Η πρώτη (διατροπική) οφείλεται στη διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων μετάδοσης των διαφόρων τρόπων (και δημιουργείται μόνον σε πολύτροπες ίνες) ενώ η δεύτερη (ενδοτροπική) οφείλεται στην εξάρτηση των παραμέτρων κυματοδότησης των σημάτων, από το μήκος κύματος μετάδοσης και δημιουργείται τόσο στις μονότροπες όσο και στις πολύτροπες ίνες<sup>12</sup>. Περαιτέρω, η ενδοτροπική διασπορά απαρτίζεται από δύο συνιστώσες, τη διασπορά υλικού (material dispersion) που οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης της ίνας από το μήκος κύματος μετάδοσης και στην κυματοδηγητική διασπορά (waveguide dispersion) που δημιουργείται από τη διαφορά των δεικτών διάθλασης του πυρήνα και του περιβλήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PONs)

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το οπτικό τμήμα ενός δικτύου πρόσβασης μπορεί να είναι ενεργό ή παθητικό, όπως επίσης και τύπου σημείο προς σημείο (point-to-point) ή σημείο προς πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint). Τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα είναι οπτικά δίκτυα σημείου-προς-πολλαπλά σημεία, τα οποία δεν περιέχουν ενεργά στοιχεία, δηλαδή δεν πραγματοποιείται μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό από την πηγή μέχρι τον προορισμό.

Τα PON είναι μια αξιόπιστη λύση για τα Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks – AN) αφού επιτρέπουν τη χρήση υπηρεσιών ευρείας ζώνης με οικονομικούς όρους, ώστε να είναι εφικτή η πρόσβαση από μεμονωμένους χρήστες ή μικρές επιχειρήσεις οι οποίοι δεν έχουν τη οικονομική δυνατότητα χρησιμοποίησης οπτικών ινών αποκλειστικής χρήσης. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης PON σε Δίκτυα Πρόσβασης, είναι τα παρακάτω:

- ✓ Επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ του κέντρου σύνδεσης και του συνδρομητή. Μια ενσύρματη γραμμή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία DSL επιτρέπει μέγιστη απόσταση 5,5 km μεταξύ του κέντρου και του συνδρομητή, ενώ ένας τοπικός βρόχος PON μπορεί να λειτουργήσει με αποστάσεις 20 km ή και μεγαλύτερες.
- ✓ Μειώνουν το πλήθος και συνεπώς το κόστος των οπτικών ινών στον τοπικό βρόχο.
- ✓ Παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, εξαιτίας της εγκατάστασης οπτικών ινών μέχρι το χρήστη. Αν και οι λύσεις ίνα - μέχρι - το - σπίτι (fiber-to-the-home – FTTH), ίνα - μέχρι - το - κτήριο (fiber-to-the-building – FTTB) παρέχουν το μέγιστο εύρος ζώνης εξαιτίας της μεγάλης διεισδυτικότητας της ίνας, η λύση ίνα - μέχρι - το - πεζοδρόμιο (fiber-to-the-curbe – FTTC) κρίνεται ως η πιο αποδοτική από άποψη κόστους.
- ✓ Επειδή είναι δίκτυα σημείου προς πολλαπλά σημεία είναι κατάλληλα για κοινοποίηση πληροφορίας, όπως η αναμετάδοση video (video broadcasting).
- ✓ Εξαλείφουν την ανάγκη χρήσης πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών στα σημεία διαχωρισμού, και έτσι απαλλάσσει τους διαχειριστές του δικτύου από την επίπονη και ακριβή διαδικασία συντήρησης και τροφοδότησης των στοιχείων αυτών. Αντί για ενεργά στοιχεία στα σημεία διαχωρισμού εγκαθίστανται παθητικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται τροφοδοσία, και μπορούν να

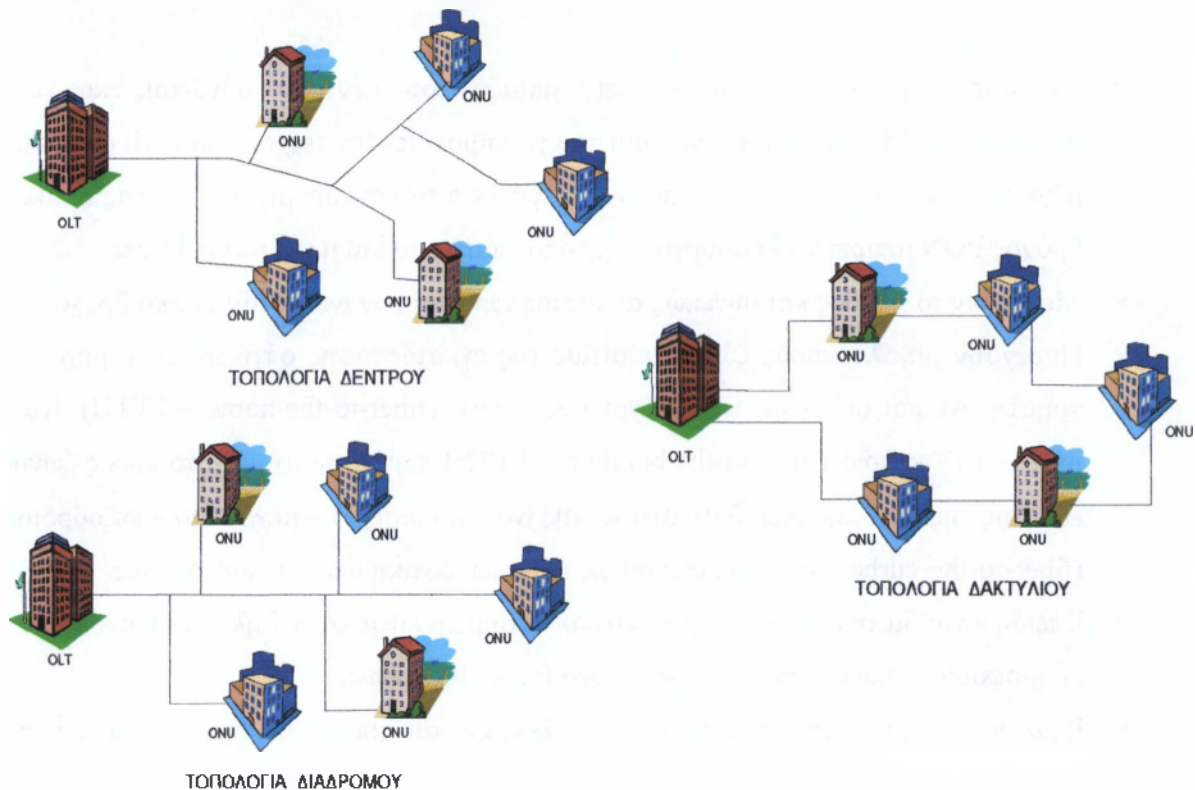
θαφτούν στο έδαφος κατά την εγκατάσταση του δικτύου χωρίς να απαιτούν συντήρηση μελλοντικά.

- ✓ Επιτρέπουν την εύκολη αναβάθμιση σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων καθώς και τη χρήση πολλαπλών μηκών κύματος.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνολογίας PON σε Δίκτυα Πρόσβασης υποδεικνύουν τη σημασία σωστής σχεδίασης του δικτύου, δεδομένου ότι η σχεδίαση του δικτύου παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα των εν λόγω δικτύων. Συνοψίζοντας τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το γεγονός ότι ο τοπικός βρόχος συσσωρεύει κίνηση από ένα μικρό αριθμό χρηστών, συγκριτικά με ένα μητροπολιτικό δίκτυο καθιστά το κόστος εγκατάστασης και χρήσης ως τη σημαντικότερη παράμετρος κατά τη σχεδίασή του.

## 2.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ

Τα δίκτυα πρόσβασης μπορεί να έχουν διάφορες τοπολογίες, δένδρου, δακτυλίου ή διαύλου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.



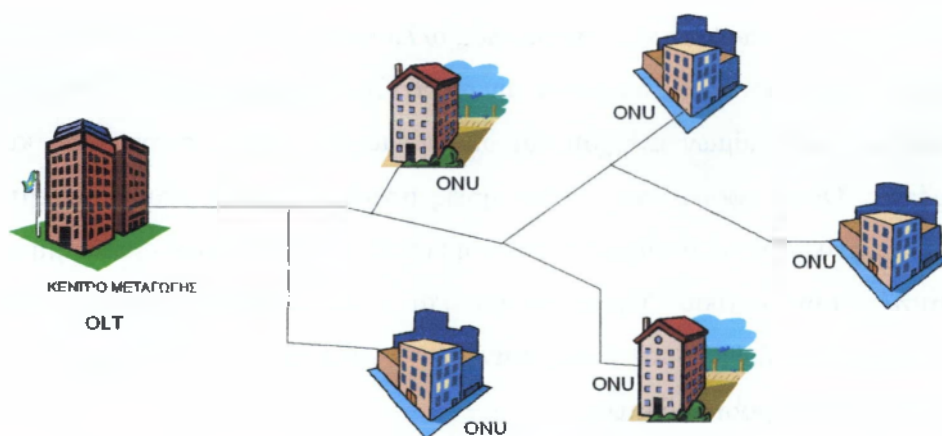
Σχήμα 2.1 Τοπολογίες Παθητικών Οπτικών Δικτύων



Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της καταλληλότερης τοπολογίας είναι η ευκολία στην αναβάθμιση του δικτύου, το κόστος, η αξιοπιστία, η συντήρηση και η ασφάλεια. Μια σύντομη περιγραφή και σύγκριση των διαφόρων τοπολογιών ακολουθεί παρακάτω.

### 2.2.1 Παθητικό Δέντρο

Χαρακτηριστικό της τοπολογίας δέντρου είναι η διαίρεση του σήματος από παθητικούς διαχωριστές, οι οποίοι βρίσκονται σε διαδοχικά σημεία διακλάδωσης (σχήμα 2.2). Με αυτήν τη στρατηγική μία μόνο οπτική ίνα που εξέρχεται από το τοπικό κέντρο μπορεί να συνδεθεί με πολλά σημεία τερματισμού, δημιουργώντας έτσι συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία μεταξύ του OLT και των ONU. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κοινοχρησία όχι μόνο του εξοπλισμού που βρίσκεται στο κέντρο μεταγωγής, αλλά και της ίδιας της οπτικής ίνας, γεγονός



Σχήμα 2.2 Τοπολογία δέντρου

που έχει αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους. Εξαιτίας της διαδοχικής διαίρεσης του οπτικού σήματος, προκαλείται μείωση της οπτικής ισχύος μετά από κάθε διακλάδωση και έτσι περιορίζεται ο αριθμός των συνδρομητών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα δίκτυο. Εναλλακτικά είναι δυνατή η χρήση εκπομπών με μεγάλη ισχύ εξόδου ή πολύ ευαίσθητων δεκτών, ώστε να καθίσταται εφικτή η σύνδεση μεγαλύτερου αριθμού χρηστών.

Μία σημαντική ιδιότητα της τοπολογίας παθητικού δέντρου, αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ανοδική και καθοδική εκπομπή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα σήμα εκπέμπεται από το τοπικό κέντρο προς όλους τους συνδρομητές για τις καθοδικές μεταδόσεις, ενώ για την ανοδική εκπομπή εφαρμόζεται ένα πρωτόκολλο TDMA (πολλαπλή προσπέλαση διαίρεσης χρόνου), ώστε να γίνεται πολυπλεξία των δεδομένων των χρηστών στο κοινό κανάλι ανόδου. Για την υλοποίηση των τεχνικών αυτών απαιτείται επιπρόσθετος ηλεκτρονικός εξοπλισμός τόσο στο τοπικό κέντρο όσο και στην πλευρά του συνδρομητή. Οι οπτικές πολυπλέξεις / αποπολυπλέξεις γίνονται από συσκευές WDM (πολυπλεξίας μήκους κύματος). Η δομή του δικτύου τύπου δέντρου είναι σχεδόν όμοια με το δίκτυο τύπου αστέρα του τηλεφωνικού δικτύου, που βασίζεται στο χαλκό, και άρα μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα.

Η τοπολογία δέντρου μπορεί να αναβαθμιστεί με έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο, αφού υπάρχει η δυνατότητα της μετάδοσης σε διαφορετικά μήκη κύματος. Έτσι είναι δυνατή η προσθήκη νέων υπηρεσιών με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, αλλά ταυτόχρονα θα υπάρξει και επιπρόσθετο κόστος από την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού. Συγκεκριμένα απαιτείται η εγκατάσταση συσκευών WDM στα ONTs και στο OLT, ενώ δεν απαιτείται καμία μετατροπή στο δίκτυο διανομής.

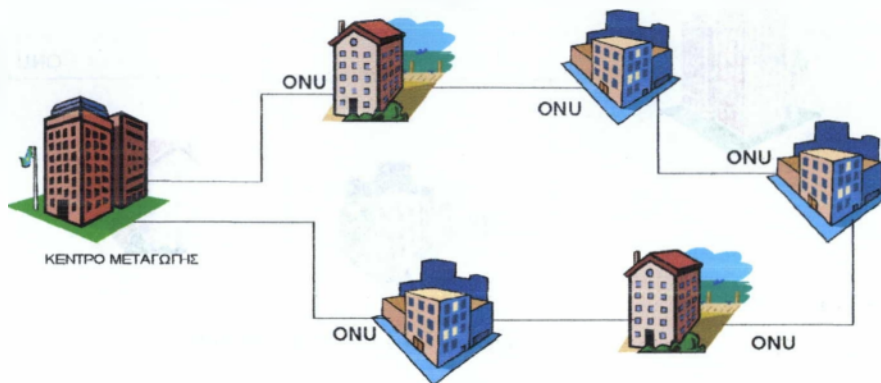
Η συντήρηση απαιτεί απλές λειτουργίες, αλλά αντίθετα η παρακολούθηση του δικτύου και ο εντοπισμός των σφαλμάτων απαιτούν την ανάπτυξη κατάλληλων διαδικασιών ελέγχου, όπως η υλοποίηση αλγορίθμων ελέγχου και διαίτησίας του μέσου, εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων. Όσον αφορά στις απαιτήσεις ασφάλειας αυτές μπορεί να εμπεριέχουν την εφαρμογή τεχνικών κρυπτογράφησης, αφού η καθοδική TDMA είναι διαθέσιμη σε όλους τους τερματιστές του δικτύου. Όμως ακόμα και στην περίπτωση που δε χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση, ο βαθμός ασφάλειας φαίνεται να είναι κατά πολύ σύμφωνος με τα πρότυπα των υπάρχοντων δημοσίων δικτύων.

Οι δομές παθητικών δέντρων είναι κατάλληλες και για την περίπτωση κατανεμημένων υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ένα ξεχωριστό μήκος κύματος για κάθε υπηρεσία. Το παθητικό δέντρο παρέχει ένα καλό βαθμό μερισμού πόρων, μειώνοντας έτσι το κόστος ανά συνδρομητή.

### 2.2.2 Παθητικός Δακτύλιος

Στην τοπολογία του παθητικού δακτυλίου ενεργητικές από σημείο - σε - σημείο ζεύξεις δημιουργούν ένα δακτύλιο, του οποίου ένας κόμβος είναι το κέντρο μεταγωγής (σχήμα 2.3). Η

τοπολογία δακτυλίου παρέχει οικονομία, αφού στο κέντρο μεταγωγής υπάρχει ανάγκη για ένα μόνο OLT. Επιπλέον, η τοπολογία αυτή απαιτεί λιγότερο συνολικό μήκος ίνας από τις άλλες τοπολογίες.

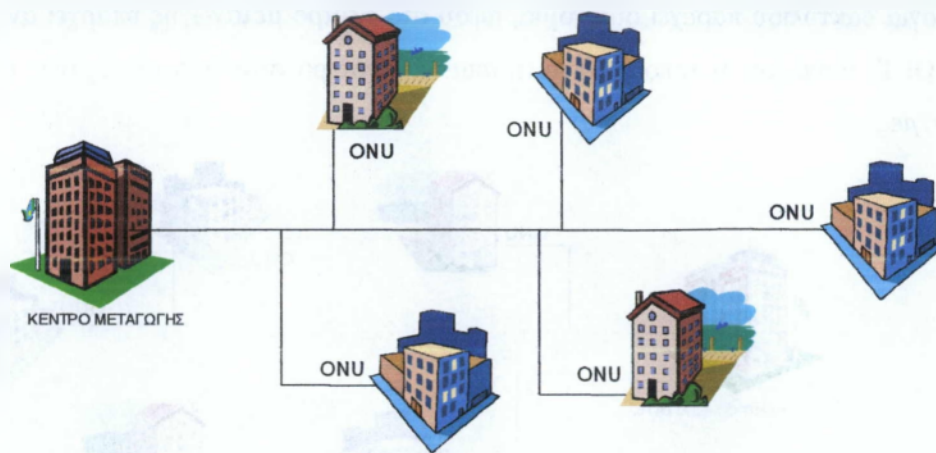


Σχήμα 2.3 Τοπολογία Δακτυλίου

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι όταν ένα πακέτο φθάσει στον προορισμό του, η πληροφορία αφαιρείται, και μία άδεια χρονοθυρίδα (η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά) εκπέμπεται προς τον επόμενο σταθμό. Η ιδιότητα αυτή, η οποία θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στο τοπικό συνδρομητικό δίκτυο, είναι μικρής αξίας για τον τοπικό βρόχο, όπου δεν υπάρχει σημαντική τοπική κίνηση και όλες οι μεταγωγές γίνονται στο κέντρο μεταγωγής.

### 2.2.3 Παθητικός Διάυλος

Η τοπολογία παθητικού διαύλου μειώνει τον αριθμό των οπτικών πομποδεκτών που απαιτούνται στο μισό, σε σχέση με την τοπολογία δέντρου. Για κάθε κατεύθυνση χρησιμοποιείται μία ξεχωριστή ίνα (σχήμα 2.4). Στους κόμβους σύνδεσης του συνδρομητή, ένας οπτικός διαχωριστής παγιδεύει μέρος του οπτικού σήματος για να το κατευθύνει προς το συνδρομητή. Η κύρια συσκευή σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι ο ασύμμετρος οπτικός διαχωριστής/συνδυναστής. Οι συσκευές αυτές στην καθοδική κατεύθυνση πρέπει να διαχωρίζουν από



Σχήμα 2.4 Τοπολογία Διαύλου

το δίαυλο τουλάχιστον το ελάχιστο ποσό οπτικής ισχύος που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του δέκτη κάθε συνδρομητή, επιτρέποντας να μείνει αρκετή ισχύς στο δίαυλο για τους άλλους συνδρομητές. Κατά την ανοδική κατεύθυνση, η ισχύς η οποία εκπέμπεται από τους συνδρομητές, οδηγεί στη δημιουργία, μέσω των συνδυαστών, της συνολικής ανοδικής κυκλοφορίας σε μία ίνα που οδηγεί προς το τοπικό κέντρο. Τα προβλήματα που υπάρχουν οφείλονται στο γεγονός ότι οι διαφορετικές μεταξύ τους παγιδεύσεις δεν είναι τέλειες και εισάγουν ανακρίβειες στην ποσότητα της οπτικής ισχύος που παγιδεύτηκε. Έτσι, ο ισολογισμός της ισχύος είναι κρίσιμος σε αυτόν τον τύπο τοπολογίας γιατί πρέπει να προνοήσουμε για τις αστάθειες που παρουσιάζονται στην απόδοση της παγίδευσης.

