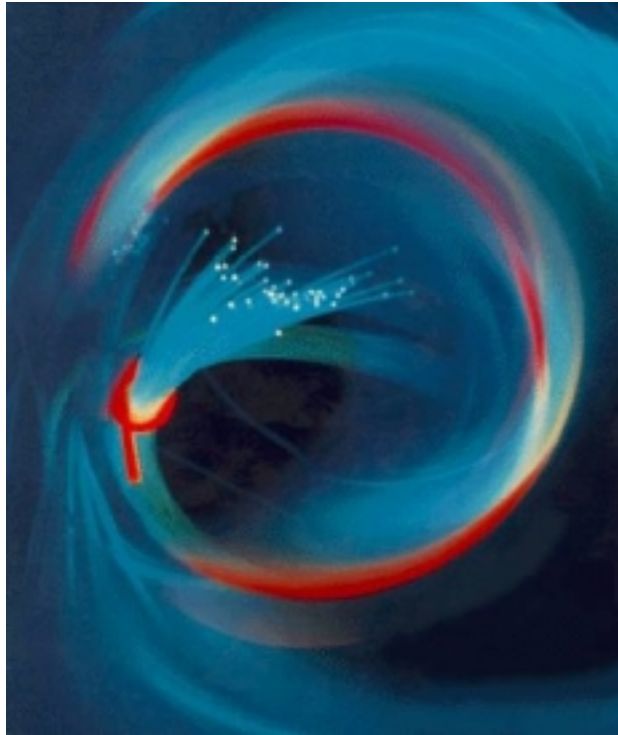


University of Macedonia  
Master Information Systems  
Networking Technologies  
Professor: A.A. Economides  
[economid@uom.gr](mailto:economid@uom.gr)

## **Fiber Optics in the Local Loop**



**Student : Danis Evangelos**

**M 2/01**

**Thessaloniki 2002**

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων  
Υπεύθυνος Καθηγητής : Α.Α. Οικονομίδης  
[economid@uom.gr](mailto:economid@uom.gr)

**Θέμα : Οπτικές Ύνες στον Τοπικό Βρόγχο**

**Φοιτητής : Δάνης Ευάγγελος**

**A.M : M 2/01**

**Θεσσαλονίκη 2002**

## Abstract

The use of fiber optics in the construction of residential networks is an essential factor for the quality of the provided services to the end users, since fiber optics is the only long-term solution that can provide the bandwidth required for multimedia and interactive applications. The two dominant architectures, which service providers use in order to offer these solution are the hybrid fiber coaxial (HFC) networks and the “Fiber to the Home” architecture. A hybrid fiber coaxial (HFC) network is a telecommunication technology in which optical fiber cable and coaxial cable are used in different portions of a network to carry broadband content. Using HFC, a telecommunication company, installs fiber optic cable head-end (distribution center) to serving nodes located close to businesses and residential users and from these nodes uses coaxial cable to individual businesses and homes. Fiber to the home (FTTH) is the ideal fiber-optics architecture. In this architecture, fiber deployment is carried all the way to the customer’s home (premises). The advantage of these architectures is that some of the characteristics of fiber optic cable (high bandwidth and low noise) can be brought close to the end user.

## Περίληψη

Η χρήση των οπτικών ινών στην κατασκευή δικτύων σε περιοχές κατοικιών είναι βασικός παράγοντας για την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται στους τελικούς χρήστες, αφού οι οπτικές ίνες είναι η μόνη μακροπρόθεσμη λύση που μπορεί να παρέχει το απαιτούμενο εύρος ζώνης για πολυμεσικές και αλληλεπιδραστικές εφαρμογές. Οι δύο κύριες αρχιτεκτονικές, που χρησιμοποιούνται από τους παροχείς δικτυακών υπηρεσιών για αυτό το σκοπό είναι τα υβριδικά δίκτυα οπτικών ινών και ομοαξονικού καλωδίου (HFC) και η αρχιτεκτονική «Οπτική ίνα ως τις κτιριακές εγκαταστάσεις του συνδρομητή» (FTTH). Ένα υβριδικό δίκτυο οπτικών ινών και ομοαξονικού καλωδίου (HFC) είναι μια τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία στην οποία χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες και ομοαξονικό καλώδιο σε διαφορετικά τμήματα του δικτύου για να μεταφέρουν ευρυζωνικό περιεχόμενο. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία HFC, μια εταιρία τηλεπικοινωνιών, εγκαθιστά οπτικές ίνες από το κέντρο παροχής δικτυακών υπηρεσιών ως τους κόμβους εξυπηρέτησης, που τοποθετούνται κοντά σε επιχειρήσεις και συνδρομητές, και από τους κόμβους αυτούς χρησιμοποιείται ομοαξονικό καλώδιο ως τις κτιριακές εγκαταστάσεις των επιχειρήσεων και των συνδρομητών. Η αρχιτεκτονική “Οπτική Ίνα ως τις κτιριακές εγκαταστάσεις του συνδρομητή» (FTTH), είναι μια ιδανική τεχνολογία οπτικών ινών, στην οποία η χρήση της οπτικής ίνας γίνεται από το κέντρο παροχής δικτυακών υπηρεσιών ως την κατοικία του συνδρομητή. Το πλεονέκτημα αυτών των αρχιτεκτονικών είναι ότι μερικά από τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών (υψηλό εύρος ζώνης, χαμηλός θόρυβος) μπορούν να προσφερθούν στον τελικό χρήστη.

## Contents

<b>1. Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Hybrid Fiber Coax Networks (HFC)</b> .....	<b>7</b>
2.1. Introduction .....	7
2.2. Effective Use of Fiber Deeper .....	9
2.3. Increasing Reusable Bandwidth .....	11
2.4. Determining Node Size .....	14
2.5. Using 1550-nm Transmitters .....	16
2.6. Technology Offers Lower Cost, Higher Value .....	18
2.7. Using Technology 1310 nm for Narrowcasting .....	19
2.8. Raising Bandwidth While Lowering Costs .....	21
2.9. Using SONET Multiplexer .....	23
2.10. Using the Analog Network for Interactive Traffic .....	24
<b>3. Fiber to the Home (FTTH)</b> .....	<b>26</b>
3.1. Introduction .....	26
3.2. Meeting Today's Needs and Anticipating the Future .....	27
3.3. How FTTH Works .....	28
3.4. Level of Penetration and Acceptance in the Market .....	31
3.5. The Future of FTTH .....	32
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>33</b>
<b>Bibliography</b> .....	<b>35</b>
<b>WWW References</b> .....	<b>36</b>

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή .....	6
2.	Παρουσίαση Υβριδικών Δικτύων Οπτικής Ύψας και Ομοαξονικού Καλωδίου (HFC) .....	7
2.1.	Γενικά .....	7
2.2.	Αποτελεσματική Χρήση της Οπτικής Ύψας .....	9
2.3.	Αύξηση του Επαναχρησιμοποιήσιμου Εύρους Ζώνης.....	11
2.4.	Καθορισμός του Μεγέθους του Κόμβου.....	14
2.5.	Χρήση Αναμεταδοτών 1550-nm.....	16
2.6.	Η Τεχνολογία Προσφέρει Χαμηλότερα Κόστη και Υψηλότερη Αξία .....	18
2.7.	Χρήση Τεχνολογίας 1310 nm για Εκπομπή Στενής Ζώνης (Narrowcasting).....	19
2.8.	Αύξηση του Εύρους Ζώνης και Μείωση στο Κόστος.....	21
2.9.	Χρήση Πολυπλεκτών SONET .....	23
2.10.	Χρήση του Αναλογικού Δικτύου για Αλληλεπιδραστική Κυκλοφορία (traffic).....	24
3.	Παρουσίαση Συστημάτων Οπτικής Ύψας ως την Οικία του Συνδρομητή (FTTH) .....	26
3.1.	Γενικά .....	26
3.2.	Ανταπόκριση στις Σημερινές Ανάγκες και Πρόβλεψη για το Μέλλον.....	27
3.3.	Τρόπος Λειτουργίας της Αρχιτεκτονικής FTTH.....	28
3.4.	Βαθμός Διεξόδου και Αποδοχής στην Αγορά των Συστημάτων FTTH ..	31
3.5.	Το Μέλλον της Αρχιτεκτονικής FTTH .....	32
4.	Συμπεράσματα.....	33
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	35
	Αναφορές WWW.....	36

## 1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη εφαρμογών στο Internet που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, έστρεψε την προσοχή των εταιριών παροχής δικτυακών υπηρεσιών στην ανάγκη για αναβάθμιση των δικτύων τους. Συγκεκριμένα, εφαρμογές τηλε-εκπαίδευσης, τηλε-διάσκεψης, μετάδοσης ψηφιακού video και γενικότερα πολυμεσικές εφαρμογές απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης για να παρέχονται με ικανοποιητική ταχύτητα. Οι εφαρμογές αυτές, για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών και να μην υπάρχουν καθυστερήσεις στην μετάδοση θα πρέπει να παρέχονται από δικτυακές υποδομές που υποστηρίζουν μεγάλο εύρος ζώνης.

Από την άλλη πλευρά, ο αυξανόμενος αριθμός των χρηστών του Internet, αλλά και η αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών για αλληλεπιδραστικές και πολυμεσικές εφαρμογές, ώθησε τις εταιρίες στην ανεύρεση λύσεων για να μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστες υπηρεσίες στους χρήστες. Σήμερα, μεγάλος αριθμός χρηστών του Internet απαιτεί υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, αξιόπιστες υπηρεσίες μετάδοσης φωνής και μετάδοση υψηλής ποιότητας video. Εάν αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται με ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές (DSLs), καλωδιακά μόντεμ (cable modems) ή ασύρματες αρχιτεκτονικές είναι αδιάφορο για τον τελικό χρήστη, αρκεί η ποιότητα μετάδοσης των υπηρεσιών να είναι τέτοια ώστε να δικαιολογεί το κόστος το οποίο είναι διατεθειμένος να επωμιστεί.

Παράλληλα οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ανάπτυξη οπτικού εξοπλισμού είχαν ως αποτέλεσμα να μειωθεί το κόστος ανάπτυξης των οπτικών ινών και γενικότερα του λοιπού οπτικού εξοπλισμού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η χρήση των οπτικών ινών, έναντι των χάλκινων και των ομοαξονικών καλωδίων, στη δημιουργία των δικτυακών υποδομών.

Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η δημιουργία νέων αρχιτεκτονικών, όπως η HFC (Hybrid Fiber/Coax – Υβριδικό δίκτυο οπτικών ινών και ομοαξονικού καλωδίου) και η FTTH (Fiber to the Home – Οπτική Ίνα ως τις κτιριακές εγκαταστάσεις του συνδρομητή), που στόχο έχουν να φέρουν κοντά στους τελικούς χρήστες τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών, που είναι το μεγάλο εύρος ζώνης και οι μικρές απώλειες κατά την μετάδοση (transmission loss). Παρακάτω ακολουθεί η τεχνικο-οικονομική ανάλυση των αρχιτεκτονικών αυτών.

## 2. Παρουσίαση Υβριδικών Δικτύων Οπτικής Ίνας και Ομοαξονικού Καλωδίου (HFC).

### 2.1. Γενικά.

Είναι γεγονός ότι οι εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, από τη μία μεριά προσπαθούν να εισάγουν νέες υπηρεσίες, ενώ από την άλλη μεριά πρέπει να βρουν νέους τρόπους να αυξήσουν την χωρητικότητα των δικτύων τους με κάποιο λογικό κόστος. Μια καλή λύση σε αυτό το δίλημμα είναι η χρήση οπτικο-ηλεκτρονικής (optoelectronics) τεχνολογίας με συστήματα HFC.

Ένα υβριδικό δίκτυο οπτικής ίνας και ομοαξονικού καλωδίου (Hybrid fiber coaxial network – HFC) είναι μια τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία στην οποία χρησιμοποιούνται τόσο οπτικές ίνες όσο και ομοαξονικά καλώδια, σε διαφορετικά τμήματα του δικτύου, για να μεταφέρουν ευρυζωνικό περιεχόμενο (όπως video, δεδομένα και φωνή). Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία HFC, μια τοπική εταιρία καλωδιακής τηλεόρασης (CATV company) εγκαθιστά οπτική ίνα από το κέντρο διανομής των υπηρεσιών της (cable head end – distribution center – central office) έως τους κόμβους εξυπηρέτησης (serving nodes) που τοποθετούνται κοντά στις επιχειρήσεις και τις κατοικίες των χρηστών. Εν συνεχεία, από τους κόμβους αυτούς έως τους τελικούς χρήστες χρησιμοποιείται ομοαξονικό καλώδιο για να συνδέσει τις επιχειρήσεις και τα σπίτια των τελικών χρηστών.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας HFC είναι ότι κάποια από τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών (όπως μεγάλο εύρος ζώνης και χαμηλός θόρυβος) μπορούν να έρθουν κοντά στον τελικό χρήστη, χωρίς να απαιτείται να αντικατασταθεί εξ ολοκλήρου η υπάρχουσα εγκατεστημένη καλωδίωση ομοαξονικού καλωδίου στα σπίτια και τις επιχειρήσεις των χρηστών.

