



**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ**

**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.**

**«ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»**

**Πτυχιακή εργασία του σπουδαστή**

**Αντώνη Απιτιαγόπουλου**

**ΑΜ 0636**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ηλίας Ασαρίδης**

**ΑΝΤΙΡΡΙΟ 2017**



Εκφράζω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου στον κύριο Ηλία Ασαρίδη, ως άνθρωπο και εκπαιδευτικό, ο οποίος, αφού με δέχτηκε και μου εμπιστεύτηκε την εργασία αυτή, με βοήθησε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Η παρακάτω εργασία με θέμα **«Οι τελευταίες εξελίξεις στα Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών»** πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του τμήματος Τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και Δικτύων του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Παρουσιάζονται τα βήματα που έγιναν μέχρι σήμερα στον χώρο των οπτικών συστημάτων και δικτύων επικοινωνίας και, φτάνοντας στο τώρα, καταγράφονται οι τελευταίες εξελίξεις, σε επίπεδο προσανατολισμού, διατάξεων και τεχνολογίας στον χώρο αυτό.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
Περιεχόμενα.....	3-4
Πρόλογος.....	5
<b>1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>	
1.1 Η Εξέλιξη των Τηλεπικοινωνιών.....	6-9
<b>2. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ</b>	
2.1 Δομή.....	10-12
2.2 Χαρακτηριστικά μετάδοσης.....	12-13
2.3. Κατηγορίες οπτικών ινών.....	14-17
2.4 Παράγοντες απωλειών και περιορισμού του εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες.....	17-18
2.5 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα οπτικών ινών έναντι των συμβατικών μέσων ενσύρματης επικοινωνίας.....	19-20
2.6 Οπτική πολυπλεξία.....	20-21
2.6.1 Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM).....	21
2.6.2 Πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).....	21-22
2.6.3 Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) .....	22
<b>3. ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....</b>	<b>23-24</b>
3.1 Το οπτικό σύστημα Επικοινωνίας .....	25-26
3.2 Γενιές Οπτικών Δικτύων.....	27
3.2.1 5 Γενιές Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας.....	27-28
3.2.2 3 Γενιές Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας ( βάσει αρχιτεκτονικής).....	28-29
3.2.3 Ιστορική εξέλιξη των Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας.....	29-30
<b>3.3 Μορφές Δικτύων .....</b>	<b>31-33</b>
3.4 Δομή Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας.....	33-38



3.5 Από την 1 <sup>η</sup> στην 3 <sup>η</sup> γενιά Οπτικών Δικτύων.....	39-44
3.6 Σύγχρονες τάσεις-Μελλοντικά δίκτυα .....	44-47
<b>4. ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>	
4.1 Next Generation Access Networks - NGA .....	48-50
4.2 Ιστορική εξέλιξη των Παθητικών Οπτικών δικτύων.....	50-51
4.3 Παθητικά οπτικά δίκτυα επικοινωνιών PONs.....	52-55
ΑΟΝ ...PON... Υβριδικά PON...Reserve PON & Costomer Last mile...	
EPON ( Ethernet PON)... GPON (Παθητικό οπτικό δίκτυο Gigabit)... ..XG-PON.....	55-62
4.4 Πρόσφατες περιπτώσεις εκδήλωσης ενδιαφέροντος για τις νέες τεχνολογίες.....	63-64
4.5 Παγκόσμια γεωγραφική κατάσταση της αγοράς.....	65-69
4. 6 Εκτίμηση της παρούσας και μελλοντικής κατάστασης των Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας....	69-71
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ</b> .....	72-74
<b>ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ</b> .....	75-78
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	
<b>ΕΙΚΟΝΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ</b> .....	79-85

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες παρακολουθούμε την υψηλή διεισδυτικότητα των Σύγχρονων Τεχνολογιών Επικοινωνίας (CT- Communication Technologies) σε όλους σχεδόν τους τομείς της κοινωνίας και της οικονομίας. Επικρατεί η τάση για ολοένα και πιο εκτεταμένων και περισσότερο πολύπλοκων δικτύων επικοινωνίας, τα οποία υποστηρίζουν τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό χρηστών και τα οποία παρέχουν ολοένα και πιο ευρύ φάσμα εφαρμογών. Και τούτο ενισχύεται λόγω της συνεχώς ζητούμενης αύξησης χωρητικότητας από τους ίδιους τους χρήστες.

Σ' αυτή την αύξηση τα σημερινά δίκτυα, ενσύρματα ή ασύρματα, αδυνατούν να ανταποκριθούν, είτε λόγω πεπερασμένης χωρητικότητας είτε γιατί παρουσιάζουν υψηλό κόστος των ηλεκτρονικών συστημάτων, τα οποία απαιτούνται για τη διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση σημάτων τέτοιων ρυθμών, ώστε να καλυφθεί το ζητούμενο εύρος ζώνης.

Τη λύση σ' αυτά τα προβλήματα φαίνεται να δίνουν τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας, που σε σχέση με τα συμβατικά, χρησιμοποιούν ως φορέα το «φως» ορατό ή μη. Πρόκειται για τα οπτικά δίκτυα επικοινωνιών. Τα οπτικά δίκτυα επικοινωνιών αφενός λόγω του μεγάλου εύρους που χαρακτηρίζει το βασικό μέσον μετάδοσης, την οπτική ίνα, και αφετέρου λόγω των γρήγορων ρυθμών επεξεργασίας του οπτικού σήματος, υπόσχονται, στην ολοκληρωμένη τους μορφή, να υποστηρίξουν χωρητικότητες της τάξης δεκάδων Tbps και να λύσουν οριστικά το αυξανόμενο πρόβλημα ζήτησης μεγάλης χωρητικότητας. Και λέμε στην ολοκληρωμένη τους μορφή, καθώς τα υπάρχοντα οπτικά συστήματα δεν έχουν αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητες της οπτικής ίνας. Τα δίκτυα αυτά προκάλεσαν ουσιαστικά τη μετάβαση της τεχνολογίας των επικοινωνιών από το χώρο των ηλεκτρονίων στο χώρο των φωτονίων. Τα χαρακτηριστικά τους, που τα διαφοροποιούν, είναι και οι παράμετροι που αλλάζουν τον τρόπο επικοινωνίας σήμερα.

Ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης έρευνας αποσκοπεί στην ανάπτυξη νέων διατάξεων και τεχνικών για την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών τους. Αυτές τις εξελίξεις έχει σκοπό να παρουσιάσει η συγκεκριμένη εργασία.

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 1.1 Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών

Ως « επικοινωνούν ον » ο άνθρωπος σε πολύ πρώιμο στάδιο της ύπαρξής του επινόησε ποικίλα μέσα για να επικοινωνεί, είτε άμεσα, είτε έμμεσα, για κοντινές και μακρινές αποστάσεις.

Οι πρώτες μορφές τηλεπικοινωνιών (τηλε = μακράν + επικοινωνία) στην αρχαιότητα πραγματοποιούνταν με ανταλλαγή απλών μηνυμάτων με ακουστικά σήματα (σφυρίγματα, τύμπανα) ή οπτικά, όπως με τη χρήση φωτιάς και κατόπτρων (λάμπεις φωτιάς, σηματοφόρος καπνός (φρυκτωρίες, πυρσείες).

Από τη χρήση του φωτός αρχικά, για τη μεταφορά της πληροφορίας σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις, φτάνουμε σταδιακά στον οπτικό τηλεγράφο και με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού, στον ηλεκτρικό (1836), στο τηλέφωνο (1876) και τις ραδιοφωνικές ζεύξεις, στα μικροκύματα (1948), στα radar, στην τηλεόραση, στα τηλέτυπα και στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Αναμφίβολα η εμφάνιση του ηλεκτρισμού άλλαξε τον χάρτη των επικοινωνιών.

Η πρώτη εφαρμογή του στις τηλεπικοινωνίες ήταν ο τηλεγράφος, εφεύρεση του αμερικανού Samuel Morse και με τις βελτιώσεις που έγιναν μπορούσε να λειτουργεί και αμφίδρομα. Το 1876 στην έκθεση της Φιλαδέλφειας ο Graham Bell παρουσίασε το τηλέφωνο που αποτέλεσε το μεγάλο άλμα στις επικοινωνίες. Ακολούθησε η ανακάλυψη της ασύρματης επικοινωνίας από τον Γουλιέλμο Μαρκόνι το 1897, ενώ ακολούθησαν οι εφευρέσεις του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης.

Σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα αποδείχτηκε ότι τα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών παγκοσμίως, καθώς η ζήτηση τηλεπικοινωνιακών αναγκών συνεχώς αυξανόταν. Ο συνωστισμός των τηλεπικοινωνιακών καναλιών και το διαθέσιμο εύρος ζώνης των ραδιοηλεκτρικών κυμάτων ήταν αδύνατον να ξεπεραστεί.

Το επόμενο βήμα ήταν οι ερευνητές και μηχανικοί να στραφούν στην αξιοποίηση του τεραστίου εύρους ζώνης\* που προσφέρει η οπτική περιοχή (υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η χρήση του επικράτησε με την ανακάλυψη των laser το 1960, ανακαλύπτοντας νέα υλικά και εξελίσσονται - για τηλεπικοινωνιακή χρήση - φωτοδίοδοι, τρανζίστορς, φωτο-fet και άλλα είδη φωτοπηγών, όπως οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή led.

Τα πρώτα οπτικά συστήματα είναι ασύρματα και τα προβλήματά τους πολλά: δυσκολία στην εστίαση της φωτεινής δέσμης, η κατάσταση της ατμόσφαιρας και τέλος η απαραίτητη οπτική επαφή πομπού και δέκτη. Αυτά είναι ικανά ώστε να στρέψουν τις έρευνες στην ανακάλυψη ενός καταλλήλου μέσου μεταφοράς για το οπτικό φέρον.\* Και αυτό δεν είναι άλλο παρά οι ίνες από γυαλί.

Ο Heinrich Lamm στα 1930 θεωρείται ο πρώτος κατασκευαστής ίνας με την κατασκευή μιας λαπαροσκοπικής διάταξης. Οι πρώτες οπτικές ίνες στην ιατρική είναι πια γεγονός μόνο που δεν ήταν κατάλληλες για χρήση στις τηλεπικοινωνίες. Εμφάνιζαν μεγάλη εξασθένηση της τάξης 1000db/km, (δηλ. η ισχύς του σήματος εξόδου είναι  $10^{100}$  φορές μικρότερη από την ισχύ του σήματος εισόδου μετά από διαδρομή έως km) τη στιγμή που τα ομοαξονικά καλώδια των συμβατών ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων εμφάνιζαν αντίστοιχα εξασθένηση της τάξης των 5-10 db/km.

Το 1952 ο φυσικός Karany, μετά από πειράματα που πραγματοποιεί, κατασκεύασε μια οπτική ίνα κατάλληλη για εφαρμογή στις τηλεπικοινωνίες (1956). Και 1958 σημειώνεται η εφεύρεση του L.A.S.E.R πηγής οπτικού σήματος κατάλληλο για επικοινωνίες.

Το 1966, ο Charles K. Kao και ο George A. Hockham ήταν οι πρώτοι που διαπίστωσαν ότι η μειωμένη απόδοση των σύγχρονων ινών προκλήθηκε από τις προσμίξεις, οι οποίες θα μπορούσαν να αφαιρεθούν. Η οπτική ίνα θα ήταν πρακτικό μέσο στην επικοινωνία, εάν οι απώλειες μπορούσαν να μειωθούν κάτω από 20 db ανά χιλιόμετρο. Πράγματι οι κατασκευαστές φτάνουν το αποτέλεσμα, με κατάλληλες τεχνικές απομακρύνουν τις διάφορες προσμίξεις και κυρίως τα ιόντα υδροξυλίου. Αυτό το επίπεδο μείωσης επιτεύχθηκε αρχικά το 1970 από τους ερευνητές R.D.

Maurer, D. Keck, P. Schultz και F. Zimar, οι οποίοι εργάζονταν για τα αμερικανικά εργοστάσια γυαλιού Corning. Κατασκεύασαν οπτική ίνα με απώλεια 17 db/km με προσμίξεις γυαλιού πυριτίου και τιτανίου. Αργότερα παρήγαγαν ίνα χρησιμοποιώντας οξειδίο γερμανίου ως υλικό πρόσμιξης πετυχαίνοντας απώλειες της τάξης των 4db/km. Μέχρι το 1975 η εξασθένιση έγινε 2db/km και το 1980 0,25 db/km.

Η πιο ανθεκτική οπτική ίνα που χρησιμοποιείται σήμερα κατασκευάζεται από γυαλί και για τον πυρήνα και για τις θήκες και είναι επομένως λιγότερο επιρρεπής σε διαδικασίες φθοράς. Εφευρέθηκε από τον G. Bernse το 1973 κοντά στη Γερμανία.

Η ραγδαία ανάπτυξη των οπτικών ινών φάνηκε στη διαχρονική πορεία τους να μονοπωλούν το ενδιαφέρον των ερευνητών να εξελίξουν αυτή τη νέα τεχνολογία καθώς πίστευαν στις δυνατότητες της μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων με μικρές απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο.

(1α-β, 2, 3)

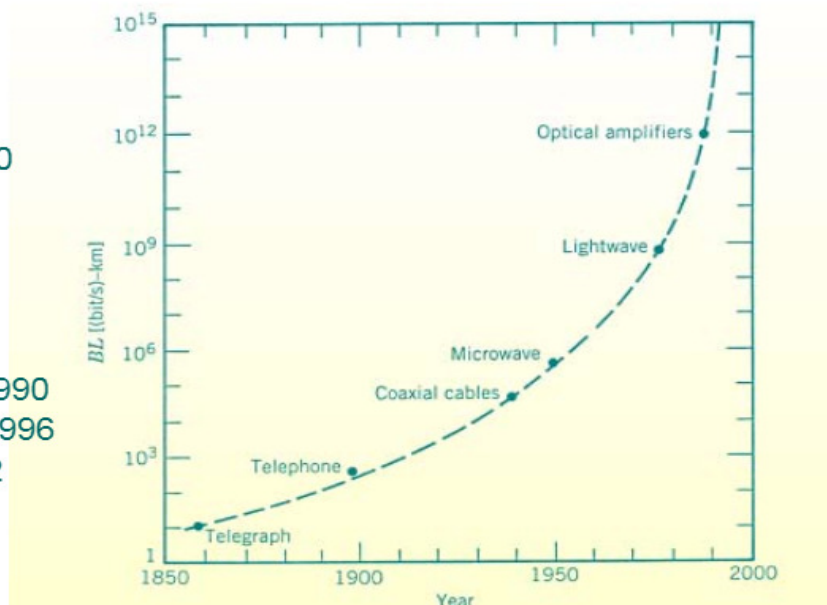
Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνεται η εξέλιξή τους στην ηλεκτρική και οπτική περίοδο ανάπτυξής τους.

### Electrical Era

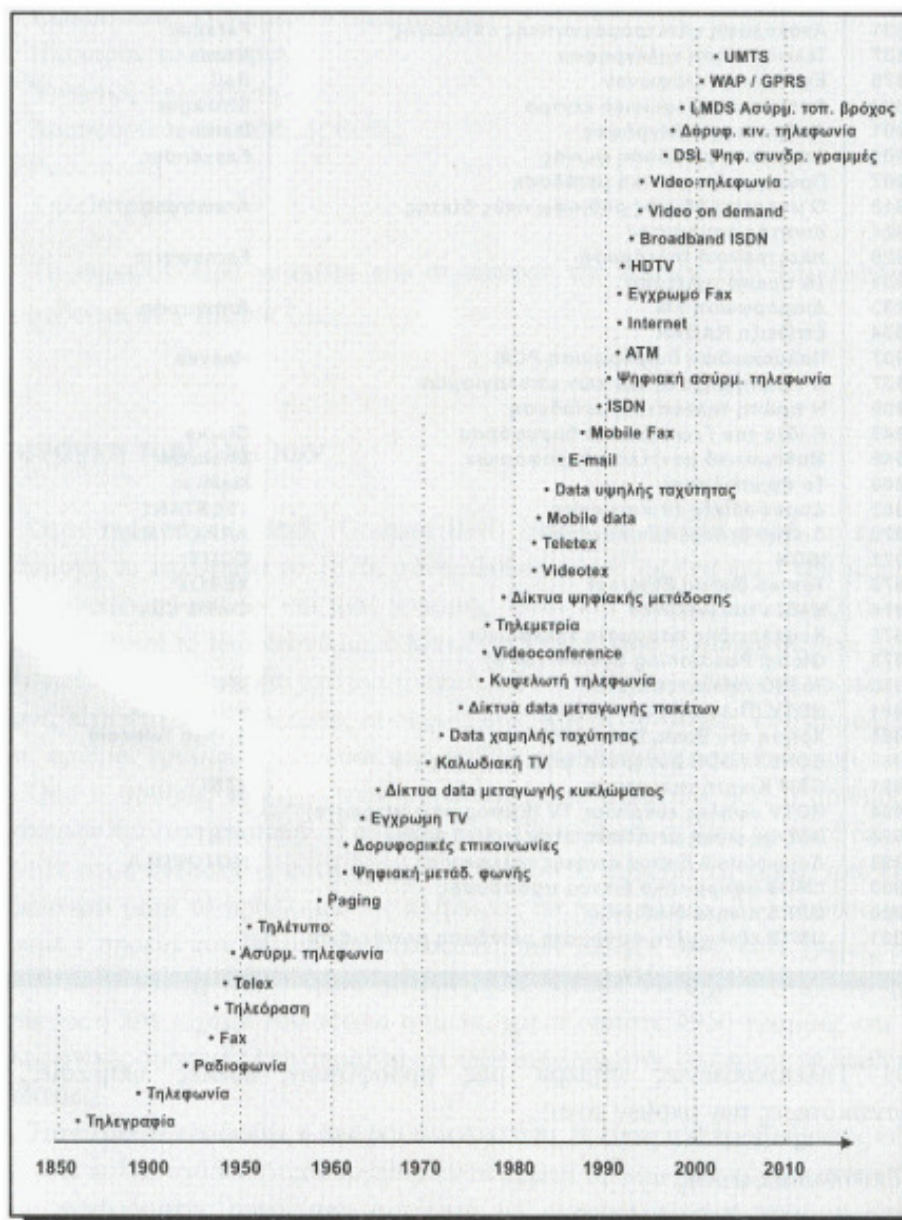
- Telegraph; 1836
- Telephone; 1876
- Coaxial Cables; 1840
- Microwaves; 1948

### Optical Era

- Optical Fibers; 1978
- Optical Amplifiers; 1990
- WDM Technology; 1996
- Multiple bands; 2002

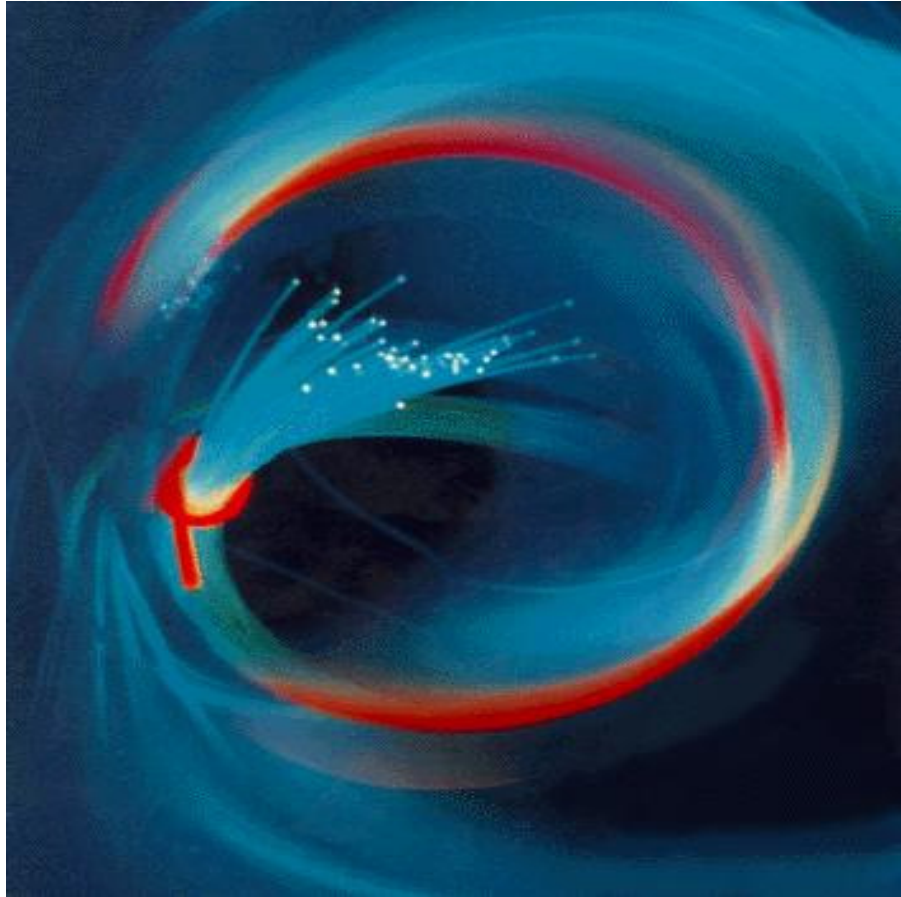


Εικόνα 1 Εξέλιξη τηλεπικοινωνιών



Εικόνα 2 Εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών (Πηγή: Αλεξόπουλος Α. Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών, 6η έκδοση, 2003

## 2. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (OPTICAL FIBERS)

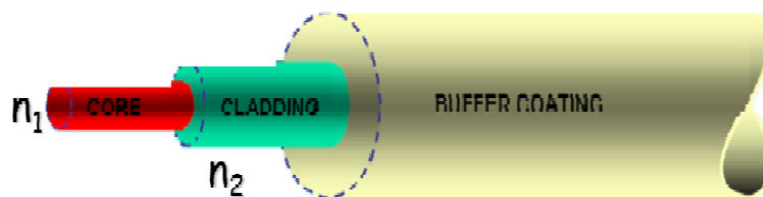


Οι οπτικές ίνες είναι το πλέον αξιόπιστο μέσο μετάδοσης των οπτικών συστημάτων. Είναι ειδικά νήματα που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί ή πλαστικό, λεπτές και με διάμετρο περίπου όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει τη μετάδοση του φωτός από το εσωτερικό τους, ενώ συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες σε δέσμες, σχηματίζοντας έτσι τα οπτικά καλώδια. Ουσιαστικά είναι κυλινδρικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί που λειτουργούν στις συχνότητες της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα κύματα αυτά διαμορφώνονται και μεταφέρουν πληροφορίες, όπως και τα άλλα κύματα.