Η αναβάθμιση του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικών μηκών κύματος, όπως και στην περίπτωση του παθητικού δένδρου. Τα θέματα αξιοπιστίας, συντήρησης και ασφάλειας είναι και αυτά παρόμοια με αντίστοιχα της τοπολογίας δέντρου. Όσον αφορά τη γεωγραφική μορφή, η τοπολογία αυτή προφανώς δεν είναι συμβατή με τη μορφή της υπάρχουσας υποδομής και έτσι η ανάπτυξη της θα απαιτούσε σημαντικό όγκο εργασίας.

Η τοπολογία του παθητικού διαύλου προσφέρεται και για κατανεμημένες υπηρεσίες, αν και ζητήματα οπτικού προϋπολογισμού που σχετίζονται με τον οπτικό παγιδευτή να φανούν στην περίπτωση αυτή κρίσιμα.

Η τοπολογία αυτή επιτυγχάνει καλύτερο μερισμό της ίνας σε σύγκριση με το οπτικό δέντρο. Ο αριθμός των οπτικών εξαρτημάτων είναι παρόμοιος αν και οι παθητικοί παγιδευτές μπορεί να είναι πιο ακριβοί από τους διαχωριστές λόγω πιο αυστηρών απαιτήσεων κατασκευής. Αν εξαιρέσουμε τον προβληματισμό για την αξιοπιστία των παγιδευτών τότε το κόστος λειτουργίας της τοπολογίας θα είναι παρόμοιο με την περίπτωση του παθητικού δέντρου.

## 2.2.4 Σύγκριση

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τοπολογιών που παρουσιάστηκαν παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα 1, έτσι ώστε να δοθεί μία συνολική εικόνα για τις τοπολογίες που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 1 Σύγκριση τοπολογιών οπτικών παθητικών δικτύων**

Κριτήριο	Δέντρο	Δίαυλος	Δακτύλιος
Ευκολία αναβάθμισης	Άριστη	Άριστη	Άριστη
Αξιοπιστία	Καλή	Καλή	Καλή
Συντήρηση	Άριστη	Άριστη	Άριστη
Ασφάλεια	Καλή	Καλή	Καλή
Εξέλιξη	Καλή	Μηδενική	Μηδενική
Συμβατότητα με υπάρχοντα δίκτυα	Καλή	Μηδενική	Μηδενική
Κατανεμημένες υπηρεσίες	Ευνοϊκό	Αδύνατον	Αδύνατον
Αρχικό κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό	Χαμηλό	Χαμηλό
Λειτουργικό κόστος	Χαμηλό	Χαμηλό	Χαμηλό

Η κατανομή του κόστους στο χρόνο, που απορρέει από την ευκολία αναβάθμισης των δικτύων αυτών, είναι ένα σαφές πλεονέκτημα των παθητικών δομών, αφού επιτρέπει τη μείωση του κόστους ανά συνδρομητή. Η δομή παθητικού δέντρου είναι προτιμητέα για το δίκτυο πρόσβασης. Αν και έχει ένα ελαφρό οικονομικό μειονέκτημα συγκρινόμενο με τη δομή παθητικού διαύλου / δακτυλίου, αυτό υπερκαλύπτεται από άλλους παράγοντες:

- την ευκολία αναβάθμισης σε μελλοντικά συστήματα
- την καταλληλότητα για παροχή διανεμημένων υπηρεσιών
- τη συμβατότητα με υπάρχουσες δομές
- τα απλά οπτικά εξαρτήματα (ειδικά οι διαχωριστές συγκρινόμενοι με τους παγιδευτές)

## 2.3 ΦΥΣΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

Ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης, ανεξαρτήτως τύπου, περιλαμβάνει

- Τη Μονάδα Οπτικού Δικτύου (Optical Network Unit – **ONU**) που εγκαθίσταται στην πλευρά του συνδρομητή. Αυτή περιέχει τον πολυπλέκτη στενής ζώνης (που διασυνδέεται με τις συσκευές του χρήστη) και τον πολυπλέκτη μεταφοράς (που διασυνδέεται με το δίκτυο μεταφοράς). Η ONU πολυπλέκει τα επιμέρους σήματα (συνήθως σε σήματα E1) και στη συνέχεια δημιουργεί το οπτικό σήμα το οποίο και διοχετεύει στο δίκτυο μεταφοράς. Στην αντίστροφη κατεύθυνση, η ONU λαμβάνει το οπτικό σήμα και εξάγει από αυτό τα σύνθετα ηλεκτρικά σήματα (π.χ. σήματα E1) από τα οποία αποπολυπλέκει τα επιμέρους σήματα (π.χ. τηλεφωνικό σήμα, σήμα ISDN κλπ.).
- Τον Οπτικό Τερματισμό Γραμμής (Optical Line Termination – **OLT**) που εγκαθίσταται στην πλευρά του κέντρου. Αυτή περιέχει πολυπλέκτες μεταφοράς (που διασυνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς) ενώ διασυνδέεται και με το τηλεφωνικό κέντρο (μέσω τυποποιημένης διεπαφής V5.1, V5.2) ή με τους κόμβους του δικτύου δεδομένων.
- Το οπτικό δίκτυο μεταφοράς ( optical transport network) που παρεμβάλλεται μεταξύ ONU και OLT.

Ο χώρος εγκατάστασης της ONU προσδιορίζει και το βαθμό εισαγωγής της ίνας στο συνδρομητικό βρόχο. Συγκεκριμένα:

- Αν η ONU εγκαθίσταται στη θέση του υπαίθριου κατανεμητή, το οπτικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως FTTC (Fiber To The Curb = ίνα μέχρι τον υπαίθριο κατανεμητή).
- Αν η ONU εγκαθίσταται στο εσωτερικό του σπιτιού ή, γενικά του κτηρίου, το οπτικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως FTTH (Fiber To The Home = ίνα μέχρι το σπίτι ή FTTB (Fiber To The Building = ίνα μέχρι το κτήριο)

Ένα δίκτυο πρόσβασης που βασίζεται σε PON έχει να αντιμετωπίσει διάφορες προκλήσεις κατά το σχεδιασμό του, ανεξαρτήτως της φυσικής του τοπολογίας, δένδρου, αστέρα κ.τ.λ. Το πρώτο βήμα είναι η επιλογή του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιηθεί για το στρώμα δεδομένων. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές : SONET, ATM, Ethernet, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οποίων φαίνονται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2 Σύγκριση πρωτοκόλλων στρώματος δεδομένων**

Πρωτόκολλο	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
SONET	Ανοχή στα λάθη Διαχείριση λαθών Χρησιμοποιείται σε πολλά δίκτυα	Ακριβό υλικό (hardware) Μεγάλο κόστος για τοπικό βρόχο Μη αποδοτικό για κίνηση δεδομένων
ATM	Είναι δυνατή η παροχή διαφορετικών QoS (Quality of Service) και εγγυημένου εύρους ζώνης στα δεδομένα που υπάρχουν στο OLT και στο ONU ώστε να είναι εφικτή η μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου.	Επειδή τα δεδομένα τόσο στο OLT όσο και στο ONU είναι σε πακέτα IP, για τη μεταφορά μέσω PON είναι απαραίτητος ο τεμαχισμός των πακέτων και η επανασυναρμολόγησή τους στο άλλο άκρο. Αυτό δημιουργεί επιπρόσθετο κόστος και πολυπλοκότητα στο δίκτυο.
Ethernet	Είναι αποδοτικό στη μεταφορά πακέτων IP. Διαδεδομένο και φθηνό υλικό. Υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων (100Mbps, 1Gbps, 10 Gbps)	Απαιτεί την ανάπτυξη τεχνικών QoS για τη μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου.

Ένα δεύτερο ζήτημα είναι ο διαχωρισμός των προς τα άνω καναλιών (από τα ONU στο OLT), ώστε να μην έχουμε σύγκρουση στην περίπτωση που δύο ONU μεταδώσουν σε τέτοιες χρονικές στιγμές που τα δεδομένα τους θα φτάσουν ταυτόχρονα στο OLT. Υπάρχουν τρεις δυνατοί τρόποι για την πολυπλεξία των δεδομένων: η πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM), η

πολυπλεξία χρόνου (TDM) και η πολυπλεξία κώδικα (CDM). Στον πίνακα 3 φαίνονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθεμιάς μεθόδου

**Πίνακας 3** Σύγκριση τεχνικών Πολυπλεξία

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
WDM	Παρέχει υψηλό εύρος ζώνης Είναι εύκολο στην υλοποίηση	Υψηλό κόστος, αφού κάθε ONU πρέπει να έχει ένα διαχωριστή μήκους κύματος. Δυσκολία αναβάθμισης, αφού το OLT έχει ένα πίνακα αντιστοίχισης για κάθε μήκος κύματος με κάθε ONU. Η προσθήκη ενός ONU θα ήταν δύσκολη.
TDM	Επιτρέπει σε κάθε ONU να χρησιμοποιεί ένα κλάσμα της χωρητικότητας του δικτύου. Μόνο ένας μεταδότης είναι απαραίτητος στο OLT ανεξαρτήτως του αριθμού των ONU.	Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα από το WDM. Απαιτεί τον συγχρονισμό των ONU.
CDM	Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των χρηστών. Παρέχει ασφάλεια.	Οι παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών καναλιών αυξάνονται όσο αυξάνουν οι χρήστες. Το υλικό πρέπει να έχει τη δυνατότητα να χειριστεί ρυθμούς δεδομένων πολύ υψηλότερους από αυτούς των χρηστών.

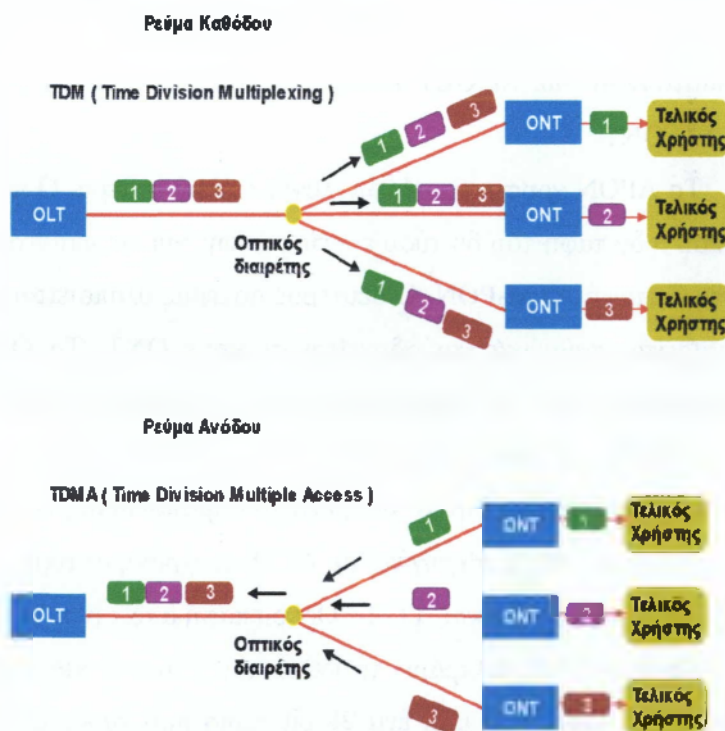


## 2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

### 2.4.1 APON

#### 2.4.1.1 Χαρακτηριστικά και λειτουργία

Ο συνδυασμός της τεχνολογίας PON με τον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM) αναπτύχθηκε το 1995 από την FSAN, διότι θεωρήθηκε τότε ως η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε υπηρεσίες των διαφόρων χρηστών, οπότε δημιουργήθηκαν τα APON τα οποία υποστήριζαν διάφορες αρχιτεκτονικές όπως τις FTTH, FTTB/C και FTTH/CAB. Η θεώρηση αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι εκείνη την εποχή οι λογικότερες και πιο συμφέρουσες επιλογές ήταν για τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων ο ATM και για την τοπολογία των δικτύων πρόσβασης τα δίκτυα PON. Ο ATM θεωρείτο ο καταλληλότερος για να υποστηρίξει πολλαπλά πρωτόκολλα και τα PON η οικονομικότερη ευρυζωνική οπτική λύση.



Σχήμα 2.5 Ρεύμα ανόδου-καθόδου δικτύου APON



Η πρόταση της FSAN έγινε αποδεκτή ως πρότυπο από την ITU και περιγράφεται στο ITU-T Rec.G.983, όπου δίνονται οι προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική, τον εξοπλισμό και τη διαστρωμάτωση του APON, και συγκεκριμένα η περιγραφή του υποστρώματος σύγκλισης μετάδοσης δεδομένων και του φυσικού υποστρώματος.

Στο APON με κριτήρια την απλότητα και το κόστος επιλέχθηκαν η τεχνική TDM για την προς τα κάτω (downstream) ζεύξη και για την πολλαπλή προσπέλαση στο μέσο για την προς τα άνω (upstream) ζεύξη η TDMA τεχνική. Στο σχήμα 5 φαίνονται τα βασικά στοιχεία του δικτύου: OLT, ONU/ONT και παθητικός οπτικός διαιρέτης.

Στο APON μία οπτική ίνα διαιρείται παθητικά μέχρι και 64 φορές με αποτέλεσμα 64 ONU/ONT να μοιράζονται τη χωρητικότητα της. Η παθητική διαίρεση επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται το εύρος ζώνης και κατ' επέκταση το κόστος. Το κόστος μειώνεται ακόμα περισσότερο με την ελάττωση του αριθμού των οπτο-ηλεκτρονικών στοιχείων που απαιτούνται για το OLT δεδομένου ότι μία διεπαφή μοιράζονται περισσότερα του ενός ONU/ONT.

Το APON χρησιμοποιεί τοπολογία διπλού αστέρα. Ο πρώτος αστέρας βρίσκεται στο OLT όπου η διεπαφή του δικτύου ευρείας ζώνης για τις υπηρεσίες διαιρείται λογικά και οδηγείται στη διεπαφή ATM-PON. Ο δεύτερος αστέρας υλοποιείται στον διαιρέτη όπου η πληροφορία διαιρείται παθητικά και οδηγείται σε κάθε ONT. Το OLT, που τοποθετείται στο κέντρο μεταγωγής, είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ του Δικτύου Πρόσβασης και των σημείων υπηρεσιών στο δίκτυο κορμού (backbone). Όταν δεδομένα από το δίκτυο φθάνουν στο OLT οδηγούνται στον παθητικό διαιρέτη χρησιμοποιώντας την τεχνική TDM. Το OLT λειτουργεί ως ATM τελικός μεταγωγέας με ATM-σύγχρονη οπτική (SONET) διεπαφή από την πλευρά του δικτύου κορμού και ATM-PON διεπαφή από την πλευρά του συνδρομητή.

Το κάθε ONT φιλτράρει τα κελιά που φθάνουν και ανακτά μόνο αυτά που προορίζονται για αυτό. Κάθε κελί έχει ένα 28-bit πεδίο που καθορίζει τις τιμές που αφορούν στη νοητή διαδρομή και στο νοητό δίαυλο, που αναφέρονται ως VPI/VCI. Κάθε OLT αρχικά στέλνει ένα μήνυμα στο ONT για να το προετοιμάσει να δεχτεί κελιά με συγκεκριμένες τιμές VPI/VCI. Τα πεδία VPI/VCI, της επικεφαλίδας του πακέτου ATM, χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της πολυπλεξίας πακέτων σε μια κοινή ζεύξη.

Δεδομένου ότι κατά το upstream κανάλι χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TDMA, κάθε ONT πρέπει να είναι συγχρονισμένο χρονικά με κάθε άλλο ONT. Αυτό πραγματοποιείται με μία διαδικασία που ονομάζεται αποστασιομέτρηση (gating) των ONU και βασίζεται στη

λογική ότι το OLT πρέπει να καθορίσει πόσο μακριά του βρίσκεται το κάθε ONT έτσι ώστε να του παραχωρήσει τη βέλτιστη χρονική σχισμή μέσα στην οποία θα πρέπει να εκπέμψει για να αποφευχθούν προβλήματα συγκρούσεων μετάδοσης. Στη συνέχεια το OLT στέλνει μήνυμα παραχώρησης μέσω των κελιών διαχείρισης PLOAM του φυσικού επιπέδου για να αναθέσει στο κάθε ONT συγκεκριμένες χρονικές σχισμές. Τέλος το ONT προσαρμόζει τη διεπαφή υπηρεσιών σε ATM και στη συνέχεια για την επικοινωνία με το OLT θα χρησιμοποιήσει τη τεχνική TDMA.

Στο APON χρησιμοποιείται μία οπτική ίνα τόσο για το upstream όσο και για το downstream κανάλι οπότε χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος-1550 nm για το downstream κανάλι και 1310nm για το upstream κανάλι. Συμπληρωματικά αναφέρουμε ότι θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μήκος κύματος η επιλογή όμως για δύο παρέχει καλύτερη οπτική απομόνωση για τους πομπούς και τους δέκτες laser και εξαλείφει την ανάγκη των ακριβών διαιρετών δέσμης φωτός.

Τα κελιά ATM μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό κύμα και στέλνονται στο δίκτυο PON. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο ηλεκτροοπτικό εξοπλισμό, ειδικό για τη μετάδοση κίνησης σε ταχύτητες Mbit/sec. Επιπλέον δεδομένου ότι υπάρχουν καθοδικά κανάλια κοινοποίησης (broadcast channels) στα PON χρησιμοποιούνται τεχνικές κρυπτογράφησης για να επιτευχθεί ασφάλεια.

Το APON δεν εξαρτάται από τις διάφορες υπηρεσίες με αποτέλεσμα να μπορούν να υλοποιηθούν τόσο οι κλασικές όσο και μελλοντικές υπηρεσίες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να μεταφέρει πακέτα Ethernet και να υποστηρίζει T1.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε στον όρο Broadband PON (BPON) που με την πάροδο του χρόνου εισήχθη και χρησιμοποιείται, είναι ταυτόσημος με τον όρο APON με τη μοναδική διαφοροποίηση ότι περιγράφονται δίκτυα που έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν επιπλέον ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες video.