Τόσο εταιρίες τηλεφωνίας, όσο και εταιρίες καλωδιακής τηλεόρασης χρησιμοποιούν την τεχνολογία HFC σε νέα ή αναβαθμισμένα δίκτυα και, σε μερικές περιπτώσεις, διαμοιράζονται την ίδια δικτυακή υποδομή για να μεταφέρουν video και φωνητικές συνομιλίες στο ίδιο σύστημα.

Η οπτικο-ηλεκτρονική τεχνολογία έχει τρομαχτικό αντίκτυπο στην εξέλιξη των δικτύων HFC που απαιτούνται για πολυμεσικές αλληλεπιδραστικές

εφαρμογές μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Η εισαγωγή αυτής της τεχνολογίας έδωσε την δυνατότητα στα δίκτυα που είχαν σχεδιαστεί αρχικά για υπηρεσίες μετάδοσης video να παρέχουν αξιόπιστο εύρος ζώνης για όλα τα είδη αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών μετάδοσης video, δεδομένων και φωνής.

Η οπτικο-ηλεκτρονική τεχνολογία επιτρέπει στις εταιρίες να εγκαταστήσουν οπτικές ίνες βαθιά μέσα στο δίκτυο (fiber deep into the network) πιο αποτελεσματικά, να κάνουν καλύτερη χρήση του υπάρχοντος εύρους ζώνης, να αυξήσουν με οικονομικό τρόπο το εύρος ζώνης και να στρέψουν τον μελλοντικό προγραμματισμό σε συγκεκριμένους τομείς. Επιπλέον, η οπτικο-ηλεκτρονική τεχνολογία καθιστά ικανή την αποτελεσματική παροχή πολλών νέων αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών, που δημιουργούν έσοδα για τις εταιρίες που τις παρέχουν, κάνοντας αυτές πιο επικερδείς και ανταγωνιστικές. Επιπρόσθετα, είναι αλήθεια πως μια πιο μεγάλη και πιο ισχυρή βιομηχανία τηλεπικοινωνιών μπορεί να μεταδίδει πιο οικονομικά video σε αρχιτεκτονικές τύπου FITL (fiber in the loop), να μεταφέρει πιο αποτελεσματικά αναλογικό video σε υποδομές τύπου SONET (synchronous optical network – SONET backbones) και να εφαρμόσει την τεχνική πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing- WDM) σε οπτικούς ενισχυτές σε long-haul δίκτυα.

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται από τη συνεργασία AT&T-TCI, τις επενδύσεις της Microsoft στην Comcast και την αγορά της Marcus Cable και της Charter Cable από την Paul Allen, τόσο οι βιομηχανίες παραγωγής H/Y, όσο και οι εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών έχουν εντοπίσει μια νέα εστία οικονομικού ενδιαφέροντος στην ανάπτυξη δικτύων HFC. Μάλιστα, μερικές μεγάλες εταιρίες επενδύουν στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των HFC δικτύων για ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Παρακάτω, στην ανάλυση που ακολουθεί, εξετάζει το αποτέλεσμα της οπτικο-ηλεκτρονικής τεχνολογίας στα HFC δίκτυα και πως αυτή η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί ώστε να παρέχει επιτυχώς μια ποικιλία αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών.



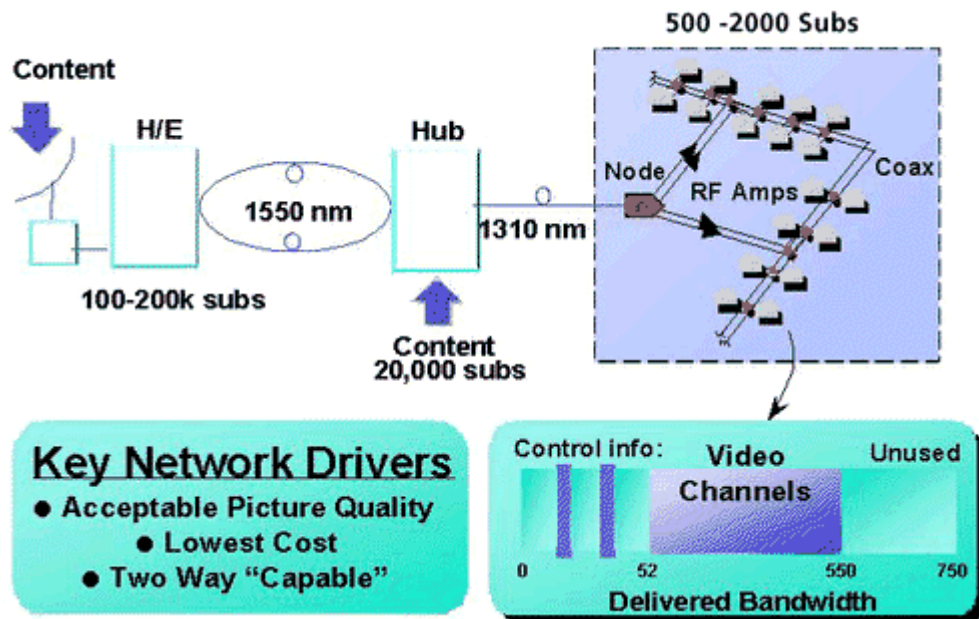
## 2.2. Αποτελεσματική Χρήση της Οπτικής Ίνας.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι όσο πιο κοντά στον τελικό χρήστη-πελάτη προσφέρεται το πρακτικώς μέγιστο εύρος ζώνης, με τη χρήση τεχνολογίας οπτικών ινών, τόσο πιο πολλές δυνατότητες και μεγαλύτερη ευελιξία έχει η παρεχόμενη υπηρεσία. Παράλληλα, η αισιόδοξη προοπτική των 1.000 μηκών κύματος (wavelengths) ανά οπτική ίνα που υποσχέθηκαν από την Lucent (Lucent's new ALLWAVE fiber) δίνει όλο και περισσότερη ώθηση στο να αυξηθεί η χρήση των οπτικών ινών.

Με την όλο και πιο βαθιά μετανάστευση (ever-deeper migration) της οπτικής ίνας στο δίκτυο, το κύριο ζήτημα αρχιτεκτονικής γίνεται το πως να εκμεταλλευτούν οι εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας οπτικών ινών σε συνδυασμό είτε με ομοαξονικό καλώδιο είτε με καλώδιο χαλκού. Τα ομοαξονικά καλώδια που υποστηρίζουν συχνότητες της τάξης των Gigahertz, με 1.000 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό των καλωδίων χαλκού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά για να προσφέρουν ένα μεγάλο εύρος αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών video, δεδομένων και φωνής.

Για να γίνει κατανοητό πως αυτά τα δίκτυα μπορούν να εξελιχθούν, ακολουθεί ένα παράδειγμα ενός τυπικού δικτύου HFC που υπάρχει σήμερα.

Οι οπτικές ίνες έχουν χρησιμοποιηθεί στα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης (cable TV) από το 1991. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν οπτικοί αναμεταδότες τύπου 1310-nm και κόμβοι οπτικών ινών μαζί με ομοαξονικούς ενισχυτές ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency – RF coax amplifiers), από όπου προκύπτει και ο όρος υβριδικό δίκτυο οπτικής ίνας/ομοαξονικού καλωδίου (hybrid fiber/coax). Η εικόνα 1 απεικονίζει αυτό τον τύπο δικτύου εκπομπής αναλογικής τηλεόρασης (analog television broadcast-based network) με δυνατότητες ροής δεδομένων από τους χρήστες προς τους πομπούς (upstream) που χρησιμοποιούνται για ελέγχους set-top και για την διαχείριση του δικτύου.



Εικόνα 1. Δίκτυο εκπομπής αναλογικής τηλεόρασης.

Το HFC δίκτυο είναι τυπικά περιορισμένο από την χρήση των αναλογικών αναμεταδοτών-πομπών τύπου 1550-nm, όσον αφορά την επέκταση της καλωδίωσης (cable plant). Συνήθως κάθε οπτικός κόμβος εξυπηρετεί 500 με 2.000 σπίτια. Οι κύριοι οδηγοί (drivers) του δικτύου είναι χαμηλού κόστους και έχουν καλή επίδοση στην μετάδοση του αναλογικού σήματος video σε όρους θορύβου και παραμόρφωσης (distortion) σήματος. Ο χρήστης λαμβάνει έως και 78 κανάλια video μέσω μιας αναλογικής συσκευής set-top.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής HFC είναι η ικανότητα να μεταφέρει πολλαπλές πληροφορίες σε πολλαπλούς τύπους διαμόρφωσης (formats), διαμοιραζόμενες σε ένα κλιμακούμενο (scalable) αριθμό χρηστών. Στη περίπτωση όμως που αφαιρεθεί η μετάδοση video από το δίκτυο και οι σωλήνες (pipes) χρησιμοποιούνται εξ ολοκλήρου για δεδομένα δια μέσου ενός φασματικώς αποτελεσματικού συστήματος διαμόρφωσης (modulation scheme), όπως το 256 QAM, το οποίο αποδίδει 7 bits ανά hertz, το αποτέλεσμα θα είναι ένας σωλήνας (pipe) μήκους 5 gigabits. Έτσι, χρησιμοποιώντας ομοαξονικό καλώδιο σε συχνότητα gigahertz μπορεί να αποδοθεί χωρητικότητα δεδομένων της τάξης των 7 gigabits.

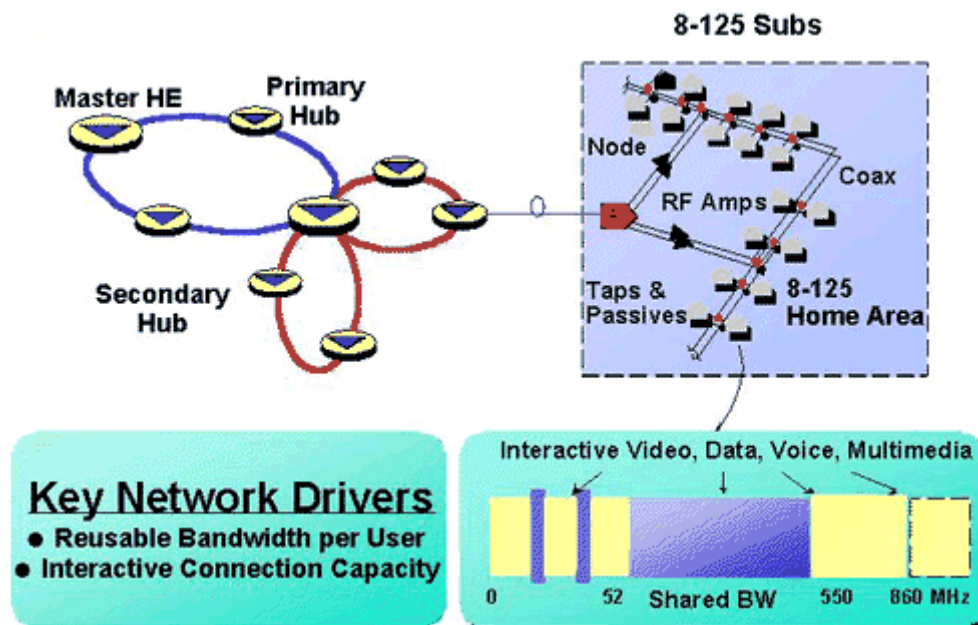
Επιπλέον, καθώς η χρήση αναλογικού video μειώνεται και το εύρος ζώνης που χρησιμοποιούνταν γίνεται διαθέσιμο, εμφανίζεται ένα σημαντικό ενδεχόμενο για παροχή νέων υπηρεσιών από την επαναχρησιμοποίηση αυτού του εύρους ζώνης. Γίνεται φανερό ότι μια ουσιαστική δύναμη των δικτύων HFC είναι η ευελιξία να μπορεί

να χρησιμοποιηθεί το εύρος ζώνης για διάφορες υπηρεσίες σε διάφορους τύπους διαμόρφωσης (formats).

Ο λόγος που σήμερα ένα μεγάλο τμήμα του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται για την μετάδοση αναλογικού video δείχνει μια θεμελιώδη διαφορά μεταξύ του δικτύων HFC και των δικτύων που είναι βασισμένα σε καλωδιώσεις χαλκού(copper-based networks). Σχεδόν 300 εκατομμύρια τηλεοράσεις, πολλές από τις οποίες είναι έτοιμες για καλωδιακή σύνδεση (cable-ready), είναι ήδη σε χρήση μόνο στις Η.Π.Α.. Για την ακρίβεια περισσότερα νοικοκυριά σε αυτή την χώρα έχουν τηλεοράσεις από τηλέφωνα. Η τεχνολογία HFC παρέχει επαρκές εύρος ζώνης για να μεταδοθούν υπηρεσίες σε αυτές τις συσκευές, αποφέροντας μια χαμηλού κόστους διανομή video. Οι περιορισμοί του εύρους ζώνης των χάλκινων μέσων μετάδοσης, παρά τις σημαντικές προόδους της τεχνολογίας DSL, επέβαλαν μια εναλλακτική προσέγγιση, η οποία αν και ήταν τεχνικά εφικτή, είχε ως αποτέλεσμα να επιβαρύνει με ένα επιπλέον κόστος τον τελικό χρήστη για τις απαραίτητες συσκευές διεπαφής (interface devices). Για να επεκταθεί το σύνολο των υπηρεσιών που προσφέρονται διαμέσου του HFC, χρειάζονται συγκεκριμένες αλλαγές του δικτύου, τόσο κατά την πρόσβαση όσο και κατά την μεταφορά των δεδομένων.