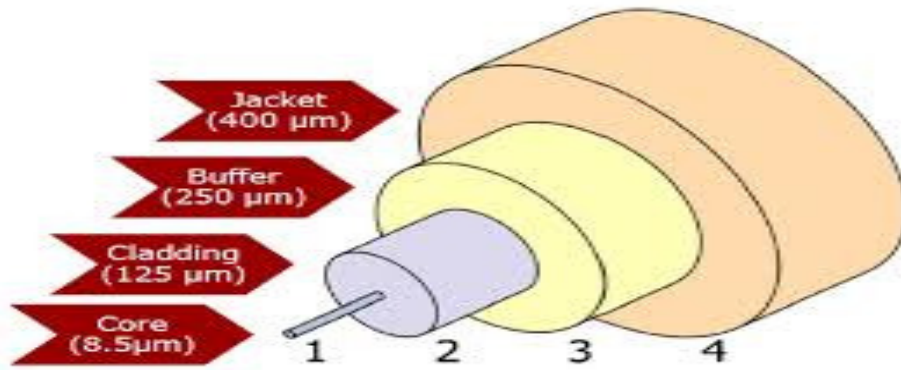
## 2.1 Δομή

Ένα καλώδιο οπτικής ίνας έχει κυλινδρική μορφή και αποτελείται από τρία ομόκεντρα τμήματα:

- i. από τον **πυρήνα (core)** που είναι το ενδότερο τμήμα φτιαγμένο από γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης και αποτελεί το μέσο μεταφοράς του φωτός. Το γυαλί είναι φτιαγμένο από έναν συνδυασμό διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Εκτός από το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυμερές. Οι πολυμερείς οπτικές ίνες όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ( $>10\text{db/km}$ ) και είναι κατάλληλες για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Ο πυρήνας έχει διάμετρο από 8 έως 100 $\mu\text{m}$ . Άλλα είδη οπτικών ινών ενσωματώνουν χαλαζία ή καθαρή τηγμένη σιλικόνη και πλαστικό, όμως αυτές δεν χρησιμοποιούνται στις κοινά αποδεκτές υψηλής ποιότητας εφαρμογές.
- ii. από τον **μανδύα ή περίβλημα ή περιένδυση (cladding)**. Η εργασία του μανδύα είναι να κρατά το φως μέσα στον πυρήνα το οποίο μεταδίδεται κατά μήκος της ίνας, ενώ το περίβλημα της ίνας ανακλά το φως πίσω στον πυρήνα, διαφορετικά θα δραπετεύε από τον πυρήνα. Το υλικό από το οποίο φτιάχνεται το cladding είναι ίδιο με αυτό του πυρήνα αλλά με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης.
- iii. από τον **απομονωτή (buffer)**. Ο απομονωτής, τυπικά είναι πλαστικό υλικό, παρέχει προστασία και διατηρεί την αντοχή του γυαλιού της ίνας. Σημειώνουμε ότι η κυματοδηγήση του οπτικού σήματος επιτυγχάνεται και χωρίς την ύπαρξη απομονωτή, που χρησιμοποιείται για να ελαττώσει τις απώλειες λόγω κατασκευαστικών ατελειών της κεντρικής ίνας και για να της προσδώσει μηχανική αντοχή.



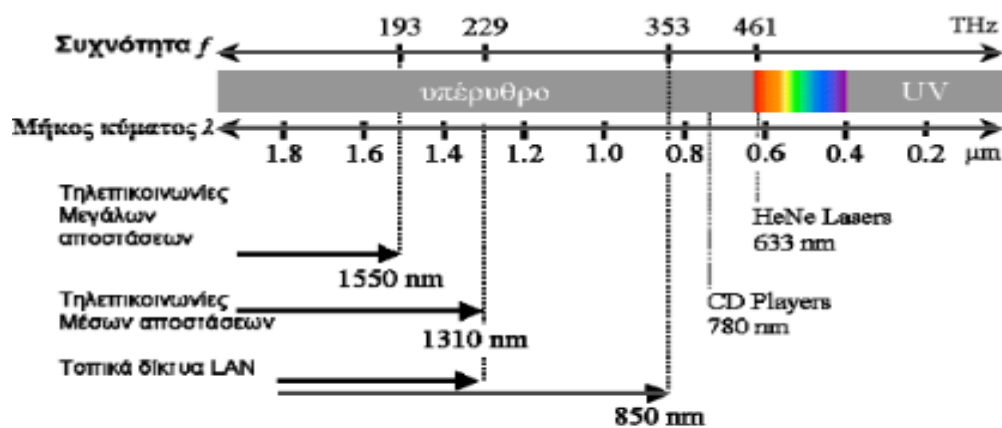




Εικόνα 3 Τα μέρη της οπτικής ίνας

## 2.2 Χαρακτηριστικά μετάδοσης

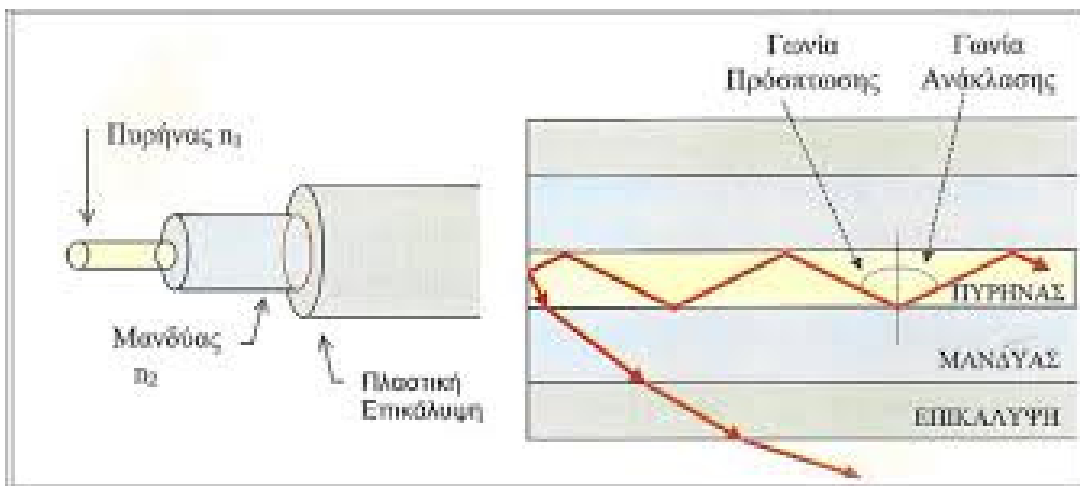
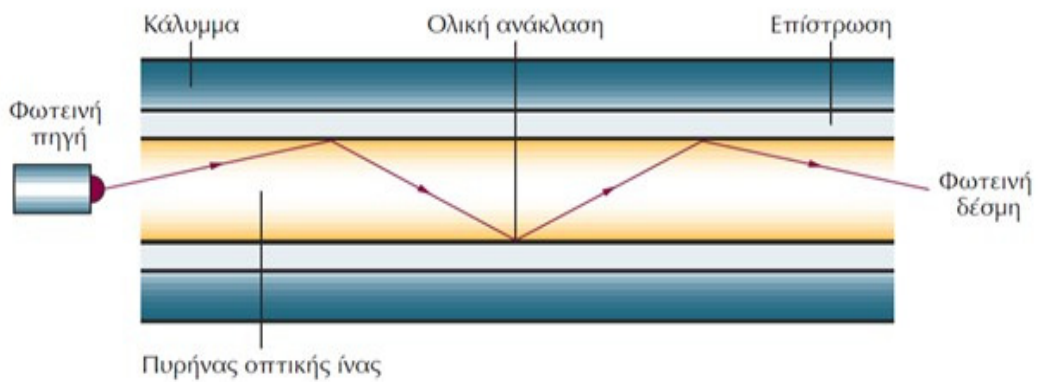
Η οπτική ίνα μεταδίδει μια δέσμη φωτός με κωδικοποιημένο σήμα (bits 0 ή 1) με τη βοήθεια της συνολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η ολική εσωτερική ανάκλαση αποτελεί τη βασική αρχή λειτουργίας ενός οπτικού καλωδίου και βασίζεται στο γεγονός ότι όταν το φως αντανακλάται εξολοκλήρου σε έναν εσωτερικό χώρο, μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις χωρίς να μειωθεί η έντασή του. Συνολική εσωτερική ανάκλαση μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε διαφανές μέσο που έχει έναν υψηλότερο δείκτη διάθλασης από το μέσο που το περιβάλλει. Στην πραγματικότητα, η οπτική ίνα ενεργεί ως κυματοδηγός για τις συχνότητες της περιοχής περίπου από  $10^{14}$  έως  $10^{15}$  Hz, αυτό το φάσμα καλύπτει τμήματα του υπέρυθρου και του ορατού φάσματος.



**Οπτικό φάσμα: 0.1 μm – 20 μm**

Εικόνα 4 Το οπτικό φάσμα στις τηλεπικοινωνίες

Η διάδοση του φωτός μέσα σ' ένα μέσο καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης του μέσου  $n$ . Αν το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα  $c_0=3 \times 10^8$  m/s, τότε σ' ένα υλικό μέσο θα διαδίδεται με ταχύτητα  $c=c_0/n$ . Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα πρέπει να είναι υψηλότερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα μπορεί να έχει σταθερή τιμή ή να μεταβάλλεται και συγκεκριμένα να μειώνεται ακτινικά καθώς πλησιάζουμε στο όριο με τον μανδύα. Τυπικές τιμές για τους δείκτες διάθλασης είναι από 1,50 έως 1,40. ( 4, 5, 6, 22)

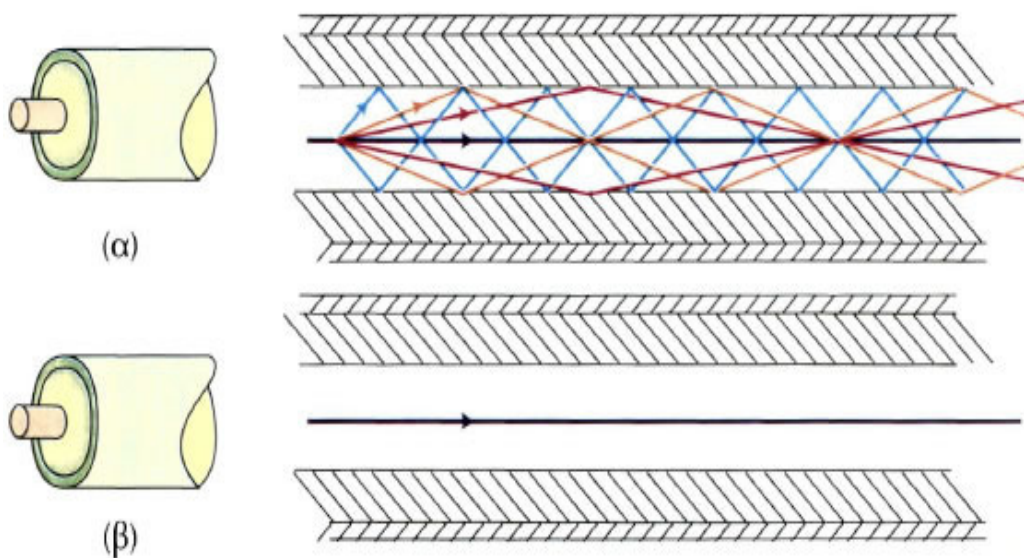


Εικόνα 5 Κυματοδήγηση μέσω ολικής ανάκλασης σε οπτική ίνα

## 2.3 Κατηγορίες οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν:

**A.** από τον τρόπο που μεταδίδεται το σήμα σ' αυτές και με αυτό το κριτήριο διακρίνονται σε μονότροπες και πολύτροπες ίνες. ( 5, 6, 7 )



Εικόνα 6 α) Πολύτροπη β) Μονότροπη ίνα

Στη μονότροπη ίνα η φωτεινή ακτίνα διαδίδεται μόνο κατά μήκος του άξονα του πυρήνα. Οι φωτεινές ακτίνες ακολουθούν πολλές διαδρομές. Στις μονότροπες ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε έναν δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm, με συνηθέστερη τιμή 8,3μm.

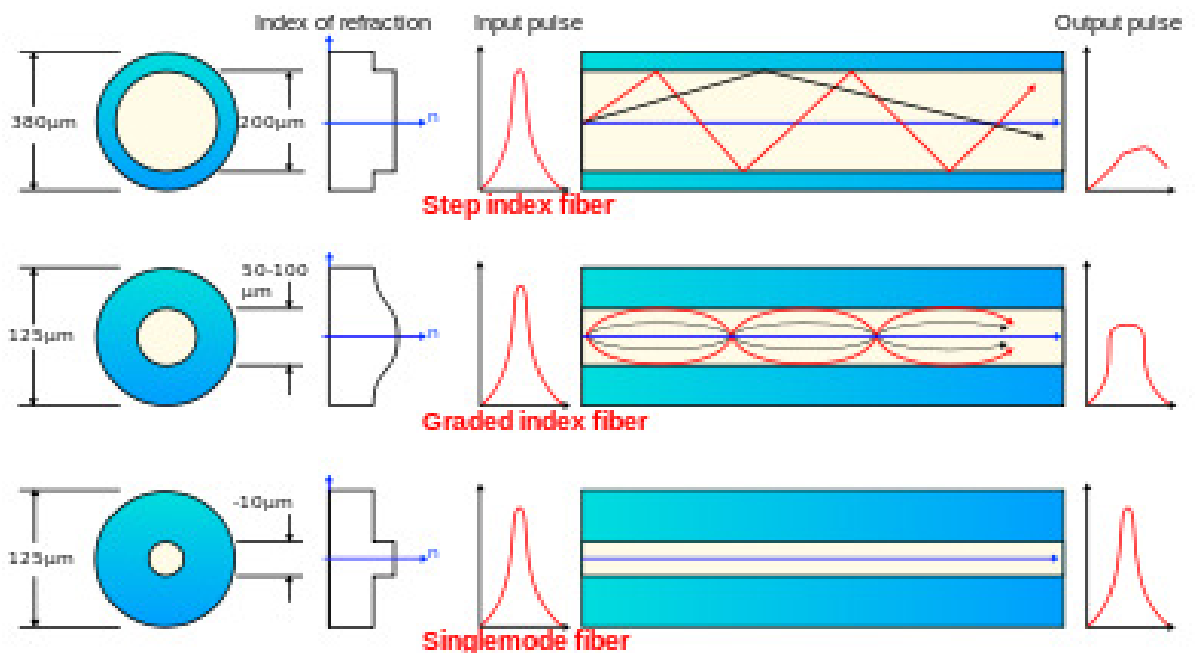
Στην πολύτροπη ίνα η αρχή μετάδοσης είναι ότι, οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδό τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος (multi mode) επειδή έχουμε πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές

γωνίες ανάκλασης. Στις πολύτροπες ίνες η ολική διάμετρος συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900μm.

Οι μονότροπες οπτικές ίνες είναι δύσχρηστες λόγω των μικρών διαστάσεων αλλά σε αυτές ανήκει το μέλλον. Οι πολύτροπες χρειάζονται επαναλήπτες κάθε λίγα χιλιόμετρα, οπότε θεωρούνται ξεπερασμένες. Η μονότροπη χρειάζεται επαναλήπτη κάθε 8-150χλμ. Καταβάλλεται προσπάθεια για την κατασκευή υπερπόντιας οπτικής ίνας χωρίς χρήση επαναλήπτη. Οι τελευταίες εξελίξεις αναφέρονται στην κατασκευή συνδέσεων 60 – 300Km χωρίς αναγεννητή ή επαναλήπτη. Επαναλήπτες ή αναγεννητές είναι διατάξεις οι οποίες τοποθετούνται κατά διαστήματα, για να ενισχύσουν το σήμα, το οποίο έχει εξασθενήσει λόγω της απόσβεσης.

**B.** Ανάλογα με τον τρόπο μεταβολής του δείκτη διάθλασης του πυρήνα, κατά μήκος μιας διαμέτρου του:

1. Κλιμακωτός δείκτης διάθλασης (step index). Ο πυρήνας έχει σταθερό δείκτη διάθλασης ( $n_1$ ) και η επένδυση  $n_2 < n_1$ .
2. Βαθμιαίας κατανομής δείκτης διάθλασης. Ο δείκτης διάθλασης της επένδυσης είναι σταθερός  $n_2$  ενώ στον πυρήνα ελαττώνεται από το κέντρο στην περιφέρεια.



Εικόνα 7 Τύποι μετάδοσης οπτικής ίνας

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η αρχή μετάδοσης των οπτικών ινών. Το φως από μια πηγή εισέρχεται στο κυλινδρικό γυαλί ή πλαστικό πυρήνα. Οι ακτίνες με μικρές γωνίες ανακλώνται και διαδίδονται κατά μήκος της ίνας. Άλλες ακτίνες απορροφώνται από το γύρο υλικό. Έχουμε έτσι πολύτροπη διάδοση κλιμακωτού δείκτη αναφέροντας στις ποικίλες γωνίες ανάκλασης. Με την πολύτροπη μετάδοση, υπάρχουν πολλαπλά μονοπάτια διάδοσης, κάθε ένα με διαφορετικό μήκος και συνεπώς χρόνο να διαπεράσει την ίνα. Αυτό κάνει τα στοιχεία του σήματος (παλμοί φωτός ) να απλώνονται στο χρόνο, γεγονός που περιορίζει τον ρυθμό στον οποίο τα δεδομένα μπορούν με ακρίβεια να ληφθούν. Διαφορετικά, η ανάγκη να αφεθεί χώρος μεταξύ των παλμών περιορίζει τον ρυθμό δεδομένων. Αυτός ο τύπος ίνας είναι κατάλληλος για μετάδοση σε σχετικά σύντομες αποστάσεις. Όταν μειώνεται η διάμετρος του πυρήνα της ίνας υπάρχουν λιγότερες γωνίες ανάκλασης. Μειώνοντας τη διάμετρο του πυρήνα κατά ένα μήκος κύματος μόνο μια γωνία ή ένας τρόπος (mode) μπορεί να περάσει: η αξονική ακτίνα. Η μονότροπη διάδοση (single-mode) παρέχει καλύτερη απόδοση για τον ακόλουθο λόγο. Επειδή με τη μονότροπη μετάδοση υπάρχει μια μοναδική πορεία μετάδοσης η παραμόρφωση που εμφανίζεται στην πολύτροπη ίνα δεν μπορεί να συμβεί. Η μονότροπη χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων, συμπεριλαμβανομένων της τηλεφωνίας και της καλωδιακής τηλεόρασης. Τέλος , αλλάζοντας τον δείκτη διάθλασης του πυρήνα επιτυγχάνεται ο τρίτος τύπος μετάδοσης, αυτός της πολύτροπης βαθμιαίου δείκτη, ο οποίος είναι ενδιάμεσος μεταξύ των άλλων δύο όσον αφορά τα χαρακτηριστικά. Ο υψηλότερος δείκτης διάθλασης στο κέντρο κάνει τις ακτίνες φωτός που κινούνται κατά μήκος του άξονα να προχωρούν πιο αργά από εκείνες κοντά στην περιένδυση. Αντί να έχουμε ζικ-ζακ ανάκλαση στην περιένδυση το φως στον πυρήνα κάμπτεται με ελικοειδή τρόπο λόγω του βαθμιαίου δείκτη, μειώνοντας την απόσταση του ταξιδιού του. Το συντομότερο μονοπάτι και η υψηλότερη ταχύτητα επιτρέπουν το φως στην περιφέρεια να φτάσει στο δέκτη στον ίδιο σχεδόν χρόνο με τις ευθείες ακτίνες στον άξονα του πυρήνα. Οι ίνες βαθμιαίου δείκτη χρησιμοποιούνται συχνά στα τοπικά δίκτυα.

Δύο διαφορετικοί τύποι πηγών φωτός χρησιμοποιούνται στα συστήματα οπτικών ινών: η δίοδος εκπομπής φωτός (light emitting diode - LED) και η δίοδος λέιζερ

(injection laser diode - ILD). Και οι δύο είναι συσκευές ημιαγωγού που εκπέμπουν μια δέσμη φωτός όταν εφαρμόζεται μια τάση. Το LED είναι λιγότερο δαπανηρό, λειτουργεί σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασίας και έχει μακρύτερη ζωή λειτουργίας. Το ILD, που λειτουργεί με την αρχή του λέιζερ, είναι αποδοτικότερο και μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων.

Υπάρχει μια σχέση μεταξύ του μήκους κύματος που χρησιμοποιείται, του είδους μετάδοσης και του επιτεύξιμου ρυθμού δεδομένων. Τόσο οι μονότροπες όσο και οι πολύτροπες ίνες μπορούν να υποστηρίξουν αρκετά διαφορετικά μήκη κύματος φωτός και να χρησιμοποιήσουν λέιζερ ή LED. Στις οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται τρεις ζώνες μηκών κύματος. Τα κέντρα τους είναι στα 0,85, 1,30 και 1,55 micron αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίες ζώνες έχουν καλές ιδιότητες εξασθένησης (απώλειες κάτω από 5% ανά χιλιόμετρο). Η ζώνη των 0,85 micron έχει υψηλότερη εξασθένηση, αλλά σε αυτό το μήκος κύματος και τα λέιζερ και τα ηλεκτρονικά μπορούν να κατασκευαστούν από το ίδιο υλικό (αρσενικούχο γάλλιο). Και οι τρεις ζώνες έχουν εύρος από 25.000 – 30.000 GHz. (7, 22)

## **2.4 Παράγοντες απωλειών και περιορισμού του εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες**

Οι παράγοντες που σχετίζονται με το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας και την εξασθένηση που επιφέρει το οπτικό σήμα είναι σημαντικοί και δε θα πρέπει να παραλειφθούν, καθώς το εύρος ζώνης συσχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί μέσω της ίνας, ενώ η εξασθένηση καθορίζει τον αριθμό επαναληπτών, που θα τοποθετηθούν μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια οπτική ζεύξη.

Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση μεταφοράς σήματος μέσα από παντός είδους γραμμές έτσι και στην οπτική ίνα μπορεί να έχουμε απώλεια σήματος. Όταν το φως ταξιδεύει μέσω της ίνας, μερική από την ενέργειά του χάνεται. Η αποδυνάμωση της έντασης σήματος ή απώλεια ισχύος του φωτός, συμβαίνει καθώς οι παλμοί του φωτός διαδίδονται κατά μήκος της ίνας. Όσο πιο μακριά ταξιδεύει το φως μέσα στην ίνα, τόσο περισσότερη ενέργεια χάνει το σήμα. Αυτή η εξασθένηση (**attenuation**) του

σήματος συμβαίνει για διάφορους λόγους περιλαμβάνοντας και την ίδια τη φύση της ίνας. Ο πιο σημαντικός λόγος πάντως είναι το **scattering** (διασκορπισμός, σκέδαση). Ο διασκορπισμός τους φωτός μέσα στην ίνα συμβαίνει εξαιτίας των μικροσκοπικών ανομοιομορφιών μέσα στην ίνα που αντανακλούν και διασκορπίζουν μερική από την ενέργεια του φωτός. Η **απορρόφηση** (absorption) αποτελεί μία ακόμα αιτία για την αποδυνάμωση της ενέργειας του φωτός. Τα ηλεκτρόνια ξένων προσμίξεων που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας απορροφούν μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Ιδιαίτερα τα ιόντα  $\text{OH}^-$  ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Αυτή η ενέργεια φωτός μετατρέπεται σε ένα μικρό σύνολο θερμικής ενέργειας. Η απορρόφηση κάνει το σήμα του φωτός πιο αδύναμο.

Η **διασπορά** (dispersion) του φωτός επίσης, μειώνει τις αποστάσεις μετάδοσης σε μια ίνα. Η διασπορά είναι ο τεχνικός όρος του διασκορπισμού των φωτεινών παλμών καθώς ταξιδεύουν μέσω της ίνας. Η διασπορά περιορίζει το εύρος ζώνης στην οπτική ίνα, ελαττώνοντας την ποσότητα των πληροφοριών που μπορεί αυτή να μεταφέρει. Υπάρχουν διάφορες αιτίες της διασποράς στις ίνες. Οι πιο βασικές είναι: η χρωματική διασπορά αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι διαφορετικά χρώματα ή μήκη κύματος διάδοσης, μεταδίδονται σε διαφορετικές ταχύτητες ακόμη και στον ίδιο τρόπο. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα πρίσμα διαχωρίζει τα μήκη κύματος του φωτός.

Η πολύτροπη διασπορά. Η ισχύς ενός παλμού, ενόσω αυτός κυματοδηγείται σε οπτική ίνα με σταθερούς δείκτες διάθλασης, διαμοιράζεται ανάλογα με τις διαστάσεις του πυρήνα της σε περισσότερους από έναν τρόπους. Η ταχύτητα διάδοσης όμως κάθε τρόπου είναι διαφορετική, με αποτέλεσμα ο φωτεινός παλμός στην έξοδο της ίνας να διαπλάτνεται. Η διασπορά τόπων εξαλείφεται πλήρως με τη χρήση οπτικών ινών που μπορούν να μεταδώσουν μόνο έναν τρόπο (μονότροπες ίνες). Χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ μικρή διάμετρος του πυρήνα. Έτσι η διασπορά τρόπων εξαλείφεται πλήρως με αποτέλεσμα την αύξηση εύρους ζώνης. (1β,8 , 9 )

## **2.5 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα των οπτικών ινών έναντι των συμβατικών μέσων ενσύρματης επικοινωνίας**

Μια σειρά πλεονεκτημάτων έχουν κάνει τις οπτικές ίνες να πρωταγωνιστούν στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες. Αυτά έχουν ως ακολούθως:

- Μεγάλη χωρητικότητα πληροφορίας. Οφείλεται στη χρήση της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- Μικρό κόστος. Πράγματι το γυαλί είναι πολύ φθηνό από τον χαλκό και τα αποθέματά του ανεξάντλητα. Ακόμη η μικρή εξασθένιση των οπτικών ινών μειώνει τον αριθμό αναμεταδοτών/ενισχυτών σε μια ζεύξη μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κόστος αλλά και των σφαλμάτων.
- Χαμηλό βάρος και μικρό μέγεθος της οπτικής ίνας. Ένα καλώδιο οπτικών ινών ζυγίζει τέσσερις φορές λιγότερο από ένα συμβατικό και έχει περίπου τη μισή διάμετρο για τους ασφυκτικά γεμάτους από καλώδια σωλήνες στα κτήρια και στα υπόγεια. Το πλεονέκτημα του μικρού μεγέθους είναι ιδιαίτερα υπολογίσιμο. Η αντίστοιχη μείωση σε βάρος μειώνει τις δομικές απαιτήσεις στήριξης.
- Αναισθησία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Το γυαλί είναι διηλεκτρικό και δεν παρουσιάζει φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Κατά συνέπεια δεν είναι ευάλωτα στην παρεμβολή, στον κρουστικό θόρυβο ή στην συνακρόαση.
- Ασφάλεια . Είναι αδύνατον να γίνει υποκλοπή του οπτικού σήματος. Επίσης λόγω του ότι δεν έχουμε μεταφορά ηλεκτρικού σήματος, τα οπτικά συστήματα προτιμώνται σε περιοχές υψηλού κινδύνου εκρήξεων λόγω σπινθήρων (χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.) .
- Αντοχή σε δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος (υψηλές θερμοκρασίες).
- Δεν παράγονται στο εσωτερικό τους ηλεκτρικοί θόρυβοι.

Μειονεκτήματα των οπτικών ινών:

- Είναι πιο ακριβές.



- Είναι πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους.
- Είναι πιο εύθραυστες.
- Δεν πρέπει να λυγίζουν πολύ, γιατί διαφορετικά έχουν απώλειες.

Βέβαια με το πέρασμα των χρόνων αυτά τα λίγα μειονεκτήματα τείνουν να εξαλειφθούν.

Είναι πλέον φανερό ότι τα έμφυτα πλεονεκτήματα της οπτικής ίνας έναντι των χάλκινων καλωδίων, οποιασδήποτε μορφής, την καθιστούν όλο και περισσότερο ελκυστική γι' αυτό η ζήτηση για όλους τους τύπους πληροφορίας (φωνή, δεδομένα, εικόνα, βίντεο) αυξάνει. Η οπτική ίνα ήδη χρησιμοποιείται σε μεγάλης απόστασης επικοινωνίες και εφαρμογές και εκτός αυτών σε πολλές βιομηχανίες αλλά και επιστήμες συμπεριλαμβανομένης της ιατρικής, των στρατιωτικών των τηλεπικοινωνιών, αποθήκευσης δεδομένων, τη δικτύωση και τις βιομηχανίες μετάδοσης είναι σε θέση να εφαρμόζουν και να χρησιμοποιούν τεχνολογία οπτικών ινών σε μια ποικιλία εφαρμογών. Είναι η μόνη τεχνολογία με δυνατότητες να προσφέρει λύση ικανοποιώντας τη συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για εύρος ζώνης.

## **2.6 Οπτική πολυπλεξία**

Μια στρατηγική για τη δημιουργία δικτύων που θα μπορούν να υποστηρίξουν τις νέες πολύ ενδιαφέρουσες και απαιτητικές για εύρος ζώνης εφαρμογές είναι η τεχνολογία πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).

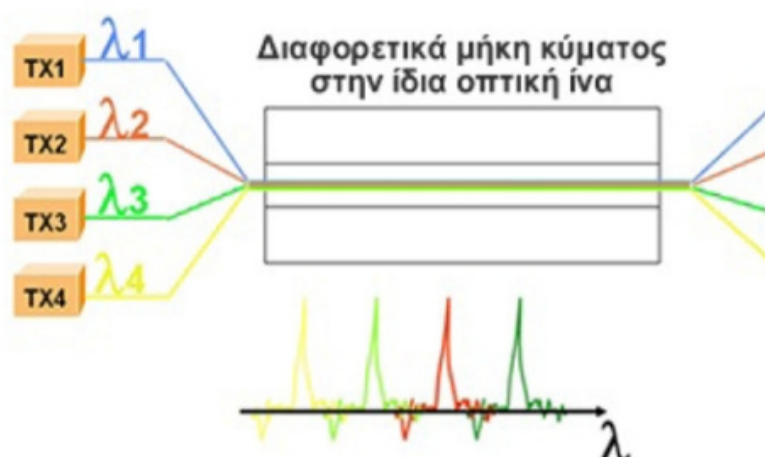
Η πολυπλεξία\* γενικά είναι μια διαμοίραση της χωρητικότητας ενός συνδέσμου επικοινωνίας μεταξύ πολλών σταθμών, η οποία αποσκοπεί στην οικονομικά αποδοτική χρήση και εκμετάλλευση της διαθέσιμης χωρητικότητας. Στην πραγματικότητα η πολυπλεξία είναι βαρύνουσας σημασίας για τα οπτικά δίκτυα, διότι ο «σύνδεσμος επικοινωνίας» είναι στην πράξη μια σύνδεση οπτικής ίνας, η οποία έχει τεράστια χωρητικότητα. Η πραγματική δυνατότητα της οπτικής ίνας αξιοποιείται πλήρως όταν πολλαπλές δέσμες φωτός με διαφορετικές συχνότητες μεταδίδονται στην ίδια ίνα. Αυτό είναι μια μορφή πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (FDM) αλλά συνήθως αναφέρεται ως πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).

- Ο όρος μήκος κύματος χρησιμοποιείται αντί του όρου συχνότητα (frequency) προς αποφυγήν συγχύσεων με άλλες χρήσεις του όρου frequency. Ο όρος μήκος κύματος πολλές φορές εμφανίζεται και ως όρος  $\lambda$  ή channel.

### 2.6.1 Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM)

Στην πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας κάθε ροή δεδομένων διαμορφώνεται σε μια διαφορετική φέρουσα συχνότητα, έτσι το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων διαιρείται (ή «τεμαχίζεται») σε κανάλια, κάθε ένα εκ των οποίων εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σταθμό εισόδου. Τα κανάλια αυτά πρέπει να διαχωρίζονται κατάλληλα το ένα από το άλλο με ζώνες φύλαξης – ασφαλείας επαρκούς εύρους ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Οι μεταδόσεις στα διάφορα κανάλια στην FDM τεχνική γίνονται ταυτόχρονα, μιας και «τεμαχίζεται» η διάσταση των συχνοτήτων και όχι του χρόνου.

### 2.6.2 Πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM)



Εικόνα 8 Πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM)

Η WDM είναι ουσιαστικά ακριβώς ίδια με την FDM, αλλά ο όρος WDM έχει επικρατήσει όταν θεωρείται διαίρεση του οπτικού φάσματος συχνοτήτων σε κανάλια (ή μήκη κύματος). Τα μήκη κύματος που αποτελούν τα κανάλια πρέπει να διαχωρίζονται επαρκώς το ένα από το άλλο, ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές.

Με WDM, το φως που ρέει μέσα στην ίνα αποτελείται από πολλά χρώματα ή μήκη κυμάτων και καθένα από αυτά μεταφέρει ένα ξεχωριστό κανάλι δεδομένων. ( 7 )

### **2.6.3 Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM)**

Ξεχωριστή περίπτωση αποτελεί η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time-Division Multiplexing).

Στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου αυτή που τεμαχίζεται είναι η διάσταση του χρόνου, έτσι ώστε να σχηματίζονται κανάλια για χρήση από διαφορετικές ροές δεδομένων. Σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή όλη η χωρητικότητα του μέσου απασχολείται με την εξυπηρέτηση μιας συγκεκριμένης ροής εισόδου. Συνεπώς πρόκειται για μια εκ περιτροπής χρήση όλης της διαθέσιμης συχνότητας.

Στην πράξη, ο χρόνος διαιρείται σε πλαίσια σταθερής διάρκειας και κάθε πλαίσιο διαιρείται σε ένα σταθερό αριθμό χρονοθυρίδων. Όταν το δίκτυο καθορίσει μια σύνδεση επάνω σε μια ζεύξη, το δίκτυο αφιερώνει μια χρονοθυρίδα σε κάθε πλαίσιο για τη σύνδεση . Αυτές οι θυρίδες αφιερώνονται για την αποκλειστική χρήση αυτής της σύνδεσης και μια χρονοθυρίδα διατίθεται (σε κάθε πλαίσιο ) για να μεταδίδει τα δεδομένα της σύνδεσης δεδομένων.

Στην Οπτική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Optical Time - Division Multiplexing-OTDM) επιχειρείται να γίνουν οι λειτουργίες της πολυπλεξίας και απόπλεξης οπτικά. Οι ρυθμοί δεδομένων των ξεχωριστών ροών δεδομένων είναι σε τόσο υψηλά επίπεδα (πχ 10Gbps) που οι παραπάνω λειτουργίες γίνονται καλύτερα στο οπτικό πεδίο. Η τεχνική OTDM διακρίνεται σε σταθερή και στατική. (7, 8 )

Υπάρχουν πολλών μορφές πολυπλεξίας. Εδώ αναφέρθηκαν αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα οπτικά δίκτυα.

### 3. ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ο όρος «δίκτυα επικοινωνίας» (communication networks) αναφέρεται γενικά σε συστήματα υλικού λογισμικού και εφαρμογών (υπηρεσιών - δυνατοτήτων), που στοχεύουν στη μετάδοση και δρομολόγηση δεδομένων, μεταξύ ηλεκτρονικών διατάξεων σταθμών (όπως υπολογιστές διαφόρων κατηγοριών, τερματικά, τηλεφωνικές συσκευές). Ο όρος περιλαμβάνει τις διάφορες τεχνολογίες:

α) τηλεπικοινωνιακών δικτύων, β) δικτύων υπολογιστών (τοπικά **LANs**), μητροπολιτικά (**MANs**), ευρείας περιοχής (**WANs**) και διαδίκτυα, γ) ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών στενής (**N-ISDN**) και ευρείας (**B-ISDN**) ζώνης καθώς και όλες τις ασύρματες επικοινωνιακές τεχνολογίες.

Για την ταξινόμηση των δικτύων επικοινωνίας χρησιμοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά όπως:

1. Η αρχιτεκτονική και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων και έχουμε:
  - Μεταγωγίμα δίκτυα (μεταγωγής κυκλώματος, «πακέτου» και «κυψελίδων»).
  - δίκτυα εκπομπής.
2. Η διασύνδεσή τους και έχουμε: ενσύρματα και ασύρματα.
3. Η προσφερόμενη γεωγραφική κάλυψη και έχουμε:
  - Δίκτυα μηχανών ροής δεδομένων ( Data flow machines ) και συστημάτων πολυεπεξεργαστών (Multi processor systems).
  - Δίκτυα προσωπικής περιοχής (**PANs**-Personal Area Net works)
  - Τοπικά δίκτυα (**LANs**-Local Area Networks).
  - Μητροπολιτικά δίκτυα (**MANs**- Metropolitan Area Networks).
  - Περιφερειακά δίκτυα ( **RANs**- Regional Area Wet).

- Δίκτυα ευρείας περιοχής (**WANs**- Wide Area Networks) και διαδίκτυα (Interconnection of long haul Networks) ή
- Διηπειρωτικά παγκόσμια δίκτυα ( **GANs**-Global Area Networks) τα οποία προκύπτουν από τη διασύνδεση επιμέρους δικτύων.

4. Το προσφερόμενο εύρος ζώνης(bandwidth).

5. Το είδος των υποστηριζόμενων εφαρμογών.

6. Το κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας

7. Το χρησιμοποιούμενο υλικό και λογισμικό.

Δηλαδή, τα δίκτυα ταξινομούνται σε κατηγορίες, όπου η κάθε κατηγορία έχει δικά της χαρακτηριστικά , τεχνολογίες, ταχύτητες και πεδίο εφαρμογής.

Στόχος ενός δικτύου είναι να μοιράσει με βέλτιστο τρόπο στους χρήστες του δικτύου : τη χρήση των γραμμών (χωρητικότητα), τη δυνατότητα επεξεργασίας και τη μνήμη των διαφόρων μηχανημάτων και εφαρμογών.

Το είδος της πληροφορίας στην οποία παρέχεται κοινή πρόσβαση, καθορίζει το είδος του δικτύου. Τα δίκτυα υπολογιστών είναι δίκτυα μεταφοράς δεδομένων. Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, ενώ αρχικά μετέφεραν φωνή, πλέον μεταδίδουν όλων των ειδών τις πληροφορίες (φωνή, δεδομένα , εικόνα).

Σημαντικό στοιχείο στα δίκτυα είναι η δυνατότητα διαχείρισης της κοινής πρόσβασης με την έννοια της δυνατότητας ρύθμισης χαρακτηριστικών λειτουργίας της κοινής πρόσβασης : της ασφάλειας ( ποιος έχει πρόσβαση σε τι; ), της απόδοσης (ταχύτητα πρόσβασης, καθυστέρηση πρόσβασης ) και αξιοπιστίας (λάθη πρόσβασης, βλάβες ).

Στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες επικοινωνιών γίνονται βήματα τόσο από την τεχνολογία όσο και τα διάφορα πρότυπα που οδηγούν προς ένα ενιαίο επικοινωνιακό σύστημα, το οποίο θα ολοκληρώνει όλα τα επικοινωνιακά σχήματα και το οποίο θα παρέχει ευρεία γεωγραφική κάλυψη καθώς και ομογενή φιλική πρόσβαση σε όλες τις πηγές πληροφορίας. ( 4, 10 )

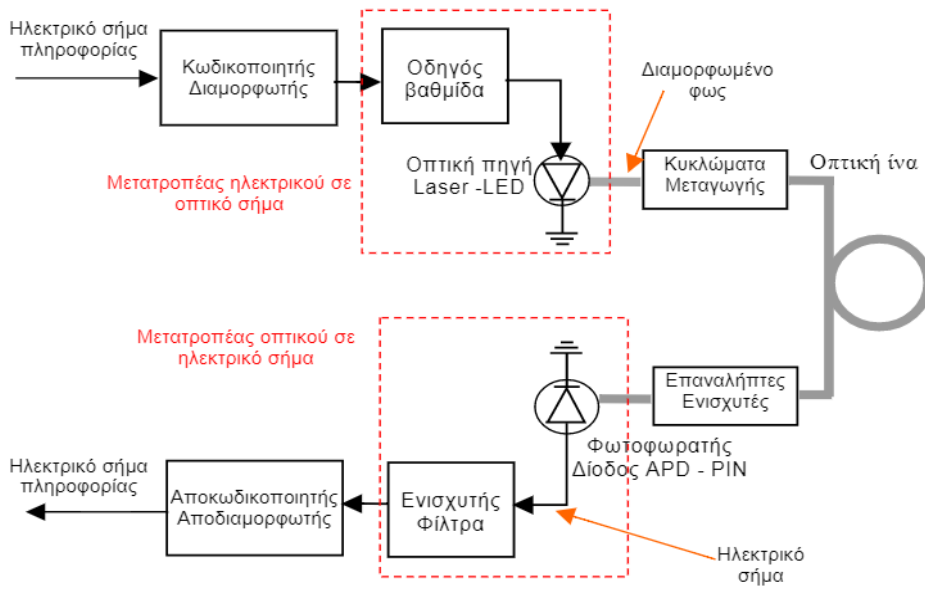
### 3.1 Το οπτικό σύστημα επικοινωνίας

Σε ένα απλό σύστημα οπτικής επικοινωνίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η επεξεργασία της πληροφορίας (διαμόρφωση, πολυπλεξία) και η μεταγωγή των οπτικών σημάτων κατά μήκος τη οπτικής ίνας, σε μεγάλο ποσοστό των χρησιμοποιούμενων συστημάτων, γίνεται σε ηλεκτρική μορφή. Παλιότερα το ίδιο συνέβαινε και με την ενίσχυση του οπτικού σήματος, το οποίο, αφού μετατρεπόταν σε ηλεκτρικό, ενισχυόταν και στη συνέχεια μετατρεπόταν πάλι σε οπτικό προκειμένου να συνεχίσει η μετάδοσή του δια μέσου της οπτικής ίνας. Σήμερα όμως όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται σε οπτική μορφή με τη χρήση κατάλληλων διατάξεων όπως οπτικοί ενισχυτές ή αναγεννητές και οπτικά φίλτρα με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης της οπτικής ζεύξης.

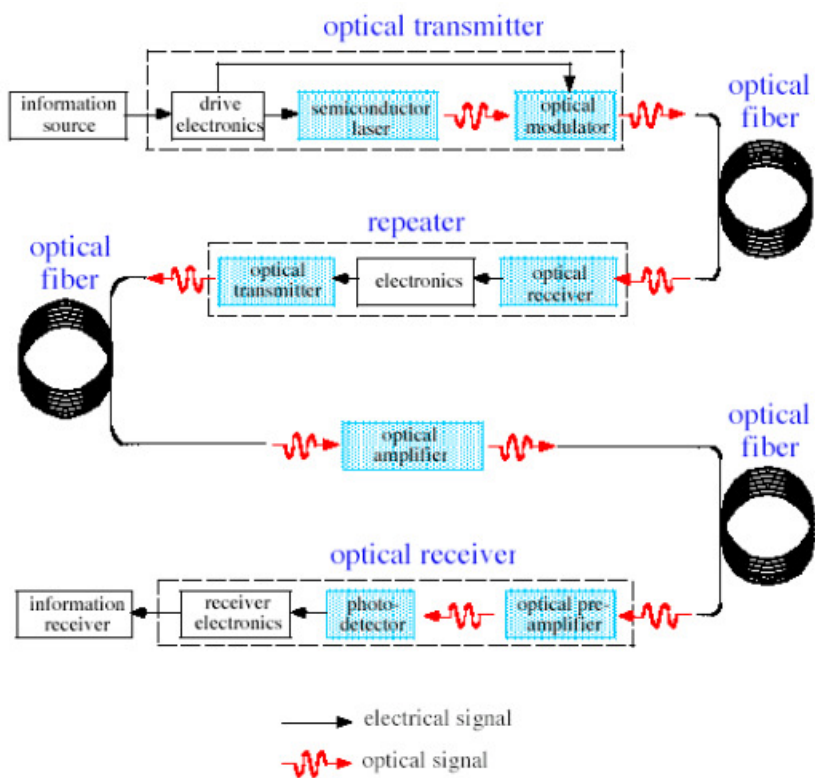
Ένα οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα περιλαμβάνει:

1. **Οπτική ίνα.** Είναι η βάση του συστήματος και σε αυτήν οφείλονται τα πλεονεκτήματά του.
2. **Ενεργά στοιχεία.** Περιλαμβάνουν τις φωτεινές πηγές και τους φωτοφωρατές, που πραγματοποιούν τις βασικές λειτουργίες της δημιουργίας και ανίχνευσης του οπτικού σήματος καθώς και τους οπτικούς ενισχυτές που το ενισχύουν κατά τη διάρκεια της διαδρομής του στην οπτική ίνα.
3. **Παθητικά στοιχεία.** Περιλαμβάνουν τους οπτικούς συνδέσμους και μεταγωγείς, τους οπτικούς διαμορφωτές και συζεύκτες που χρησιμεύουν στην επεξεργασία του οπτικού σήματος.