#### *2.4.1.2 Οφέλη των APON*

Η συντήρηση της οπτικής ίνας είναι οικονομικότερη από αυτή των συστημάτων που βασίζονται στο χαλκό με αποτέλεσμα οι παροχείς να μειώνουν το κόστος και να αυξάνεται το κέρδος τους ή να έχουν τη δυνατότητα να χαμηλώνουν τις τιμές με αποτέλεσμα να γίνονται πιο ανταγωνιστικοί.

Στα ATM-PON οι οπτικές διεπαφές βρίσκονται στα OLT οπότε μία μόνο ίνα χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει μέχρι 64 τελικές τοποθεσίες χρηστών. Συνεπώς έχουμε μείωση των οπτικών διεπαφών από 64 σε 1 σε σχέση με τα σημείο – προς – σημείο (point-to-point) οπτικά συστήματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι στα APON πραγματοποιείται συσσώρευση κελιών ATM στα OLT. Η συσσώρευση αυτή επιτρέπει στους παροχείς να εξυπηρετούν πολύ περισσότερους χρήστες από ότι στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μόνο τεχνικές βασισμένες στο TDM. Έχει υπολογιστεί ότι η τεχνολογία APON μπορεί να είναι από 20 έως 40 τα εκατό οικονομικότερη από συστήματα πρόσβασης με κυκλώματα. Η οικονομία οφείλεται στην προαναφερθείσα συγκέντρωση του ATM και τη στατιστική πολυπλεξία σε συνδυασμό με την από κοινού χρήση των ενεργητικών όπτο-ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μεταξύ των διαιρετών.

Επιπλέον επειδή τα ONT μοιράζονται την ίδια ίνα και οπτικό διαιρέτη, μοιράζονται κατ' επέκταση και το εύρος ζώνης οπότε με κατάλληλα δυναμικής ανάθεσης του εύρους ζώνης πρωτόκολλα είναι δυνατό να εξυπηρετεί ο παροχέας ακόμα περισσότερους χρήστες.

Το APON έχει ως πυρήνα την τεχνολογία ATM συνεπώς ένα απλό σύστημα διαχείρισης μπορεί να προβλέψει το απαιτούμενο εύρος από άκρο σε άκρο. Ακόμα κρίνεται εύκολη η αύξηση του εύρους ζώνης μιας δεδομένης ζεύξης αν αυτό απαιτηθεί μελλοντικά. Επιπλέον μπορεί να εξυπηρετήσει σχεδόν κάθε επιθυμητή υπηρεσία.

Τέλος τα ενεργητικά εξαρτήματα του APON τοποθετούνται στο κτήριο του πελάτη ή στο κέντρο μεταγωγής και όχι σε εξωτερικά εγκατεστημένα τερματικά. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται οι δαπάνες για συστήματα εφεδρικών μπαταριών και τα ενεργητικά στοιχεία που πρέπει να είναι ανθεκτικά στις μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας.

## 2.4.2 EPON

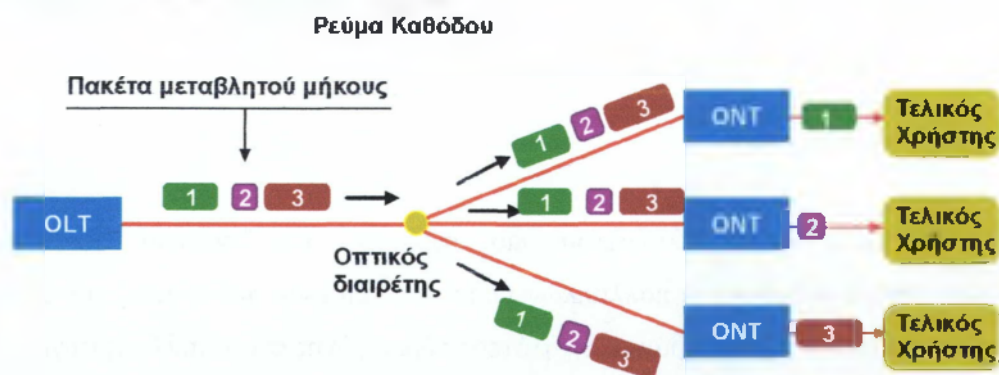
### 2.4.2.1 Χαρακτηριστικά και λειτουργία

Με το πέρασμα του χρόνου το APON θεωρήθηκε ως ακατάλληλη λύση για τον τοπικό βρόχο εξαιτίας της αδυναμίας του να υποστηρίξει υπηρεσίες video, το ανεπαρκές του εύρος, την πολυπλοκότητά του και το κόστος του. Η ευρεία χρήση του Ethernet έδινε την εντύπωση ότι η χρήση των Ethernet-PON (EPON) θα εξάλειφε την ανάγκη για μετατροπή από ATM σε

IP πρωτόκολλο στην σύνδεση WAN/LAN. Οι κατασκευαστές EPON εστίαζαν αρχικά στην ανάπτυξη FTTB και FTTC λύσεων με μακροπρόθεσμο στόχο την ανάπτυξη μίας FTTH λύσης για τη διανομή δεδομένων, video και φωνής πάνω από την ίδια πλατφόρμα. Το EPON παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, ελάττωση κόστους και ευρύτερες υπηρεσίες από το APON ενώ η αρχιτεκτονική του είναι παρόμοια και κληρονομεί πολλά χαρακτηριστικά του G.983 που αφορά στα APON.

Η κύρια διαφορά μεταξύ APON και EPON είναι ότι τα δεδομένα στο EPON μεταφέρονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 1518 bytes σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3 για το Ethernet. Ενώ στο APON σε κελιά ATM των 53 bytes όπως επιβάλλεται από το πρωτόκολλο ATM, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολη και όχι αποδοτική η μεταφορά σε ένα δίκτυο APON κίνησης που βασίζεται στο IP όπου τα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 65535 bytes. Για να μεταφερθεί η IP κίνηση στο APON τα πακέτα θα πρέπει να κατατμηθούν σε κομμάτια των 48-bytes και στο κάθε ένα από αυτά να προσαρτηθεί επικεφαλίδα ATM των 5-bytes. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, πολύπλοκη και προσθέτει επιπλέον κόστος στα ONT και OLT. Επιπλέον για κάθε τμήμα δεδομένων των 48-bytes έχουμε σπατάλη εύρους 5-bytes. Αντίθετα το Ethernet είναι φτιαγμένο για να καλύψει κίνηση IP και μειώνει δραστικά τις επικεφαλίδες σε σχέση με το ATM.

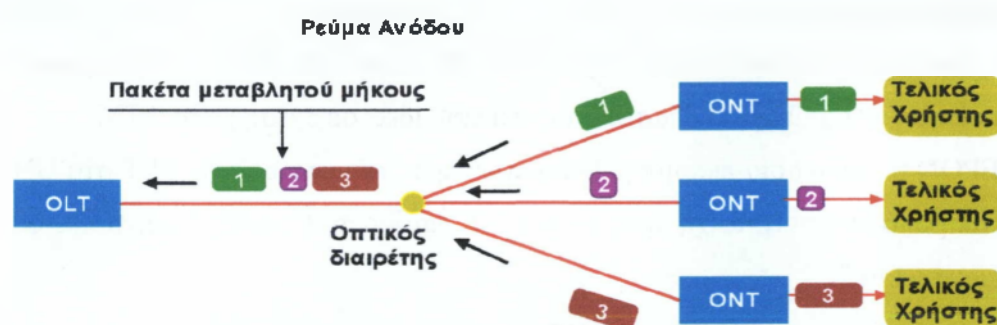
Στο EPON η διαδικασία εκπομπής δεδομένων προς τα κάτω από το OLT στα ONU είναι διαφορετική από την αντίστοιχη προς τα άνω. Οι διαφορετικές αυτές διαδικασίες φαίνονται στα σχήματα 6 και 7.



Σχήμα 2.6 Ρεύμα καθόδου δικτύου EPON

Συγκεκριμένα στο σχήμα 6 τα δεδομένα εκπέμπονται από το OLT προς τα ONU σε πακέτα μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος 1518 bytes, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3. Κάθε πακέτο φέρει μία επικεφαλίδα που καθορίζει το ONU στο οποίο προορίζεται το πακέτο. Επιπλέον κάποια πακέτα είναι δυνατό να προορίζονται για όλα τα ONU (broadcast

packets) ενώ άλλα για μία δεδομένη ομάδα ONU (multicast packets). Στο δεδομένο σχήμα η κίνηση χωρίζεται στον διαιρέτη σε τρία διαφορετικά σήματα που κάθε ένα φέρει όλα τα πακέτα. Όταν τα πακέτα φτάσουν σε ένα ONU τότε αυτό δέχεται μόνο τα πακέτα που προορίζονται για αυτό ενώ απορρίπτει όλα τα υπόλοιπα πακέτα. Συγκεκριμένα στο παράδειγμά μας το ONU-1 δέχεται τα πακέτα 1,2 και 3 αλλά διανέμει στο τελικό χρήστη-1 μόνο το πακέτο 1. Όσον αφορά την προς τα άνω ζεύξη η λειτουργία της οποίας συνοψίζεται στο σχήμα 7, χρησιμοποιείται τεχνική TDM, κατά την οποία χρονικές σχισμές εκπομπής ανατίθενται σε κάθε ONU. Οι χρονικές σχισμές είναι συγχρονισμένες έτσι ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις όταν τα πακέτα από διαφορετικά ONU συνδυάζονται στην κοινή ίνα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το ONU-1 εκπέμπει το πακέτο 1 στην πρώτη χρονική σχισμή, το ONU-2 εκπέμπει το πακέτο 2 στη δεύτερη μη επικαλυπτόμενη με την πρώτη χρονική σχισμή και το ONU-3 εκπέμπει το πακέτο 3 στη τρίτη μη επικαλυπτόμενη με την δεύτερη χρονική σχισμή.



Σχήμα 2.7 Ρεύμα ανόδου δικτύου EPON

#### 2.4.2.2 Οφέλη των EPON

Τα EPON θεωρήθηκαν απλούστερα, πιο αποδοτικά και λιγότερο δαπανηρά από οποιαδήποτε εναλλακτική λύση πολλαπλών υπηρεσιών δικτύου πρόσβασης την εποχή που προτάθηκαν. Τα EPON προσέφεραν το υψηλότερο εύρος ζώνης στους πελάτες συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο PON. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν να υποστηριχθούν περισσότεροι συνδρομητές από το EPON, να διατίθεται περισσότερο εύρος ανά συνδρομητή, καλύτερο QoS και να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών video.

Επιπλέον τα EPON οδηγούσαν σε μείωση των δαπανών μέσω της εξάλειψης των πολύπλοκων και ακριβών στοιχείων ATM και SONET και δραματική απλοποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Ακόμα η εξάλειψη του κόστους συντήρησης των εξωτερικών

εγκαταστάσεων δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά στοιχεία σε αυτές λόγω χρήσης των μεγάλης διάρκειας ζωής παθητικών εξαρτημάτων οδηγούσε σε μείωση της συνολικής δαπάνης. Τέλος, οι Ethernet διεπαφές εξάλειψαν την ανάγκη για επιπλέον DSL ή cable modems γεγονός που οδηγούσε σε περαιτέρω μείωση του κόστους.

Η τεχνολογία EPON δεδομένου ότι μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες, video και φωνής έδινε τη δυνατότητα στους παροχείς να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και κατ' επέκταση να αυξήσουν τα έσοδά τους. Συγκεκριμένα, εκτός τις υπηρεσίες POTS, T1, 10/100BASE-T και DS3 τα EPON υποστηρίζουν και εξελιγμένες λειτουργίες όπως επιπέδου 2 και 3 μεταγωγή και δρομολόγηση, voice over IP, IP multicast, VPN 802.1Q και κατανομή και μορφοποίηση του εύρους ζώνης. Συνοψίζοντας τα EPON εξαιτίας της απλότητας τους που προέρχεται από τη χρήση των τοπολογιών Ethernet, έδιναν τη δυνατότητα στους παροχείς να μπορούν εύκολα να αναπτύσσουν, να προβλέπουν και να διαχειρίζονται τις υπηρεσίες.

### 2.4.3 GPON

Το 2001 η FSAN ξεκίνησε μία προσπάθεια έτσι ώστε να αναγνωριστούν ως standard τα δίκτυα PON τα οποία λειτουργούσαν σε ταχύτητες μεγαλύτερες του 1Gbps. Εκτός από την ανάγκη να υποστηριχθούν υψηλότερα bit rates το συνολικό πρωτόκολλο θα έπρεπε να είναι ανοιχτό για επανεξέταση έτσι ώστε η τελική μορφή που αυτό θα λάμβανε να είναι η βέλτιστη και η πιο αποδοτική όσον αφορά στην υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών και λειτουργιών διαχείρισης, συντήρησης και πρόβλεψης. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας της FSAN ήταν μία νέα λύση στην αγορά οπτικών δικτύων πρόσβασης τα GPON που προσφέρουν πολύ υψηλά bit rates, έως και 2,048 Gbps, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν τη μεταφορά πολλαπλών υπηρεσιών, ιδιαίτερα δεδομένων και TDM, σε απλές διατάξεις και με μεγάλη αποδοτικότητα.

Το GPON διατηρεί, όπου αυτό είναι δυνατό, τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που χρονικά προηγήθηκαν αυτού και περιγράφονται στα ITU-T G.982 και τη σειρά G.983.x Recommendations έτσι ώστε να είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες PON που προηγήθηκαν. Τα GPON εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης που παρέχουν υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών φωνής, TDM, video, Ethernet, 10/100BASE-T, μισθωμένες γραμμές και επεκτάσεις χωρίς καλώδιο. Επίσης είναι δυνατό να

εξυπηρετήσουν αποστάσεις των 60 km μεταξύ ONT/ONU και OLT, η απόσταση όμως αυτή υπολογίζεται χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί του φυσικού μέσου και αποτελεί τη λογική απόσταση. Σε αντίθεση με την τιμή αυτή η μέγιστη φυσική απόσταση που είναι δυνατό να καλυφθεί είναι ίση με 20 km. Τα GPON υποστηρίζουν 7 διαφορετικά bit rates χρησιμοποιώντας για όλα το ίδιο πρωτόκολλο ([ITU1 03]). Οι δυνατοί συνδυασμοί για το upstream και το downstream κανάλι δίνονται στον παρακάτω πίνακα ( Πίνακας 4).

**Πίνακας 4** Συνδυασμοί bit rate για upstream/downstream κανάλι στα GPON

Upstream	Downstream
155 Mbit/s up	1.2 Gbit/s down
622 Mbit/s up	1.2 Gbit/s down
1.2 Gbit/s up	1.2 Gbit/s down
155 Mbit/s up	2.4 Gbit/s down
622 Mbit/s up	2.4 Gbit/s down
1.2 Gbit/s up	2.4 Gbit/s down
2.4 Gbit/s up	2.4 Gbit/s down

Όσον αφορά τη διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαρέτη μία ρεαλιστική υλοποίηση με βάση το κόστος είναι η διαίρεση 1:64, ενώ παρά το γεγονός αυτό προβλέποντας τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις το TC στρώμα πρέπει να λαμβάνει μέριμνα για διαίρεση 1:128.

Επιπλέον το GPON έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου ενώ παρέχει και ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για την downstream κίνηση. Συγκεκριμένα δεδομένου του multicast χαρακτήρα του μεριμνά ώστε να μην είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση των downstream δεδομένων από όλους τους χρήστες παρά μόνο από αυτόν για τον οποίο προορίζονται τα δεδομένα και επιτρέπει προς την κατεύθυνση αυτή οικονομικά αποδοτικές υλοποιήσεις.



## 2.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ APON, EPON & GPON

Στην παράγραφο αυτή θα δοθούν οι συγκρίσεις, με βάση τη σειρά εμφάνισής τους, των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες σε μία προσπάθεια να καταστεί συνολικά κατανοητή η μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη καθώς και οι ανάγκες που οδήγησαν στην εξέλιξη αυτή. Σε ένα πρώτο στάδιο θα συγκριθούν οι τεχνολογίες APON και EPON ενώ σε ένα δεύτερο οι EPON και GPON. Ακόμα στην ενότητα αυτή δίνονται συνοπτικά και τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες.

**Πίνακας 5** Σύγκριση APON-EPON

	EPON	APON
Εισηγητής	EFM (Ethernet in the First Mile)	NTT,BC,etc.
Χρονολογία	-	1995
Πρωτόκολλο Επιπέδου 2	Ethernet	ATM
Μεταφορά	Frame	Fixed Cell
Ταχύτητα	1.25/1.25 Gbps	155/622 Mbps
Κύριοι Παροχείς Υπηρεσιών	CLECs, ELECs, DLECs, MSOs, ILECs	FSAN ILECs
Standard	IEEE 803.2ah	FSAN , ITU G.983
Τεχνική Upstream Ζεύξης	TDMA, κ.α.	TDMA
IP Αποδοτικότητα	Καλή	Μέτρια
Αναβάθμιση	Ναι στα 10Gbps	Δύσκολη
ONU λειτουργίες	Δρομολόγηση , Μεταγωγή κ.α.	-
Κύρια Δαπάνη	Ethernet Switch	ATM Switch
Υπηρεσίες	POTS, Data VOIP, IP Video	POTS, Data

**Πίνακας 6 Σύγκριση APON-GPON**

	EPON	GPON
Εισηγητής	EFM (Ethernet in the First Mile)	FSAN
ODN classes ODN = Optical Distribution Network = Οπτικό δίκτυο διανομής	A,B	A, B, C Η χρήση της ODN class C οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους για την τοπολογία μέσω διπλασιασμού των end-users σε κάθε δένδρο PON
Ταχύτητα	1.25/1.25 Gbps	1.25,2.5Gbps(d)/155,622 Mbps ή 1.25,2.5Gbps(u)
Αναβάθμιση	Μία επιλογή τα 10Gbps	Πολλές επιλογές
Ταχύτητα Upstream Ζεύξης	1.25Gbps πάντα → περιττό κόστος διότι δεν είναι αναγκαία πάντα τέτοια ταχύτητα για την upstream ζεύξη	Καθορίζεται ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες
Απόδοση	Μικρή → μεγάλες IP επικεφαλίδες φόρτωμα του δικτύου	Μεγάλη
Κόστος	Η TDM τεχνική στα EPON και η μεταφορά φωνής υπαγορεύουν επιπλέον ανάγκες για Hardware/Software για τα VoIP schemes → Επιπλέον κόστος	Τα GPON υποστηρίζουν μεταφορά υπηρεσιών TDM (σε χαμηλούς E1/T1 και υψηλούς ρυθμούς STM1/OC3) στην πρωταρχική τους τυποποίηση και για αυτό τα standard για Jitter και καθυστερήσεις ικανοποιούνται χωρίς αύξηση του κόστους

## 2.6 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

Τα βασικά πρότυπα που περιγράφουν την απόδοση συστημάτων μπορούν να ενισχυθούν αν λάβουν υπόψη το οπτικό κέρδος και το θόρυβο. Ο θόρυβος που δημιουργείται από την ενίσχυση του σήματος περιγράφεται ως εξής:

$$\sigma_1^2 = \sigma_T^2 + \sigma_S^2 + \sigma_{ASE}^2 + \sigma_{S-ASE}^2 + \sigma_{ASE-ASE}^2$$

$$\sigma_0^2 = \sigma_T^2 + \sigma_S^2 + \sigma_{ASE}^2 + \sigma_{ASE-ASE}^2 \quad (7)$$

Όπου  $\sigma_1^2$ , η διαφορά θορύβου από την σχέση

$$SNR = \frac{\text{Μέση Ισχύς του σήματος}}{\text{Ισχύς θορύβου}} = \frac{P_s}{\sigma_{TOT}^2}$$

$I_P$  η μέση ισχύς του σήματος είναι ανάλογη της διόδου R και της ισχύς του σήματος που λαμβάνουμε, όπου  $P_{rec}$  η ισχύς του σήματος στο δέκτη. Ο όρος θόρυβος  $\sigma_{TOT}^2$  αντιπροσωπεύει το συνολική ισχύς του σήματος για μετάδοση "1" και "0".