### 2.3. Αύξηση του Επαναχρησιμοποιήσιμου Εύρους Ζώνης.

Καθώς νέες υπηρεσίες προσθέτονται στο σύνολο των υπηρεσιών εκπομπής video, ο πρώτος στόχος στο δίκτυο είναι να αυξηθεί το επαναχρησιμοποιήσιμο εύρος ζώνης (reusable bandwidth) ανά χρήστη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: είτε κάνοντας το μήκος του σωλήνα (pipe) μεγαλύτερο, καθώς οι αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες μοιράζονται, είτε μειώνοντας τον αριθμό των χρηστών σε κάθε δεδομένο κόμβο (βλέπε εικόνα 2). Μεγαλύτεροι σωλήνες (pipes), στο τύπο των συστημάτων 862-Mhz, αναπτύσσονται ήδη σε μεγαλύτερες μετροπολιτικές περιοχές (larger metropolitan areas). Επίσης, αρχιτεκτονικές μεγαλύτερης χρήσης οπτικής ίνας (fiber-deeper) ξεκίνησαν να εφαρμόζονται, μειώνοντας το μέγεθος των κόμβων σε 50 σπίτια ανά κόμβο, το οποίο αυξάνει 10 φορές το αλληλεπιδραστικό εύρος ζώνης ανά χρήστη.



Εικόνα 2. Αύξηση του Επαναχρησιμοποιήσιμου Εύρους Ζώνης

Καθώς ο όγκος των αλληλεπιδραστικών δεδομένων αυξάνεται, το δίκτυο διακίνησης (transport network) πρέπει να επαυξηθεί για να παρέχει ευέλικτες, αποδοτικές συνδέσεις στους εξυπηρετητές (servers). Αυτοί οι εξυπηρετητές μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στο δίκτυο, αλλά τυπικά βρίσκονται, κατά κάποιο συγκεντρωτικό τρόπο, στο πρωταρχικό κέντρο παροχής δικτυακών υπηρεσιών (head end). Μια βασική θεώρηση στον σχεδιασμό του δικτύου είναι να μπορεί, όσο το δυνατόν, η δαπάνη ανάπτυξης του εξοπλισμού να εξισορροπείται από τα αναμενόμενα έσοδα από την παρεχόμενη υπηρεσία.

Έτσι, ο στόχος εξέλιξης του δικτύου είναι διπλός:

- ένας στόχος πρόσβασης, που αποσκοπεί στην μεγιστοποίηση του επαναχρησιμοποιήσιμου εύρους ζώνης ανά χρήστη και
- ένας στόχος διακίνησης, που αποσκοπεί στην πιο αποτελεσματική και ευέλικτη σύνδεση στους εξυπηρετητές οπουδήποτε κι αν βρίσκονται στο δίκτυο.

Για να τελεσφορήσει η προσπάθεια αυτών των στόχων απαιτούνται τέσσερις βασικές τεχνολογίες:

- Χρήση υψηλής ισχύς οπτικών μέσων τύπου 1550-nm:
  - ο τόσο στην περιοχή διακίνησης, για να μεταφέρουν πολλαπλές δέσμες διαμόρφωσης τετραγωνισμού εντάσεως (multiple quadrature amplitude modulation (QAM) bundles), για αλληλεπιδραστική ροή δεδομένων (traffic) και
  - ο τόσο στην περιοχή της πρόσβασης για να μειωθούν τα κόστη του δικτύου και να διευκολυνθεί η εφαρμογή των αρχιτεκτονικών τύπου fiber-deeper.
- Χρήση τεχνολογίας ψηφιακής μετάδοσης, χρησιμοποιώντας βελτιστοποιημένους για video (video-optimized) SONET συσκευές πολυπλεξίας (multiplexers), η οποία είναι πολύ κρίσιμος παράγοντας στη κατασκευή υψηλής ταχύτητας πολυμεσικών υποδομών (backbones).
- Χρήση της τεχνικής πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (Wave division multiplexing – WDM) όχι μόνο για να αυξηθεί το εύρος ζώνης, αλλά και για επιτευχθεί οπτική δρομολόγηση (routing) και μείωση του κόστους πρόσβασης.
- Χρήση παθητικής οπτικής τεχνολογίας (Passive optical technology), η οποία γίνεται κρίσιμος παράγοντας, τόσο για το κόστος, όσο και για την επίδοση του δικτύου, καθώς αυξάνεται η χρήση οπτικής ίνας στις υποδομές του δικτύου.

Η βασική απόφαση για τον καθορισμό της βέλτιστης αρχιτεκτονικής πρόσβασης είναι το μέγεθος του απαραίτητου εύρους ζώνης, είτε αφορά αμφίδρομη εκπομπή ευρείας ζώνης (broadcast), είτε αφορά εκπομπή στενής ζώνης (narrowcast).

Ένα δίκτυο HFC έχει τέσσερις παράγοντες που εμπλέκονται για τον καθορισμό του παρεχόμενου αλληλεπιδραστικού εύρους ζώνης:

- η συχνότητα,
- η χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing),
- η φασματική αποδοτικότητα (spectral efficiency) και
- το μήκος κύματος (wavelength).

Η συχνότητα καθορίζει τόσο το μέγεθος του σωλήνα (pipe) (750 MHz, 862 MHz, or 1 GHz), όσο και το τύπο σήματος, που παρέχει ένας δεδομένος υπο-μεταφορέας (sub carrier). Κάθε συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια του

χρόνου (over time) καθώς το σύνολο των υπηρεσιών αλλάζει, παρέχοντας μία μοναδική ευελιξία σε σύγκριση με τις άλλες αρχιτεκτονικές. Η χωρική πολυπλεξία (Spatial multiplexing) καθορίζει πόσες οπτικές ίνες να λειτουργούν (run) στην δικτυακή υποδομή (backbone) και στον κάθε κόμβο και πως αυτές να φορτώνονται (load). Η φασματική αποδοτικότητα (spectral efficiency) επιτρέπει την μετανάστευση (migration) κατά τη διάρκεια του χρόνου σε τεχνικές διαμόρφωσης (modulation techniques), όπως αυτή των 256 έναντι των 64 QAM, η οποία αυξάνει αποτελεσματικά το εύρος ζώνης. Τέλος, πολλαπλά μήκη κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια δεδομένη οπτική ίνα για να αυξήσουν την χωρητικότητα της, είτε με την τεχνική πυκνής πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (DWDM), είτε με συνδυασμούς μέσων 1310/1550.

## 2.4. Καθορισμός του Μεγέθους του Κόμβου.

Η εικόνα 3 απεικονίζει ένα τυπικό εύρος ζώνης που απαιτείται, τόσο για μετακίνηση δεδομένων από τον πομπό-κόμβο προς τον χρήστη (forward) όσο και ανάστροφα, για έναν αριθμό υπηρεσιών μετάδοσης video, δεδομένων, διαφήμισης, τηλεφωνίας και πολυμέσων, θεωρώντας ότι το μέγεθος του κόμβου είναι τέτοιο ώστε να εξυπηρετεί 500 σπίτια και ότι υπάρχουν λογικοί ρυθμοί εισχώρησης (penetration rates).

Service	Fwd Bandwidth Range(MHz)	Rev. Bandwidth Range (MHz)
Broadcast Analog	500-700	2
Broadcast Digital	18 - 24	2
NVOD	36 - 96	2
VOD	24 - 36	2
HDTV	12 - 66+	---
WEBCAST	6	2
TV-Based Data Services	6	2
PC-Based Data Services	6	4
Worldgate	---	2
Targeted Advertising	12 - 36	TBD
Cable Telephony	12	12
IP Telephony	3 - 6	1 - 3
IP Videoconferencing	3 - 6	6 - 12
Multimedia	TBD	TBD
	638 - 1000MHz	35 - 44MHz

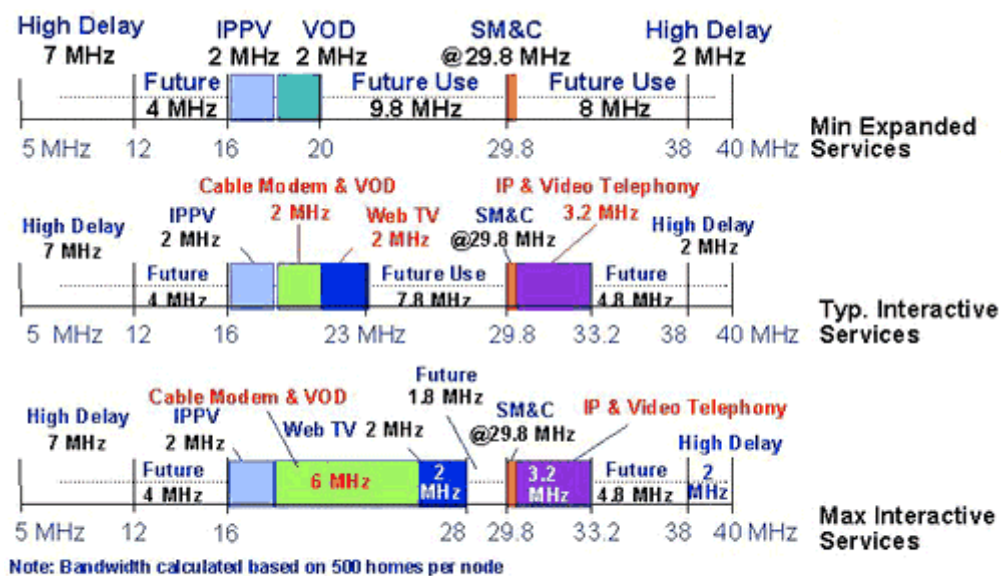
Εικόνα 3. Τυπικό Εύρος Ζώνης.



Με βάση αυτή την εικόνα και με την υπόθεση ότι η αναλογική αναμετάδοση δεν θα μειωθεί τα προσεχή χρόνια, γίνεται φανερό ότι ένας κόμβος 500 σπιτιών δεν θα είναι επαρκής μακροπρόθεσμα. Έτσι, ο στόχος είναι να βρεθούν τρόποι να οδηγηθεί οικονομικά η τεχνολογία της οπτικής ίνας όλο και πιο εσωτερικά στο δίκτυο πρόσβασης (driving the fiber deeper into the access network).

Μεγάλη σημασία στην όλη ανάλυση έχει η ικανότητα του ανάστροφου ρεύματος ροής δεδομένων των δικτύων HFC, δηλαδή αυτού που μεταδίδει δεδομένα από τον χρήστη προς τον πομπό-κόμβο (upstream), να μπορεί χειριστεί το πλήρες σύνολο των αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών που παρέχονται. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται στα δίκτυα σήμερα κατανεμημένα λέιζερ ανάδρασης (distributed feedback lasers – DFB), ανάλογα με τις υπηρεσίες που παρέχονται.

Πάνω από 250.000 καλωδιακά modem υψηλής ταχύτητας υπάρχουν ήδη στην Βόρεια Αμερική, πράγμα που παρέχει μεγάλη πίστη για την επίτευξη ακεραιότητα διπλής κατεύθυνσης (two-way integrity) στα δίκτυα HFC. Επιπλέον, όσο πιο βαθιά αναπτύσσεται η οπτική ίνα, τόσο μικρότερο γίνεται το πρόβλημα εισόδου (ingress problem). Η εικόνα 4 απεικονίζει τον φόρτο (loading) του ανάστροφου καναλιού (reverse path), για την πρόσβαση πεντακοσίων σπιτιών ανά κόμβο, για τρία διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα.



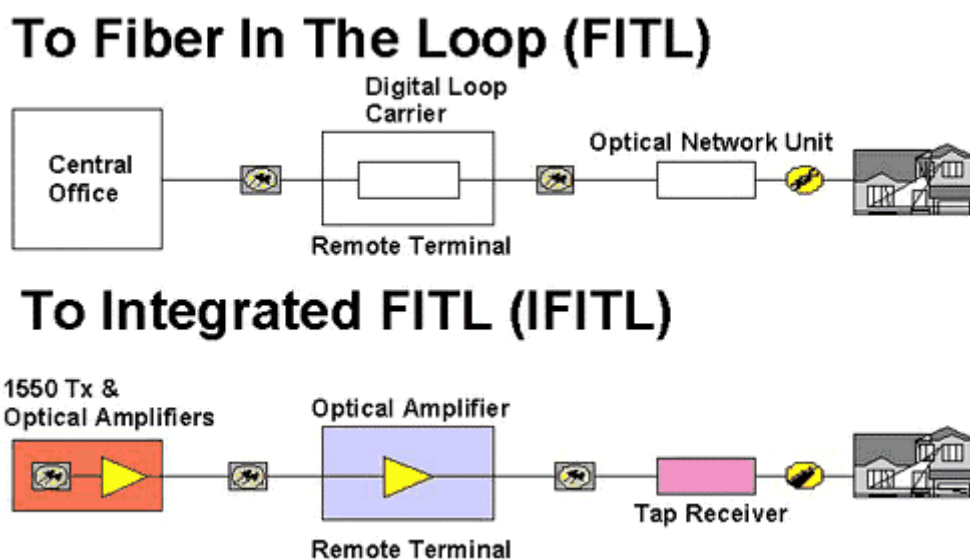
- TDMA Telephony (12 MHz) can not be supported.
- Data traffic is projected to grow by an additional 4x.