Στα παραπάνω θα πρέπει να προσθέσουμε και τις ηλεκτρονικές διατάξεις οδήγησης των ενεργών στοιχείων καθώς και τις ηλεκτρονικές βαθμίδες επεξεργασίας του σήματος σε ηλεκτρική μορφή. (5, 6, 9, )



Εικόνα 9 Βασικό οπτικό σύστημα επικοινωνιών I



Εικόνα 10 Βασικό οπτικό σύστημα επικοινωνιών II

## 3.2 Γενιές οπτικών δικτύων

Σήμερα βρισκόμαστε στην εποχή οπτικών δικτύων επόμενης γενιάς (next generation networks). Η κάθε γενιά προσδιορίζεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών – κριτηρίων που την κάνουν να ξεχωρίζει από τις προηγούμενες ή τις επόμενες. Με βάση το κριτήριο της μετάδοσης χωρητικότητας (transmission capacity) και των εφαρμοσμένων τεχνολογιών, τα οπτικά δίκτυα διακρίνονται σε 5 γενιές.

### 3.2.1 5 γενιές των οπτικών δικτύων επικοινωνίας

Η **πρώτη γενιά** οπτικών συστημάτων αναπτύχθηκε το 1975. Χρησιμοποίησε GaAs ημιαγωγό Laser και λειτούργησε σε μήκος κύματος 0,8μm, σε ρυθμό μετάδοσης (bit rate) των 45Mb/s και επαναλήπτες κάθε 10Km.

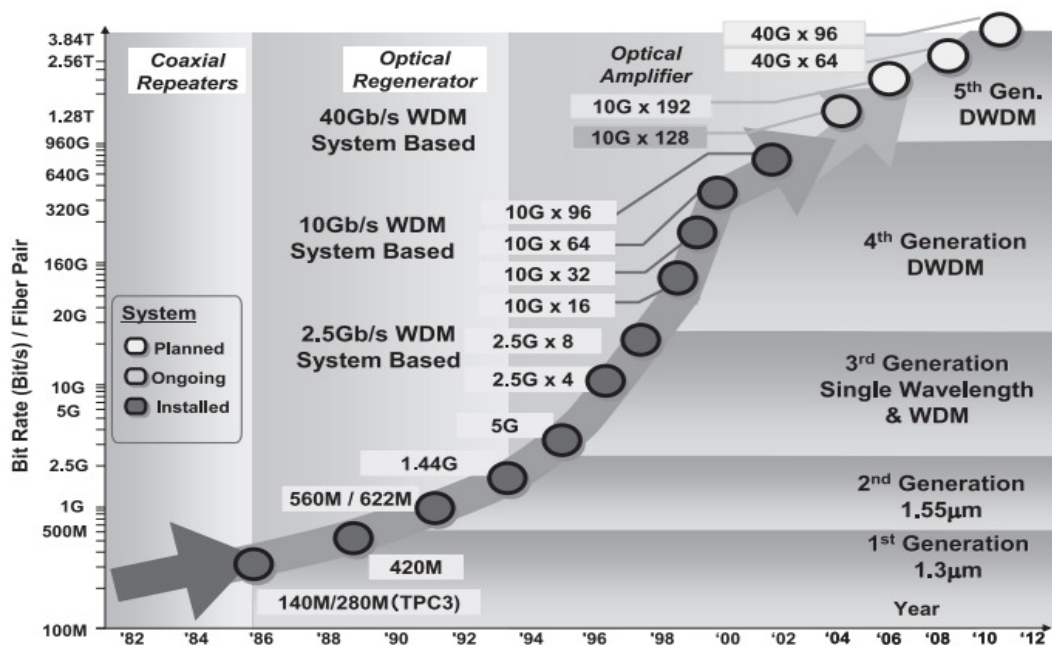
Στις αρχές της δεκαετίας του '80 αναπτύχθηκε η **δεύτερη γενιά**. Χρησιμοποίησε InGaAsP ημιαγωγούς Laser και λειτούργησε σε μήκος κύματος 1,3μm. Μέχρι το 1987 αυτά τα συστήματα οπτικών ινών λειτουργούσαν σε bit rate μέχρι 1,7Gb/s, σε μονότροπη ίνα και με επαναλήπτη στα 50Km.

Η **τρίτη γενιά**, η οποία λειτούργησε σε μήκος κύματος 1,55μm, αναπτύχθηκε το 1990. Αυτά τα συστήματα λειτουργούσαν με bit rate 2,5Gb/s και με επαναλήπτη στα 100Km.

Η **τέταρτη γενιά** χρησιμοποίησε οπτικούς ενισχυτές (optical amplifiers) σε αντικατάσταση των επαναληπτών και χρήση πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος (WDM), ώστε να αυξήσει τον ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας (data rate). Μέχρι το 1996 έγινε μετάδοση πάνω από 11.300km υποθαλάσσιων καλωδίων με data rate 5Gb/s.

Η **πέμπτη γενιά** χρησιμοποιεί DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) για περεταίρω αύξηση του data rate. Επίσης διερευνάται το concept των οπτικών σολιτονίων, τα οποία είναι οπτικοί παλμοί, οι οποίοι μπορούν να διατηρήσουν το σχήμα τους κατά τη διάρκεια της μετάδοσης δρώντας ενάντια στις αρνητικές επιδράσεις της διασποράς. ( 9, 11 )





Εικόνα 11 Advancement of transmission capacity and applied technologies

Πηγή: [http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014\\_pp438-442.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014_pp438-442.pdf)

### 3.2.2 3 γενιές οπτικών δικτύων επικοινωνιών (βάσει αρχιτεκτονικής)

Με βάση το κριτήριο της **πολυπλοκότητας των λειτουργιών** που επιτελούνται σε οπτικό επίπεδο, τα οπτικά δίκτυα εξελίχθηκαν σε τρεις γενιές:

- Στα δίκτυα **πρώτης γενιάς** που αποτελούνται από σημείο προς σημείο οπτικές ζεύξεις και η χρήση της οπτικής ίνας περιορίζεται μόνο στη φυσική σύνδεση δύο κόμβων.
- Στα οπτικά δίκτυα **δεύτερης γενιάς WDM** (Wavelength Division Multiplexing) καθιερωμένα ως οπτικά δίκτυα πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους.
- Τα οπτικά δίκτυα **τρίτης γενιάς** καθιερωμένα ως οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων (All-Optical Packet Switched Networks-OPS).

Αυτή η εξέλιξη, γενικά, των οπτικών επικοινωνιών και των δικτύων πραγματοποιήθηκε, σε επίπεδο εφαρμογής, χάρη στις ιδιότητες της οπτικής ίνας, η οποία είναι ευέλικτη και μπορεί να ομαδοποιείται. Είναι ιδιαίτερα επωφελής για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, επειδή το φως διαδίδεται μέσα από την ίνα με

μικρή εξασθένιση συγκριτικά με τη μεγαλύτερη εξασθένιση των ηλεκτρικών καλωδίων. Αυτό επιτρέπει να εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις με λίγους επαναλήπτες αναμετάδοσης. Τέλος, τα φωτεινά σήματα αναλύσεων στην ίνα μπορεί να διαμορφώνονται σε ποσοστά τόσο υψηλά όσο 40 Gb/s, κάθε ίνα μπορεί να μεταφέρει πολλά ανεξάρτητα κανάλια, με διαφορετική το καθένα πολύπλεξη με επιμερισμό του φωτός (wavelength division multiplexing).

### **3.2.3 Ιστορική εξέλιξη των οπτικών δικτύων επικοινωνιών**

Το 1977 εγκαθίσταται το πρώτο οπτικό δίκτυο επικοινωνιών στο Chicago - USA από την BELL Labs. Η ίνα έχει συνολικό μήκος 2.400μέτρα και υποστήριζε 672 κανάλια ταυτόχρονα.

Το 1978 εγκαθίσταται το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο οπτικών ινών με μήκος 5066km και δυνατότητα εξυπηρέτησης 120.000 κλήσεων.

Το 1980 η Bell Telephone Systems ανακοινώνει σχέδια για την κατασκευή του TAT-8, του πρώτου διατλαντικού δικτύου. Η οπτική ίνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως γραμμή μεταφοράς στο δίκτυο TAT-8 για τη μετάδοση υπεραστικών και υπερατλαντικών τηλεφωνικών σημάτων σε ρυθμό μετάδοσης 560Mb/s.

Το 1987 επιδεικνύονται ενισχυτές ίνας ερβίου ( EDFA ) και το 1990 γίνονται εμπορικά διαθέσιμοι

Το 1992 γίνεται χρήση της τεχνολογίας της πολυπλεξίας μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing-WDM), η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση πολλαπλών καναλιών μέσω της οπτικής ίνας.

Η διεύθυνση των οπτικών ινών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα κορμού επιταχύνθηκε μετά την υλοποίηση των πρώτων οπτικών ενισχυτών με ίνες ερβίου (EDFA), οι οποίες επέτρεψαν την ενίσχυση σήματος απευθείας στο οπτικό επίπεδο χωρίς τη χρήση οπτικο-ηλεκτρονικών μετατροπών, παρέχοντας τη δυνατότητα για την κατασκευή μεγαλύτερου μήκους οπτικών δικτύων.

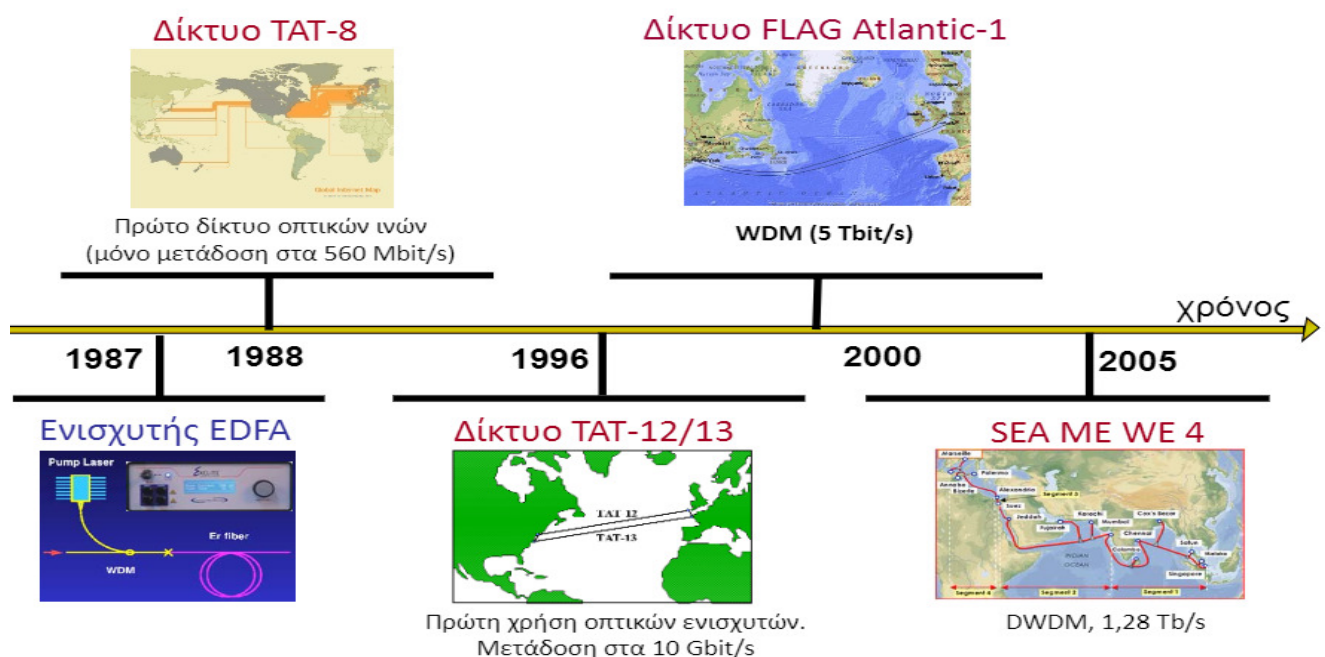
Από το 1996-1999 σχεδιάζεται και υλοποιείται το διατλαντικό οπτικό δίκτυο TAT-12/13, το οποίο διαχειρίζεται κίνηση σε ρυθμό μετάδοσης 10GB, το υποθαλάσσιο

δίκτυο FlagAtlantic-1 με παρόμοιες δυνατότητες και βάση τη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία SDH . Η διέλευσή του φτάνει τα 5Tbit/s και περιλαμβάνει 297 επαναλήπτες. Και τέλος το παναφρικανικό δίκτυο AFRICA ONE.

Το 2000 ολοκληρώθηκε το παγκόσμιο δίκτυο SEA-MEWE3 (South East Asia – Middle East West Europe) (Ευρώπη – Ασία - Αυστραλία) με συνολική διέλευση 10 Gb/s. Ξεκινά από τη δυτική Ευρώπη (Γερμανία – Αγγλία), περνά από το Γιβραλτάρ στη Μεσόγειο (Ιταλία – Ελλάδα – Κύπρος) και συνεχίζει μέσω του Σουέζ για Ασία (Ινδία – Σιγκαπούρη) και στο τέλος χωρίζεται στα δύο καταλήγοντας στην Ιαπωνία και Αυστραλία. Ταυτόχρονα ανακοινώνεται και η έναρξη των δικτύων Flag – Atlantic1 (Fiber-Optic Link Around the Globe) και FlagPacific -1 με διέλευση 5 και 10Tb/s και βάση το SDH. Συνολικά θα μεταφέρει 10.24Tbit/s δεδομένα σε ένα μήκος 24000Km αποτελούμενο από 447 επαναλήπτες. Παράλληλα έκαναν και τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα μετάδοσης κάθε καναλιού στα 40 Gb/s.

Το 2001 ανακοινώνεται η έναρξη του έργου Apollo, μήκους 13000Km που θα ενώνει ΗΠΑ, Αγγλία Γαλλία μεταφέροντας 3.2 Tbit/s. Είναι WDM δίκτυο και χρησιμοποιεί 80 κανάλια των 10 Gbit/s.

Το 2002 τα FlagPacific -1 και το Apollo είναι εμπορικά διαθέσιμα. (1α, 2 )

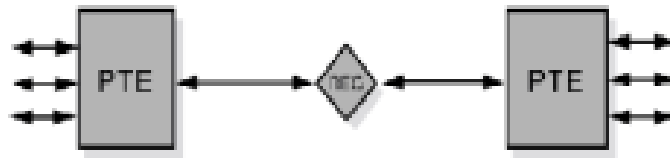


Εικόνα 12 Οπτικά δίκτυα σε λειτουργία

### 3.3 Μορφές δικτύων

Τα συστήματα επικοινωνίας γενικά συνδέουν κόμβους (nodes), που μπορεί να είναι μεταγωγείς,, τηλέφωνα, τερματικά, υπολογιστές, θέσεις εργασίας κ.λπ. Όσον αφορά την τοπολογία τους , αυτά τα συστήματα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

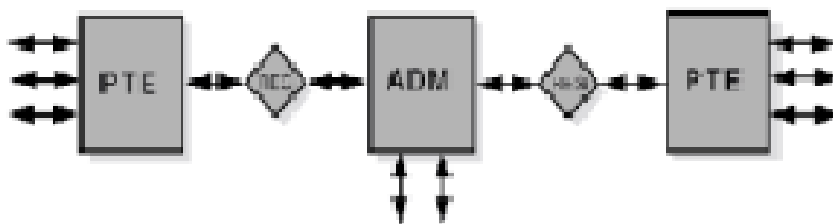
- Απλή ζεύξη από σημείο σε σημείο (point to point). Σ' αυτή τη ζεύξη το δίκτυο αποτελείται από δύο μέρη : ένας πομπός στο ένα άκρο στέλνει μηνύματα σε ένα δέκτη στο άλλο άκρο και το αντίθετο, ανάλογα εάν η επικοινωνία είναι μονόδρομη ή αμφίδρομη.



Εικόνα 13 Απλή ζεύξη από σημείο προς σημείο (point to point)

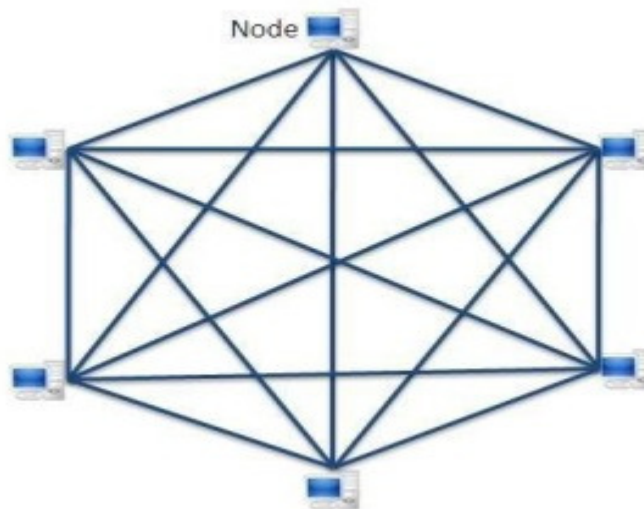
- Τοπολογία από ένα σημείο προς πολλά (point to multipoint). Εδώ έχουμε N μέρη τα οποία όμως μπορεί να μην είναι ισότιμα. Κάποιο απ' αυτά μπορεί να μεταδίδει σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους ενώ ένα άλλο μόνο σε ένα υποσύνολο N-α. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι η τηλεόραση, όπου ένας σταθμός μπορεί να μεταδίδει σε όλους τους συνδρομητές ταυτόχρονα (broadcast μετάδοση).

Οι δύο αυτές τοπολογίες , η απλή ζεύξη και η πολυσημειακή, είναι υποσύνολα του δικτύου.



Εικόνα 14 Ζεύξη από ένα σημείο προς πολλά (point to multipoint)

• Τοπολογία δικτύου. Εδώ καθένας από τους  $N$  κόμβους μπορεί να επικοινωνήσει με όλους τους υπόλοιπους είτε απευθείας είτε μέσω κάποιου τρίτου κόμβου. Για να αποκτήσει τη μέγιστη χρησιμότητά του το δίκτυο πρέπει να μπορεί να παρέχει αυτήν την από οποιονδήποτε – σε – οποιονδήποτε διασύνδεση και να μην περιορίζεται σε καταστάσεις όπου μερικοί κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μόνο με ένα υποσύνολο από τους  $N-1$  άλλους. Αυτή η ικανότητα θα πρέπει να είναι η βασική απαίτηση.