Ο οπτικός ενισχυτής λαμβάνει τα οπτικά σήματα και απλώς τα ενισχύει κατά συνέπεια δεν γίνεται επεξεργασία του οπτικού σήματος όπου γίνεται στους αναμεταδότες - αναγεννητές. Οι οπτικοί ενισχυτές βασίζονται στον ίδιο μηχανισμό που χρησιμοποιείται από τα laser με την μόνη διαφορά ότι ο ενισχυτής δεν είναι παρά ένα laser χωρίς ανάδραση. Οι οπτικοί ενισχυτές βασίζονται στην οπτική απολαβή που πραγματοποιείται όταν ο ενισχυτής υφίσταται άντληση για να πετύχει αντιστροφή του πληθυσμού. Η οπτική απολαβή εξαρτάται από τη συχνότητα του προσπίπτον φωτός και από την ένταση της τοπικής δέσμης σε οποιοδήποτε σημείο στο εσωτερικό του ενισχυτή.

$$\text{Συντελεστής απολαβής } g(\omega) = \frac{g_0}{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau_c^2 + P/P_s} \quad (1)$$

Όπου  $g_0$  είναι η μέγιστη τιμή της απολαβής,  $\omega$  είναι η οπτική συχνότητα του προσπίπτοντος σήματος,  $\omega_0$  είναι η ατομική συχνότητα μετάβασης  $P$  είναι η οπτική ισχύς του σήματος που ενισχύεται και  $P_s$  ισχύς κόρου. Η ισχύς κόρου εξαρτάται από τις παραμέτρους του μέσου απολαβής[1].

Σχετικά τώρα με το φάσμα της απολαβής και εύρος ζώνης του ενισχυτή θεωρούμε ότι  $P/P_s \ll 1$  έτσι η εξίσωση (1) γίνεται  $g(\omega) = \frac{g_0}{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau_c^2}$  (2) συνεπώς μέγιστη απολαβή υφίσταστε όταν η προσπίπτουσα συχνότητα  $\omega$  συμπίπτει με την  $\omega_0$  ατομική συχνότητα μετάβασης. Το εύρος ζώνης της απολαβής ορίζεται σαν το πλήρες εύρος του μισού του

μεγίστου (FWHM) φάσματος απολαβής  $G^{(opt)}$ . Η απολαβή του ενισχυτή ή ο συντελεστής ενίσχυσης ορίζεται ως εξής  $G = \frac{P_{out}}{P_{in}}$  (3)

όπου  $P_{out}$  και  $P_{in}$  οι ισχύς εξόδου και εισόδου του ενισχυτή αντίστοιχα.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό σημείο είναι ο θόρυβος του ενισχυτή. Οι ενισχυτές υποβαθμίζουν το λόγο σήματος-προς-θόρυβο (SNR) του ενισχυμένου σήματος λόγω της αυθόρμητης εκπομπής μετάδοσης που προσθέτει θόρυβο στο σήμα, κατά την διάρκεια της ενίσχυσης. Αυτή η υποβάθμιση του SNR μπορεί να αποδοθεί ποσοτικά μέσω της παραμέτρου  $F_n$ , που ονομάζεται δείκτης θορύβου του ενισχυτή σε αναλογία με τους ηλεκτρονικούς ενισχυτές[1]

$$F_n = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} \quad (4)$$

Το SNR αναφέρεται στην ηλεκτρική ισχύ που υποβαθμίζεται όταν το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το SNR εισόδου δίνεται από τη σχέση(5)

$$(SNR)_{in} = \frac{i^2}{\sigma_s^2} = \frac{(R P_{in})^2}{2q R P_{in} P_{\Delta f}} \quad (5)$$

Όπου  $R$  αποκρισιμότητα ενός φωτοανιχνευτή (για ιδανικό φωτοανιχνευτή η αποκρισιμότητα είναι μονάδα) και  $\Delta f$  το εύρος ζώνης του ανιχνευτή.

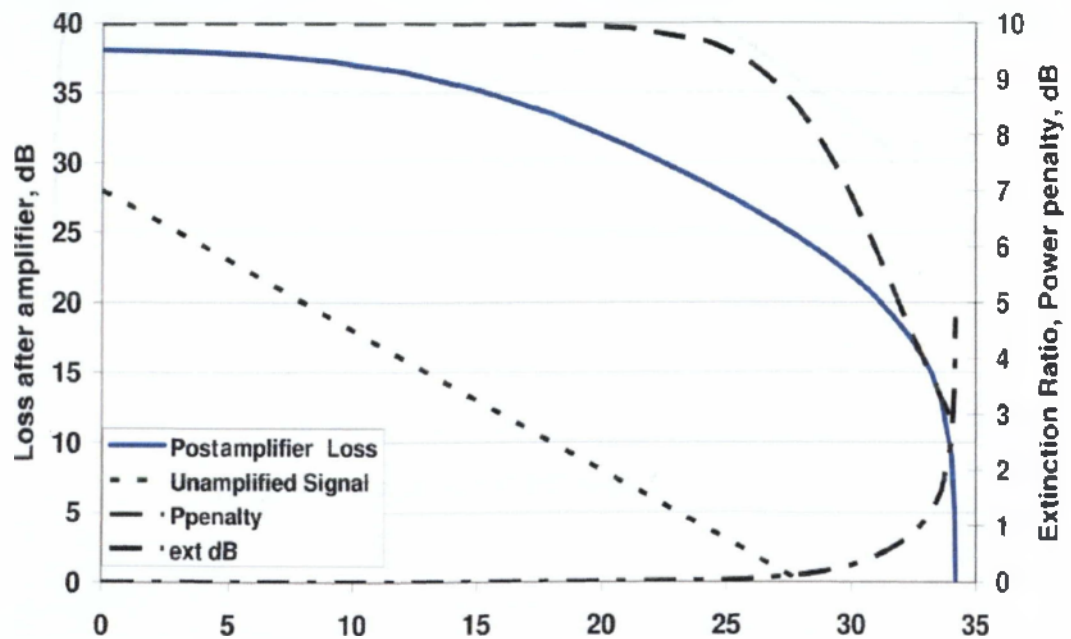
Το SNR εξόδου σήματος δίνεται από την σχέση

$$(SNR)_{out} = \frac{i^2}{\sigma_s^2} = \frac{K G P_{in}^2}{\sigma_s^2} \quad (6)$$

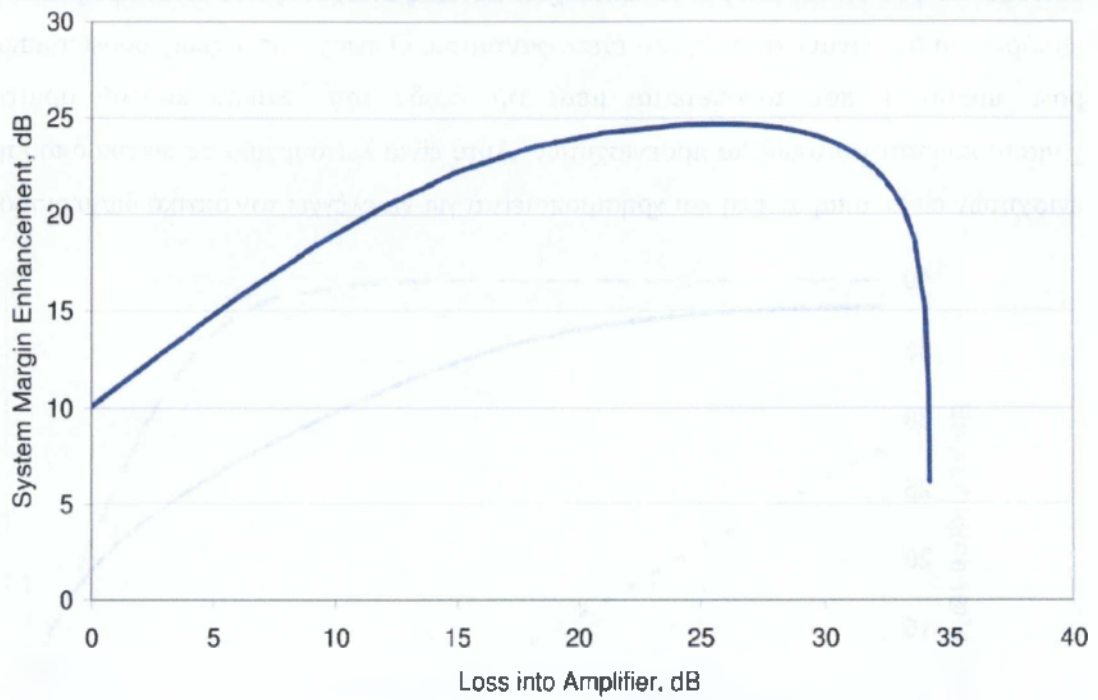
Θα αναφέρουμε δυο περιπτώσεις ενισχυμένων παθητικών οπτικών δικτύων, στην μια όπου η τεχνολογία βασίζεται σε μία δίοδο και στην δεύτερη όπου οι δέκτες είναι βάση APD. Και στις δύο περιπτώσεις η επιρροή της δύναμης που διαβιβάζεται κατά τη μετάδοση  $\theta$  έχει εξεταστεί. Αυτό παράγει μια σημαντική επίδραση, ιδιαίτερα όπου το περιορισμένο οπτικό φίλτράρισμα υιοθετείται. Σε ένα τυπικό Παθητικό Οπτικό Δίκτυο έχει απώλειες λόγω του θορύβου και της απώλειας ER. Το όριο ισχύος ενός τέτοιου δικτύου δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 8-9 db. Περίπου 2-3 db απώλειες χάνονται λόγω θορύβου και άλλα 6db εξαιτίας του γεγονότος ότι το ER μειώνεται. Αυτό, δείχνει ότι η μείωση του λαμβανόμενου σήματος είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες απόδοσης

Σε γενική ανάλυση αν ένας ενισχυτής τοποθετηθεί κατάλληλα ο συνολικός θόρυβος του συστήματος είναι ο ίδιος με το κέρδος του ενισχυτή. Ένας τοποθετημένος οπτικός ενισχυτής με 25db κέρδος θα ενίσχυε ένα Παθητικό Οπτικό Δίκτυο με οπτικό διαμερισμό περισσότερο από 256 (21 db) σε συνδυασμό με ένα δίκτυο backhaul μήκους 60 χιλιομέτρων. (<25db σε 1.3  $\mu\text{m}$ ) με 4-5 db θορύβου. Το παραπάνω υπερβαίνει τις δυνατότητες ενός

δικτύου GPON. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί με τους ενισχυτές που είναι προς διάθεση στο εμπόριο και δεν είναι ότι πιο τρελό έχετε φανταστεί. Ο ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή post amplifier), που τοποθετείται μετά την έξοδο του οπτικού πομπού ορίστηκε να χρησιμοποιείται για απώλεια προενισχυτών. Αυτό είναι λειτουργικό σε δίκτυα όπου η χρήση ενισχυτών είναι απαραίτητη και χρησιμοποιείται για να ελέγχει τον οπτικό διαμερισμό.



Σχήμα 2.8 Δυναμικό Εύρος Ενισχυμένου PON



Σχήμα 2.9 Απώλειες στον ενισχυτή

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

### 3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ FIBER TO THE HOME – (FTTH)

#### 3.1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τη δομή ανταγωνισμού και βιομηχανίας στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής Fiber To The Home (FTTH) δηλαδή οπτική ίνα απευθείας στο σπίτι. Παρουσιάζουμε τα πρότυπα δαπανών εφαρμοσμένης μηχανικής, τα οποία δείχνουν ότι η FTTH είναι μια τεχνολογία με μειωμένο το βιομηχανικό κόστος, καθιστώντας ανταγωνιστικές τις υπηρεσίες της. Με βάση τον ανταγωνισμό (ή το ανταγωνιστικό επίπεδο των υπηρεσιών) η FTTH μπορεί να συμβεί στα κατώτερα επίπεδα στρώματος (σύνδεσης ή μεταφοράς δεδομένων) μέσω ανεξάρτητων ανενεργών οπτικών ινών και στο ανώτατο επίπεδο στρώματος (ήχου, βίντεο και δεδομένων) μέσω του λογικού στρώματος διαχωρισμού (ή της ανοικτής πρόσβασης). Οι αρχιτεκτονικές FTTH διαφέρουν στο βαθμό στον οποίο υποστηρίζουν το διαχωρισμό και επομένως η έκταση του μη βασισμένου ανταγωνισμού σε FTTH εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του κοινόχρηστου δικτύου, πέρα από το οποίο οι διάφοροι πάροχοι προσφέρουν την υπηρεσία. Μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών αρχιτεκτονικών FTTH που εξετάζονται, θεωρείται ότι η αρχιτεκτονική ενιαίου μήκους κύματος του Παθητικού Οπτικού Δικτύου όπου έχουν απομονωθεί τοποθετημένοι διαχωριστές (splitters) έχει την πιο οικονομική εγκατάσταση οπτικών ινών, αλλά επιτρέπει τον διαχωρισμό μόνο στο λογικό επίπεδο.

Επομένως, ένα Παθητικό Οπτικό Δίκτυο ‘ανοιχτής πρόσβασης’ στις υπηρεσίες υψηλότερου στρώματος όπως ο ήχος, η ψηφιακή εικόνα και τα δεδομένα, δεν διευκολύνει την μεταφορά δεδομένων στις υπηρεσίες κατώτερου στρώματος ή στην μετάδοση αναλογικών σημάτων. Αντίθετα, η αρχιτεκτονική Home Run Fiber έχει μεγαλύτερο κόστος λόγω μεγαλύτερης ποσότητας οπτικής ίνας, αλλά μέγιστο εύρος ζώνης. Άρα, υποστηρίζει ανάλογα με την επιλογή του συνδρομητή, τόσο υπηρεσίες του στρώματος σύνδεσης δεδομένων (μέσω UNE), όσο και υπηρεσίες στο ανώτατο στρώμα όπως ο ήχος, αναπαραγωγή βίντεο και μεταφορά δεδομένων (μέσω ανοικτής πρόσβασης).

Αυτό το κεφάλαιο προσδιορίζει τις στρατηγικές επέκτασης, οι οποίες μπορούν να διευκολύνουν τις φυσικές εγκαταστάσεις συστημάτων οπτικών ινών με δαπάνες πολύ χαμηλότερες από την αρχιτεκτονική Home Run Fiber. Ο φυσικός διαχωρισμός εγκατάστασης καθίσταται δυνατός για τον βέλτιστο υπολογισμό του συνόλου των οπτικών ινών. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με κόστος μεγαλύτερου μήκους βρόχου διανομής (αντί για curb). Στην ιδανική περίπτωση, τόσο οι παθητικοί όσο και οι ενεργοί διαχωριστές μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα βέλτιστο σύστημα οπτικών ινών.

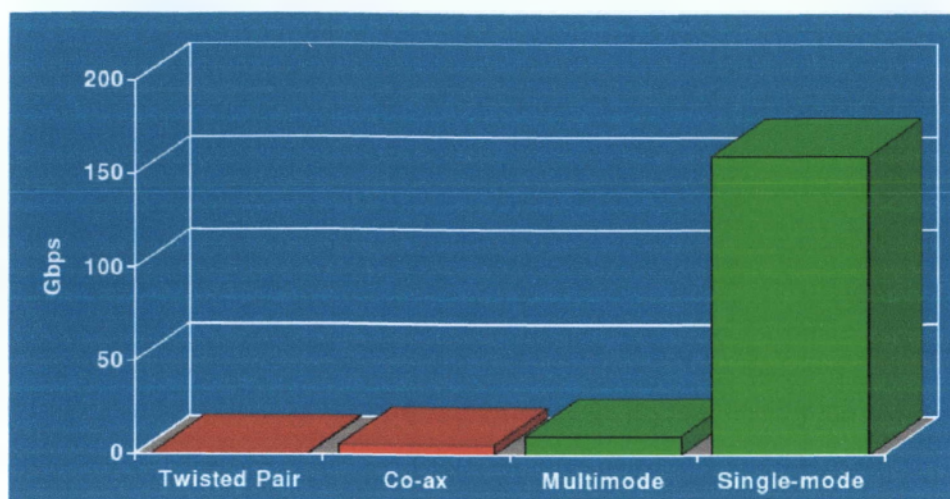
Ένα τέτοιο σύστημα οπτικών ινών, πιθανά, θα έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει και την αρχιτεκτονική σημείου - προς- σημείου (P2MP) ως σημείο σε σημείο (P2P) δηλαδή και τις 2 αρχιτεκτονικές passive star και Run Home Fiber. Η έλλειψη τέτοιας επένδυσης μέχρι σήμερα, έχει οδηγήσει έναν μεγάλο αριθμό χωρών να επενδύσει άμεσα στα συστήματα FTTH.

### 3.1.2 Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας FTTH

Η τεχνολογία ίνα μέχρι το σπίτι (Fiber To The Home) έχει πρακτικά απεριόριστη χωρητικότητα πληροφορίας. Είναι εύκολη σε αναβαθμίσεις, το μέσο δεν περιορίζει την εισαγωγή νέων τεχνικών μετάδοσης. Η εγκατάσταση της είναι σχετικά εύκολη. Επιτρέπει συμμετρικές υπηρεσίες και έχει περιορισμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (σε σχέση με άλλες ενσύρματες τεχνολογίες ευαίσθητες στη γήρανση, κλιματικούς, περιβαλλοντικούς παράγοντες κ.α.)