Εικόνα 4. Ο φόρτος του ανάστροφου ρεύματος (reverse path).

Το μέγεθος του κόμβου είναι λογικά επαρκές, από την άποψη του κυκλοφοριακού φόρτου δεδομένων (traffic), έως ότου δεν αναπτυχθούν υπηρεσίες καλωδιακής τηλεφωνίας (cable telephony). Ωστόσο, για να προσδιοριστεί η επίδοση του συστήματος, καθώς η οπτική ίνα ωθείται βαθύτερα για να χειριστεί την κυκλοφορία των δεδομένων προς τα μπροστά (forward traffic), δηλαδή από τον κόμβο προς τον χρήστη, το μήκος των ραδιοσυχνοτήτων (RF cascade length) μειώνεται, περιορίζοντας την είσοδο (ingress), βελτιώνοντας την αξιοπιστία, και χαμηλώνοντας τα κόστη ενέργειας (power costs).

## 2.5. Χρήση Αναμεταδοτών 1550-nm

Με τη χρήση τεχνολογίας υψηλής ισχύς (high-power) μετάδοση τύπου 1550 και τη μείωση του μέγεθος του κόμβου ώστε να εξυπηρετεί δώδεκα σπίτια, η αρχιτεκτονική HFC εφαρμόζεται πολύ καλά με ένα σύστημα συνδυασμού οπτικής ίνας και χάλκινων μέσων μετάδοσης στον τοπικό βρόγχο (copper-based fiber in the loop (FITL) system), για να καταλήξει σε μια ισχυρή αρχιτεκτονική που καλύπτει όλη τη γκάμα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Όπως απεικονίζει η εικόνα 5, μια υπηρεσία μετάδοσης video βασισμένη σε αρχιτεκτονική HFC μπορεί να προστεθεί εύκολα σε ένα δίκτυο FITL.



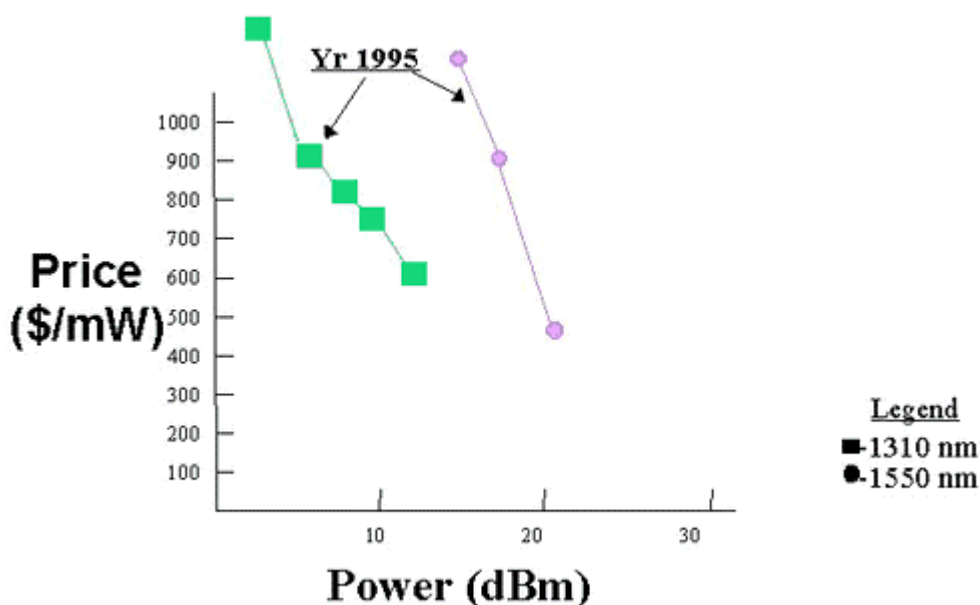
Εικόνα 5. Σύστημα HFC σε FITL.

Ένας εξωτερικά διαμορφωμένος αναμεταδότης (externally modulated transmitter) τύπου 1550 και ένας υψηλής ισχύς οπτικός ενισχυτής (optical amplifier)



τοποθετούνται στο κέντρο παροχής δικτυακών υπηρεσιών (central office-CO), διανέμοντας τα ευρυζωνικά σήματα σε ως και 16 απομακρυσμένα τερματικά (remote terminals – RTs) ή 32.000 συνδρομητές. Αμέσως μετά το απομακρυσμένο τερματικό τοποθετείται ένας άλλος οπτικός ενισχυτής, ο οποίος ενισχύει το σήμα και τροφοδοτεί τις συσκευές λήψης video χαμηλής ισχύς (low-power video receivers). Αυτές οι συσκευές λήψης μπορεί να είναι αυτόνομες ή να εμπεριέχεται σε ένα tap housing ή να παίρνουν τη μορφή μιας κάρτας (plug-in card) που μπορεί να ενσωματωθεί στη μονάδα οπτικού δικτύου (optical network unit – ONU). Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό στοιχείο είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μονή οπτική ίνα, επειδή το video λειτουργεί στα 1550 nm και τα φωνητικά σήματα και τα δεδομένα στα 1310 nm. Έτσι, από όλα τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι με την τεχνολογία οπτικών ινών και τις απαραίτητες εργασίες εγκατάστασης, υπηρεσία video μπορεί να προστεθεί οικονομικά στο σύστημα FTTL. Κεραίας σημασίας παράγοντες για να λειτουργήσει αυτή η αρχιτεκτονική, τόσο τεχνικά όσο και εμπορικά, είναι τα υψηλής ισχύς οπτικά μέσα τεχνολογίας 1550 και οι χαμηλού κόστους και ισχύς συσκευές λήψης video (video receivers).

Η εικόνα 6 απεικονίζει πως έχουν εξελιχθεί τα σχετικά κόστη των τεχνολογιών 1310 και 1550 κατά τη διάρκεια του χρόνου.



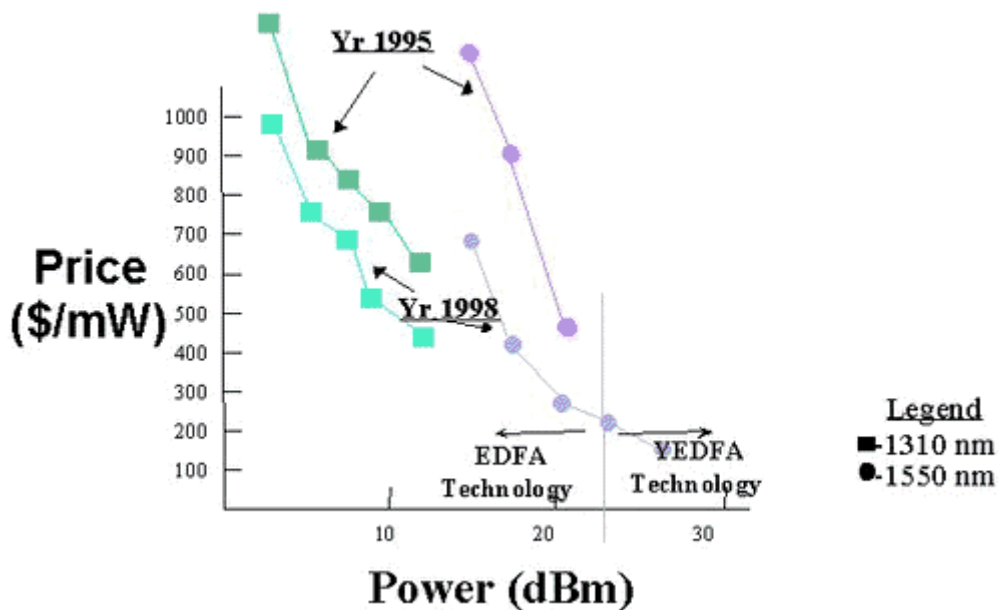
Εικόνα 6. Τα κόστη των τεχνολογιών 1310 και 1550.

Αυτό το διάγραμμα δείχνει το κόστος του φωτός (cost of light) μετρημένο σε δολάρια ανά mill watt έναντι της συνολικής παραγωγής ισχύς το 1995, οπότε τα

δίκτυα HFC άρχισαν να αναπτύσσουν τεχνολογία 1550. Αυτά τα κόστη ίσως φαίνονται υψηλά για εταιρίες-συντελεστές (operators) με μεσαίου εύρους (baseband) ψηφιακά δίκτυα, αλλά αυτοί οι πομποί-αναμεταδότες (transmitters) μπορούν να μεταφέρουν έως και 110 αναλογικούς υπο-μεταφορείς (subcarriers) της τάξης των 6 MHz με αναλογίες μεταφορέα προς θόρυβο (carrier-to-noise ratios – CNRs) στα 50s και σε δεύτερου και τρίτου βαθμού παραμόρφωση στα 60s. Όπως φαίνεται, η τεχνολογία 1550 ήταν αρκετά ακριβή και έτσι περιοριζόταν σε αυτές τις εφαρμογές που απαιτούσαν υψηλή παραγωγή ισχύος, δηλαδή κυρίως στο δίκτυο διακίνησης (transport network).

## 2.6. Η Τεχνολογία Προσφέρει Χαμηλότερα Κόστη και Υψηλότερη Αξία.

Σήμερα, όπως ήταν αναμενόμενο, έχει μειωθεί η τιμή και των δύο τεχνολογιών (1310/1550), αλλά η τεχνολογία 1550 έχει βελτιωθεί σημαντικά σε σχετική αξία. Στο διάγραμμα της εικόνας 7 παρατηρούμε μια επέκταση της δυνατότητας ισχύος των ενισχυτών τύπου 1550 με την χρήση τεχνολογίας codoped ytterbium-erbium (YEDFA) έναντι της τυπικής 980-nm pumped erbium-doped (EDFA). Αυτό φαίνεται στο δεξί τμήμα της καμπύλης (από τον αχνό κατακόρυφο άξονα και δεξιά). Αυτή η τεχνολογία αυξάνει την εκροή ισχύος (power output) σε 25 dBm, ενώ παράλληλα μειώνει σημαντικά το κόστος ανά mill watt.



Εικόνα 7. Επέκταση της δυνατότητας έναντι των τυπικών ενισχυτών τύπου 980-nm Pumped Erbium-Doped Amplifiers

Χρησιμοποιώντας αυτή τη τεχνολογία, μπορούν να κατασκευαστούν συστήματα τύπου self-healing dual-pumped για να παρέχουν κοινή ή αναμεταδιδόμενη πληροφορία σε πολλούς κόμβους στο δίκτυο πρόσβασης (access network).

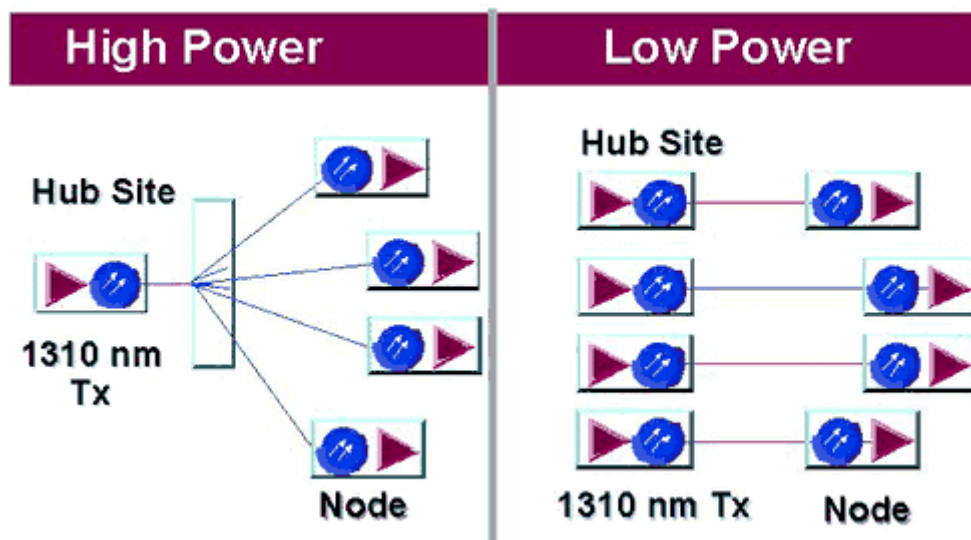
Επιπρόσθετα, ένας νέας γενιάς ενισχυτής, που κάνει χρήση cladding pump τεχνολογίας είναι υπό ανάπτυξη, για να βελτιώσει περαιτέρω την ικανότητα των οπτικών μέσων τύπου 1550 να διευκολύνουν την όλο και πιο βαθιά εισχώρηση της οπτικής ίνας (fiber-deeper penetration). Αυτή η τεχνολογία αναμένεται να αυξήσει την ισχύ (power) και να μειώσει σημαντικά τα κόστη, αποφέροντας ένα σχετικό κόστος δολαρίων ανά mill watt της τάξης των 30 dBm ή 1 watt σε κάτι λιγότερο από 50 δολάρια. Προβλέπεται, δηλαδή, μια σημαντική βελτίωση στο καθαρό κόστος φωτός (pure cost of light) έναντι της σημερινής 1310 τεχνολογίας. Επιπλέον, αυτή η τεχνολογία υπόσχεται πολλά για την επίλυση των ζητημάτων καθορισμού της απόστασης τοποθέτησης των οπτικών ενισχυτών (optical amplifier spacing), τα οποία αναδείχθηκαν από τα συστήματα πολλών καναλιών DWDM (high-channel DWDM systems), που αναπτύσσονται σήμερα σε long-haul δίκτυα μεσαίας ζώνης.

Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας αυτές τις προηγμένες οπτικές τεχνολογίες τύπου 1550 ελαττώνεται σημαντικά το κόστος της μετάδοσης ευρυζωνικών υπηρεσιών, και ως εκ τούτου καθιστά ικανές τεχνολογίες fiber-deeper στο δίκτυο πρόσβασης (access network).

## 2.7. Χρήση Τεχνολογίας 1310 nm για Εκπομπή Στενής Ζώνης (Narrowcasting).

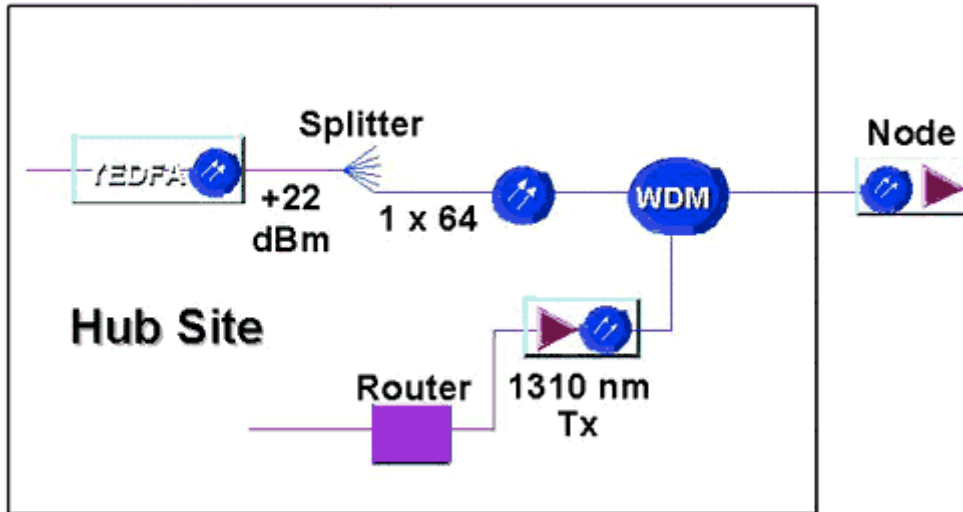
Στη τοποθεσία του διανομέα (hub site), ο οποίος τυπικά εξυπηρετεί έως και 20.000 σπίτια, τα εκπεμπόμενα σήματα video λαμβάνονται μέσω μετάδοσης τύπου 1550-nm, εν συνεχεία μετατρέπονται σε ραδιοσυχνότητες (Radio Frequency – RF), και μετά εκπέμπονται (release) στα 1310 nm. Οι μεταδότες-πομποί (transmitters) τύπου 1330 περιέχουν δύο εισόδους RF, μια κοινή ή θύρα εκπομπής (broadcast port), και μία μοναδική (unique) ή θύρα εκπομπής στενής ζώνης (narrowcast port). Με αυτόν τον τρόπο, υπηρεσίες μετάδοσης τοπικού video, διαφήμισης και οποιεσδήποτε άλλες αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες, όπως δεδομένα και φωνή, μπορούν να εισαχθούν.

Διαστήματα ισχύος (power ranges), όπως αυτά των 1012 dBm, που φαίνονται στο αριστερό τμήμα της εικόνας 8, στοχεύουν να εξυπηρετούν 2.000 σπίτια, θεωρώντας πως χρησιμοποιούνται κόμβοι μεγέθους 500 σπιτιών. Στο δεξί τμήμα της εικόνας 8 απεικονίζονται χαμηλότερης ισχύς (lower-power) 4-dBm ή 6-dBm μεταδότες-πομποί, οι οποίοι μειώνουν τον αριθμό των σπιτιών που γίνεται εκπομπή στενής ζώνης (narrowcasting) σε 500 σπίτια, με ένα 20%-30% επιπλέον κόστος για τους πομπούς-μεταδότες (transmitters). Ο κάθε πομπός μεταδίδει σήματα εκπομπής ευρείας ζώνης (broadcast), στενής ζώνης (narrowcast), αλλά και αλληλεπιδραστικές πληροφορίες.



Εικόνα 8. Εύρος Ισχύος.

Η υψηλής ισχύς τεχνολογία τύπου 1550 χρησιμοποιείται για να μεταβιβάσει μόνο πληροφορία εκπομπής ευρείας ζώνης (broadcast information). Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 9, ένας ενισχυτής τύπου 22-dBm ytterbium erbium-doped fiber amplifier (YEDFA) μπορεί να επιτύχει 64 κόμβους ή 32.000 συνδρομητές, αποφέροντας ένα σημαντικά χαμηλό κόστος εκπομπής. Για την πληροφορία στενής ζώνης εκπομπής (narrowcast) χρησιμοποιείται ένας χαμηλότερου κόστους πομπός, τεχνολογίας τύπου 1330, που είναι κατάλληλος για την μεταφορά μόνο QAM καναλιών. Έπειτα, τα δύο μήκη κύματος συνδυάζονται οπτικά για την διανομή (delivery) στον κόμβο.



Εικόνα 9. Τεχνολογία YEDFA.

Εκτός από τη μείωση του κόστους ανάπτυξης, αυτή η αρχιτεκτονική διαχωρίζει λογικά τους δύο τύπους της πληροφορίας, επιτρέποντας τον καθένα να αναπτύσσεται ανεξάρτητα. Έτσι, η διαδρομή εκπομπής στενής ζώνης (narrowcast path) γίνεται προαιρετική και χρησιμοποιείται μόνο εάν απαιτείται. Αυτή η αρχιτεκτονική, ενώ μόλις ξεκίνησε να αναπτύσσεται από τους κύριους συντελεστές πολλαπλών υπηρεσιών (multiple service operators - MSOs), χρησιμοποιείται σχεδόν παγκοσμίως από τους νέους συντελεστές δικτύου (network operators) στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπως επίσης και σε νέες κατασκευές σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία και η Κίνα. Αυτός ο συνδυασμός του χαμηλού κόστους εκπομπής ευρείας ζώνης (broadcast cost) και του μηδενικού κόστους εκπομπής στενής ζώνης (narrowcast) οδηγεί στην εμφάνιση ενός ολοκληρωμένου δικτύου FITL (integrated FITL network) πιο νωρίς από ότι αναμενόταν.

## 2.8. Αύξηση του Εύρους Ζώνης και Μείωση στο Κόστος.

Η εικόνα 10 απεικονίζει τα συγκεντρωτικά οικονομικά-τεχνικά στοιχεία ενός τυπικού καλωδιακού δικτύου (cable network). Στη την βασική περίπτωση (base case), που φαίνεται για τρία δείγματα, το μέγεθος του κόμβου είναι 900 σπίτια, με τέσσερις έως πέντε ενεργές συσκευές ανά μίλι (active devices per mile). Στο μέσο του διαγράμματος εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάπτυξης μιας αρχιτεκτονικής κοντά στην παθητική (near-passive), που σημαίνει ότι περιλαμβάνει έναν RF

ενισχυτή. Αυτή η αρχιτεκτονική αποφέρει έξι με οκτώ φορές περισσότερο διαθέσιμο αλληλεπιδραστικό εύρος ζώνης, με πολύ μικρό κόστος. Συγχρόνως, ο αριθμός των ενεργών στοιχείων (active count) περικόπτεται στο μισό, που σημαίνει υψηλότερη αξιοπιστία με μικρότερη ισχύ και κόστος συντήρησης. Τέλος, σε μια παθητική αρχιτεκτονική (passive architecture), δύο με τρεις φορές περισσότερο εύρος ζώνης αποκτιέται με μια λογική επιβάρυνση κόστους. Σε αυτό το σημείο, ένα πλήρως αλληλεπιδραστικό σύστημα κυμαίνεται πάνω από τον μέσο στη καμπύλη του κόστους.

		<u>Hub A</u>	<u>Hub B</u>	<u>Hub C</u>
<b><u>Base Case</u></b>	<b>Homes Passed</b>	<b>837</b>	<b>962</b>	<b>948</b>
	<b>Cost/HP</b>	<b>\$187</b>	<b>\$134</b>	<b>\$183</b>
	<b>Actives/Mile</b>	<b>4.3</b>	<b>5.3</b>	<b>4.5</b>
<b><u>Near Passive</u></b> (100-150 HP per Node)	<b>Cost/HP</b>	<b>\$225</b>	<b>\$143</b>	<b>\$204</b>
	<b>% Increase</b>	<b>21%</b>	<b>7%</b>	<b>11%</b>
	<b>Actives/Mile</b>	<b>2.1</b>	<b>2.4</b>	<b>2.6</b>
<b><u>Passive</u></b> (50 HP/Node)	<b>Cost</b>	<b>\$264</b>	<b>\$200</b>	<b>\$278</b>
	<b>% Increase</b>	<b>41%</b>	<b>49%</b>	<b>52%</b>
	<b>Actives/Mile</b>	<b>1.6</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>

Εικόνα 10. Αποτελέσματα 3 Σεναρίων Αρχιτεκτονικών σε 3 Δείγματα.

Έτσι, η αναπτυσσόμενη σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την κατασκευή ευέλικτων ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης (access networks) ικανά να χειριστούν υπηρεσίες μετάδοσης αλληλεπιδραστικού video, δεδομένων και φωνής. Όπως έχει προαναφερθεί, ο τελικός στόχος είναι να μπορεί να συνδεθεί ο χρήστης σε εξυπηρετητές (servers) οπουδήποτε στο δίκτυο, αποτελεσματικά και ευέλικτα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται μια υποδομή πολυμεσικού δικτύου διαβίβασης (multimedia backbone transport network) ικανή να μεταφέρει φωνή, δεδομένα και ποικίλες μορφές video.

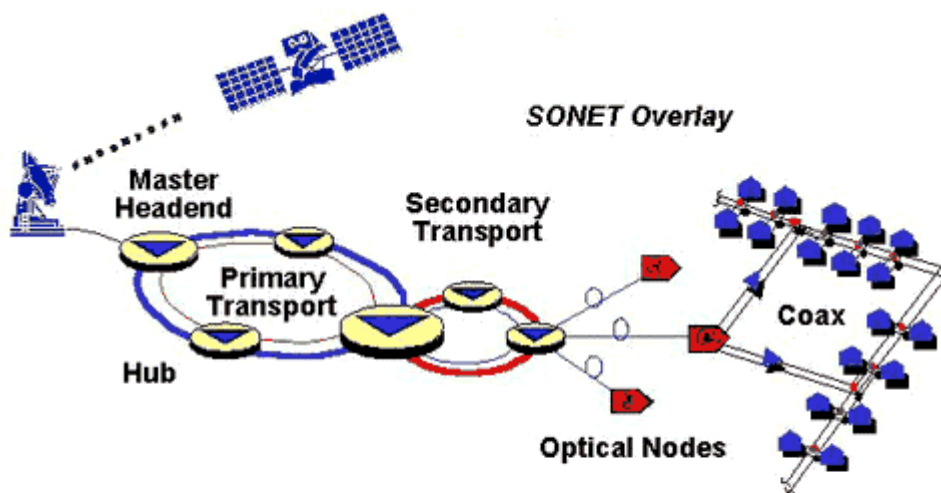
## 2.9. Χρήση Πολυπλεκτών SONET

Για την μετάδοση φωνής και δεδομένων, η γενικά αποδεκτή επιλογή είναι η τεχνολογία SONET. Ωστόσο, η τεχνολογία SONET παραδοσιακά δεν λειτουργεί πολύ αποδοτικά στην μεταφορά video (video transport). Οι κωδικοποιητές/αποκωδικοποιητές video (video coders/decoders – CODECs), οι οποίοι συμπιέζουν ένα ή περισσότερα σήματα video σε ψηφιακή υπηρεσία επιπέδου 3 (DS-3), είναι ακριβοί και αποφέρουν σχετικά χαμηλή απόδοση. Επιπλέον, επειδή είναι εξωτερικές συσκευές (outboard device), το σύστημα διαχείρισης δικτύου SONET (SONET network management) ελέγχει μόνο τα κυκλώματα DS-3 και δεν παρακολουθεί την επίδοση του video (video performance). Συνεπώς, πολλοί ευρυζωνικοί συντελεστές (broadband operators) εγκαθιστούν δύο δίκτυα: ένα σύστημα SONET για φωνή και δεδομένα και ένα αναλογικό ή ιδιωτικό (proprietary) ψηφιακό σύστημα για video. Τόσο από αρχιτεκτονική όσο και από λειτουργική προοπτική, αυτό δεν είναι η βέλτιστη λύση.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το βασικό ζήτημα μετάδοσης (transport) έχει αναπτυχθεί ένας πολυπλέκτης (multiplexer) τύπου OC-48 SONET βελτιστοποιημένος για video (video-optimized). Συσκευές εισόδου / εξόδου (I/O) βελτιστοποιημένες για video παίρνουν αναλογικά κανάλια video διαφόρων τύπων διαμόρφωσης (various formats) και τα τοποθετούν κατευθείαν σε θυρίδες τύπου STS-3 (STS-3 slots) στο SONET φορτίο επί πληρωμή (SONET payload). Αυτό επιτρέπει στον συντελεστή να μεταφέρει αναλογικό video με ένα ασυμπίεστο, υψηλής επίδοσης τρόπο, ενώ παράλληλα διατηρεί όλα τα οφέλη ενός συστήματος SONET για διπλές υπηρεσίες, όπως φωνή και δεδομένα. Για να κωδικοποιηθεί (encode) το video, ο συντελεστής μπορεί να χρησιμοποιήσει δείγματα των 10 bits και να μεταδώσει τόσο μεσαίας ζώνης (baseband) όσο και IF video σήματα, σε ανάμεικτο ή καθαρό κανάλι (scrambled or clear channel).

Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την κατασκευή μιας πραγματικής πολυμεσικής υποδομής (multimedia backbone), στην οποία ένα μονό ζεύγος οπτικών ινών μεταφέρει ένα πλήρες εύρος υπηρεσιών μετάδοσης video, φωνής και δεδομένων. Επιπλέον, εξαλείφοντας τις αρχιτεκτονικές συγκεκριμένων υπηρεσιών (service-specific architectures), δημιουργείται η απαραίτητη ευελιξία για να αντιμετωπιστεί η αβεβαιότητα που εμφανίζεται με τις νέες υπηρεσίες.





**Prisma DT is a multiservice OC-48 multiplexer optimized for regional interconnection and transport of:**

- **Linear Broadcast Video**
- **Interactive Data and Voice Services**

Εικόνα 11. Βελτιστοποιημένος για video πολυπλέκτης SONET (SONET multiplexer) OC-48.

Ένα μειονέκτημα της μεταφοράς ασυμπιεστων αναλογικών σημάτων, με ψηφιακό τρόπο, είναι το μεγάλο εύρος ζώνης που απαιτείται. Συγκεκριμένα, 16 αναλογικά κανάλια καταλαμβάνουν ένα ολόκληρο OC-48. Για να ξεπεραστεί αυτό, χρησιμοποιείται η τεχνική πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος DWDM για να συνδυαστούν πάνω από οκτώ συστήματα σε μία μονή οπτική ίνα. Αυτός ο συνδυασμός καθιστά ικανή την μετάδοση 80 αναλογικών καναλιών video και αρκετές εκατοντάδες ροές δεδομένων (streams) ψηφιακού video, ενώ διατηρούνται 5 gigabits για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.

## 2.10. Χρήση του Αναλογικού Δικτύου για Αλληλεπιδραστική Κυκλοφορία (traffic).

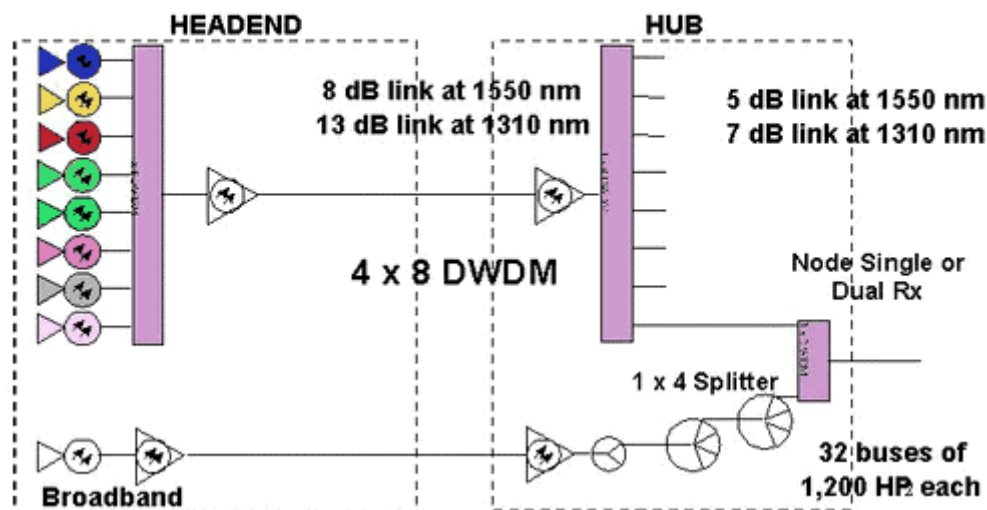
Το υπάρχων αναλογικό δίκτυο διακίνησης (transport network) μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην μεταφορά αλληλεπιδραστικών δεδομένων. Για παράδειγμα, για υπηρεσίες μετάδοσης video κατά την απαίτηση του χρήστη (video-on-demand), ένας τυπικός διανομέας (hub) ίσως χρειαστεί να λάβει αρκετές εκατοντάδες ψηφιακών ροών δεδομένων (streams) για να ανταποκρίνεται σε



απαιτήσεις κυκλοφορίας της τάξης του 20% ή 30% βαθμού διείσδυσης (penetration).

Για να παραχθεί αυτό το εύρος ζώνης, οκτώ μεταδότες-πομποί (transmitters) τεχνολογίας τύπου 1550, κάθε ένας από τους οποίους μεταφέρει 200 MHz φορτίου QAM (QAM loading), μπορούν να πολυπλεχθούν (multiplexed) σε μια μονή οπτική ίνα και να συνδυαστούν στον διανομέα (hub) με το σήμα εκπομπής ευρείας ζώνης (broadcast signal) (βλέπε εικόνα 12). Ανάλογα με την επιλεγμένη αρχιτεκτονική μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε εξωτερικά διαμορφούμενοι (externally modulated) είτε κατευθείαν διαμορφούμενοι (directly modulated) πομποί-αναμεταδότες (transmitters). Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται και στην ανάστροφη κατεύθυνση (upstream) για να μεταφέρει σήματα από τους διανομείς (hubs) προς τα κέντρα παροχής δικτυακών υπηρεσιών (head ends).

## DWDM Forward



Εικόνα 12. Χρήση του αναλογικού δικτύου για αλληλεπιδραστική κυκλοφορία (traffic).

Μακροπρόθεσμα, τα συστήματα θα χρειαστεί να μεταφέρουν, πάνω από την ίδια οπτική ίνα, όχι μόνο πολλαπλά μήκη κύματος (multiple wavelengths) ψηφιακών σημάτων μεσαίας ζώνης (baseband), αλλά και πολλαπλά κανάλια QAM (multiple QAM channels) και μια αναλογική σειρά (analog tier). Με αυτόν τον τρόπο, οι υποδομές των μετροπολιτικών δικτύων (backbone metropolitan-area networks – MANs) μπορούν να κατασκευαστούν έτσι, ώστε να ανταποκρίνονται στον στόχο διακίνησης (transport) που είναι η αποτελεσματική συνδεσιμότητα πολυμεσικών υπηρεσιών, ποικίλων τύπων διαμόρφωσης (multiple formats), αποφεύγοντας τις περιττές μετατροπές και τα επιπλέον κόστη επεξεργασίας όπου είναι αυτό δυνατόν.

### 3. Παρουσίαση Συστημάτων Οπτικής Ίνας ως την Οικία του Συνδρομητή (FTTH).

#### 3.1. Γενικά.

Όπως έχει προαναφερθεί, σήμερα είναι γεγονός ότι κάθε χρήστης απαιτεί υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, αξιόπιστες υπηρεσίες μετάδοσης φωνής (dependable voice services) και μετάδοση υψηλής ποιότητας video. Εάν αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται με ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές (digital subscriber lines – DSLs), καλωδιακά μόντεμ (cable modems) ή ασύρματες αρχιτεκτονικές δεν έχει σημασία όσο η υπηρεσία παρέχεται γρήγορα και αξιόπιστα.

Ωστόσο, παρέχοντας αυτές τις υπηρεσίες, παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός προκλήσεων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του πως να οδηγηθούν αυτές οι υπηρεσίες στον καταναλωτή και πως η αρχιτεκτονική που οικοδομείται σήμερα να έχει μελλοντική προοπτική για να καλύψει νέες ανάγκες.

Η αρχιτεκτονική FTTH αναπτύχθηκε σε απάντηση των διαφόρων παραγόντων της αγοράς για πρόσβαση από περιοχές κατοικιών (residential access market drivers). Με την έκφραση «Οπτική Ίνα ως την Οικία του Συνδρομητή» (Fiber to the home – FTTH) εννοούμε εκείνη την ιδανική αρχιτεκτονική κατά την οποία θα γίνεται χρήση οπτικών ινών ως τις κτιριακές εγκαταστάσεις των τελικών καταναλωτών-συνδρομητών. Οι παράγοντες που οδήγησαν στην εμφάνιση αυτής της αρχιτεκτονικής είναι οι παρακάτω:

- Η αύξηση της χρήσης του Internet, η επιθυμία για μεγαλύτερες ταχύτητες, οι εναλλακτικές στρατηγικές όπως αυτές των φωνή μέσω DSL (voice over DSL – VoDSL), φωνή μέσω IP (voice over IP – VoIP), φωνή μέσω ATM (voice over ATM – VoATM) και η χρήση καλωδιακών μόντεμ (cable modems).
- Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός στην αγορά λόγω του αναπτυσσόμενου αριθμού ανταγωνιστικών τοπικών μεταφορέων (competitive local-exchange carriers – CLECs), η αύξηση των παρεχόμενων υπηρεσιών από τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών εφαρμογών (application service providers – ASPs) και οι κανονιστικές αποφάσεις της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (Federal Communications Commission – FCC) στις Η.Π.Α.

- Εμφάνιση περιπλοκών που επηρεάζουν την ευκολία ανάπτυξης και συντήρησης.
- Το μειούμενο κόστος του οπτικού εξοπλισμού.
- Οι κύκλοι ζωής των τεχνολογιών που υπαγορεύουν την ανάγκη να αναπτυχθούν οι κατάλληλες τεχνολογίες την κατάλληλη στιγμή και συγχρόνως να έχουν μελλοντική προοπτική.

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται αυτά τα ζητήματα, αλλά και το πόσο καλά η αρχιτεκτονική FTTH τα ικανοποιεί.

### 3.2. Ανταπόκριση στις Σημερινές Ανάγκες και Πρόβλεψη για το Μέλλον.

Γενικά, τα δίκτυα βασισμένα σε οπτικές ίνες εξελίχθηκαν ως απάντηση στη ζήτηση των καταναλωτών για μια μεγάλη ποικιλία πολυμεσικών υπηρεσιών και εφαρμογών. Για να ανταποκριθούν σε αυτή την ζήτηση, οι εταιρίες παροχής υπηρεσιών (service providers) χρειάζονται μια εύρωστη, ευρυζωνική δικτυακή λύση όπως αυτή της τεχνολογίας οπτικών ινών, που προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης και την ευελιξία να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των καταναλωτών για αλληλεπιδραστικές, διπλής κατεύθυνσης υπηρεσίες video.

Η αρχιτεκτονική FTTH καθιστά ικανές τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών να προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών επικοινωνίας και ψυχαγωγίας, συμπεριλαμβανομένων και των εξής:

- τηλεφωνία carrier-class,
- υψηλή ταχύτητα πρόσβαση στο Internet (high-speed Internet access),
- εκπομπή καλωδιακή τηλεόρασης (broadcast cable television),
- άμεση εκπομπή δορυφορική τηλεόρασης (direct broadcast satellite (DBS) television), και
- αλληλεπιδραστικές διπλής κατεύθυνσης υπηρεσίες video.

Όλες αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται μέσω ενός παθητικού οπτικού δικτύου διανομής (passive optical distribution network), με τη χρήση μιας μονής οπτικής ίνας ως το σπίτι των καταναλωτών. Επιπρόσθετα, η λύση FTTH που βασίζεται είτε στην τεχνική πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (wavelength division multiplexing - WDM), είτε στην αρχιτεκτονική λ-based, επιτρέπει επιπλέον ευελιξία και προσαρμοστικότητα για την υποστήριξη μελλοντικών υπηρεσιών.

Η πρωτοβουλία για ένα δίκτυο πρόσβασης πλήρους συνόλου υπηρεσιών (full-service access network – FSAN), της οποίας σκοπός είναι να εξασφαλίσει οικονομικές λύσεις για να επιταχύνει την εισαγωγή των ευρυζωνικών υπηρεσιών στο δημόσιο δίκτυο (public network), δοκιμάζει την τεχνολογία ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (ATM) – παθητικού οπτικού δικτύου (PON) (asynchronous transfer mode (ATM)–passive optical network (PON)) για την αρχιτεκτονική FTTH, η οποία μεταφέρει δικτυακές υπηρεσίες με κυψελίδες ATM (ATM cells) σε ένα δίκτυο PON. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς παρέχει πολλά σημαντικά στοιχεία για τις υπηρεσίες, όπως πολλαπλές εγγυήσεις ποιότητας της υπηρεσίας (multiple quality-of-service (QoS) guarantees), οι οποίες καθιστούν ικανή την επιτυχή μετάδοση ολοκληρωμένων υπηρεσιών φωνής, video και δεδομένων με προτεραιότητα κυκλοφορίας (prioritizing traffic). Επίσης, επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνικής στατιστικής πολυπλεξίας (statistical multiplexing) για μεγάλη κυκλοφορία δεδομένων (bursty traffic), όπως απαιτούν η πρόσβαση στο Internet και η μεταφορά μεγάλων όγκων δεδομένων.