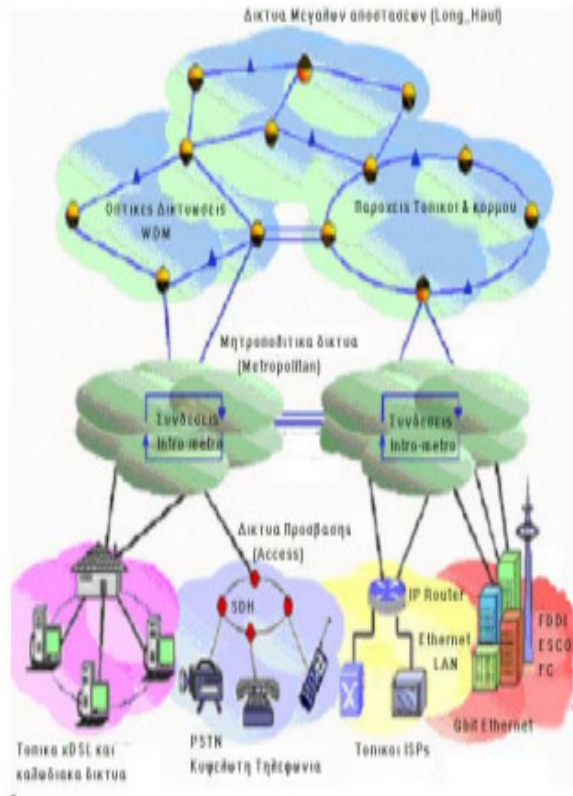


Εικόνα 15 Τοπολογία δικτύου full mesh

Στα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις και το ερευνητικό ενδιαφέρον στο χώρο των οπτικών επικοινωνιών, έχουν μετατοπιστεί από τις ζεύξεις από σημείο σε σημείο που ήταν παλιότερα, προς αυτές από ένα σημείο προς πολλά σημεία και στα δίκτυα. Η έρευνα πλέον εστιάζεται λιγότερο στο πώς θα αυξηθεί ο ρυθμός bit και η απόσταση των επαναληπτών σε μια απλή ζεύξη και περισσότερο στη δυνατότητα διασύνδεσης, στο πόσες δέσμες bits σε διάφορα μήκη κύματος (συχνότητες) μπορεί το σύστημα να υποστηρίξει, στο πόσο αποδοτικά μπορούν να λειτουργήσουν τα επιμέρους στοιχεία που βρίσκονται στην πορεία του σήματος (πομποί, δέκτες, ενισχυτές), στο πόσο γρήγορα μπορεί να λειτουργήσει ένα πρωτόκολλο, πόσο “αποδοτικά” και “διαφανή” για τον χρήστη μπορούν να γίνουν τα επικοινωνιακά μέσα. Οι εφαρμογές που ωθούν προς τα πολυσημιακά συστήματα φαίνεται ότι είναι να φτάσει η οπτική ίνα στο σπίτι

ή το γραφείο, ενώ για τα δίκτυα είναι τα τοπικά ή τα μητροπολιτικά δίκτυα υπολογιστών. (8, 12)

### 3.4 Δομή οπτικών δικτύων επικοινωνίας



Εικόνα 16 Συνολική ιεραρχία στη δομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Σύμφωνα με την γεωγραφική κάλυψη διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι δικτύων :

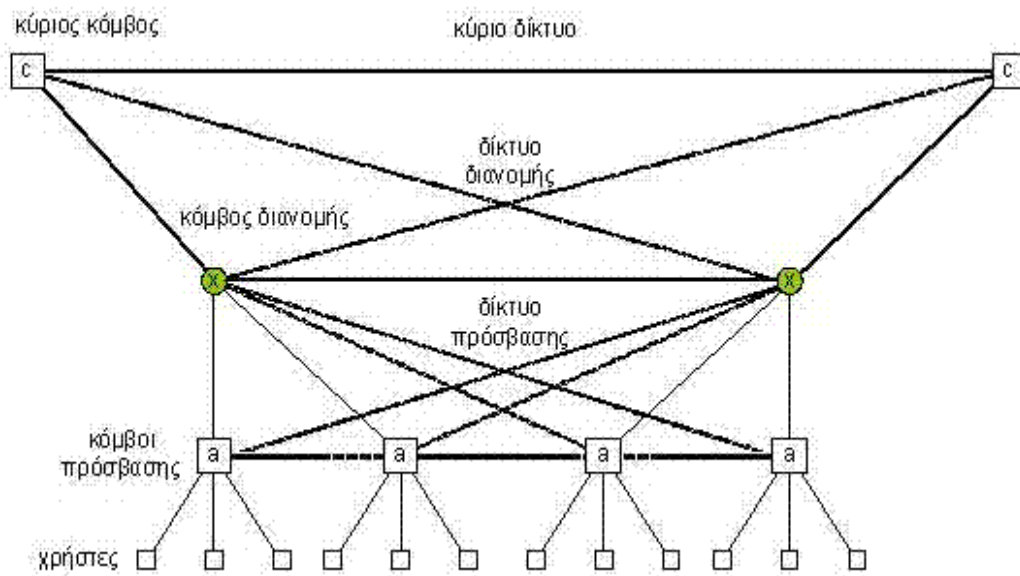
- **Τοπικά (Local Area Network- LAN)**
- **Μητροπολιτικά ( Metropolitan Networks).**
- **Ευρείας έκτασης ( Long Haul).**

Τα τοπικά δίκτυα είναι δίκτυα τα οποία περιορίζονται γεωγραφικά σε μια περιοχή μερικών χιλιομέτρων και η χρήση τους περιορίζεται σε μια κτηριακή εγκατάσταση.

Τα ευρείας έκτασης δίκτυα αφορούν τη διασύνδεση γεωγραφικά απομακρυσμένων περιοχών (όπως πόλεις ή χώρες) και είναι δυνατόν να καλύπτουν μέχρι και υπερωκεάνιες αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων. Αντίθετα, τα μητροπολιτικά δίκτυα συνήθως περιορίζονται σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, όπως για παράδειγμα στα όρια ενός μεγάλου δήμου. Αυτά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε δίκτυα διανομής και σε δίκτυα πρόσβασης.

Τρεις είναι οι βασικές μονάδες αυτών των οπτικών δικτύων επικοινωνιών :

το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης\*.



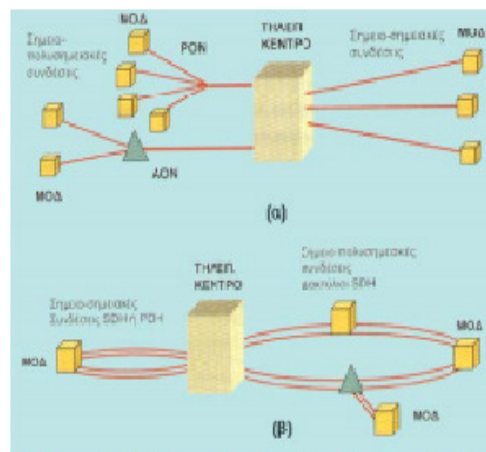
**Εικόνα 17 Οπτικό δίκτυο**

Το **δίκτυο κορμού** αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους . Πρόκειται για συνδέσεις υψηλών ταχυτήτων.

Το **δίκτυο διανομής**, παρέχει συνδέσεις σημείου-πολλαπλών σημείων μεταξύ των κύριων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Στους κόμβους διανομής μπορεί να τοποθετηθεί ενεργός ή παθητικός εξοπλισμός για διαχωρισμό του σήματος , οπότε λέμε ότι έχουμε Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (AON, Active Optical Network) ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο ( PON, Passive Optical Network) αντίστοιχα.



Τα **δίκτυα πρόσβασης** συγκεντρώνουν σε αντίστοιχους κόμβους την κίνηση που παράγεται από τους χρήστες του δικτύου, ενώ αντίθετα τα δίκτυα διανομής διασυνδέουν τους κόμβους πρόσβασης σε μεγαλύτερους κόμβους διανομής. Η διασύνδεση των μητροπολιτικών δικτύων με τα ευρείας έκτασης δίκτυα γίνεται συνήθως σε κύριους κόμβους του δικτύου ευρείας έκτασης. ( 6, 8, 13, )



**Εικόνα 18 Τοπολογίες δικτύων πρόσβασης**

Ο κύριος όγκος εφαρμογών των οπτικών ινών είναι τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα κάθε είδους. Σήμερα ένας πραγματικός οργανισμός ανακαίνισης και αντικατάστασης των παλαιότερων χάλκινων και ομοαξονικών, μακρινών ιδιαίτερα ζεύξεων έχει αρχίσει. Βρισκόμαστε μπροστά σε μια πρόκληση της τεχνολογίας.

Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν :

- Καλωδιακή τηλεόραση (CATV)
- Κλειστό Κύκλωμα Τηλεόρασης (CCTV)
- Συστήματα Οικονομικών και Ταμειακών Υπηρεσιών
- Τοπικά και Μητροπολιτικά (Αστικά Δίκτυα) (LAN, MAN)
- Τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις (Μεγάλων και μέσων αποστάσεων)



Η καλωδιακή τηλεόραση σε πολλές χώρες της Ευρώπης και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ και Ιαπωνία είναι ευρέως διαδεδομένη. Παρά το γεγονός ότι το ομοαξονικό καλώδιο προσφέρει πολύ καλές υπηρεσίες σ' αυτόν τον χώρο οι σύγχρονες απαιτήσεις για μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις καθώς και μεταφορά μεγαλύτερου όγκου πληροφορίας καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ένα πιο αξιόπιστο και αποδοτικό δίκτυο οπτικών ινών. Τα σύγχρονα τηλεοπτικά καλωδιακά κανάλια έχουν ξεφύγει πια από το τοπικό χαρακτήρα τους, ενώ η ανάγκη παροχής προγραμμάτων τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV) είναι τα μεγαλύτερα όπλα που διαθέτουν στο μάρκετινγκ των προγραμμάτων τους.

Τα κλειστά κυκλώματα τηλεόρασης βρίσκονται συνήθως σε : εγκαταστάσεις παρακολούθησης χώρου (πολιτικό και στρατιωτικό), εγκαταστάσεις ασφαλείας (τράπεζες, καταστήματα) και σε ειδικές βιομηχανικές εφαρμογές. Σε τέτοιες περιπτώσεις μια σχετικά απλή σύνδεση αρκεί μεταξύ μιας απομακρυσμένης κάμερας και μιας μονάδας παρατήρησης/ καταγραφής. Το ομοαξονικό καλώδιο παραδοσιακά χρησιμοποιείται σε τέτοιες εφαρμογές. Όμως, στη μεγάλη πλειονότητα εφαρμογών παρατηρείται οξύ πρόβλημα παρεμβολών και απωλειών εικόνας λόγω παρακειμένων ηλεκτρικών πεδίων. Σ' αυτό η χρήση οπτική ίνας δίνει τη λύση καθώς παρουσιάζει αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές με άριστη ποιότητα εικόνας. Δεν χρειάζεται ειδικό σχεδιασμό και ακριβή εγκατάσταση καλωδίου ακόμη και δίπλα σε ηλεκτρικές μηχανές, κινητήρες και καλώδια υψηλής τάσης. Η οπτική ίνα και το περιβάλλον καλώδιο δεν παράγουν κανενός είδους ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από το οποίο θα μπορούσε κάποιος είτε να πάρει πληροφορίες είτε να κάνει παρεμβολές στο δίκτυο χωρίς να εντοπισθεί.

Μια τυπική ζεύξη μπορεί να επεκταθεί με χαμηλότατο κόστος σήμερα σε αποστάσεις των 2-8χλμ.

Συστήματα οικονομικών και ταμειακών υπηρεσιών Τα σημερινά εμπορικά κέντρα των μεγάλων εταιρειών, τραπεζών και οργανισμών είναι απαραίτητο για να ανταποκριθούν στον ανταγωνισμό να παρέχουν όλες εκείνες τις ευκολίες για την άμεση και αποδοτική πληροφόρηση και ενημέρωση των στελεχών τους. Συνήθεις λόγοι που συντρέχουν στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων είναι:

α) Ο σχετικά μεγάλος αριθμός χρηστών που εργάζονται σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους (εκατοντάδες εντός ενός κτηρίου). β) δυνατότητες μεταγωγήσης έγχρωμης εικόνας υψηλής ανάλυσης . γ ) Χρήση συνδέσεων όπως RS232, IBMX21, BS422 κλπ. δ) εξωτερικές συνδέσεις σε δίκτυα μέσω τηλεφωνικών γραμμών καθώς και δορυφορικών και μικροκυματικών ζεύξεων.

Το μεγαλύτερο ίσως τέτοιο σύστημα είναι εγκατεστημένο στο World Financial Centre στη Νέα Υόρκη. Αποτελείται από 5.000Km οπτική ίνα, 60.000 συνδετήρες οπτικών ινών, 12.700 μονάδες πομποδεκτών σήματος βίντεο και 5.000 μονάδες διασύνδεσης ψηφιακών δεδομένων. Οι κύριοι λόγοι που υιοθέτησε η επιτροπή σχεδιασμού κι που καθόρισαν την επένδυση αυτή σε δίκτυο με οπτικές ίνες ήταν: α) χαμηλή απόσβεση σήματος β) χαμηλότερη συνακρόαση (crosstalk) και γ) αναισθησία στις παρεμβολές.

Τοπικά και μητροπολιτικά Δίκτυα (LAN, MAN) Ως τοπικό ορίζουμε ένα δίκτυο που αποτελείται από ελεγχόμενο αριθμό τερματικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, μικροϋπολογιστών και άλλων συσκευών ψηφιακής επεξεργασίας δεδομένων σε ένα περιορισμένο γεωγραφικό χώρο. Σκοπός ενός τοπικού δικτύου είναι να παρέχει ένα λειτουργικό και αλληλοεξαρτώμενο σχήμα δικτύου για μια ομάδα χρηστών. Η βάση για την τυποποίηση ενός τοπικού δικτύου μέσω διεθνών οργανισμών (ISO – International Standards Organization) είναι γνωστή ως μοντέλο ανάπτυξης τοπικών δικτύων OSI (Open System Interconnection). Τα τοπικά δίκτυα που στην περίπτωση μας έχουν ως φυσικό μέσον το οπτικό καλώδιο ανάλογα με τη δυνατότητά τους ως προς τον ρυθμό σηματοδότησης, ευκολίες τοπολογίας και κατάσταση οπτικο-ηλεκτρονικής ανάπτυξης κατατάσσονται σε τρεις εξελικτικές φάσεις:

1<sup>ης</sup> γενιάς : Ρυθμός μέχρι 10 Mbits/sec και είναι εμπορικά διαθέσιμα.

2<sup>ης</sup> γενιάς : Ρυθμός μέχρι 100 Mbits/sec και είναι εμπορικά διαθέσιμα και με μεγάλη διεισδυτικότητα στην αγορά.

3<sup>ης</sup> γενιάς : Ρυθμός πάνω από 1000 Mbits/sec. Είναι υπό ανάπτυξη, και πιστεύεται ότι σύντομα θα είναι στη διάθεση των εταιριών με απαιτήσεις.

Τα πλεονεκτήματα των τοπικών δικτύων απορρέουν από τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών και μπορούμε να επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στα εξής: υψηλή ασφάλεια πληροφορίας, υψηλή πιστότητα σε περιβάλλον με βιομηχανικό θόρυβο και παρεμβολές και μοναδική επιδεκτικότητα σε διεύρυνση και ανάπτυξη για μελλοντικές σχεδιάσεις και τοπολογίες.

Τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις Οι εθνικές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις λειτουργούν σε τρία ξεχωριστά επίπεδα:

#### **α) Υπεραστικό και κομβικό δίκτυο**

Το δίκτυο αυτό συνδέει πρωτεύοντα και υπεραστικά κέντρα και επιτρέπει την έξοδο σε διεθνείς συνδέσεις. Λειτουργεί συνήθως στα 8,34, 140, 565 Mbits/sec. Στις ζεύξεις αυτές οι οπτικές ίνες είναι μονότροπες, η πηγή λέιζερ ημιαγωγού και ο δέκτης τύπου PIN FET. Οι επαναλήπτες που τοποθετούνται είναι συνήθως σε απόσταση των 30-50 km.

#### **β) Τερματικό δίκτυο**

Σκοπός του τερματικού δικτύου είναι να συνδέσει τα κέντρα μεταγωγής με τα κέντρα το καθένα εκ των οποίων εξυπηρετεί 100-10.000 συνδρομητές. Σ' αυτό το επίπεδο πολλές φορές αντί για μονότροπες ίνες χρησιμοποιούνται πολύτροπες σε ρυθμούς 8 Mbits/sec σε καλώδια των δύο ινών και τυπική απόσταση των 10 km, η οποία δεν απαιτεί αναγέννηση του σήματος.

#### **γ) Αστικό δίκτυο**

Το αστικό δίκτυο διανέμει το σήμα στον συνδρομητή. Σήμερα είναι η τελευταία τάση για εγκαταστάσεις τέτοιου δικτύου. Σε πολλά μέρη του κόσμου η οπτική ίνα έφτασε μέχρι τον συνδρομητή. Μελλοντικά προβλέπεται να αποτελέσει τη λύση για ολοκληρωμένα δίκτυα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. (13)

### 3.5 Από την 1<sup>η</sup> στην 3<sup>η</sup> γενιά οπτικών δικτύων

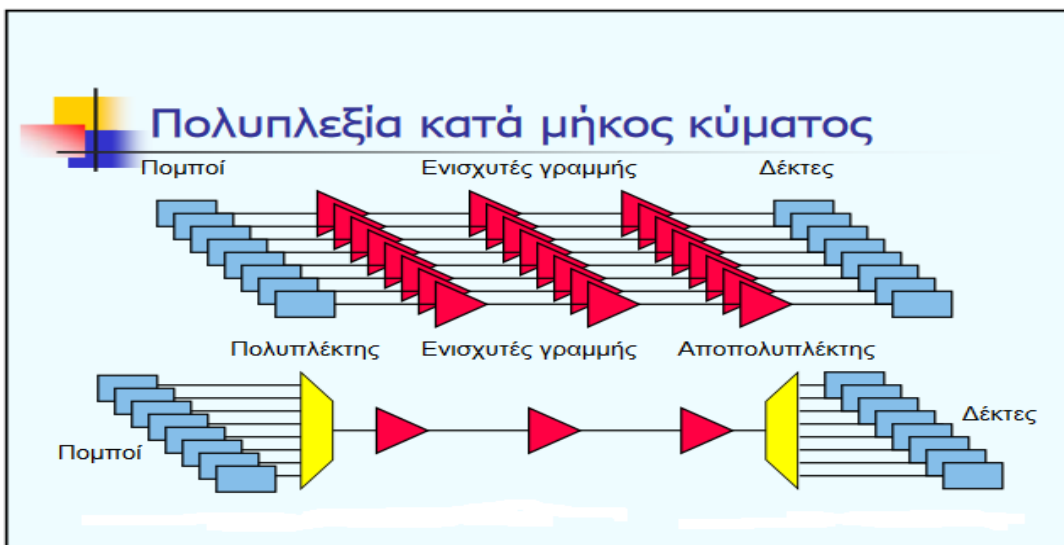
Με βάση τώρα το κριτήριο της πολυπλοκότητας των λειτουργιών που επιτελούνται σε οπτικό επίπεδο, όπως προαναφέρθηκε, τα οπτικά δίκτυα εξελίχθηκαν σε τρεις γενιές:

Στα **δίκτυα πρώτης γενιάς**, όπως το SONET (Synchronous Optical Network) και το SDH (Synchronous Digital Hierarchy), τα οποία σχηματίζουν το κορμό της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στη Βόρεια Αμερική, τη Ασία και την Ευρώπη, η οπτική ίνα χρησιμοποιούνταν μόνο ως φυσικό μέσον μετάδοσης και παροχής χωρητικότητας, ενώ η μεταγωγή, η δρομολόγηση καθώς και όλες οι άλλες ευφυείς δικτυακές διεργασίες επιτελούνταν από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα στους πομπούς και τους δέκτες των κόμβων του δικτύου. Η χρήση της οπτικής τεχνολογίας περιορίζεται μόνο στη πραγματοποίηση της ζεύξης μεταξύ των δύο κόμβων παρέχοντας μόνο φυσικές ζεύξεις σημείου προς σημείο. Η σύνδεση δύο κόμβων με οπτικές ίνες μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρήση μιας ίνας και την χρήση της τεχνολογίας WDM, είτε με τη χρήση πολλών ινών, όπου η καθεμιά λειτουργεί σε μια συχνότητα. Η πράξη έχει αποδείξει ότι για αποστάσεις μικρότερες των 50Km προτιμάται η λύση των πολλών ινών, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις η λύση της τεχνολογίας WDM. Βασικό μειονέκτημα αυτής της γενιάς δικτύων αποτελεί η αναπόφευκτη εμφάνιση υψηλού επίβαρου (overhead) λόγω της οπτικο-ηλεκτρονικής μετατροπής των δεδομένων. Είναι, επομένως, αναγκαία η ηλεκτρονική μετατροπή των οπτικών σημάτων, που όχι μόνο ξεκινούν ή τερματίζουν σε έναν κόμβο, αλλά και που απλά διαπερνούν έναν κόμβο χωρίς να προστίθενται δεδομένα σε ένα μήκος κύματος ή να αφαιρούνται δεδομένα από αυτό (διερχόμενη κίνηση-bypass traffic). Η επεξεργασία των δεδομένων στους κόμβους πραγματοποιείται με τη χρήση ψηφιακών κατανεμητών (Digital Cross-Connectors- OXCs), ενώ λύση στο πρόβλημα της μακρινής σύνδεσης των δύο κόμβων δόθηκε με τη χρήση αναγεννητών (regenerators), οι οποίοι αργότερα αντικαταστάθηκαν από οπτικούς ενισχυτές (Optical Amplifiers- oampS), δηλαδή ενισχυτές που λειτουργούν στην περιοχή του οπτικού φάσματος.

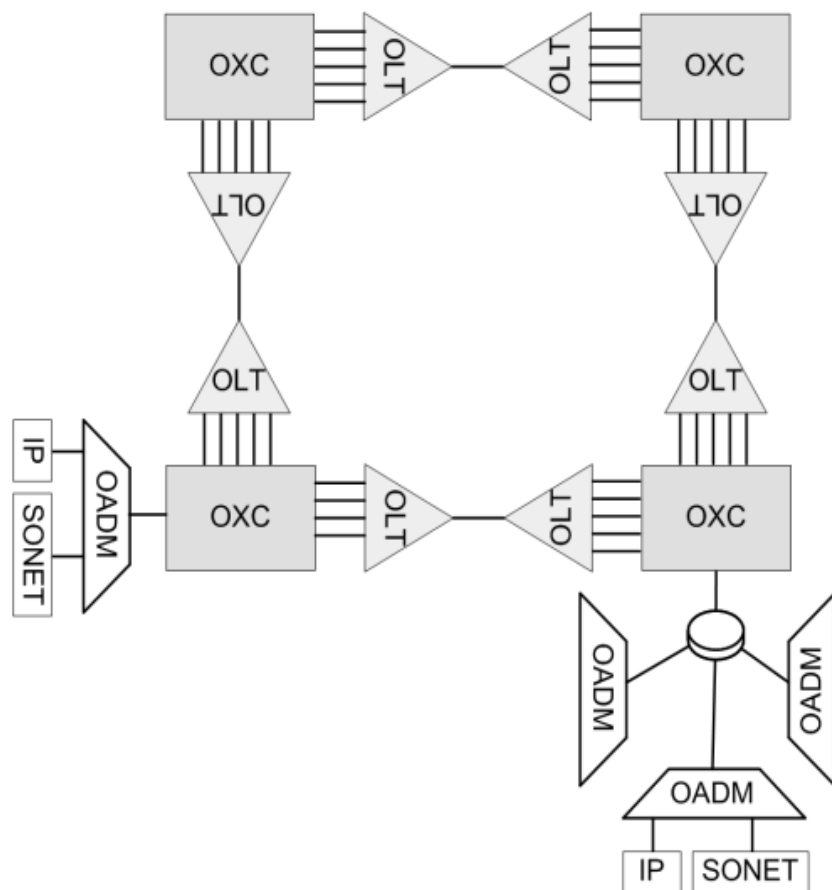
Αποδείχθηκε, λοιπόν, ότι τα δίκτυα αυτά δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η οπτική ίνα, επειδή η ταχύτητα μετάδοσης των

δεδομένων περιορίζεται από τη σαφώς μικρότερη ταχύτητα λειτουργίας των ηλεκτρονικών στοιχείων των κόμβων (ηλεκτρονική συμφόρηση-electronic bottleneck), ενώ σημειώνεται και αύξηση του ρυθμού εμφάνισης σφαλμάτων. Αυτά τα προβλήματα προσπαθεί να αντιπαρέλθει η δεύτερη γενιά δικτύων.