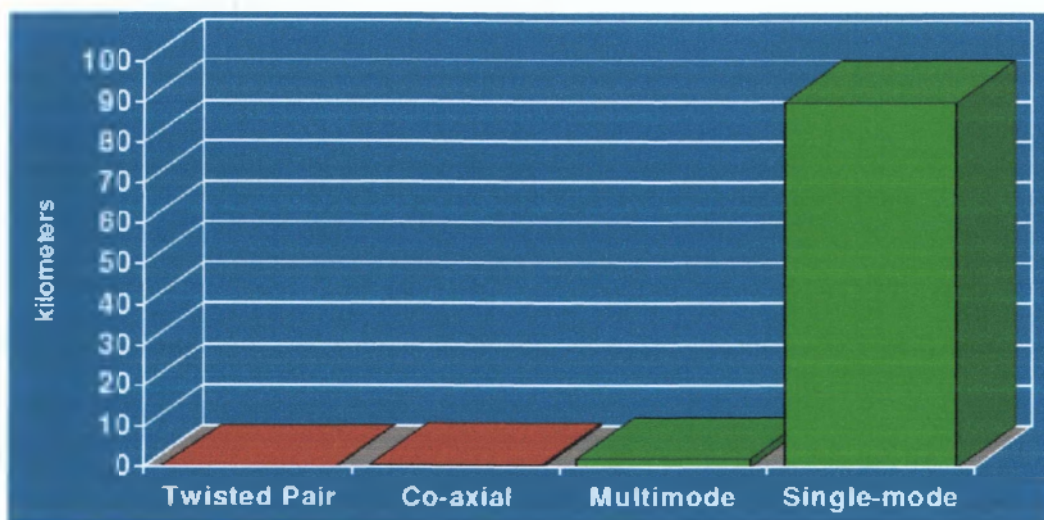
Τέλος, έχει όλα τα πλεονεκτήματα των οπτικών επικοινωνιών δηλαδή: παρέχουν τεράστιο εύρος ζώνης, πολύ χαμηλή εξασθένηση των σημάτων κατά την μετάδοση τους, την αναισθησία των οπτικών ινών σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, την ασφάλεια που παρέχουν καθώς και τις μικρές διαστάσεις και το μικρό βάρος των οπτικών ινών.





\* Τυπικές τιμές χωρητικότητας για γραμμές 100 m

Σχήμα 3.1



\* Τυπικές τιμές για γραμμές χωρητικότητας 1 Gbps

Σχήμα 3.2

### 3.2 ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ FIBER TO THE HOME

Οι τεχνολογίες FTTx : Fiber To The x, όπου x:

- Curb, Cabinet
- Building
- Home

ανάλογα με το βαθμό προσέγγισης του συνδρομητή με ένα είναι οπτικά δίκτυα πρόσβασης τα οποία στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του μήκους του χάλκινου βρόχου, φέρνοντας το ευρυζωνικό μέσο μετάδοσης (οπτική ίνα) κοντά στον συνδρομητή.

Τα δίκτυα FTTx μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν στηρίζονται:

- Μερικώς (Οπτική ίνα στην καμπίνα – Fiber To The Cabinet (FTTC))-
- Εξ' ολοκλήρου (ίνα μέχρι το κτίριο – Fiber To The Building (FTTB))

σε τεχνολογίες οπτικών ινών.

#### 3.2.1 Οπτική ίνα στην καμπίνα – Fiber To The Cabinet (FTTC)

- Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι μία καμπίνα (ONU) στο πεζοδρόμιο και εξυπηρετεί τους πελάτες της γύρω περιοχής μέσω δικτύου χαλκού, συνήθως του υπάρχοντος τοπικού βρόχου.
- Η περίπτωση αυτή περιορίζει το μήκος του χαλκού σε μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα, επιτρέποντας ταχύτητες πρόσβασης μέχρι μερικές δεκάδες Mb/s, π.χ χρησιμοποιώντας συστήματα VDSL.
- Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού συνδρομητών οι οποίοι είναι συγκεντρωμένοι σε μια μικρή περιοχή (π.χ οικοδομικό τετράγωνο), και έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις ταχύτητας πρόσβασης.

### 3.2.2 Οπτική ίνα στο κτίριο – Fiber To The Building (FTTB)

- Η οπτική ίνα μπαίνει στο κτίριο των συνδρομητών (συγκρότημα γραφείων, πολυκατοικία, σπίτι) και η ONU τοποθετείται εσωτερικά μέσα στο κτίριο εξυπηρετώντας τους συνδρομητές του κτιρίου.
- Το μήκος του χαλκού περιορίζεται σε αυτό της δομημένης καλωδίωσης του κτιρίου ή ακόμη και μηδενίζεται (οπτική εσωτερική καλωδίωση), επιτρέποντας πρακτικά οποιαδήποτε ταχύτητα πρόσβασης.
- Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεμονωμένων μεγάλων επιχειρήσεων με μεγάλες απαιτήσεις ταχύτητας ή κτιρίων με μεγάλη συγκέντρωση μικρών συνδρομητών (π.χ. εμπορικά και επαγγελματικά κέντρα).

## 3.3 ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΙΝΑΣ

### 3.3.1 Εισαγωγή

Μέχρι σήμερα, η παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω του ήδη υπάρχοντος δημοσίου δικτύου μέσω συρμάτων χαλκού με την χρήση τεχνολογιών xDSL αποτελούσε σχεδόν μονόδρομο για κάθε πάροχο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Όμως οι περιορισμοί των χάλκινων δικτύων αρχίζουν σταδιακά να κάνουν την εμφάνισή τους την στιγμή που πλέον η προσφορά ευρυζωνικών συνδέσεων αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών για ολοένα μεγαλύτερες ταχύτητες σύνδεσης.

### 3.3.2 Σύγκριση Χαλκού – Ίνας

Στην παράγραφο αυτή θα δοθούν οι συγκρίσεις, μεταξύ των οπτικών ινών και των τεχνολογιών του Χαλκού που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα σήμερα σε μία προσπάθεια να καταστεί συνολικά κατανοητή η μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη καθώς και οι ανάγκες που οδήγησαν στην εξέλιξη αυτή. Όσες χώρες παραμένουν στα χάλκινα καλώδια θα πρέπει να αναμένουν ραγδαία τεχνολογική υποβάθμιση απέναντι στις χώρες που θα μεταβούν σε οπτικά δίκτυα.

Ήδη, από το 2012 οι δικτυακές εφαρμογές όπως βίντεο, τηλεδιάσκεψη υψηλής ευκρίνειας θα απαιτούν ταχύτητα πολύ υψηλότερη από αυτή που προσφέρουν τα δίκτυα χαλκού.

Άλλος ένα μύθος είναι ότι το ADSL μπορεί να εξελίσσεται καλύπτοντας τις ανάγκες των χρηστών. Έγιναν αρκετές ερευνητικές προσπάθειες που εστίαζαν στη μείωση του θορύβου από τα χάλκινα καλώδια. Ωστόσο, η φύση του χαλκού αδυνατεί να προσφέρει αξιόπιστα τις ταχύτητες που απαιτούν οι χρήστες. Όσοι επιμένουν πως οι οπτικές ίνες είναι το μόνο μέσο μετάδοσης που αντέχει στο χρόνο για την κάλυψη των αναγκών των χρηστών.

Χαρακτηριστικά η Viviane Reding -Ευρωπαϊός Επίτροπος για τη Δικαιοσύνη, τα Θεμελιώδη Δικαιώματα και την Ιθαγένεια - είχε τονίσει “Fibre deployment... is in fact the only fully future proof approach in terms of ability to deliver more and more capacity as techniques improve and as demand grows.

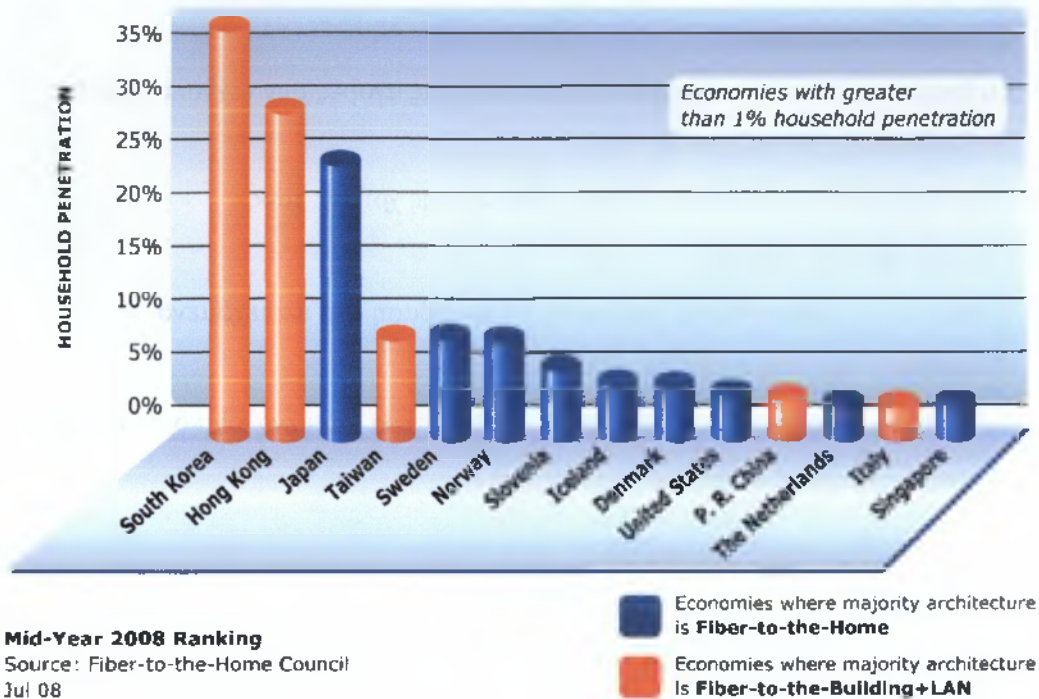
Άλλος ένας μύθος είναι ότι τα δίκτυα οπτικών ινών είναι αναγκαία μόνο για επιχειρηματικούς χρήστες. Πρώτον, η εξαρχής εγκατάσταση οπτικής καλωδίωσης σε νέα κτίρια είναι πιο οικονομική. Στη Γαλλία για παράδειγμα υπάρχει κανονισμός που καθιστά υποχρεωτική την οπτική καλωδίωση σε νέα κτίρια.

Όλες οι προηγμένες χώρες έχουν αντιληφθεί τη σπουδαιότητα της χρήσης οπτικών ινών. Στην Ελλάδα διαβάζουμε και ακούμε πως η ελληνική αγορά δεν απαιτεί ακόμα μεγάλες ταχύτητες σύνδεσης στο διαδίκτυο. Κάτι τέτοιο δεν βασίζεται πουθενά αφού τα τελευταία χρόνια με την αύξηση της μέσης ταχύτητας πρόσβασης, η ζήτηση αυξήθηκε. Ακόμα, οι νέες απαιτητικές εφαρμογές όπως η ηλεκτρονική εκπαίδευση αλλά και η on-line διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων (live streaming) απαιτούν γρήγορη ταχύτητα.

Επίσης, όλοι έχουμε ακούσει ότι το κόστος του FTTH είναι απαγορευτικό. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με συρρίκνωση του κόστους οπτικής σύνδεσης ανά οικία. Τέλος μιλάμε για μια επένδυση με ορίζοντα 30 ετών με μειωμένο κόστος λειτουργίας και πλήρης αξιοπιστία συνδέσεων.

Ένα ζεύγος χάλκινων καλωδίων μεταφέρει ~6 τηλεφωνικές συνδιαλέξεις (ADSL@384Kbps). Από την άλλη, ένα ζεύγος οπτικών ινών μεταφέρει >2,5 εκατ. τηλεφωνικές συνδιαλέξεις (64channels @ 2.5Gb/s). Ακόμα, ένα οπτικό καλώδιο ισοδύναμης χωρητικότητας με χάλκινα καλώδια θα έχει λιγότερο 1% από το βάρος και το μέγεθος του χαλκού. Η οπτική ίνα χρησιμοποιεί φωτεινά σήματα, διηλεκτρικό μη αγώγιμο (nonconductive) υλικό. Εύρωστο απέναντι σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI immune). Χαμηλή διαστολή με την θερμοκρασία, είναι από εύθραυστο σταθερό υλικό και χημικά σταθερό.

### Economies with the Highest Penetration of Fiber-to-the-Home / Building+LAN



Σχήμα 3.3 Οικονομίες με την υψηλότερη διείσδυση σε FTTH

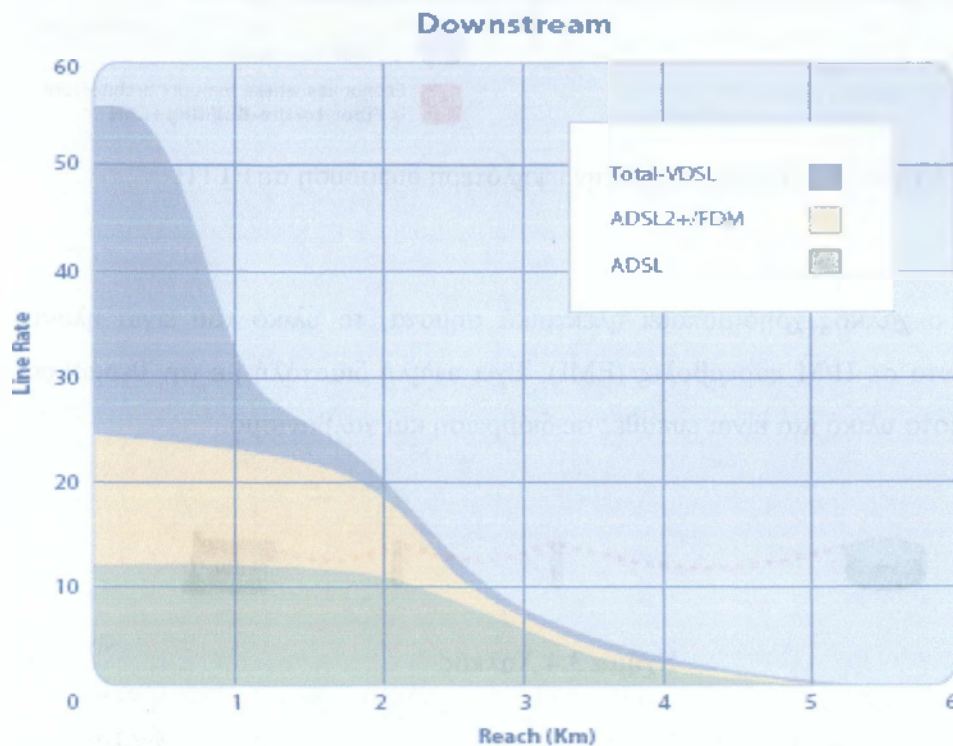
Από την άλλη ο χαλκός χρησιμοποιεί ηλεκτρικά σήματα, το υλικό του είναι ηλεκτρικά αγώγιμο. Ευάλωτο σε Η/Μ παρεμβολές (EMI). Έχει υψηλή διαστολή με την θερμοκρασία, είναι από εύπλαστο υλικό και είναι ευπαθές σε διάβρωση και γαλβανισμό.



Σχήμα 3.4 Χαλκός

Παρά τα ξεκάθαρα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών έναντι των εναλλακτικών τεχνολογιών χαλκού και ασύρματων δικτύων οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι εμφανίζονται διστακτικοί για επενδύσεις ευρείας κλίμακας. Παράγοντες που επηρεάζουν:

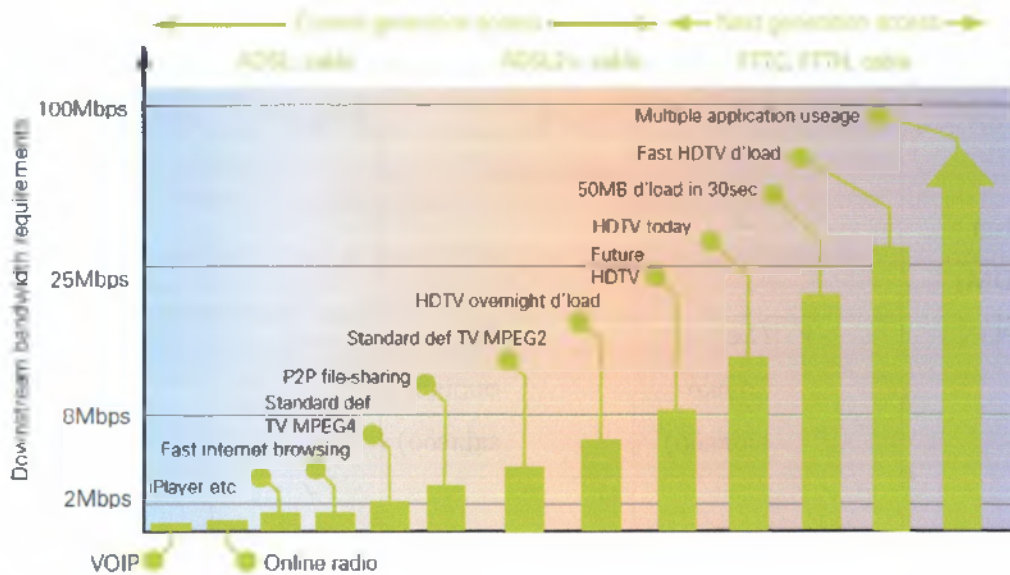
- Το ρυθμιστικό πλαίσιο
- Οι δομικές αλλαγές που πραγματοποιούνται στις αγορές των τεχνολογιών της πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών.
- Οι αλλαγές των ευρυζωνικών υπηρεσιών και της χρήσης τους
- Οι τεχνολογικές εξελίξεις
- Η ανάγκη των χρηστών για γρηγορότερη πρόσβαση στο περιεχόμενο
- Το κόστος
- Η ψηφιακή ετοιμότητα (e-readiness) και γενικότερα το τεχνολογικό επίπεδο μιας χώρας.



Σχήμα 3.5 Ταχύτητα ανάλογα με την απόσταση

Τέλος, η απαίτηση των χρηστών για ακόμα μεγαλύτερο εύρος ζώνης η οποία μπορεί να ικανοποιηθεί μόνο από το FTTx είναι αρκετά ικανοποιητική. Μερικοί πολύ σημαντικοί λόγοι γ' αυτό είναι οι ευρυζωνικές υπηρεσίες όπως η τηλεδιάσκεψη, τα πολυμέσα, η ψυχαγωγία, η εκπαίδευση από απόσταση και το βίντεο κατά απαίτηση. Σύμφωνα, βέβαια με την έως

σήμερα εμπειρία, η ταχύτητα φαίνεται να είναι ο σημαντικότερος οδηγός για τις νέες ευρυζωνικές εφαρμογές.