### 3.3. Τρόπος Λειτουργίας της Αρχιτεκτονικής FTTH

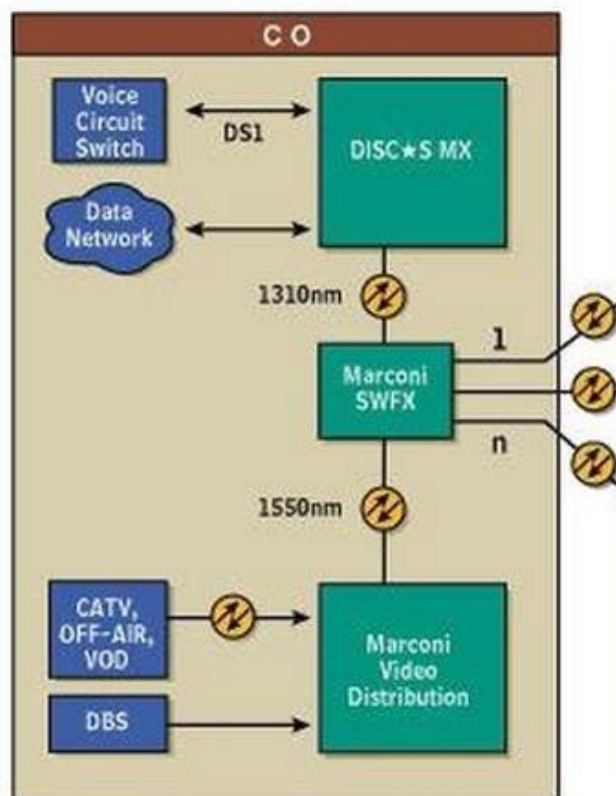
Σε ένα σύστημα FTTH, ο εξοπλισμός στο κέντρο (head end ή central office - CO) της εταιρίας παροχής δικτυακών υπηρεσιών διασυνδέεται με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (public switched telephone network - PSTN) χρησιμοποιώντας τεχνολογία DS-1s και επίσης συνδέεται σε ATM ή Ethernet διασυνδέσεις. Οι υπηρεσίες video εισέρχονται στο σύστημα από το κέντρο (head end) της καλωδιακή τηλεόραση (CATV) ή τροφοδοτούνται από δορυφορική σύνδεση.

Όλα αυτά τα σήματα στη συνέχεια συνδυάζονται σε μια μονή οπτική ίνα χρησιμοποιώντας τεχνική πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) και μεταδίδονται στον τελικό χρήστη μέσω μιας παθητικής οπτικής συσκευής διαχωρισμού (passive optical splitter). Η συσκευή διαχωρισμού (splitter) τυπικά τοποθετείται 30.000 πόδια (feet) από το κέντρο του παροχέα υπηρεσιών (central office). Η αναλογία διαχωρισμού μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 32 χρήστες και επιτυγχάνεται χωρίς την χρήση ενεργών στοιχείων (active components) στο δίκτυο. Το σήμα έτσι μεταβιβάζεται άλλα 3.000 πόδια ως το σπίτι του συνδρομητή μέσω μιας μονής οπτικής ίνας. Έτσι, ένα ιδανικό σύστημα FTTH θα είχε την δυνατότητα να παρέχει όλες τις υπηρεσίες για τις οποίες πληρώνουν σήμερα οι χρήστες, όπως

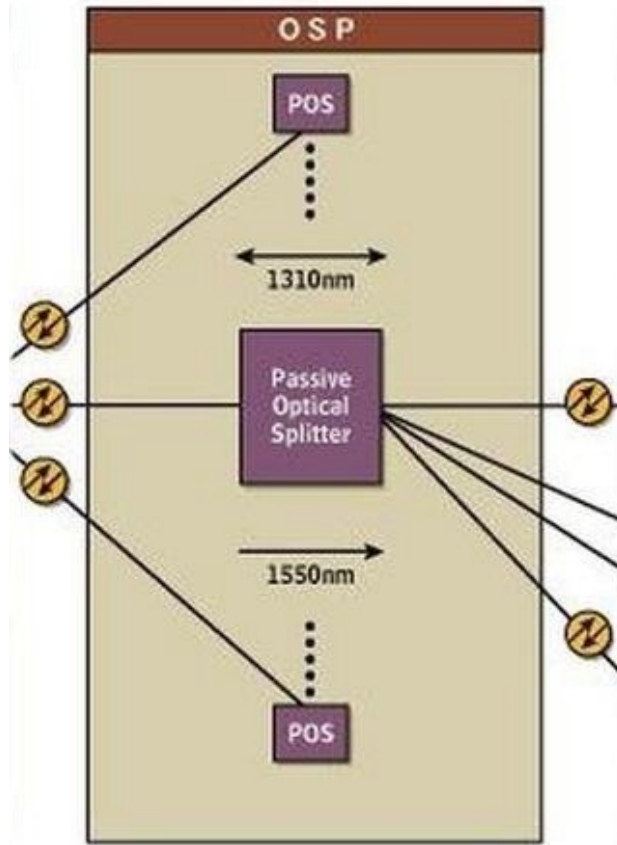
τηλεφωνία μεταγωγής κυκλώματος (circuit-switched telephony), υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και μετάδοση υπηρεσιών video.

Στο σπίτι, το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα με τη χρήση ενός οπτικο-ηλεκτρικού μετατροπέα (optical electrical converter – OEC). Η συσκευή μετατροπής OEC στη συνέχεια διαχωρίζει τις υπηρεσίες που ζητήθηκαν από τον τελικό χρήστη. Στην πιο ιδανική περίπτωση, η συσκευή μετατροπής OEC θα έχει καθιερωμένες διεπαφές με τον χρήστη (standard user interfaces), έτσι ώστε να μην απαιτούνται ειδικές συσκευές set-top boxes για να παρέχουν την υπηρεσία. Αυτές οι διασυνδέσεις θα περιλαμβάνουν RJ11 jacks για τηλεφωνία, RJ45 jacks για υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και ομοαξονικές θύρες (coax ports) των 75 ohm για υπηρεσίες CATV και DBS.

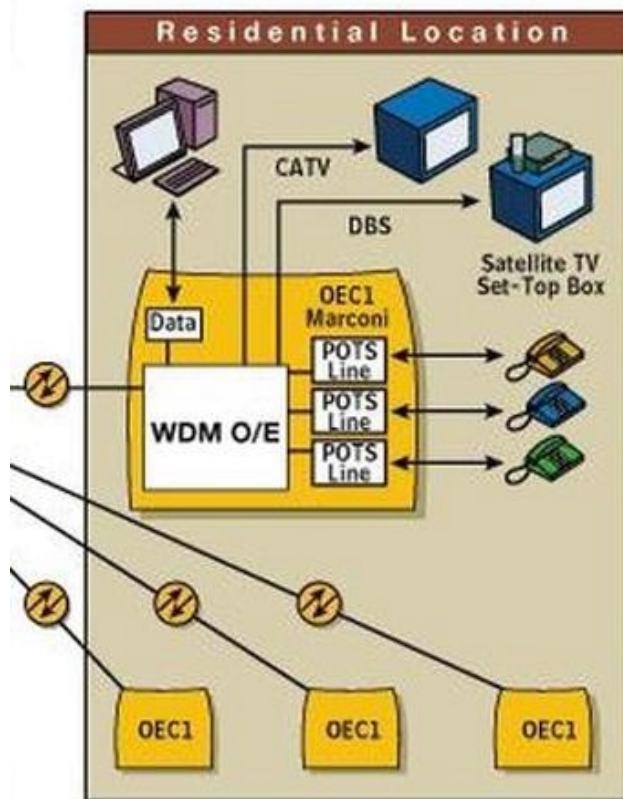
Στις εικόνες 14-1, 14-2 και 14-3 που ακολουθούν απεικονίζεται η αρχιτεκτονική FTTH, που υπάρχει στο κέντρο παροχής δικτυακών υπηρεσιών (central office-CO), στις παθητικές οπτικές συσκευές διαχωρισμού (passive optical splitters) και στις κτιριακές εγκαταστάσεις του συνδρομητή, αντίστοιχα.



Εικόνα 14-1. Αρχιτεκτονική FTTH.



Εικόνα 14-2. Αρχιτεκτονική FTTH.



Εικόνα 14-3. Αρχιτεκτονική FTTH.



### 3.4. Βαθμός Διείσδυσης και Αποδοχής στην Αγορά.

Η αρχιτεκτονική FTTH έχει αναγνωριστεί ως η ενδεδειγμένη λύση για την κάλυψη της ζήτησης των καταναλωτών για μια δέσμη υπηρεσιών που απαιτούν υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Οι αρχιτεκτονικές καλωδίων συνεστραμένου ζεύγους (twisted pair) και ομοαξονικών (coax) καλωδίων και τα υβριδικά δίκτυα οπτικής ίνας και ομοαξονικού καλωδίου (fiber/coax (HFC) networks) δεν είναι τόσο ισχυρά και δεν έχουν τόσο μεγάλη μελλοντική προοπτική, ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις νέων υπηρεσιών που μπορεί να εμφανιστούν στο μέλλον, όπως η αρχιτεκτονική FTTH. Επιπρόσθετα, με την συνεχιζόμενη μείωση του κόστους του οπτικού εξοπλισμού, η αρχιτεκτονική FTTH δείχνει να είναι η τεχνολογία που θα κερδίσει το ενδιαφέρον των εταιριών παροχής υπηρεσιών (service providers).

Παράγοντες που σκιαγραφούν τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής FTTH ως νέου βιομηχανικού προτύπου είναι:

- Η μείωση στα κόστη που συσχετίζεται από την ανάπτυξη των οπτικών ινών.
- Η έλλειψη ενεργών στοιχείων (active components) από τον τελικό χρήστη έως το κέντρο του παροχέα (central office).
- Η αυξανόμενη ζήτηση για υπηρεσίες μετάδοσης φωνής, δεδομένων και video σε μία μονή οπτική ίνα.
- Η ανώτερη αξιοπιστία και ασφάλεια.
- Η μελλοντική της προοπτική ως αρχιτεκτονική για την υποστήριξη νέων υπηρεσιών.

Αρκετές εταιρίες τηλεπικοινωνιών πωλούν ήδη τεχνολογίες FTTH. Αυτές οι εταιρίες κυμαίνονται από πολύ μικρές έως και κύριες εταιρίες ανάπτυξης επικοινωνιακού εξοπλισμού (major communications equipment companies). Σήμερα, η πλειοψηφία των εφαρμογών αυτής της τεχνολογίας είναι μικρά δίκτυα, αλλά αυτό αναμένεται να αλλάξει το προσεχές μέλλον.

Σκεπτόμενοι μελλοντικά, οι προμηθευτές (vendors) τέτοιων υπηρεσιών έχουν ένα μεγάλο εύρος καινοτόμων τεχνολογιών οπτικών ινών που θα γεφυρώσουν το κενό μεταξύ της μετάδοσης δεδομένων και της πρόσβασης. Επίσης, οι τεχνολογίες αυτές τους παρέχουν την ευκαιρία να προσθέσουν νέα στοιχεία και νέες υπηρεσίες, δημιουργώντας έτσι μεγάλες εισροές εσόδων.

### 3.5. Το Μέλλον της Αρχιτεκτονικής FTTH

Η επιθυμία για υπηρεσίες μετάδοσης video διπλής κατεύθυνσης, όπως είναι η αμφίδρομη τηλεόραση, η από απόσταση διδασκαλία, η τηλεδιάσκεψη (videoconferencing) και τα βιντεο-τηλέφωνα (videophones) αναμένεται να αυξάνεται συνεχώς. Για την ακρίβεια, μερικοί παρατηρητές πιστεύουν πως υπάρχει ήδη και σήμερα μια παγκόσμια ζήτηση για τέτοιες φουτουριστικές υπηρεσίες. Η δυνατότητα που έχουν οι εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών να ανταποκριθούν σε αυτήν τη ζήτηση και συνεχώς να προσθέτουν νέες υπηρεσίες με μεγάλη ταχύτητα δημιουργούν τεράστιες ανταγωνιστικές πιέσεις στο κλάδο.

Επιπλέον, αυτή η δυνατότητα προσφέρει και μεγάλα δυνητικά έσοδα, για τις εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών. Οι εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών, που είναι ικανές να προσφέρουν αυτές τις υπηρεσίες σε ένα όλο και πιο μεγάλο αριθμό καταναλωτών μπορούν να διπλασιάσουν ή και να τριπλασιάσουν τα έσοδά τους σε μια σύντομη χρονική περίοδο.

Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση για τεχνολογίες βασισμένες σε οπτικές ίνες όπως η αρχιτεκτονική FTTH βρίσκεται στην άνθισή της. Τεχνολογικές πρόοδοι στην περιοχή της τεχνικής πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) αναμένεται να επαυξήσουν την υπάρχουσα τεχνολογία και να επιτρέψουν στις εταιρίες παροχής υπηρεσιών να δικαιολογήσουν τις επενδύσεις σε αρχιτεκτονικές του τύπου FTTH.



## 4. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μια τεχνικο-οικονομική παρουσίαση των αρχιτεκτονικών HFC (Hybrid Fiber Coax - Υβριδικό δίκτυο οπτικής ίνας και ομοαξονικού καλωδίου) και FTTH (Fiber to the Home – Οπτική ίνα ως τις εγκαταστάσεις του συνδρομητή). Παρακάτω παρατίθενται τα κύρια στοιχεία των δύο αυτών αρχιτεκτονικών.

Όσον αφορά τα δίκτυα HFC, η οπτική τεχνολογία καθιστά ικανούς τους παροχείς υπηρεσιών (providers) να επιτύχουν τον στόχο της κατασκευής ισχυρών πολυμεσικών δικτύων ικανών να χειριστούν οικονομικά αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες μεγάλου όγκου δεδομένων. Η τεχνολογία υψηλής ισχύς (high-power) τύπου 1550, τα βελτιστοποιημένα για video συστήματα SONET και, πιο σημαντικά, η τεχνική πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (wave division multiplexing) χρησιμοποιούνται σε όλα τα τμήματα των δικτύων HFC για να κάνουν αυτούς τους στόχους πραγματικότητα.

Επιπρόσθετα, οι εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αποκτούν την δυνατότητα να παρέχουν οικονομικά υπηρεσίες video σε αρχιτεκτονικές FITL, να μεταφέρουν αποτελεσματικά αναλογικό video σε υποδομές SONET (SONET backbones) και να επιλύσουν την πρόκληση ισχύς (power challenge), που υπαγορεύεται από τη χρήση οπτικών ενισχυτών από τους σχηματισμούς DWDM σε long-haul δίκτυα. Αυτές οι αρχιτεκτονικές είναι η αρχή μιας προσπάθειας που απώτερο στόχο έχει την ανάπτυξη ενός πλήρως οπτικού δικτύου (all-optical network).

Συμπερασματικά, οι τέσσερις πιο σημαντικοί λόγοι για τους οποίους οι εταιρίες τηλεφωνίας και καλωδιακής τηλεόρασης αναβαθμίζουν τις υπηρεσίες τους στην τεχνολογία HFC είναι οι εξής:

- Η χρήση της οπτικής ίνας, για τις δικτυακές υποδομές (backbone paths), επιτρέπει να μεταφέρονται περισσότερα δεδομένα από ότι μεταφέρεται σε υποδομές από ομοαξονικό καλώδιο.
- Το υψηλό εύρος ζώνης, που παρέχεται από την τεχνολογία οπτικών ινών, υποστηρίζει ανάστροφα κανάλια (reverse paths) για αλληλεπιδραστικά δεδομένα που ρέουν από τον χρήστη προς τον κόμβο.
- Το τμήμα της δικτυακής υποδομής το οποίο αποτελείται από οπτική ίνα είναι πιο αξιόπιστο από αυτό του ομοαξονικού καλωδίου. Αυτό είναι πολύ

σημαντικό γιατί η αξιοπιστία είναι βασικός παράγοντας για τη λειτουργία ενός αλληλεπιδραστικού περιβάλλοντος.

- Η οπτική ίνα είναι πιο αποδοτικό μέσο για την διασύνδεση εταιριών καλωδιακής τηλεόρασης ή τηλεφωνίας, οι οποίες συγχωνεύονται με γεωγραφικά γειτονικές εταιρίες.

Όσον αφορά τις αρχιτεκτονικές FTTH, τα κύρια πλεονεκτήματα που συσχετίζονται με την χρησιμοποίηση αυτών των συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Είναι ένα παθητικό δίκτυο (passive network). Έτσι, δεν υπάρχουν ενεργά στοιχεία (active components) από το κέντρο της εταιρίας παροχής υπηρεσιών (CO) έως τον τελικό χρήστη. Αυτό το γεγονός μειώνει δραματικά το κόστος συντήρησης και τις απαιτήσεις του δικτύου, ενώ παράλληλα εξαλείφει την ανάγκη για ένα DC power δίκτυο.
- Γίνεται χρήση μιας μονής οπτική ίνα ως τον τελικό χρήστη, πράγμα που παρέχει υπηρεσίες δημιουργίας εσόδων (revenue-generating) με προτυποποιημένες διεπαφές με τον χρήστη (industry standard user interfaces), που περιλαμβάνει φωνή, υψηλή ταχύτητα μετάδοση δεδομένων, αναλογική ή ψηφιακή καλωδιακή τηλεόραση (CATV), DBS και video κατά την απαίτηση του χρήστη (video on demand).
- Η αρχιτεκτονική FTTH χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τοπικής εφεδρικής μπαταρίας (local battery backup) και από τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (low-power consumption).
- Η αρχιτεκτονική FTTH είναι αξιόπιστη, κλιμακούμενη (scalable) και ασφαλής.
- Το δίκτυο FTTH αποτελεί αρχιτεκτονική με μελλοντική προοπτική, ικανή να υποστηρίξει και νέες υπηρεσίες που μπορεί να εμφανιστούν.

## **Βιβλιογραφία**

- David P. Reed. Residential Fiber Optic Networks. An Engineering and Economic Analysis, 1992 Artech House, Inc., London
- Samir Chatterjee & Suzanne Pawlowski. Enlightening the effects and implications of nearly infinite bandwidth. Communications of the ACM. June 1999/Vol.42 No.6, 75-83
- Paul F. Gagen & William E. Pugh. Hybrid Fiber-Coax Access Networks. Bell Labs Technical Journal, Summer 1996, 28-35
- Stephen A. Grzelak, Harrison Miles, Jr., Edward S. Szurkowski, William P. Weber, Jr. Residential Data Services via Hybrid Fiber-Coax Local Access Networks. Bell Labs Technical Journal, Summer 1996, 88-99
- Michael J. Riezenman. Beneath the Internet: Explosive Growth Drives Improvements to the Infrastructure. IEEE Spectrum, January 2001, 54-56
- Ed Perry, Srinivas Ramanathan, Experiences from Monitoring a Hybrid Fiber-Coaxial Broadband Access Network, Internet Systems & Applications Laboratory, HPL-98-67, April 1998, (Hewlett-Packard Company 1998).

## Αναφορές WWW

- [http://www.lightreading.com/document.asp?site=lightreading&doc\\_id=2476&page\\_number=1](http://www.lightreading.com/document.asp?site=lightreading&doc_id=2476&page_number=1)

Το site αυτό περιέχει μια παρουσίαση με τίτλο «Last Mile Lexicon» (20 November 2000) και αφορά την παρούσα κατάσταση και το μέλλον των οπτικών δικτύων κατοικιών (Residential Fiber) και των οπτικών δικτύων για επιχειρήσεις (Business Fiber). Το [www.lightreading.com](http://www.lightreading.com) είναι ένα site που ασχολείται με τις οπτικές τεχνολογίες δικτύων.

- [http://www.iec.org/online/hfc\\_dwdm/index.html](http://www.iec.org/online/hfc_dwdm/index.html)

Το site αυτό είναι του “International Engineering Consortium” και συγκεκριμένα βρίσκεται στα links του site για online εκπαιδευτικό υλικό και έχει θέμα “Hybrid/Fiber Coax (HFC) and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Networks”. Στο τέλος της παρουσίασης υπάρχει μια σειρά ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών, που αφορούν την παρουσίαση.

- [http://www.iec.org/online/hfc\\_dwdm/index.html](http://www.iec.org/online/hfc_dwdm/index.html)

Το site αυτό είναι του “International Engineering Consortium” και συγκεκριμένα βρίσκεται στα links του site για online εκπαιδευτικό υλικό και έχει θέμα “Fiber to the Home”. Στο τέλος της παρουσίασης υπάρχει μια σειρά ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών, που αφορούν την παρουσίαση.

- <http://www.auranetic.com/Optic-Fiber.html>

Το site αυτό είναι της “METRObility optical systems” και περιέχει μια σύντομη και περιεκτική παρουσίαση των οπτικών ινών και βασικά της χρήσης τους σε συνδυασμό με νέες τεχνολογίες για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης.

- <http://www.sciam.com/1999/1099issue/1099shumate.html>

Το site αυτό είναι της Scientific America. Περιέχει ένα άρθρο του Paul W. Shumate, Jr. με τίτλο “The Broadest Broadband. A Less Expensive Way to Bring Fiber to the Home” και διαπραγματεύεται με σύντομο τρόπο τεχνο-οικονομικά την αρχιτεκτονική “Fiber to the Home”.

- [http://lw.pennwellnet.com/Articles/Article\\_Display.cfm?Section=Archives&Subsection=Display&ARTICLE\\_ID=87766&KEYWORD=white%20](http://lw.pennwellnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=Archives&Subsection=Display&ARTICLE_ID=87766&KEYWORD=white%20)

Η σελίδα αυτή είναι της εταιρίας “Lightchip™ Optical Networking” και έχει ένα άρθρο των Aurthur Lowery και Don Hewitt, της Visual Photonics Inc., με τίτλο “New simulation and design techniques for hybrid fiber/coaxial-cable access systems”.

- <http://www.cpau.com/ftb>

Το site αυτό παρουσιάζει μια δοκιμή εγκατάστασης συστήματος “Fiber to the Home” στην πόλη του Palo Alto (City of Palo Alto, 250 Hamilton Avenue, CA 94301). Το site περιέχει links με τις πιο συχνές ερωτήσεις (FAQ), που αφορά τεχνικές λεπτομέρειες για την εγκατάσταση, χάρτες με τις οδούς και τις περιοχές στις οποίες έχει γίνει η εγκατάσταση, αλλά και κανονιστικά και χρηματοοικονομικά θέματα που αφορούν τις υποχρεώσεις των φορέων και των κατοίκων για να λειτουργήσει το σύστημα.

- <http://www.bicsi.org/coax-hfc/sld001.htm>

Στο site αυτό υπάρχει ένα αρχείο powerpoint με θέμα “Characteristics of Coaxial Cables in Hybrid Fiber Coax System”. Αφορά μια σύντομη παρουσίαση του Doug Stromberg, της Telecom Training Systems, Inc., για τα υβριδικά δίκτυα οπτικών ινών και ομοαξονικού καλωδίου και βασικά για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ομοαξονικών καλωδίων στα συστήματα αυτά.

- [http://www.iec.org/online/tutorials/hfc\\_tele/index.htm](http://www.iec.org/online/tutorials/hfc_tele/index.htm)

Το site αυτό είναι του “International Engineering Consortium” και συγκεκριμένα βρίσκεται στα links του site για online εκπαιδευτικό υλικό και έχει θέμα “Hybrid Fiber Coaxial (HFC) Telephony”. Στο τέλος της παρουσίασης υπάρχει μια σειρά ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών, που αφορούν την παρουσίαση.

- <http://www.iec.org/online/tutorials/epon/>

Το site αυτό είναι του “International Engineering Consortium” και συγκεκριμένα βρίσκεται στα links του site για online εκπαιδευτικό υλικό και έχει θέμα “Ethernet Passive Optical Networks”. Στο τέλος της παρουσίασης υπάρχει μια σειρά ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών, που αφορούν την παρουσίαση.

- [http://www.iec.org/online/tutorials/full\\_serv/](http://www.iec.org/online/tutorials/full_serv/)

Το site αυτό είναι του “International Engineering Consortium” και συγκεκριμένα βρίσκεται στα links του site για online εκπαιδευτικό υλικό και έχει θέμα “Full-Service Networks (FSN)”. Στο τέλος της παρουσίασης υπάρχει μια σειρά ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών, που αφορούν την παρουσίαση.

- <http://users.otenet.gr/~mlazos/opticalfiber.htm>

Στη σελίδα αυτή υπάρχει μια εκτενής σύγκριση μεταξύ των οπτικών ινών και των χάλκινων μέσων μετάδοσης.

- <http://searchnetworking.techtarget.com>

Το site αυτό έχει ορισμούς και σύντομες παρουσιάσεις για τους διάφορους όρους που έχουν σχέση με τις τεχνολογίες δικτύων. Λειτουργεί ως λεξικό, όπου ο χρήστης δίνει τον όρο για τον οποίο ενδιαφέρεται και λαμβάνει ως απάντηση τον ορισμό.

- <http://www.kmicorp.com/press/011015.htm>

Στη σελίδα αυτή υπάρχει ένα άρθρο με τίτλο “Fiber-to-the-home to reach 2.65 million homes by 2006, fiber-to-the-curb to serve another 1.9 million homes”. Στο άρθρο αυτό γίνονται προβλέψεις για την χρήση των τεχνολογιών Fiber to the Home και Fiber to the Curb για την περίοδο 2001-2006.

- <http://egnatia.ee.auth.gr/~abaziako/kefalaio15.html>

Στη σελίδα αυτή υπάρχει μια σύντομη περιγραφή της τεχνολογίας των οπτικών ινών και της τεχνική Wavelength Division Multiplexing – WDM.