Στα **οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς WDM** (Wavelength Division Multiplexing), τα οποία αποτελούν ήδη πραγματικότητα, μέρος της δρομολόγησης, της μεταγωγής καθώς και των άλλων ευφυών διεργασιών έχει μεταφερθεί στο οπτικό επίπεδο. Τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν ζεύξεις που καλούνται οπτικά μονοπάτια (light paths) μεταξύ των χρηστών τους (π.χ. τερματικά SDH ή δρομολογητές IP). Περισσότερα του ενός μονοπάτια διασυνδέουν τον κόμβο προορισμού με τον κόμβο της αποστολής μέσω ενδιάμεσων κόμβων, οι οποίοι δρομολογούν και μετάγουν κατάλληλα τα οπτικά μονοπάτια μεταξύ των οπτικών ινών στην είσοδο και στην έξοδο τους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μήκους κύματος στους ενδιάμεσους κόμβους, το οπτικό μονοπάτι διατηρεί το ίδιο μήκος κύματος σε όλες τις ενδιάμεσες ζεύξεις μεταξύ κόμβου και αποστολής προορισμού. Αντίθετα, αν υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μήκους κύματος στους ενδιάμεσους κόμβους, το οπτικό μονοπάτι είναι δυνατόν να μεταφέρεται από διαφορετικό μήκος κύματος σε κάθε ενδιάμεση ζεύξη. Η μετατροπή μήκους κύματος παρέχει καλύτερη αξιοποίηση των μηκών κύματος του δικτύου, κατά συνέπεια μεγαλύτερου αριθμού από άκρου εις άκρο συνδέσεων, καθώς είναι δυνατή η χωρική επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων μηκών κύματος.



Τα βασικά δομικά συστήματα αυτών των δικτύων είναι τα τερματικά γραμμής (OLT- Optical Line Terminal), οι οπτικοί πολυπλέκτες προσθήκης / αφαίρεσης δεδομένων (OADM- Optical Add/Drop Multiplexer) και τα οπτικά στοιχεία σύνδεσης(OXC- Optical Cross-Connect) . Τόσο οι OADMs όσο και OXCs επιτελούν τη λειτουργία της δρομολόγησης των εισερχόμενων καναλιών, δηλαδή αφαιρούν επιλεκτικά ορισμένα κανάλια από τη ζεύξη και επιτρέπουν τη διέλευση των υπολοίπων καναλιών, ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν τη δυνατότητα να προσθέτουν νέα κανάλια στη ζεύξη στη θέση αυτών που αφαιρέθηκαν. Επομένως τα οπτικά δίκτυα δεύτερης γενιάς παρέχουν σταθερές συνδέσεις μήκους κύματος μεταξύ των τερματικών και για αυτό το λόγο λέγονται και δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος. Αν και στατικές, οι συνδέσεις είναι υψηλής χωρητικότητας και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα δίκτυα κορμού.



Εικόνα 20 Δομικά στοιχεία σε WDM δίκτυα

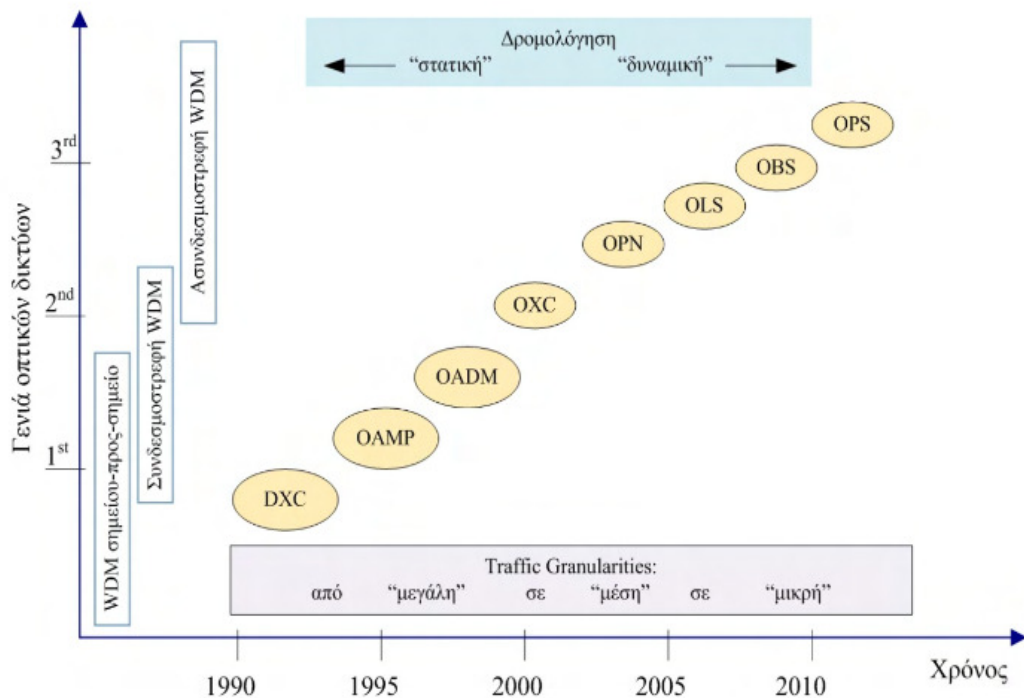
Τα **οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς** μελετώνται ερευνητικά, υιοθετούν την τεχνική οπτικής μεταγωγής πακέτου με στόχο την παροχή συνδέσεων υψηλής χωρητικότητας μόνο κατά το χρονικό διάστημα κατά το οποίο οι συνδέσεις αυτές είναι ενεργές και η οποία ήδη λειτουργεί με αποδοτικό τρόπο στα ηλεκτρονικά δίκτυα. Ο όρος οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς αφορά στα οπτικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων (All- Optical Packet Switched Networks-OPS). Σ' αυτά η πρόσβαση επιτυγχάνεται μέσω οπτικών δικτύων πρόσβασης ( όπως τα παθητικά οπτικά δίκτυα ) και η οπτική μεταγωγή ( Opticalx Switching – OXS ) μπορεί να αφορά σε πακέτα (packets), ριπές (bursts) ή ετικέτες (labels) οπότε x=P,B ή L.

Τα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς καθορίζουν τη μορφή των σύγχρονων μελλοντικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

Η ανάπτυξη των αμιγώς οπτικών δικτύων βασίζεται στη χρήση αμιγώς οπτικών διατάξεων διακοπών όπου όλες οι σχετικές με την πληροφορία λειτουργίες εκτελούνται πλέον μόνο στο οπτικό επίπεδο, χωρίς οποιαδήποτε οπτικο-ηλεκτρονική μετατροπή πέρα από τους κόμβους παρυφής ( edge nodes ). Οι διατάξεις αυτές υπάγονται σε τρεις γενικές κατηγορίες: τους συζεύκτες παθητικού αστέρα (passive star couplers), τους παθητικούς δρομολογητές (passive routers) και τους ενεργούς διακόπτες (active switches).

Στα συγκεκριμένα δίκτυα η πληροφορία αποστέλλεται με τη μορφή οπτικών πακέτων δεδομένων και όχι με τη μορφή μεγάλου μεγέθους συνεχών ροών δεδομένων. Τα πακέτα μπορεί να είναι σταθερού ή μεταβλητού μήκους καθώς και σύγχρονα ή ασύγχρονα και αποτελούνται από το πεδίο της επικεφαλίδας (header), του οποίου το περιεχόμενο καθορίζει τον προορισμό του πακέτου μέσα στο δίκτυο, το πεδίο του φορτίου (payload), το περιεχόμενο του οποίου συνιστά τα χρήσιμα δεδομένα προς μετάδοση και μια προστατευτική ζώνη δυφίων \*(guardband), η οποία περιέχει τον απαραίτητο αριθμό βοηθητικών δυφίων για την υποστήριξη των διαφόρων λειτουργικών διαδικασιών του δικτύου. Οι διαδικασίες επεξεργασίας της πληροφορίας πραγματοποιούνται για κάθε πακέτο ξεχωριστά απευθείας στο οπτικό επίπεδο. Οι κόμβοι των δικτύων τρίτης γενιάς χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη πολυπλοκότητα καθώς περιλαμβάνουν οπτικά υποσυστήματα για τη δρομολόγηση,

την προώθηση, την ανίχνευση και αποφυγή πιθανών συγκρούσεων, την μεταγωγή, την πολυπλεξία, τον συγχρονισμό και την αναγέννηση των οπτικών πακέτων. ( 14)



Εικόνα 24 Εξέλιξη οπτικών δικτύων

Πηγή: Διδακτορική διατριβή Ιωάννη Βαρδακά «Αποτίμηση της απόδοσης τηλεπικοινωνιακών δικτύων πολυδιάστατης κίνησης με έμφαση στα οπτικά δίκτυα».

Όμως παρά τις προσδοκίες που δημιούργησε η OPS τεχνολογία, σε σχέση με την αυξημένη χωρητικότητα και διαφάνεια των δεδομένων, περιορισμοί παρεμποδίζουν την πρακτική εφαρμογή της πέρα από τον χώρο του εργαστηρίου. Ειδικότερα η έλλειψη οπτικής μνήμης μεγάλου βάθους και υψηλής ταχύτητας καθώς και η αδυναμία επίτευξης γρήγορης μεταγωγής με επιτρεπτό κόστος αποτελούν δύο σημαντικούς παράγοντες που δεν επιτρέπουν την εκμετάλλευση των OPS δικτύων στη σημερινή αγορά των επικοινωνιών. Λύση επιχειρήθηκε να δοθεί στα OBS (Optical Bursts), που μπορούν να θεωρηθούν ως δίκτυα OPS, που στο εσωτερικό τους διακινούνται μεγάλα αθροιστικά πακέτα, οι ριπές. Η επιστημονική έρευνα οδηγήθηκε προς τα εκεί από την ίδια την τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα σύγχρονα δίκτυα



επικοινωνιών, που έχουν μεγάλες περιόδους σιγής και περιόδους μέγιστης ζήτησης , με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σταθερός ρυθμός μετάδοσης.

Οι κόμβοι παρυφής είναι αυτοί που προγραμματίζουν την αμιγώς οπτική μετάδοση ριπών. Σ' αυτή την τεχνολογία δεν απαιτείται πλέον η ύπαρξη των ταχύτατων οπτικών μεταγωγέων και των διατάξεων αποθήκευσης που έχουν τα OBS δίκτυα και αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες για την περαιτέρω εξέλιξή τους. Τα OBS περιορίζουν τον αριθμό των πομποδεκτών (transceivers) και των lightpaths που εγκαθίστανται για την εγκατάσταση των συνδέσεων βελτιώνοντας έτσι το ποσοστό εκμετάλλευσης διαθέσιμου εύρους ζώνης και τη συνολική απόδοση του συστήματος. Γ' αυτούς τους λόγους τα OBS αποτελούν την πρόκληση για τα αμιγώς οπτικά δίκτυα νέας γενιάς.

### **3.6 Σύγχρονες τάσεις - Μελλοντικά δίκτυα**

Στην ιστορία των οπτικών επικοινωνιών υπήρξε μια διαρκής και συναρπαστική πρόοδος σε πολλά επίπεδα .Η μια εφεύρεση διαδεχόταν την άλλη . Έκαναν μέχρι σήμερα μια διαδρομή που σε κάθε φάση τείνουν να εξουδετερωθούν όλες εκείνες οι παράμετροι που δεν αξιοποιούν την παρεχόμενη ευρυζωνικότητα\*. Σ' αυτό συνέβαλε μια σειρά τεχνολογικών εξελίξεων όπως:

α) αρχικά η αντικατάσταση πολυτροπικών ινών από μονότροπες, που εξάλειψε την έντονη διασπορά, η οποία οφειλόταν στις διαφορετικές σταθερές διάδοσης μεταξύ των ρυθμών κυματοδότησης και προκάλούσε σημαντική διεύρυνση των παλμών.

β) στη συνέχεια πραγματοποιείται η κατασκευή ινών αντιστάθμισης διασποράς (Dispersion Compensating Fibers, DCF) επέτρεψε την εξισορρόπηση της χρωματικής διασποράς.

γ) καθοριστικής σημασίας ήταν η ανάπτυξη οπτικών ενισχυτών που επέτρεψαν την ταυτόχρονη ενίσχυση πολλαπλών σημάτων, σε διαφορετικά μήκη κύματος και μάλιστα χωρίς ενδιάμεση μετατροπή τους σε ηλεκτρικά, άνοιξαν τον δρόμο για την υλοποίηση συστημάτων πολυπλεξίας (WDM). Το αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα πολλαπλασιασμού του εύρους ζώνης που παρέχεται από την

οπτική ίνα. Τα μεγέθη είναι εντυπωσιακά, τα 2,5 Gbps που ήταν μέχρι τότε το εύρος ζώνης πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα μέχρι 100, ο οποίος όμως δεν είναι στάσιμος αλλά συνεχώς αυξάνεται. Υπάρχει διαθέσιμος εξοπλισμός που υποστηρίζει σήμερα ρυθμούς μέχρι 1,6 Tbt/s (1012 bit/s ). Επιπλέον ιδιαίτερα ελκυστική για τους μεγάλους παρόχους είναι ότι για την ενίσχυση του οπτικού σήματος, προκειμένου να διανύσει αποστάσεις μεγαλύτερες από 65-70 Km, δεν απαιτούνταν πλέον οι κλασικές οπτικο-ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν το σήμα σε ηλεκτρικό ώστε να το ενισχύσουν, αλλά γίνεται χρήση οπτικού ενισχυτή, όπως προαναφέρθηκε, ο οποίος λειτουργεί το ίδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό μηκών κύματος και το bit rate που έχουν τα σήματα.

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι κυριαρχεί μια τάση για παράκαμψη της μετατροπής σήματος από οπτικό σε ηλεκτρονικό και αντίστροφα, ώστε οι ευφυείς διαδικασίες επεξεργασίας της πληροφορίας να επιτελούνται με αμιγώς οπτικό τρόπο.

Αυτή η τάση προκύπτει για τους παρακάτω λόγους:

α) Αυτή καθαυτή η διαδικασία μετατροπής απαιτεί πολλά μεμονωμένα διακριτά οπτικά στοιχεία. Για παράδειγμα σ' ένα τυπικό οπτικό δίκτυο κάθε οπτικο-ηλεκτρική και κατόπιν ηλεκτρο-οπτική μετατροπή εκτιμάται ότι χρειάζεται περίπου 6 οπτο-ηλεκτρικά ή οπτικά στοιχεία , ενώ ένας πλήρης τερματικός κόμβος WDM μετάδοσης 40 καναλιών μπορεί να χρειαστεί περισσότερα από 120 στοιχεία διασυνδεδεμένα μεταξύ τους από 260 η περισσότερες οπτικές συνδέσεις με ότι αυτό συνεπάγεται σε κόστος και μέγεθος του εξοπλισμού.

β) Τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα λειτουργούν ως στενωπός (bottleneck) του οπτικού δικτύου καθώς η ταχύτητά τους δεν έχει ξεπεράσει τα 40 Gbps . Αντίθετα, τα οπτικά υποσυστήματα χρησιμοποιούν μη γραμμικά στοιχεία τα οποία έχουν αρκετά μικρό χρόνο απόκρισης (της τάξης των ps ) και επομένως έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τα αντίστοιχα ηλεκτρονικά συστήματα. Έχει επιτευχθεί οπτική επεξεργασία σήματος σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 320 Gbps, ενώ σημειώνεται συνεχής βελτίωση.

γ) Ακόμη, καθώς η ταχύτητα λειτουργίας των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων αυξάνει, η κατανάλωση ισχύος και η απαίτηση για ψύξη αυξάνονται δραματικά. Η κατάσταση είναι εντελώς διαφορετική σε οπτική διάταξη σήματος καθώς η ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη του ρυθμού λειτουργίας του υποσυστήματος, επομένως οι διατάξεις αυτές τελικά πετυχαίνουν πολύ χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος από τις αντίστοιχες ηλεκτρονικές.

Μια πολλά υποσχόμενη γενιά δικτύων αυτή των διαφανών ή αμιγώς οπτικών (all optical) δικτύων φιλοδοξεί να πετύχει ώστε το εύρος ζώνης, οι επιδόσεις σφάλματος και ο χρόνος της διάδοσης της ίνας, να καταστούν διαθέσιμα κατά μήκος όλης της διαδρομής από το ένα άκρο μιας σύνδεσης ως το άλλο.

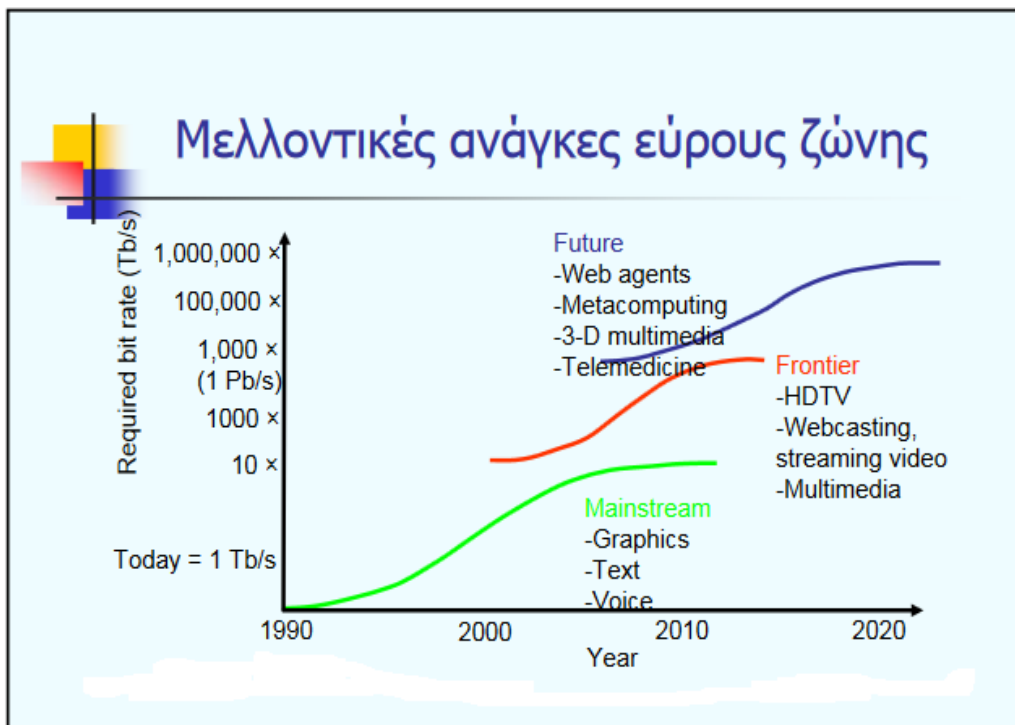
Το πλεονέκτημα των αμιγώς οπτικών συστημάτων μετάδοσης είναι η διαφάνεια, δηλαδή η δυνατότητά τους να λειτουργούν με επιτυχία κάτω από διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τύπο τηλεπικοινωνιακής κίνησης, πρωτόκολλα, σχήματα διαμόρφωσης / αποκωδικοποίησης των μεταδιδόμενων σημάτων ή μορφή πακέτων. Η διαφάνεια αποτελεί ιδιαιτέρως επιθυμητό χαρακτηριστικό του τηλεπικοινωνιακού δικτύου καθώς οι υπηρεσίες παρέχονται πάνω από τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα της μελλοντικής λειτουργίας του δικτύου ακόμη κι αν αλλάξουν τα πρωτόκολλα ή οι ρυθμοί μετάδοσης, χωρίς να είναι αναγκαία η ριζική αναβάθμιση. Τα δίκτυα μπορούν να είναι τοπολογικά πολύ ευέλικτα, σε τρόπο ώστε η προσθήκη ενός εντελώς νέου συνόλου κόμβων να απαιτεί την προσθήκη μερικών μόνο παθητικών “διαμοιραστών” και συγκεντρωτών (passive splitters and combines) και μερικές πρόσθετες βραχείες διαδρομές ινών, αντί να χρειάζεται την εγκατάσταση ενός άλλου κόμβου μεταγωγής ή την κατασκευή πολλών νέων μακρών διαδρομών καλωδίων. Στα σημερινά οπτικά δίκτυα, τόσο της πρώτης όσο και της δεύτερης γενιάς, η αναίρεση της παραμόρφωσης που εισάγουν τα γραμμικά και μη γραμμικά φαινόμενα διάδοσης στα μεταδιδόμενα σήματα πραγματοποιείται με τη βοήθεια οπτικο-ηλεκτρονικών επαναληπτών, οι οποίοι λαμβάνουν το εισερχόμενο σήμα, το επεξεργάζονται ηλεκτρονικά και το αναμεταδίδουν με οπτικό τόπο. Η αντικατάσταση των επαναληπτών από αξιόπιστες, αμιγώς οπτικές αναγεννητικές διατάξεις θα μειώσει το κόστος των δικτύων, προάγοντας την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Η διαφάνεια των δικτύων θα αυξηθεί και

με τη χρήση αμιγώς οπτικών διατάξεων μετατροπής μήκους κύματος, οι οποίες πραγματοποιούν την αντιγραφή των δεδομένων ενός μήκους κύματος σε ένα νέο μήκος κύματος με σκοπό τη βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων μηκών κύματος και άρα την καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Τα οπτικά δίκτυα τρίτης γενιάς απαιτούν βέβαια και αμιγώς οπτικές μη γραμμικές διατάξεις επεξεργασίας σήματος για την εκτέλεση των βασικών λειτουργιών των οπτικών κόμβων (π.χ. δρομολόγηση) πέραν της ενίσχυσης, αναγέννησης και μετατροπής κύματος. Αμιγώς οπτικοί μετατροπείς και αναγεννητές έχουν επιδειχθεί ερευνητικά τα τελευταία χρόνια σε ρυθμούς που ξεπερνούν τις δεκάδες Gbps. Εναλλακτικά διερευνάται η ελαχιστοποίηση των ηλεκτρο-οπτικών μετατροπών με την υλοποίηση οπτικών δικτύων τα οποία αποτελούνται από αμιγώς οπτικά υποδίκτυα. Στα εν λόγω δίκτυα οι μετατροπές περιορίζονται στα σημεία διασύνδεσης των υποδικτύων. ( 8)

## 4. ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 4.1 Next Generation Access Networks - NGA

Ο όρος δίκτυα της επόμενης γενιάς αναφέρεται στις εξελίξεις των επόμενων χρόνων. Τα δίκτυα αυτά είναι μια δικτυακή υποδομή, η οποία θα προσφέρει τη διαχείριση πολλών “triple play” υπηρεσιών (όπως φωνή, δεδομένα, πολυμέσα - voice, data, multimedia). Για την εξυπηρέτηση αυτών των εφαρμογών απαιτούνται υψίσυρρες ταχύτητες δικτύου καθώς και εύρος ζώνης (χωρητικότητα), για να αντιμετωπίσουν τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, πράγμα το οποίο δεν είναι εφικτό από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία μετάδοσης, πλην της οπτικής.