Σχήμα 3.6 Πρόσβαση σήμερα και μελλοντικά

### 3.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ FTTx

#### 3.4.1 Γενικά

Η ίνα στις εγχώριες δικτυακές αρχιτεκτονικές μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κύριες κατηγορίες: Home Run Fiber (όπου μια αφιερωμένη ίνα συνδέει κάθε σπίτι με CO4) και τις αρχιτεκτονικές αστεριών (όπου πολλά σπίτια μοιράζονται μια ίνα feeder5 μέσω ενός μακρινού κόμβου που εκτελεί τη μετατροπή, να πολλαπλασιάσει ή το διαχωρισμό - συνδυάζοντας τις λειτουργίες και βρίσκεται μεταξύ των σπιτιών που εξυπηρετούνται και του καφάο). Οι αρχιτεκτονικές αστεριών μπορούν να είναι ενεργές ή ενεργητικές ανάλογα με εάν ο μακρινός κόμβος τροφοδοτείται ή όχι. Περαιτέρω, το παθητικό αστέρι (passive star) μπορεί να είναι ένα ενιαίο σύστημα μήκους κύματος (όλα τα σπίτια που εξυπηρετούνται από ένα κοινό wavelength) ή ένα πολλαπλασιασμένο (WDM) τμήμα σύστημα μήκους κύματος (όπου κάθε σπίτι εξυπηρετείται από ένα διαφορετικό μήκος κύματος). Αυτό το τμήμα εξετάζει τις ακόλουθες αρχιτεκτονικές FTTH:

- (i) Home Run Fiber
- (ii) Active Ethernet

(iii) PON

(iv) WDM PON.

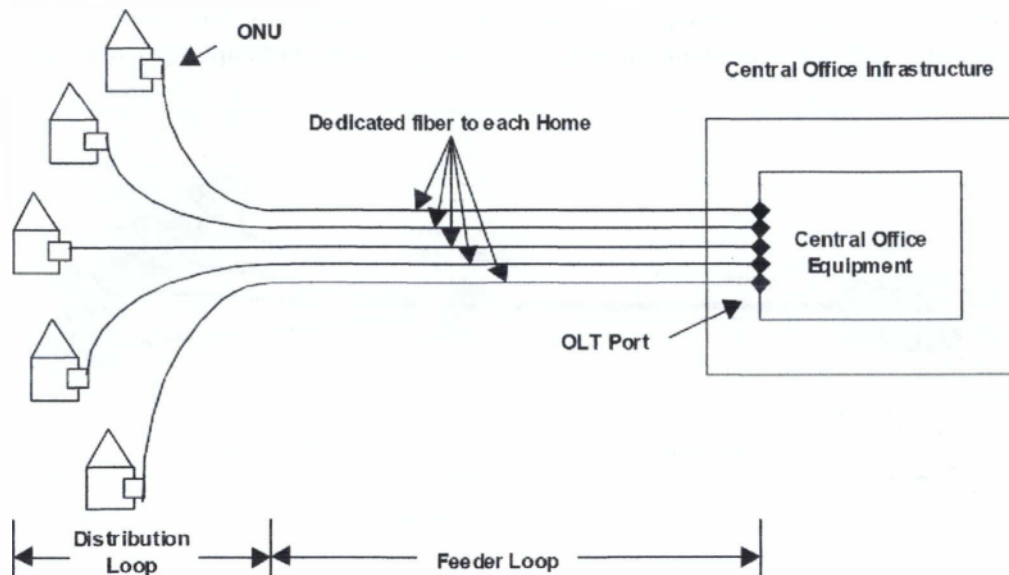
Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά Αρχιτεκτονικών

Αρχιτεκτονικές	Point-to-point	Point to multipoint	Ενεργό	Παθητικό
Home Run	✓			✓
PON(TDM)		✓		✓
WDM PON	✓ (Σε λογικό επίπεδο)	✓ (Σε φυσικό επίπεδο)		✓
Active Ethernet	✓		✓	

### 3.4.2 Home Run Fiber

Έχουμε ένα παθητικό point to point δίκτυο, το οποίο παρέχει αφοσιωμένη, οπτική ίνα από το σημείο από το σημείο παρουσίας του παρόχου (point-of-presence) μέχρι το χρήστη. Η διαθέσιμη χωρητικότητα της οπτικής ίνας δεν διαμοιράζεται και άρα το μοντέλο αυτό προσφέρει τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα και άρα μελλοντική κλιμακωσιμότητα όσον αφορά τις ανάγκες του χρήστη. Η μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να υποστηριχτεί εξαρτάται μόνο από τις ηλεκτρονικές διατάξεις που είναι εγκαταστημένες στο χρήστη και στο σημείο παρουσίας του παρόχου.





Σχήμα 3.7 Αρχιτεκτονική Home Run Fiber

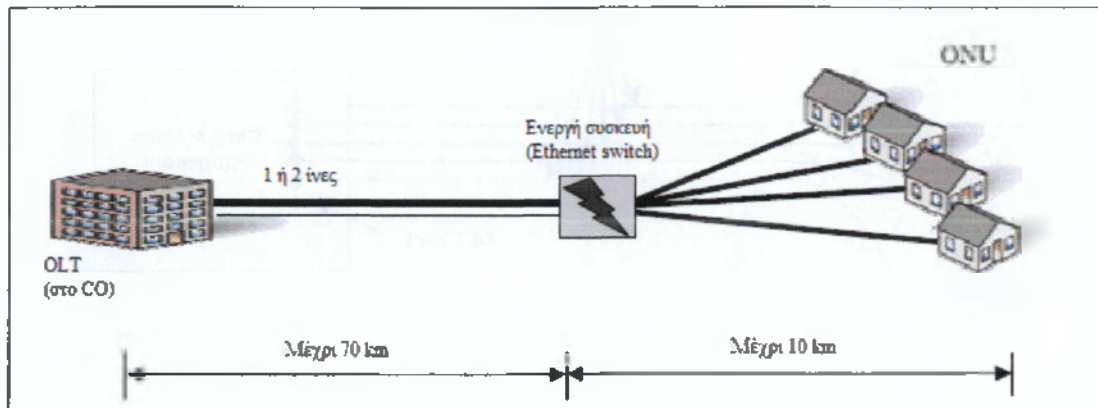
Πίνακας 8

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μέγιστο Εύρος Ζώνης	Μεγαλύτερο κόστος λόγω μεγαλύτερης ποσότητας οπτικής ίνας
Μέγιστη κλιμακωσιμότητα	Ανάγκη για μεγαλύτερο χώρο στα PoP και τις σωληνώσεις
Εύκολη διάκριση παρόχου υποδομής και παρόχου υπηρεσιών	Εκτενέστερες επισκευές σε περίπτωση βλάβης
Υλοποίηση με το λιγότερο δυνατό αριθμό πομποδεκτών	
Ασφάλεια	

### 3.4.3 Active Ethernet

Η κύρια διαφορά ενός ενεργού δικτύου σε σχέση με ένα PON είναι η αντικατάσταση του παθητικού splitter από έναν ενεργό κόμβο. Μια σημαντική συνέπεια είναι ότι είναι απαραίτητο ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο (power line) μεταξύ του CO και του ενεργού κόμβου. Ένα ενεργό δίκτυο μπορεί επίσης να υλοποιείται με μια αρχιτεκτονική δακτυλίου ή αστέρα.

Η επιλογή οποιασδήποτε ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής εξαρτάται από τον τύπο υλοποίησης, τη διαθεσιμότητα και την τοπολογία της ίνας, το κόστος και την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.



Σχήμα 3.8 Αρχιτεκτονική Active Ethernet

Πίνακας 9

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλότερο εύρος ζώνης	Ανάγκη ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου
Υψηλότερη πιθανή απόσταση	Πιο πολύπλοκη υποδομή καλωδίων
Μεγαλύτερη ασφάλεια	-

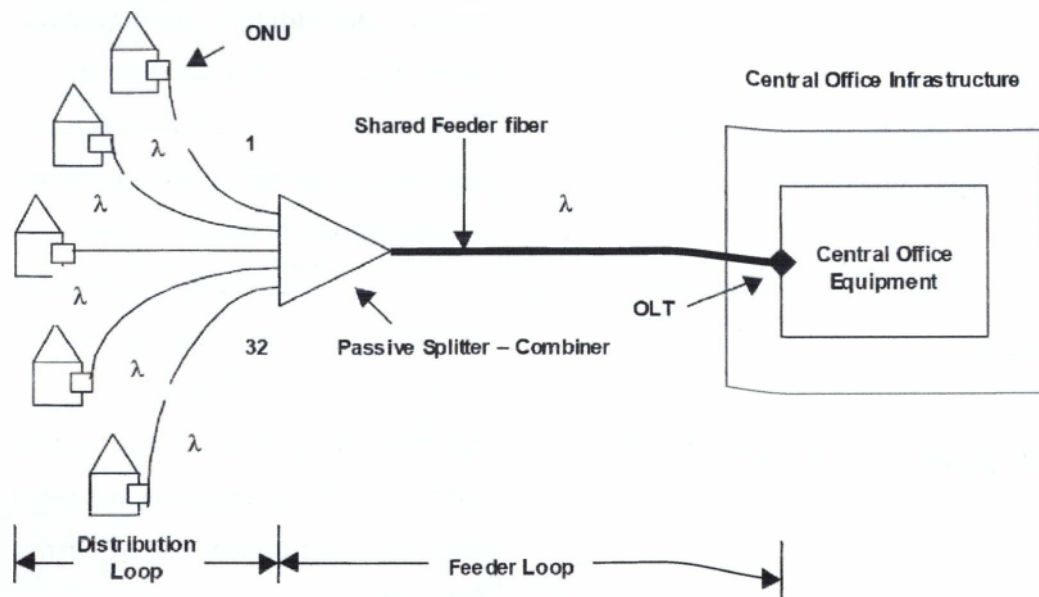
#### 3.4.4 Passive Star (Passive Optical Network – PON)

Σήμερα, η κυριότερη point to multipoint διαμόρφωση ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι ένα TDM (time division multiplexing) - based PON με διαμοίραση ισχύος.

Ένα PON αποτελείται από την καλωδίωση οπτικών ινών από παθητικούς διαχωριστές (splitters) και συνδετήρες (couplers) που κατανέμουν ένα οπτικό σήμα μέσω μιας διακλαδωμένης τοπολογίας «δέντρων» στους συνδετήρες που τερματίζουν κάθε τμήμα ινών.

Το OLT και το ONU πρέπει να υποστηρίζουν ένα πρόσθετο κυμαινόμενο πρωτόκολλο πρόσβασης και ελέγχου μέσω των οποίων διαθέτει τις χρονικές αυλακώσεις στο ONU για να διαβιβάσει την προς τα πάνω κυκλοφορία.

Γενικά το παράθυρο 1550 NM (1530-1565 nm) δεν χρησιμοποιείται για να παρέχει μια WDM επικάλυψη στο μέλλον. Πολλοί προμηθευτές χρησιμοποιούν τώρα το μήκος κύματος 1550 nm για την παράδοση του αναλογικού βίντεο ραδιοφωνικής μετάδοσης. Όπως με το Active Star η ικανότητα τροφοδοτών μοιράζεται μεταξύ των πολλαπλάσιων σημείων τελών.



Σχήμα 3.9 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο(PON)

Πίνακας 10

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δεν είναι ενεργός κανένας απομακρυσμένος κόμβος	Το ίδιο εύρος ζώνης πρέπει να διαιρεθεί μεταξύ διάφορων χρηστών
Πλήρως Παθητικό δίκτυο	Η οπτική ισχύς διαχωρίζεται μεταξύ των θυρών εξόδου (output ports), γεγονός που περιορίζει την μέγιστη απόσταση
Επιτρέπει την εύκολη μετάδοση βίντεο και δεδομένων	Το ίδιο οπτικό σήμα παραλαμβάνεται από όλες τις μονάδες (ONUs), εγείροντας ανησυχίες για την ασφάλεια δικτύων.
Υλοποίηση με το λιγότερο δυνατό αριθμό πομποδεκτών	Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για uploading δεν είναι broadcast (λιγότερο εύρος ζώνης από πλήρες P2P)
Χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής	Απαιτηση για έναν αυστηρό αλγόριθμο για την σύλληψη upstream κυκλοφορίας (καταμερισμός χρόνου για την upstream σύνδεση)
Ελάχιστη ίνα	Πιο σύνθετοι πομποδέκτες(οπτική ισχύς, δυνατότητα burst mode)

#### 3.4.4.1 Πρότυπα Τεχνολογιών PON & Οργανισμοί

Υπάρχουν δύο οργανισμοί παραγωγής σχετικών προτύπων και πρωτοκόλλων:

- International Telecommunication Union (ITU-T)
- Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE)

Άλλες κοινοπραξίες προώθησης τεχνικών προδιαγραφών στους παραπάνω οργανισμούς:

- Full Services Access Network (FSAN)
- Metro Ethernet Forum (MEF)
- Αποτελούν κοινοπραξίες τηλεπικοινωνιακών παροχών και κατασκευαστών σχετικού εξοπλισμού.

Υπάρχουν δημοσιευμένα 3 πρότυπα PON:

- ITU-T BPON (G.983) & GPON (G.984)
- IEEE EPON (802.3ah)
- Ασύμβατα με αυτά τα δίκτυα PONs υπάρχουν σε χρήση αλλά δεν παρέχουν ίδια λειτουργικότητα με τα διεθνή πρότυπα.

**Πίνακας 11** Πρότυπα PON

	BPON	EPON	GPON
Πρότυπο	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Εύρος ζώνης	Downstream έως 622 Mbps Upstream 155Mbps	Έως 1.25 Gbps (Συμμετρικό)	Downstream έως 2.5 Gbps Upstream έως 1.25 Gbps
Downstream Μήκος κύματος	1490 και 1550 nm	1550 nm	1490 και 1550nm
Upstream Μήκος κύματος	1310 nm	1310 nm	1310 nm
Μετάδοση	ATM	Ethernet	Ethernet,ATM,TDM

#### 3.4.4.2 Παραλλαγές Τεχνολογιών & Πρωτοκόλλων PON

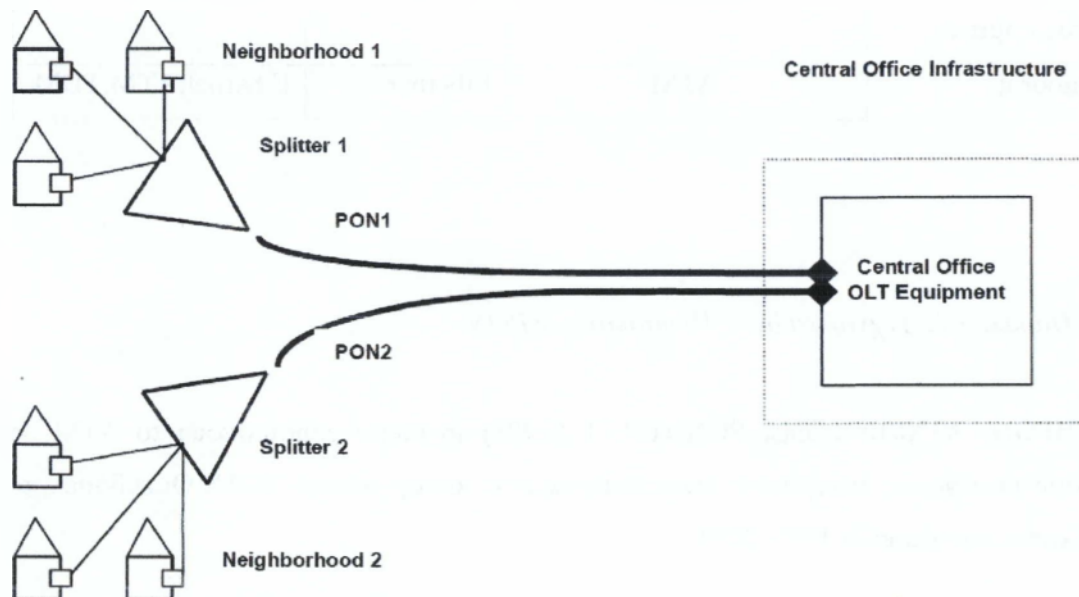
BPON/BPON: ATM/Broadcast PON (ITU-T G.983) το οποίο χρησιμοποιεί το ATM σαν μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων, υποστηρίζεται από τον οργανισμό FSAN. Οι εκδόσεις του εμφανίζονται την περίοδο 1998-2003.

Μετά η τεχνολογία GPON: Gigabit-Capable PON (ITU-T G.984) η οποία βασίζεται στην τεχνική Generic Framing Procedure (G.7041) υποστηρίζεται και αυτή από τον οργανισμό FSAN. Εκδόσεις του εμφανίζονται την περίοδο 2003-2004

Η τεχνολογία EPON: Ethernet PON (IEEE 802.3ah-2004) η οποία χρησιμοποιεί το Ethernet σαν μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων και το Multi-Point Control Protocol (MPCP) Αυτή υποστηρίζεται από τον οργανισμό IEEE και εκδόσεις του εμφανίζονται τον Ιούνιο του 2004.

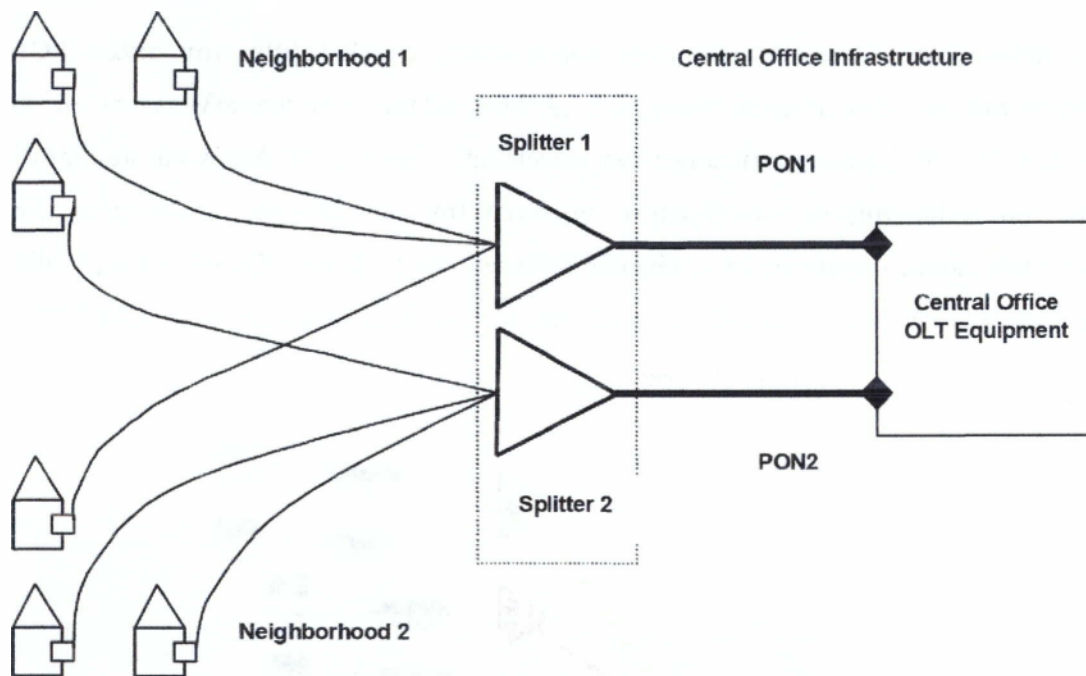
#### 3.4.4.3 Εκτιμήσεις σχεδίου για ένα PON

Μια βασική εκτίμηση σχεδίου για PON είναι η θέση του διαχωριστή (splitter). Διαισθητικά, η αρχιτεκτονική χαμηλότερου κόστους PON είναι μια με τους απομονωμένους πόλους-τοποθετημένους διαχωριστές (splitters) που τοποθετούνται έτσι ώστε το ποσό διανομής fiber10 να ελαχιστοποιείται. Σε αυτό το σημείο υπαινισσόμαστε σε ένα τέτοιο σχεδιάγραμμα PON ως Curbside



Σχήμα 3.11 Ένα από το splitter σε κάθε σπίτι

Ειδοποίηση ότι σε ένα curbside PON, η πόρτα δύο οπτικών γραμμών πρέπει να επεκταθεί μόνο εάν 1 σπίτι σε κάθε γειτονιά 32 σπιτιών χρησιμοποιεί την υπηρεσία. Σαφώς, εάν αθροίσουμε και τους δύο διαχωριστές σε ένα σημείο (σχήμα 3.5), θα πρέπει να επεκτείνουμε το δεύτερο OLT μόνο αφότου πήραν 32 από τα 64 (ή 50%) σπίτια την υπηρεσία.