Εικόνα 22

Αξίζει να σημειωθεί ότι αναμένεται, έως το 2017, η παγκόσμια κίνηση στο διαδίκτυο να μεγαλώνει κατά 66% ανά έτος κατά μέσο όρο. (πηγή: CISCO VNI 2013).

Ενώ εκτιμάται ότι μέχρι το 2020 θα είναι 50 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές με χρήση του σταθερού και κινητού ευρυζωνικού δικτύου. (15)

Δύο είναι οι υφιστάμενες λύσεις οπτικής δικτύωσης: Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι FTTH\* και οι παραδοσιακές τεχνολογίες, όπως TDM-PON Gigabit PON (GPON).

Το μεγάλο πλεονέκτημα της FTTH τεχνολογίας είναι το πολύ υψηλό εύρος ζώνης που προσφέρει καθώς και οι συμμετρικές ταχύτητες που επιτυγχάνονται δια μέσου μιας αφιερωμένης ( dedicated) οπτικής ίνας στον κάθε χρήστη.

Τα δίκτυα αυτά είναι ευρέως γνωστά ως **FTTX** ( Fiber to the X ) ( Οπτική ίνα μέχρι το X) . Όπου το X καθορίζει το προορισμό της οπτικής σύνδεσης : Home = σπίτι , Building = κτήριο, Cabinet = καμπίνα, Curb = πεζοδρόμιο, Node = κόμβος, User = χρήστης, Premise = κτήριο επιχείρησης κ.α. Στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του μήκους του χάλκινου βρόχου, φέρνοντας το ευρυζωνικό μέσο μετάδοσης (οπτική ίνα) κοντά στον συνδρομητή.

Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς/πάροχοι επικεντρώθηκαν κυρίως σε δύο μορφές οπτικού δικτύου πρόσβασης αυτό με οπτική ίνα μέχρι το κτήριο (FTTB) και αυτό με οπτική ίνα μέχρι το σπίτι ( FTTH). Για την υλοποίηση αυτών των δύο μορφών οπτικών δικτύων πρόσβασης χρησιμοποίησαν δύο ευρύτερες αρχιτεκτονικές δικτύων : Τα παθητικά δίκτυα PON ( Passive Optical Network ), τα οποία δεν απαιτούν την ύπαρξη ενεργών στοιχείων μεταξύ του τελικού χρήστη και του κέντρου μεταγωγής (Central Office - CO) και τα ενεργά οπτικά δίκτυα AON ( Active Optical Network ), τα οποία απαιτούν την ύπαρξη ενεργών στοιχείων .

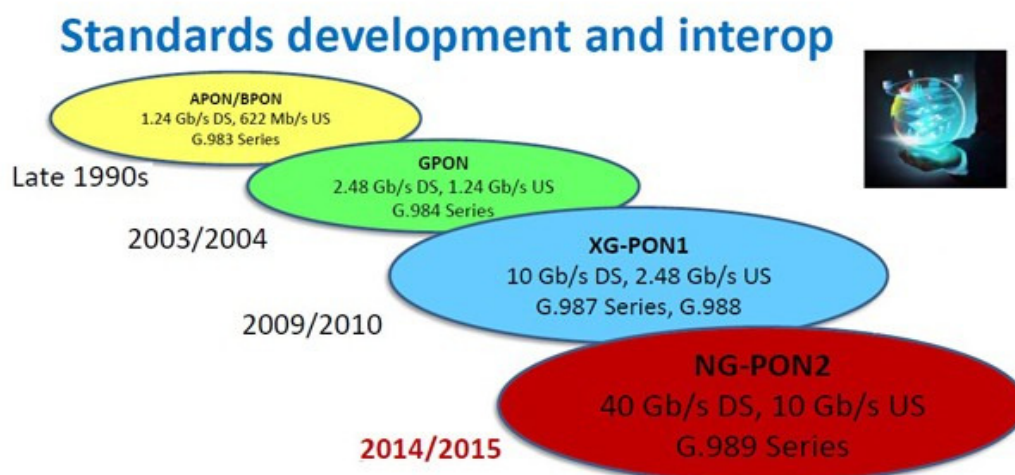
Επικρατέστερη επιλογή είναι τα παθητικά οπτικά δίκτυα. Πρόκειται για τεχνολογία αμιγώς οπτικών δικτύων, όπου η τερματική συσκευή του (οπτικού) δικτύου ONU ανήκει στον τελικό συνδρομητή , δηλαδή το τμήμα που φτάνει μέχρι τα σπίτια ή τις επιχειρήσεις και είναι γνωστό ως «τελευταίο μίλι» (last mile) του δικτύου.

Σε πολύ σύντομο διάστημα, τα παθητικά οπτικά δίκτυα αναδείχθηκαν ως η μελλοντική τεχνολογία πρόσβασης, καθώς προσφέρουν ευελιξία, δυνατότητα ευρείας κάλυψης, αξιοπιστία και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτά τα πλεονεκτήματα των Παθητικών Οπτικών Δικτύων οδήγησαν σε μια εμπορική δραστηριότητα, η οποία

αποτυπώνεται και στην κινητικότητα για προτυποποίηση. Η υλοποίηση στην πράξη των PON<sub>s</sub> έχει προταθεί από διάφορα πρότυπα . Τα βασικότερα έχουν μοντελοποιηθεί τόσο από το IEEE (Institute of Electrical & Electronics Engineers) όσο και την ITU-T\* (International Telecommunications Union).

## 4.2 Ιστορική εξέλιξη των Παθητικών Οπτικών δικτύων

Τα πρώτα βήματα για την υλοποίηση ενός δικτύου πρόσβασης με οπτική ίνα μέχρι το σπίτι ξεκίνησαν τη δεκαετία του '90 από μια ομάδα τηλεπικοινωνιακών παρόχων γνωστή ως (FSAN ) Full Service Access Network. Στη συνέχεια η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication/ITU-T) εξέδωσε δύο πρότυπα, ένα για κάθε γενιά οπτικού δικτύου.



**εικόνα 23 Εξέλιξη των παθητικών δικτύων**

Το παλαιότερο πρότυπο της ITU-T, το G.983 βασίζεται στο πρωτόκολλο ATM και είναι γνωστό ως APON ( ATMPON ). Οι βελτιώσεις που έγιναν στο αρχικό APON πρότυπο, καθώς και η βαθμιαία πτώση της κυριαρχίας του ATM (Asynchronous Transfer Mode) ως πρωτόκολλο, οδήγησε στην τελική μορφή του προτύπου G.983, η οποία είναι γνωστή ως Broadband PON (BPON) . Ένα σύνηθες APON / BPON παρέχει

στην πράξη 622 Mbit/s downstream εύρος ζώνης και 155 Mbit/s upstream μετάδοσης δεδομένων, παρότι το πρότυπο καθορίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης.

Το πρότυπο G.984 (G-PON) αποτελεί μια βελτιωμένη λύση, τόσο σε επίπεδο συνολικού εύρους ζώνης, όσο και σε επίπεδο απόδοσης, εφόσον χρησιμοποιεί μεγαλύτερα και μεταβλητού μήκους πακέτα. Το πρότυπο αυτό επιτρέπει πολλούς ρυθμούς μετάδοσης, όμως έχει καθιερωθεί στην αγορά ο ρυθμός μετάδοσης των 2.488 Gbit/s για το downstream εύρος ζώνης και 1.244 Gbit/s για το upstream εύρος ζώνης. Από το 2010, έχει ξεκινήσει η προτυποποίηση της επόμενης γενιάς G-PON, του 10G-PON ή XG-PON. (17)

Σύμφωνα με την FSAN και την ITU-T τα δίκτυα νέας γενιάς, σήμερα, αναπτύσσονται σε δύο επίπεδα· **NG-PON1** (Next Generation PON ), γνωστά ως **10G-PON** και στα **NG-PON2**. Το XPON θεωρείται μια βραχυπρόθεσμη εξέλιξη, ενώ η τεχνολογία NG-PON2 θεωρείται ότι είναι μια μακροπρόθεσμη τεχνολογία ( 2015 ), αφού ξεκίνησαν οι διαδικασίες να προτυποποιηθεί από την ITU-T στα μέσα της χρονιάς. Παράλληλα με την ITU-T, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών ( Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE ) εξέδωσε το 2004 το πρότυπο 802.3ah, σαν κομμάτι του προγράμματος 'Ethernet στο πρώτο μίλι' (Ethernet in first mile – EFM ), στο οποίο περιγράφει το Ethernet Παθητικό Οπτικό Δίκτυο. Όπως υποδηλώνει και το όνομά του, το δίκτυο αυτό βασίζεται στην ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία του Ethernet.

Τα πρότυπα καθορίζουν συγκεκριμένη ενθυλάκωση\* πακέτων ώστε να εξυπηρετείται κίνηση μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων όπως Ethernet, IP,TCP,UDP,VoIP.

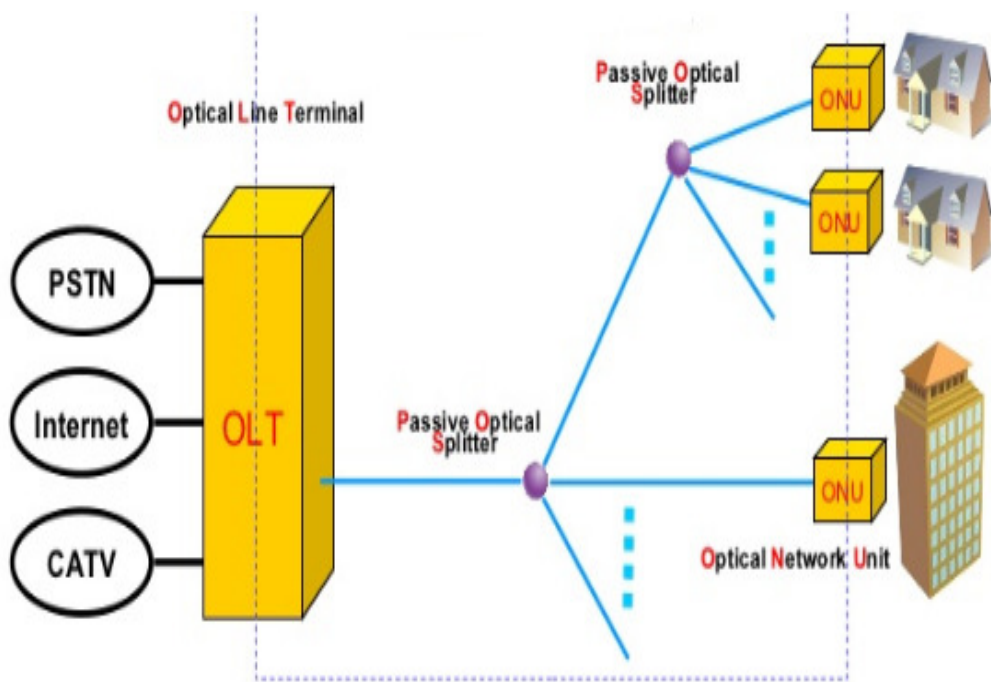
Οι διαφορές μεταξύ των προτύπων αφορούν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο ενθυλακώνονται τα πακέτα σε αυτά άλλων επιπέδων. Τα πρότυπα προσδιορίζουν την κωδικοποίηση, τους ρυθμούς μετάδοσης, τις μορφές και τα μεγέθη των πακέτων δεδομένων και ελέγχου και τα μηνύματα που μπορούν να ανταλλάξουν οι ONUs με το OLT και αντίστροφα. Αντίθετα, ο τρόπος με τον οποίο ανατίθεται το εύρος ζώνης για μετάδοση, δεν καθορίζεται αυστηρά. Γι' αυτό τον λόγο, το πρόβλημα της



δυναμικής ανάθεσης εύρους ζώνης αποτελεί μια ερευνητική περιοχή με μεγάλο ενδιαφέρον. (16, 18)

### 4.3 Παθητικά οπτικά δίκτυα επικοινωνιών PONs

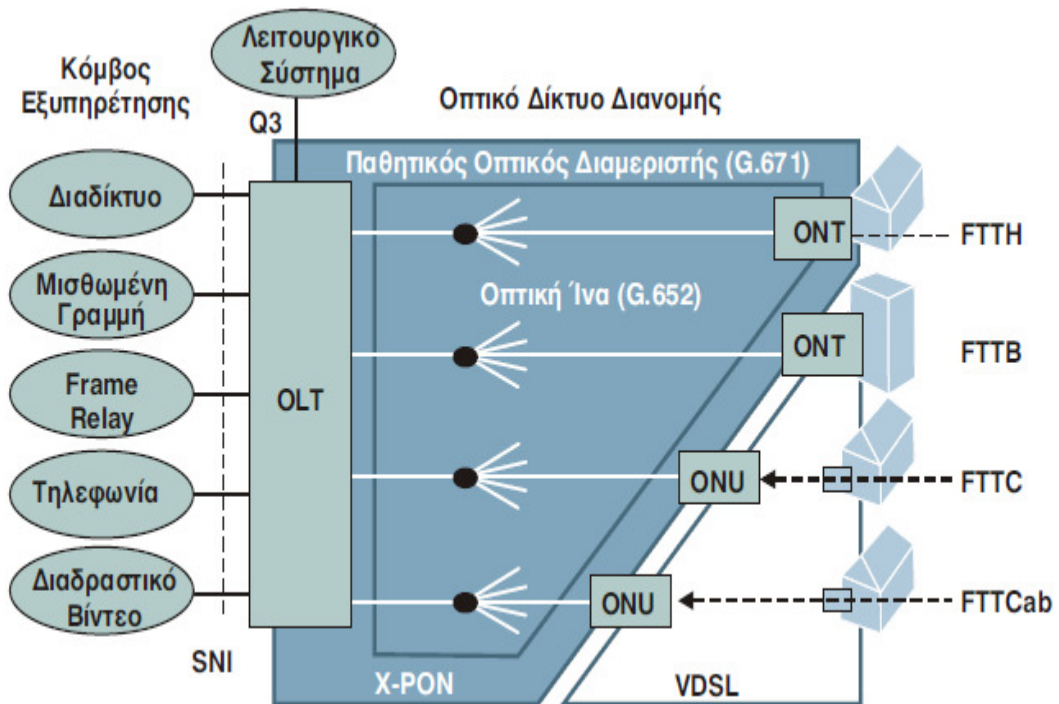
Τα PONs είναι οπτικά δίκτυα αρχιτεκτονικής “σημείου προς πολλά σημεία,” τα οποία δεν περιέχουν ενεργά στοιχεία, δηλαδή δεν έχουμε μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό μέχρι τον προορισμό του. Δεν υπάρχουν ενεργές συσκευές πέρα από τους τελικούς κόμβους. Τα μόνα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι οπτικοί ζεύκτες (couplers), διαχωριστές (splitters) και συνδυαστές (combiners), τα οποία διαχειρίζονται τα εισερχόμενα και εξερχόμενα σήματα χωρίς να μεταβάλλουν το ποσό τους .



Εικόνα 24 Παθητικό οπτικό Δίκτυο

Εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα της πολυπλεξίας μήκους κύματος, χρησιμοποιώντας ένα μήκος κύματος για την downstream/ συρρευματική (κατεύθυνση προς τους χρήστες) και ένα άλλο για την upstream/αντιρρευματική

(κατεύθυνση από τους χρήστες) μετάδοση μέσω της οπτικής ίνας . Στην για αποφυγή συγκρούσεων στην upstream κατεύθυνση, οι χρήστες αποκτούν πρόσβαση στο κοινό μέσο (οπτική ίνα ) διαδοχικά.



Εικόνα 25 Τύποι FTTx Παθητικών Οπτικών δικτύων PON

Τα κύρια μέρη των Παθητικών Οπτικών Δικτύων ( συσκευές ) είναι:

- **OLT** (Optical Line Terminal ) : Τερματικό σύνδεσης χρηστών στον πάροχο.
- **ONU** (Optical Network Unit) : εξοπλισμός τερματισμού των οπτικών ζεύξεων προς την πλευρά του χρήστη. / **ONT** (Optical network terminal) οπτικό τερματικό δικτύου.
- **ODN** (Optical Distribution Network) : οπτικό δίκτυο διανομής.
- **OS** (Optical Splitter) : Παθητικές οπτικές συσκευές που διαχωρίζουν το σήμα σε ένα πλήθος ίδιων σημάτων μικρότερης ισχύος.

Η ανταλλαγή δεδομένων στα παθητικά οπτικά δίκτυα πραγματοποιείται μεταξύ της μονάδας OLT και των μονάδων ONU ή των ONT , μέσω του οπτικού δικτύου διανομής ODN (Optical Distribution Network) που τα συνδέει. Ένα ONT αποτελεί μια ολοκληρωμένη ηλεκτρονική μονάδα στην οποία τερματίζει το παθητικό οπτικό δίκτυο PON και παρέχει εγγενείς διεπαφές στον τελικό χρήστη.

Το μέλλον των PONs ανήκει στα ODN, είναι φτιαγμένα εξολοκλήρου από οπτικά splitters - (Παθητικές οπτικές συσκευές που διαχωρίζουν το σήμα σε ένα πλήθος ίδιων σημάτων μικρότερης ισχύος) - το οποίο είναι ένα είδος παθητικής διαίρεσης και δεν περιέχει καμιά ηλεκτρονική μετατροπή ή υποστήριξη. Μέχρι τώρα τα PONs που χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά είναι τα TDM-PONs και τα WDM-PONs. Τα EPON και τα GPON είναι τα πιο δημοφιλή .

Τρεις είναι οι βασικές οικογένειες των οπτικών δικτύων πρόσβασης :

- GPON , πλέον NG-GPON και σε βάση σχεδιασμού βρίσκεται το NG - GPON2 Gigabit Passive Optical Network.
- EPON , πλέον 10G-EPON, δηλ. Ethernet Passive Optical Network.
- WDM-PON Wavelength Division Multiplex Passive Optical Network

Τα PONs ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με βάση το είδος της πολυπλεξίας που χρησιμοποιούν:

- Στην 1<sup>η</sup> ανήκουν τα Time Division Multi- based passive optical Networks (TDM-PONs).
- Στη 2<sup>η</sup> τα Wavelength Division Multiplexing-based passive optical Networks (WDM-PONs).

Η τεχνολογία WDM – PON είναι ό τι πιο σύγχρονο υπάρχει σήμερα διαθέσιμο στον τομέα της οπτικής δικτύωσης. Με την τεχνολογία WDM εξοικονομείται μεγάλος αριθμός οπτικών ινών, ενώ παράλληλα εξαλείφονται οι διάφοροι περιορισμοί που συναντώνται στα συστήματα TDM-PON. Εξάλλου αυξάνεται η περιοχή κάλυψης του

δικτύου, ενώ προσφέρονται αυξημένες δυνατότητες κλιμάκωσης και υψηλού επιπέδου ασφάλεια δεδομένων.