Σχήμα 3.12 Σημείο συνάθροισης της ίνας

### 3.5 WDM PASSIVE OPTICAL NETWORKS

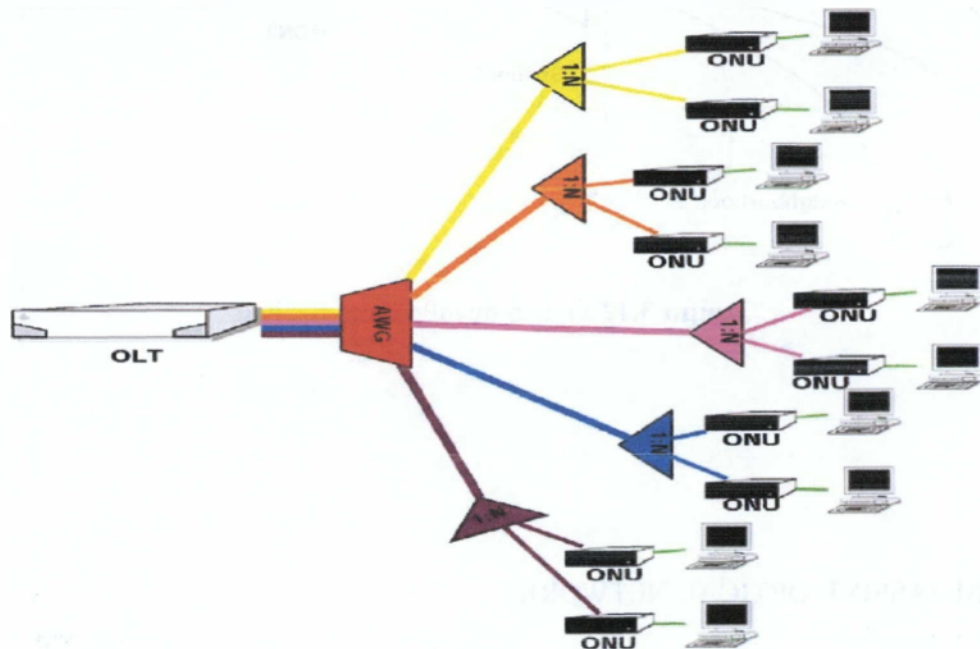
Τα PONs μπορούν να έχουν τα πολλαπλάσια μήκη κύματος επίσης. Αν και θα είναι κάποτε προτού να υπάρξουν προσιτές WDM Pons (αν ποτέ), μερικοί προμηθευτές εισάγουν τα προϊόντα που μπορούν να εισαγάγουν περισσότερα μήκη κύματος προς ένα PON.

Το τμήμα μήκους κύματος που πολλαπλασιάζει (WDM) είναι χονδροειδές (CWDM) ή πυκνό (DWDM) ανάλογα με τον αριθμό μηκών κύματος που πολλαπλασιάζονται προς την ίδια ίνα.

Οι προμηθευτές είναι της άποψης ότι ένα CWDM PON μπορεί να υποστηρίξει 3 - 5 μήκη κύματος, ενισχυτικά περισσότεροι ότι 5 μήκη κύματος απαιτούν ένα DWDM overlay. Για DWDM, το βάρος (και το OLTs) απαιτούν σταθερή συχνότητα,

Και ελεγχόμενη θερμοκρασία lasers. Το OLT βάζει όλα τα μήκη κύματος επάνω στην κοινή ίνα τροφοδοτών και οι θραύστες ξαναδιπλώνουν τα μήκη κύματος σε κάθε σπίτι.

Το OLT πολυπλέκει 32 wavelengths στην κοινή οπτική ίνα. Οι splitter του απλού PON αντικαθίστανται από ένα arrayed waveguide (AWG) φίλτρο που αποπολυπλέκει τα 32 wavelengths. Σε κάθε χρήστη αντιστοιχεί ένα wavelength. Επίσης, 100 Mbps και παραπάνω dedicated για κάθε χρήστη ανεξάρτητα, πρωτοκόλλου και bit-rate, υποστηρίζει την μετάδοση κάθε είδους υπηρεσίας όπως Gigabit Ethernet, Fibre Channel, OC-N, ATM, FDDI, κλπ. Για κάθε bit rate. Τέλος, αποσοβεί τα προβλήματα ασφαλείας του κλασικού TDM PON.



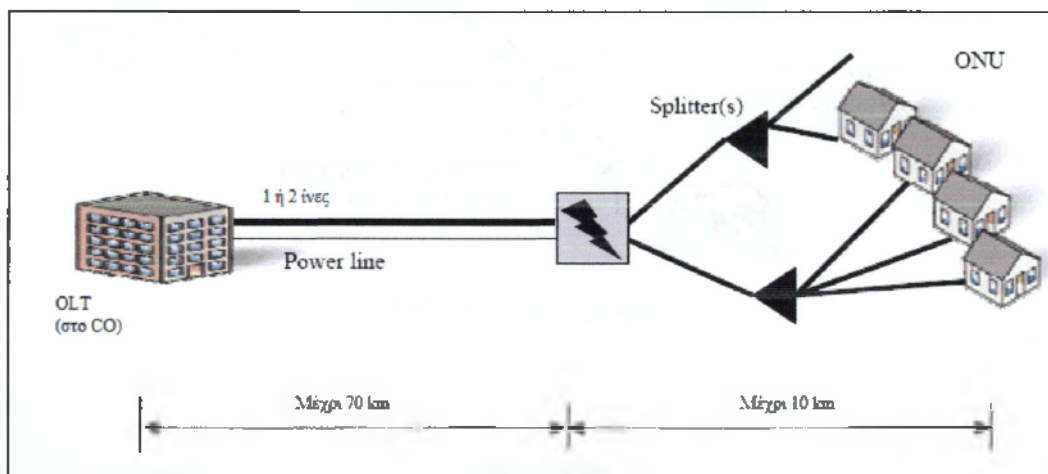
Σχήμα 3.13 WDM PON



### 3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ (PON & ACTIVE NETWORKS)

Αναπτύσσονται υβριδικά PON τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό ενός ενεργού κόμβου και μιας αρχιτεκτονικής PON.

Σε αυτά η εφικτή απόσταση είναι υψηλότερη από ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης ενός PON με διαμοίραση ισχύος. Παράλληλα, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας, μια απλούστερη υποδομή σε σχέση με μια απολύτως ενεργή τοπολογία.

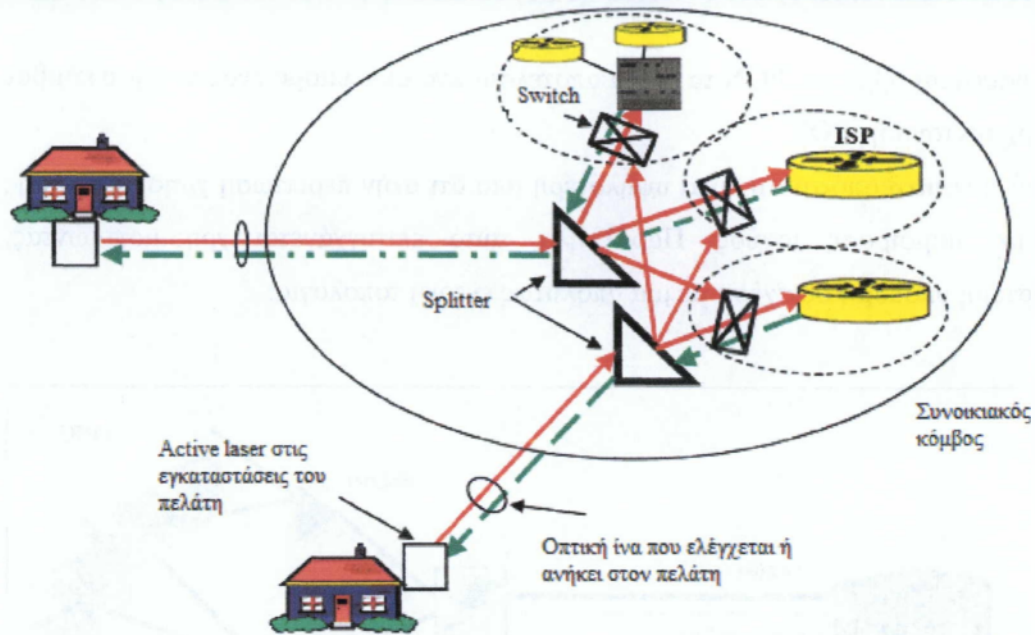


Σχήμα 3.14 Υβριδικό PON

#### 3.6.1 Reverse PON και Customer Owned Last Mile

Είναι υποδομές οπτικών ινών που συνδέουν τελικούς χρήστες και ανήκουν στους ίδιους. Η εφαρμογή της ιδέας αυτής έχει αρχίσει να δοκιμάζεται σε διάφορα projects και πιλοτικές δράσεις ανά τον κόσμο. Εισάγει αναγκαστικά την δημιουργία ανοικτών κόμβων συνεγκατάστασης (carrier neutral colo facilities), όπου οι «ιδιωτικές» οπτικές ίνες των τελικών χρηστών διασυνδέονται και δρομολογούν υπηρεσίες από τους service providers.

Reverse PON: η αντίστροφη της κλασικής αρχιτεκτονικής PON, με τον εξοπλισμό του πελάτη να παρέχει διακριτές «συνδέσεις» με διάφορους service providers.



Σχήμα 3.15 Reverse PON

Πίνακας 12

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή εφικτή απόσταση	Ανάγκη για διαχείριση της οπτικής ίνας και του τερματικού εξοπλισμού από τον τελικό χρήστη
Μεγαλύτερη ασφάλεια	Υψηλό αρχικό κόστος απόκτησης
Υψηλότερο εύρος ζώνης και πλήρως διαχειρίσιμο	
Ευελιξία στην επιλογή Services	



Πίνακας 13 Ποιοτική Σύγκριση

Χαρακτηριστικό	B (G)PON	E (GE)PON	Active Ethernet	Home Run Fiber
Τύπος δικτύου διανομής	Παθητικό	Παθητικό	Ενεργό	-
Πρότυπο	ITU-T G.983 (G.984)	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3ah	-
Χωρητικότητα	Μέχρι 32 (64) χρήστες ανά παθητικό δέντρο	16 χρήστες ανά παθητικό δέντρο	-	-
Εμβέλεια	20 km από OLT	20 Km	10 km από ενεργό κόμβο	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Ρυθμοί μετάδοσης	Μέχρι 2.4 Gbps ανά PON	Μέχρι 1.2 Gbps ανά PON	Μέχρι 1.2 Gbps ανά χρήστη	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Αποδοτικότητα Αξιοποίησης Bandwidth	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Υπηρεσίες	Φωνή με χρονική πολυπλεξία (TDM), RF video, Δεδομένα, IPTV και VoIP πάνω από σύνδεση δεδομένων	VoIP, IP video, Δεδομένα	VoIP, IP video, Δεδομένα	Οτιδήποτε
Υποστήριξη QoS	Προτυποποιημένο	Μερικώς Προτυποποιημένο	Μερικώς Προτυποποιημένο	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό
Ασφάλεια	AES	AES	AES	Εξαρτάται από τον εξοπλισμό



Χαρακτηριστικό	B (G)PON	E (GE)PON	Active Ethernet	Home Run Fiber
Κλιμακωσιμότητα	Επιπλέον χρήστες υποστηρίζονται με περισσότερη οπτική ίνα και εξοπλισμό	Επιπλέον χρήστες υποστηρίζονται με περισσότερη οπτική ίνα και εξοπλισμό	Υψηλότερες ταχύτητες και περισσότεροι χρήστες υποστηρίζονται με επιπλέον εξοπλισμο	Απεριόριστη θεωρητικά χωρητικότητα ανάλογα με τον εξοπλισμό
Ωριμότητα	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές	Προϊόντα από πολλούς κατασκευαστές
Αποδοχή	Μεγάλοι πάροχοι ειδικά στην Αμερική	Μεγάλοι πάροχοι ειδικά στην Αμερική	Δήμοι και υπηρεσίες	Εγκατάσταση παρθένων δικτύων (σε αντιδιαστολή με την εξέλιξη ήδη υπάρχοντων)

**Πίνακας 14** Συγκριτική μελέτη point-to-point με point-to-multipoint

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Point-to-point	1)Καλύτερη τεχνολογία χωρίς περιορισμούς σε ευελιξία και εξελιξιμότητα 2)Καλύτερη διαχείριση του δικτύου και ευκολότερος σχεδιασμός 3)Δυνατότητα unbundling	1)Υψηλότερα κόστη CAPEX (Αρχικά κόστη) 2)Υψηλότερα κόστη OPEX (λειτουργικά κόστη) λόγω ανάγκης χώρου και πιθανώς ρεύματος(για active networks)
Point-to-multipoint	1) Χαμηλότερα κόστη CAPEX (Αρχικά κόστη) 2)Χαμηλότερα κόστη OPEX	1)Αβέβαιη εξελιξιμότητα 2)Δυσκολία unbundling 3)Αύξηση κόστους καθώς αυξάνουν οι συνδρομητές

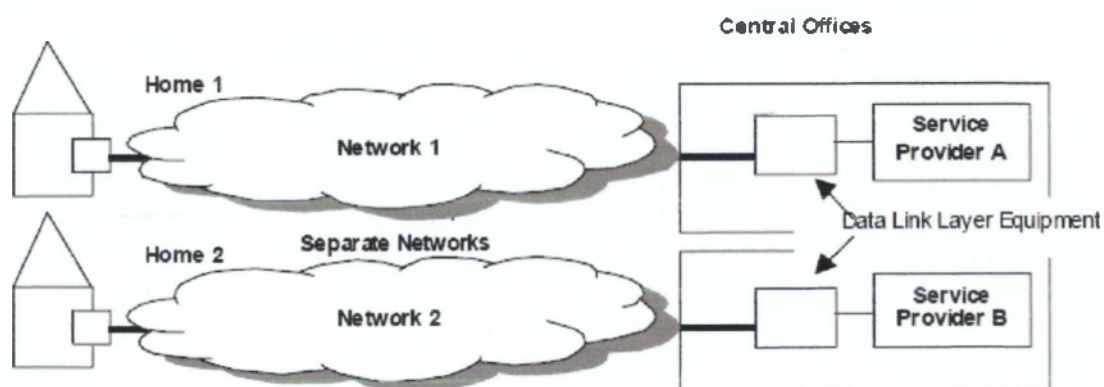
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών που παρέχουν δυνατότητες ευρυζωνικής πρόσβασης είναι ο ανταγωνισμός σε επίπεδο εγκαταστάσεων και δικτύων ή γνωστός ως μη-βασισμένος ανταγωνισμός και ο ανταγωνισμός σε επίπεδο υπηρεσιών. Ο νόμος τηλεπικοινωνιών του 1996 συλλογίζεται και τις δύο μορφές ανταγωνισμού.

### 4.2 ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Στο πλαίσιο αυτής της συμφωνίας, κάθε φορέας παροχής υπηρεσιών εξυπηρετεί την αγορά χρησιμοποιώντας το δικό του δίκτυο (σχήμα 2.1). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το πιο κοινό παράδειγμα βασισμένου στις εγκαταστάσεις ανταγωνισμού είναι η προσωπική αγορά υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών όπου κάθε φορέας παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας χτίζει, και διατηρεί δικό του δίκτυο.



Εικόνα 4.1 Δίκτυο παρόχου

#### 4.2.1 Μη βασισμένος ανταγωνισμός ή ανταγωνισμός επιπέδων υπηρεσιών

Σε αυτό το πλαίσιο, κάθε φορέας παροχής υπηρεσιών δεν έχει δικό του δίκτυο αλλά μοιράζεται τους πόρους ενός κοινού δικτύου για να παρέχει την υπηρεσία στους συνδρομητές του.

Ανάλογα με το πώς οι πόροι διατίθενται στους ανταγωνιστές από τον ιδιοκτήτη δικτύων, ο μη βασισμένος ανταγωνισμός μπορεί να έχει τα ακόλουθα πρότυπα:

#### 4.2.2 Ανταγωνισμός με βάση το δίκτυο

Κάθε φορέας παροχής υπηρεσιών παρέχει στους πελάτες του τον εξοπλισμό που χρειάζεται για να απολαμβάνουν τις διάφορες υπηρεσίες που παρέχει με την εννοκίαση δικτύων (ADSL) από τον ιδιοκτήτη δικτύων (σχήμα 2.2). Η αρμόδια βιομηχανία τηλεφωνικών υπηρεσιών εκθέτει αυτό το πρότυπο του ανταγωνισμού με CLECs (ανταγωνιστικοί τοπικοί μεταφορείς ανταλλαγής) νοικιάζοντας τους uNE-βρόχους από τους παρόχους για να δίνει την τηλεφωνική υπηρεσία.

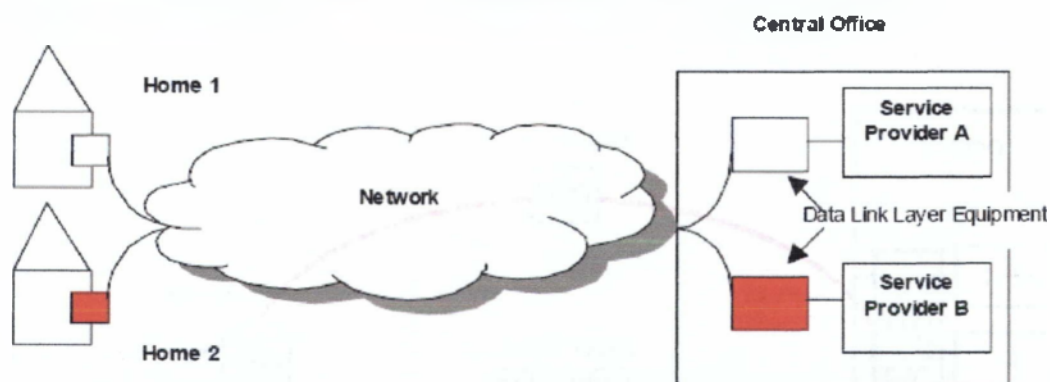


Figure 2.2 UNE based Competition

#### 4.2.3 Βασισμένο πρότυπο «ανοικτής πρόσβασης» για τον ανταγωνισμό

Κάθε φορέας παροχής υπηρεσιών πρέπει να μοιραστεί το κοινό στρώμα μεταφοράς δεδομένων (γενικά που ανήκει στον ιδιοκτήτη δικτύων) προκειμένου να παρασχεθεί ο ήχος, υπηρεσίες βίντεο και δεδομένων (σχήμα 2.3). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου ανταγωνισμού είναι το διάφορο ISPs που παρέχει τις υπηρεσίες διαδικτύου για ένα ενιαίο καλωδιακό δίκτυο.

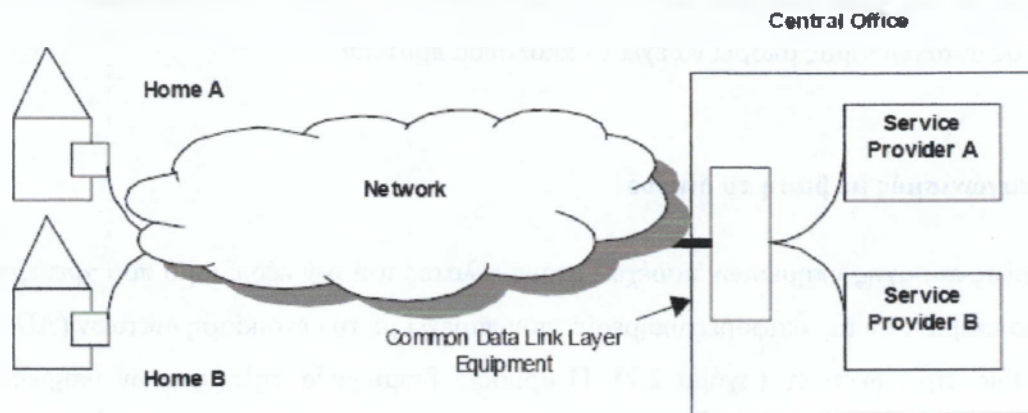
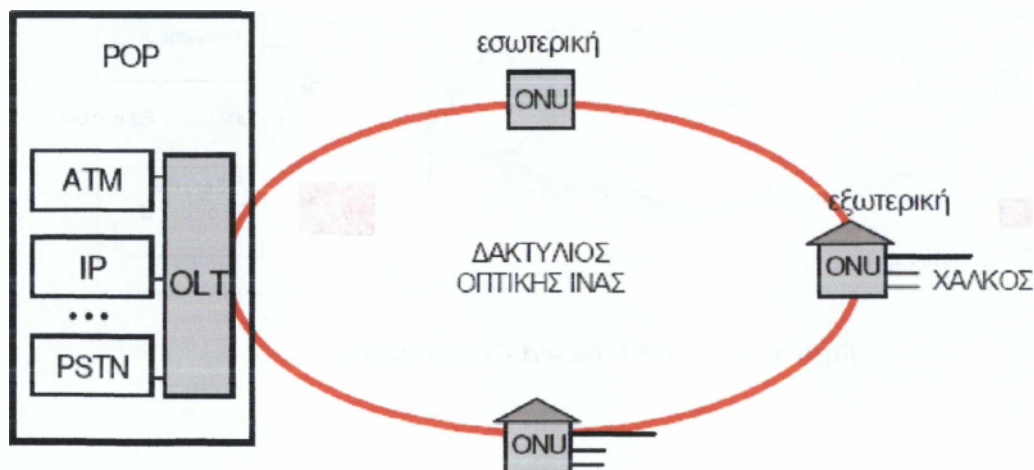


Figure 2.3 Open Access based Competition

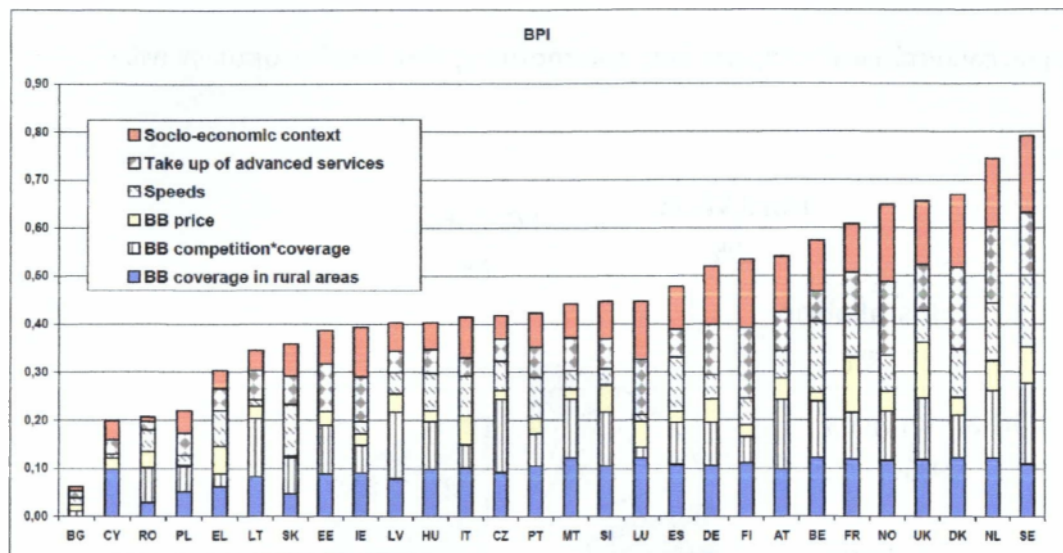
Σχήμα 3.18 Δίκτυο με βάση το πρότυπο ανοικτής πρόσβασης



Σχήμα 3.19 Παράδειγμα εφαρμογής τοπολογίας δακτυλίου σε συνδυασμό με αρχιτεκτονική Fiber To The Curb



Πίνακας 15 Broadband Performance



Η ευρωπαϊκή ευρυζωνική αγορά αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς με μερικές ευρωπαϊκές χώρες να είναι οι επικεφαλής του κόσμου. Όσο η αγορά μεγαλώνει, υπάρχει μια ανάγκη αποτίμησης της ετοιμότητας της ευρωπαϊκής ένωσης να προάγει την ανάπτυξη της ευρυζωνικής πρόσβασης.

Το νέο Broadband Performance Index (BPI) αποτελεί σημείο αναφοράς μετρήσεων της παρουσίας των κρατών μελών σε εμπορικό επίπεδο, το οποίο περιλαμβάνει

- Ταχύτητες
- Κάλυψη αγροτικών περιοχών
- Οικονομική ανεκτικότητα
- Καινοτομία
- Άλλες κοινωνικοοικονομικές συνιστώσες

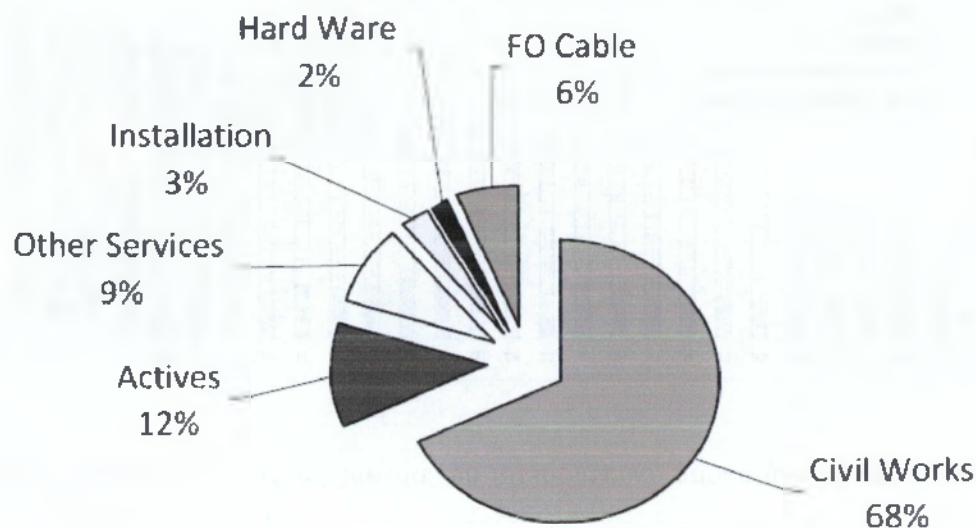
### Παράγοντες κόστους

Το κόστος εξαρτάται από

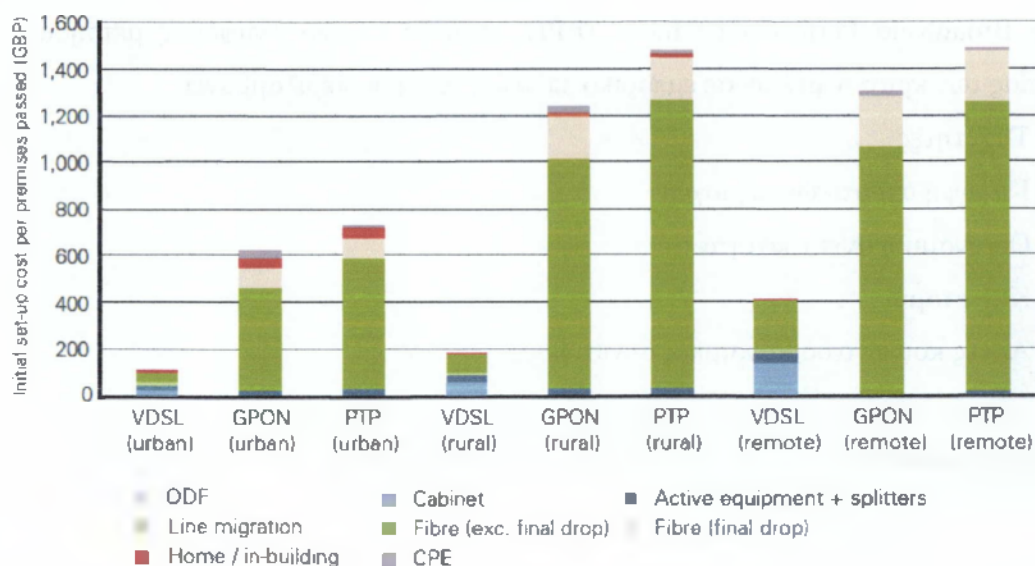
- Αρχιτεκτονική FTTH
- Τιμή υλικών
- Διαθεσιμότητα Υποδομών (υπόγεια/εναέρια)

- Χαρακτηριστικά εδάφους/υπεδάφους
- Κόστος εργατικών
- Urban/Suburban?Rural(σπίτια/κm<sup>2</sup>)

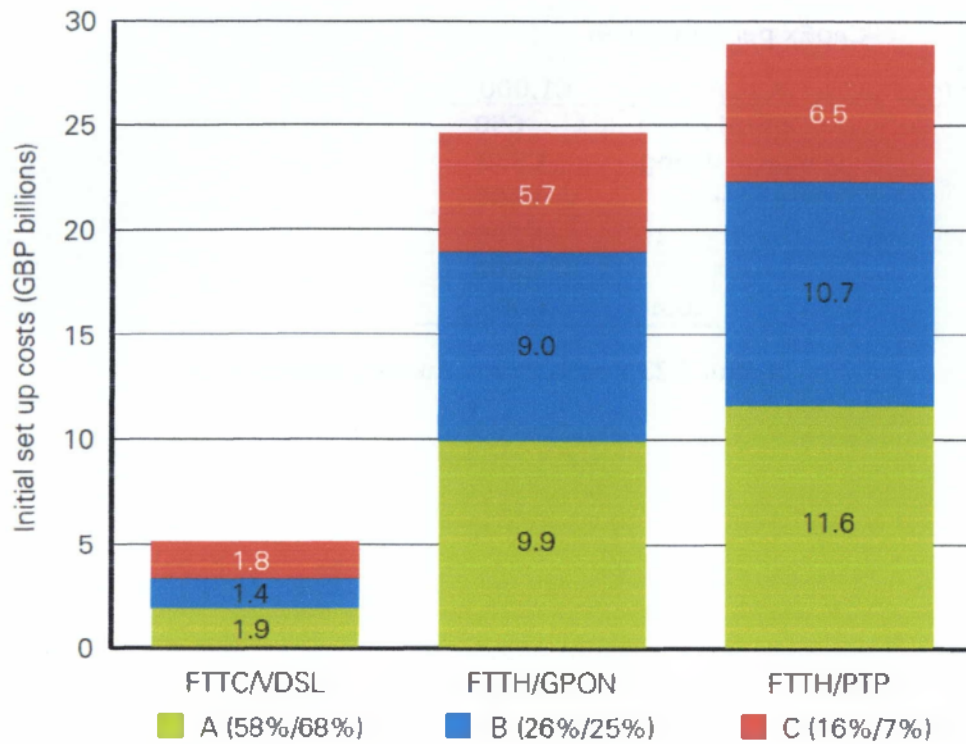
Κόστη σε ποσοστά κατά το πρώτο έτος εγκατάστασης νέου δικτύου οπτικών ινών



Σχήμα 3.20



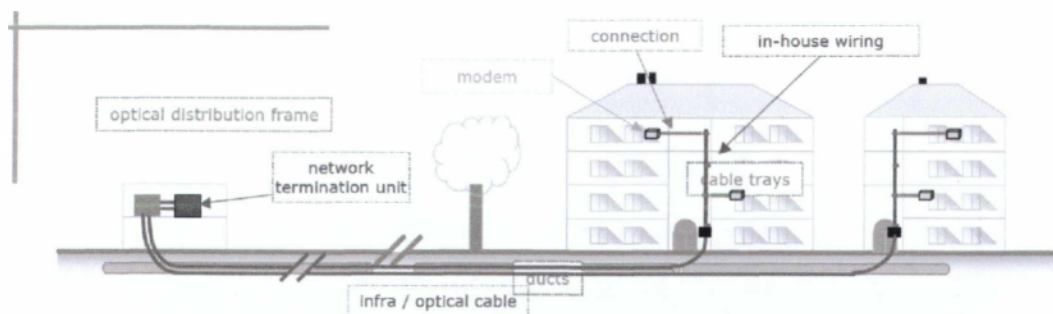
Σχήμα 3.21 Κόστος υλοποίησης σε διαφορετικές αγορές



Σχήμα 3.22 Κόστος υλοποίησης ανά περιοχή

Περιοχές:

- Α: Αγροτική
- Β: Αστική
- C: Απομακρυσμένη



<b>CapEx per subscriber</b>	
Infrastructure & buildings	€1,000
Optical cable	€50
In-house wiring	€350
Connection	€100
Active network components	€300
Active subscriber components	€200
<b>total</b>	<b>€2,000</b>

**Σχήμα 3.23** Εγκατάσταση Δικτύου οπτικών ινών

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στα παραπάνω κεφάλαια αναλύσαμε τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (PONs) σε βάθος καθώς και την πολλά υποσχόμενη αρχιτεκτονική Fiber to the Home. Σχετικά με τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούνται κυρίως από εταιρικούς χρηστές κυρίως λόγω του ακριβού κόστους κατασκευής τους. Η δυνατότητα συνδυασμού των PONs με την τεχνική Fiber To the Home η οποία παρέχει το μέγιστο εύρος ζώνης και βρίσκει καλύτερη εφαρμογή σε οικιακούς χρήστες είναι η επικρατέστερη για το μέλλον, γιατί έτσι τα PONs θα χρησιμοποιούνται ευρέως και θα είναι πιο ανταγωνιστικά στην αγορά.

Τέλος, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα βασικά στοιχεία στη σχεδίαση οπτικών δικτύων και δεν αποτελούν εξαίρεση και τα PONs. Οι οπτικοί ενισχυτές παρέχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις καθώς τα συστήματα οπτικών ινών περιορίζονται αισθητά από την εξασθένηση και την διασπορά στις οπτικές ίνες. Έτσι, στο μέλλον θα μπορεί να απολαμβάνει ταχύτητες και ένας ο οποίος ζει σε απομακρυσμένες περιοχές και το Internet έμοιαζε όνειρο μέχρι σήμερα.

Βέβαια, στην Ελλάδα λόγω και της Οικονομικής κρίσης δύσκολα θα γίνουν μεγάλες επενδύσεις αν και το FTTH είναι ίσως το μεγαλύτερο αναπτυξιακό έργο στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα που επιθυμεί να εφαρμόσει η κυβέρνηση μέσα στο 2012.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- [1] Γεράσιμος Κ. Παγιατάκης *ΙΝΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ*, Τεχνολογία - Εφαρμογές, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- [2] Klaus Grobe and *Jörg-Peter Elbers*, ADVA AG Optical Networking. “PON in Adolescence: From TDMA to WDM-PON.” *IEEE Communications Magazine*, January 2008.
- [3] Anupam Banerjee, Marvin Sirbu, Carnegie Mellon University. “Towards Technologically and Competitively Neutral Fiber To The Home (FTTH) Infrastructure.
- [4] Amitabha Banerjee, Youngil Park, Frederick Clarke and Huan Song, Sunhee Yang, Glen Kramer, Kwangjoon Kim, Biswanath Mukherjee. “Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: a review”. November 2005/Vol.4, No.11 *JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING*.
- [5] Manish Choudhary and Bipin Kumar Centre For Development of Telematics, Delhi. “Analysis of Next Generation PON architecture for Optical Broadband Access Networks.
- [6] C.Michie, A.E. Kelly, J. McGeough, S. Karagiannopoulos and I. Andonovic. “Optically amplified passive optical networks: a power budget analysis”. Vol.8, No.4/ April 2009 / *JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING*.
- [7] Χρήστος Ι. Μπούρας Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών & EAITY. “Βέλτιστες Πρακτικές για δίκτυα Οπτικών Ινών”.
- [8] Χριστίνα Πολίτη, Θ. Ορφανουδάκης, Σημειώσεις Οπτικά Δίκτυα, 17/5/2010
- [9] Δρ. Γερ. Κ. Παγιατάκης, Ευρυζωνικές Επικοινωνίες (Βασικά Στοιχεία), Σημειώσεις Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε, Μάρτιος 2009.
- [10] Γιάννης Λιαπέρδος, Σημειώσεις Μαθήματος Ειδικά Θέματα Οπτικών Επικοινωνιών, ΑΤΕΙ Καλαμάτας- Παράρτημα Σπάρτης, 2009
- [11] Wikipedia, the free encyclopedia <http://en.wikipedia.org>.