Οι υποκατηγορίες οπτικών δικτύων όπως · APON/BPON, EPON, GPON ανήκουν στα TDM-PON, στα οποία εφαρμόζεται πρόσβαση με διαίρεση χρόνου τόσο στην upstream (κατεύθυνση από τους χρήστες) όσο και στην downstream (προς τους χρήστες), ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη ανάθεση εύρους ζώνης, αλλά και να μεταφερθούν μηνύματα επικοινωνίας από τις ONUS προς το OLT και αντίστροφα. Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία FTTH ανάλογα με το αν στα σημεία διακλάδωσης χρησιμοποιείται παθητικός ή ενεργός εξοπλισμός διακρίνεται σε τεχνολογία AON (Active Optical Network) και (Passive Optical Network) PON. (16,19,20)

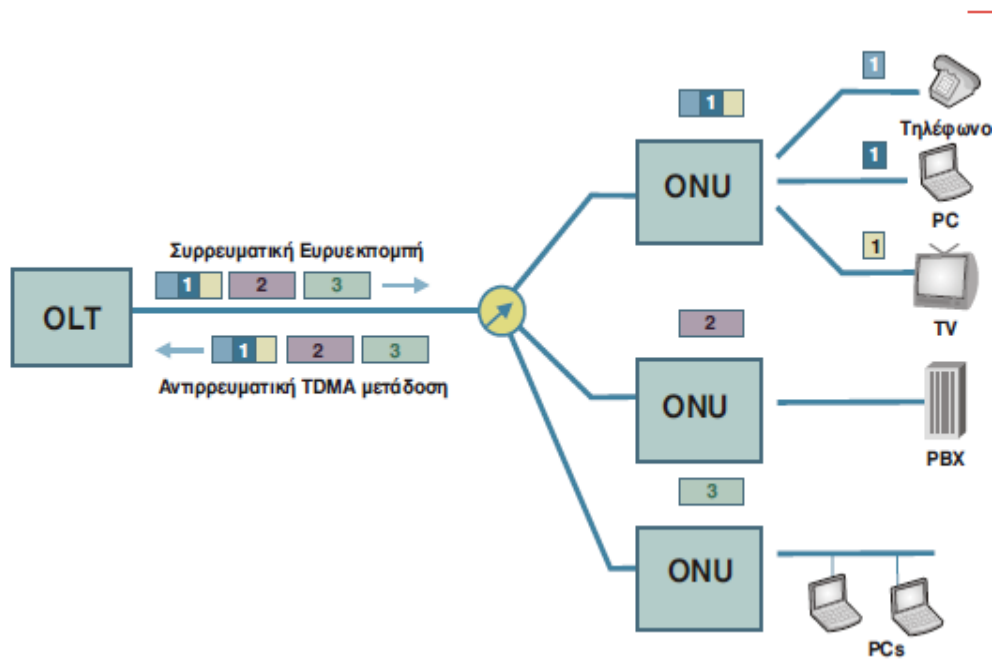
### **AON ( Active Optical Network )**

Το ενεργό οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει και ενεργούς κόμβους ( switches ) που τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα. Ο εξοπλισμός αυτός αποτρέπει την εξασθένιση του σήματος. Δεν έχουν διαμοιραστή (splitter), έτσι ώστε η αρχική ίνα να διαμοιράζεται το σήμα μέσω πολλών ινών στις οπτικές μονάδες δικτύου (point-to-multipoint), αλλά μέσω του ενεργητικού εξοπλισμού (ethernet switch) πραγματοποιείται point-to-multipoint σύνδεση με την κάθε οπτική μονάδα δικτύου. Σε ένα δίκτυο AON όλες οι ONU συνδέονται με τη σειρά πάνω στο ίδιο ζεύγος ινών και σε κάθε ONU γίνεται οπτικο-ηλεκτρική μετατροπή και αντίστροφα. Έτσι οι κόμβοι διακλάδωσης του οπτικού δικτύου είναι ενεργοί. Το μειονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι ότι αποθηκεύει ενέργεια για τον διακόπτη, καθώς προϋποθέτει αναγκαστικά παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Η τοπολογία των AON μπορεί να είναι δακτύλιος ή αρτηρία. Παρόλο που απαιτούν μεγαλύτερο αριθμό οπτικών ινών, παρέχουν τη δυνατότητα μιας ανεξάρτητης και μεμονωμένης πρόσβασης για κάθε χρήστη συνδρομητή. Ο αριθμός των χρηστών εξαρτάται μόνο από τις μετατροπές του σήματος και όχι από την υποδομή του δικτύου. Οι συνδέσεις point-to-point εκτός του ότι παρέχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, διότι δεν διαμοιράζουν το σήμα, είναι και εύκολα αναβαθμίσιμες χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στις εγκαταστάσεις. Αυτά τα δίκτυα έχουν εύρος απόστασης έως 80Km. Δίκτυα AON χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, κυρίως για εξυπηρέτηση μεγάλων πελατών, κυρίως επιχειρήσεων. Για παροχή

των διαφόρων υπηρεσιών αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν συστήματα μετάδοσης SDH και flexible multiplexers. Στην περίπτωση FTTC , οι τελικές συνδέσεις των χρηστών μπορούν να γίνουν μέσω συστημάτων xDSL αυξάνοντας τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης. (20)

### **PON (Passive Optical Network)**

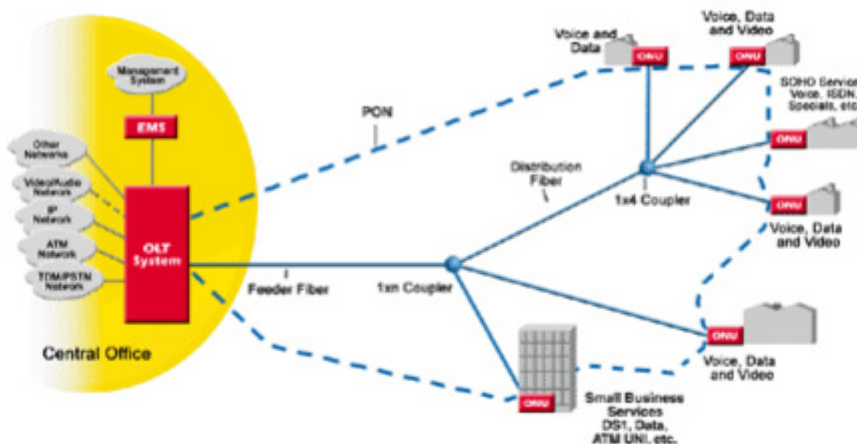
Στο παθητικό οπτικό δίκτυο χρησιμοποιούνται διατάξεις που δεν χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα. Σε ένα PON η ίνα που ξεκινά από την OLT διαχωρίζεται σε κλάδους μέσω παθητικών διαχωριστών και κάθε κλάδος συνδέεται με μια ONU. Έτσι οι κόμβοι διακλάδωσης του οπτικού δικτύου είναι παθητικοί. Τα Upstream-αντιρρευματικά δεδομένα που μεταδίδονται από την ONU/ONT, τα οποία διαθέτουν διαφορετικό μήκος κύματος για την αποφυγή συγκρούσεων με τα 1/1 Gbps - συρρευματικά δεδομένα, συγκεντρώνονται στην ίδια παθητική μονάδα του διαμεριστή, η οποία πολυπλέκει τα δεδομένα μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, αμετάβλητης χρονικής πολυπλεξίας (Time Division Multi Access – TDMA ). Η διαδικασία αυτή επιτρέπει στον OLT να συγκεντρώνει τα δεδομένα μέσω μιας και μόνο οπτικής ίνας. Οι OLT οριοθετούν το πλήθος των ONU/ONT και παρέχουν συγκεκριμένο αριθμό χρονοθυρίδων για την 1/1 Gbps - αντιρρευματική επικοινωνία. Έτσι η δομή ενός παθητικού οπτικού δικτύου περιορίζει το πλήθος των οπτικών ινών και του δικτυακού εξοπλισμού που απαιτείται στο κέντρο μεταγωγής σε σχέση με τις σημειακές αρχιτεκτονικές (point- to- point). Η τοπολογία του PON είναι από τη φύση της δενδρική. ( 16)



Εικόνα 26 Αρχή λειτουργίας ενός Παθητικού Οπτικού Δικτύου PON

### ΥΒΡΙΔΙΚΑ PON

Μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση είναι τα υβριδικά PON, τα οποία αποτελούν έναν συνδυασμό ενός ενεργού κόμβου και μιας αρχιτεκτονικής PON. Συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων, αφού στην προκειμένη περίπτωση η απόσταση που καλύπτει ένα τέτοιο δίκτυο είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα κάλυπτε ένα παθητικό δίκτυο με διαμοίραση ισχύος, ενώ έχει και πιο απλή υποδομή από ένα AON δίκτυο.



Εικόνα 27 Παθητικά και ενεργά δίκτυα PON

## **Reserve PON και Costumer Last Mile**

Σημειωτέον ότι τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και παρουσιάζεται η ιδέα υποδομών 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. Γενικά, εισάγει αναγκαστικά τη δημιουργία ανοικτών κόμβων συνεγκατάστασης, όπου οι «ιδιωτικές» οπτικές ίνες των τελικών χρηστών διασυνδέονται και δρομολογούν υπηρεσίες από τους service providers . Η βασικότερη από τις αρχιτεκτονικές που δημιουργούνται καλείται reserve PON και ουσιαστικά αποτελεί την αντιστροφή της κλασικής αρχιτεκτονικής PON, με τον εξοπλισμό του πελάτη να παρέχει διακριτές συνδέσεις με διάφορους service providers. (21)

## **EPON (Ethernet PON )**

Το EPON είναι ένα PON δίκτυο κατά βάση. Μεταφέρει κίνηση δεδομένων με τη μορφή Ethernet πλαισίων όπου ορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.3 το 2004 ως εναλλακτική πρόταση για τα δίκτυα πρόσβασης. Έχει ρυθμό μετάδοσης 1/1 Gbps για downstream και upstream κυκλοφορία. Χρησιμοποιεί ένα πρότυπο 8b/10b γραμμικής κωδικοποίησης και λειτουργεί σε συνήθεις ταχύτητες Ethernet . Το 8b/10b σημαίνει ότι τα 8 bits του χρήστη κωδικοποιούνται ως 10 γραμμικά bits.

Μέσα στο 2006, η IEEE ξεκίνησε τη δημιουργία ενός νέου προτύπου για τα EPON πολύ υψηλών ταχυτήτων, της τάξης των 10 Gbps γνωστά ως XEPON ή 10GEPON .

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα της πολυπλεξίας μήκους κύματος WDM χρησιμοποιώντας ένα μήκος κύματος για την downstream και upstream μετάδοση μέσω μιας οπτικής ίνας.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί συνδυασμοί δικτύων PON:

>Με εύρος ζώνης 1/1 Gbps , η οποία αποκαλείται EPON.

>Με εύρος ζώνης 10/1Gbps, η οποία αποκαλείται 10G-EPON.

>Με εύρος ζώνης 10/10Gbps, η οποία αποκαλείται 10 GEPON.

Το EPON χρησιμοποιείται ευρέως στα δίκτυα πρόσβασης (access networks). Θα λύσει το πρόβλημα της επιδείνωσης της καθυστέρησης της χωρητικότητας αυτών των δικτύων όπου έρχεται με τη σημαντική εξέλιξη του κορμού τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον ο χαμηλού κόστους εξοπλισμός Ethernet και η χαμηλού κόστους οπτική υποδομή κάνουν το EPON να φαίνεται ως ο καλύτερος υποψήφιος για τα επόμενης γενιά δίκτυα πρόσβασης.

Σε ένα EPON τα δεδομένα εκπέμπονται από το OLT προς τις ONUs σε πακέτα μεταβλητού μήκους με μέγιστο όριο τα 1518bytes. Κάθε πακέτο φέρει μια επικεφαλίδα που καθορίζει την ONU για την οποία προορίζεται. Επίσης κάποια πακέτα μπορεί προορίζονται για όλες τις ONUs (broadcast packets), ενώ άλλα για μια δεδομένη ομάδα από ONUs ( multicast packets). Όταν τα σήματα φτάσουν σε μια ONU, τότε εκείνη δέχεται μόνο τα πακέτα που προορίζονται γι' αυτήν, ενώ απορρίπτει όλα τα υπόλοιπα.

### **GPON ( παθητικό οπτικό δίκτυο Gigabit )**

Η επέκταση της χωρητικότητας των PONs στην περιοχή των Gbps πραγματοποιήθηκε με την τυποποίηση του GPON από την ITU-T στη σειρά προδιαγραφών με ονομασία G984. Η αρχιτεκτονική του δικτύου που περιγράφεται σ' αυτά τα πρωτόκολλα έχει πολλές ομοιότητες με την αρχιτεκτονική των ATM-PON. Ο μέγιστος αριθμός διαχωρισμού του σήματος στον παθητικό διαιρέτη είναι 128 και η μέγιστη απόσταση ενός ONU από το OLT είναι 20Km . Οι ρυθμοί μετάδοσης που χρησιμοποιούνται είναι 155.52, 622.08, 1244.16 και 2488.32 Mbps.

Το GPON βασικά είναι μια κατηγορία του PON , που αρχικά προτάθηκε από τη FSAN ( Full Service Access Network ) και πραγματοποιήθηκε από τον Σεπτέμβριο του 2002. Τα GPONs εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης που παρέχουν, μεταδίδοντας πλαίσια σταθερής διάρκειας (125μs) μπορούν να υποστηρίξουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών φωνής, TDM, video, Ethenet, 10/ 100BASE-T, μισθωμένες γραμμές και επεκτάσεις σε απλές διατάξεις και με μεγάλη αποδοτικότητα. Τα πακέτα δεδομένων



μπορούν να κατατμηθούν, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην ικανοποίηση αυστηρών απαιτήσεων σε ποιότητα υπηρεσίας που θέτουν διάφορες εφαρμογές. Αυτό βέβαια απαιτεί την επανένωση των κατατετμημένων πακέτων στον προορισμό τους, πράγμα το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα. Υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης τους ώστε να εξυπηρετήσουν αποστάσεις μέχρι και 60Km ανάμεσα στις ONUs και το OLT. Υποστηρίζουν επτά διαφορετικά bit rates χρησιμοποιώντας για όλα το ίδιο πρωτόκολλο. Έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά τις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου, ενώ παρέχει ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για τη ροή καθόδου. Λόγω του multicast χαρακτήρα του προβλέπει ώστε να μην είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση των down δεδομένων από όλους τους χρήστες, ειμή μόνο από αυτόν για τον οποίο προορίζονται .

## **XG-PON**

Το XG-PON είναι ένα πρότυπο δικτύωσης του 2010 για συνδέσεις δεδομένων, ικανό να παρέχει κοινή ταχύτητα πρόσβασης στο Internet μέχρι και 10Gbps. Είναι δηλαδή ένα πρότυπο επόμενης γενιάς, το οποίο θεωρείται η συνέχεια του GPON .Τα χαρακτηριστικά των δικτύων XG-PON περιγράφονται αναλυτικά στο πρότυπο G.987 της ITU-T. Το πρότυπο αυτό προβλέπει δύο εκδοχές για τους ρυθμούς μετάδοσης. Μία συμμετρική με 10Gbps και ως προς τις δύο κατευθύνσεις και μια ασύμμετρη. Η τεχνολογία του NGPON1 ή XGPON1 χρησιμοποιεί ασύμμετρη επικοινωνία με ρυθμό up μετάδοσης 2,5Gbit/s - down 10 Gbit/s ( η οποία είναι προς το παρόν υλοποιήσιμη ). Η συμμετρική καλείται XGPON2 και έχει ρυθμούς 10Gbit/s . Έτσι η down κυκλοφορία στο XGPON1 είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη απ' ότι σ' ένα δίκτυο GPON, ενώ αντίστοιχα στην up κυκλοφορία είναι δυο φορές μεγαλύτερη.

Το XG-PON , γνωστό και ως 10G-PON, είναι η επόμενη γενιά για τους παρόχους GPON, εξαιρετικά γρήγορης ταχύτητας, σχεδιασμένη να συνυπάρχει με το ήδη εγκατεστημένο εξοπλισμό στο ίδιο δίκτυο. Πλεονέκτημα δηλαδή της τεχνολογίας είναι

η συμβατότητα με τις υπηρεσίες που κληρονομεί από προηγούμενες τεχνολογίες και δυνατότητα παροχής νέων υπηρεσιών.

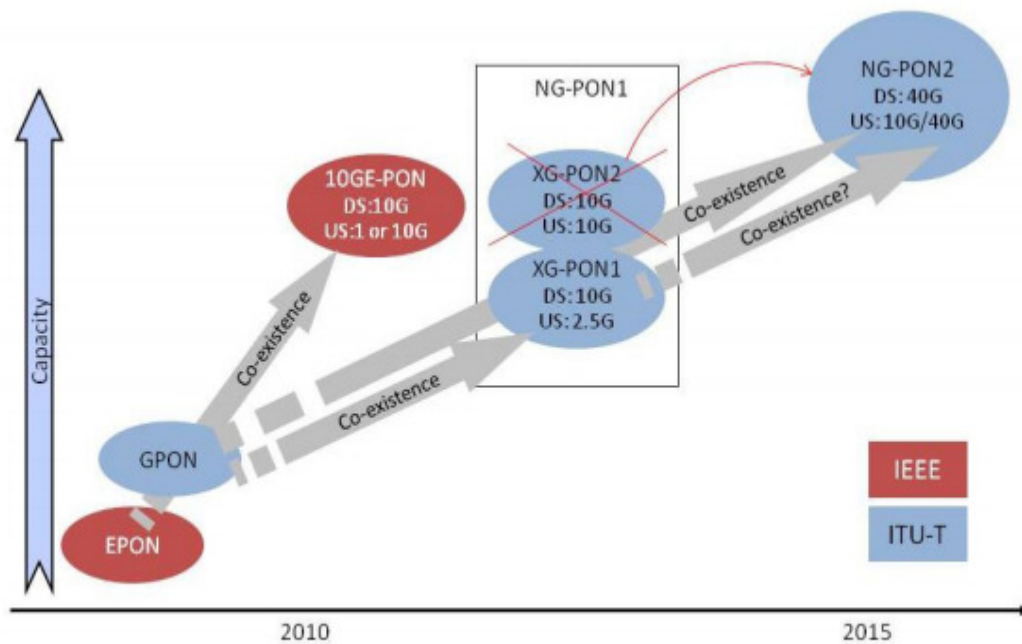
Η ταχύτητα των 10Gbps, που έχει δυνατότητα να παρέχει το XG-PON, διαμοιράζεται σε όλους τους χρήστες, που είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο Παθητικό Οπτικό Δίκτυο, όπως συμβαίνει και στο G-PON, καθιστώντας ουσιαστικά ανέφικτες τις συμμετρικές ταχύτητες και περιορίζοντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες κλιμάκωσης του δικτύου. Επίσης ενσωματώνονται και κάποιες τεχνικές πολυπλεξίας, οι οποίες εμποδίζουν να συγκρούονται μεταξύ τους τα πλαίσια δεδομένων.

Σύμφωνα με την άποψη της FSAN και της ITU-T, τα δίκτυα νέας γενιάς χωρίζονται πλέον σε δύο επίπεδα, στα NG-PON1 (Next-Generation PON), γνωστά ως 10G-PON (XGPON).

Όπως προαναφέρθηκε το **NG-PON2** ή ITU-T G989 είναι ένα πρότυπο δικτύωσης του 2015. Προσφέρει 10Gbit/s ρυθμό μετάδοσης συμμετρικά και ως προς τις δύο κατευθύνσεις στην ίδια οπτική ίνα. Το μειονέκτημα της συμμετρικής ροής μετάδοσης είναι ότι χρειάζονται ακριβότερα λέιζερ για τις ONU προκειμένου να επιτευχθούν υψηλότερες ταχύτητες για τους συνδρομητές και επιχειρήσεις.

Το NG-PON2 είναι ένα πρότυπο δικτύων πρόσβασης, πολλαπλού μήκους κύματος, εγκαινιάζοντας την εποχή της ευρυζωνικής εμπειρίας πολλών Gigabits για οικιακούς και εταιρικούς συνδρομητές, αξιοποιεί την TWDM τεχνολογία (πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου και μήκους κύματος). Υποστηρίζει 4 έως 8 μήκη κύματος των 10 Gbps για ένα PON πάνω σε μια οπτική ίνα. Προβλέπει συνολική απόδοση 40 Gbps για την down κατεύθυνση και 10 Cbps για την up.

Το ITU-T μέσα στο 2016 προχώρησε σε βελτιώσεις και πρότεινε τη συνύπαρξη των προτύπων G989.1, G989.2, G989.3 και θεωρείται ότι είναι η «πρώτη σειρά προτύπων» που παρέχει τη δυνατότητα να κατέβουν ταχύτητες πέραν από τις τρέχουσες των 10 Gbps. Παραμένουν τα 4-8 μήκη κύματος και για τις δύο κατευθύνσεις πετυχαίνοντας το μέγιστο ποσό των 80 Gbit/s σε κάθε κατεύθυνση. Η τυπική απόσταση μεταξύ OLT και ONU είναι 40 Km. Ένα OLT είναι σε θέση να υποστηρίξει μέχρι 256 ONUS.



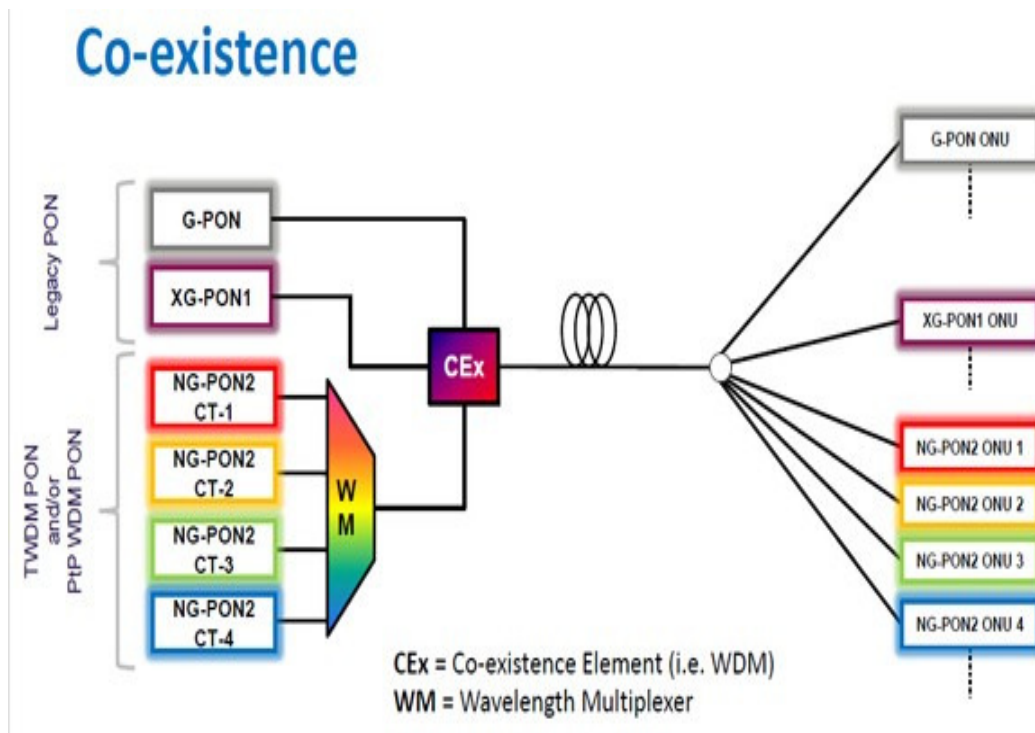
Optical access standards evolution

Πηγή :[http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO\\_White\\_Paper\\_2014.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2014.pdf)

Καθώς η ταχύτητα σύμφωνα με την έως τώρα εμπειρία, φαίνεται να είναι ο σημαντικότερος οδηγός για τις νέες ευρυζωνικές εφαρμογές, οι μεγάλες επιχειρήσεις δοκιμάζουν αυτά τα συστήματα με την «πρόθεση της ανάπτυξής τους στο εγγύς μέλλον» .

Οι κύριες απαιτήσεις των παραπάνω τεχνολογικών εξελίξεων είναι η ομαλή συνύπαρξή τους με τα ήδη αναπτυγμένα GPON συστήματα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το οπτικό δίκτυο διανομής ODN αντιπροσωπεύει το 70% του συνόλου σε μια εγκατάσταση PON.

Με την προδιαγραφή της συνύπαρξης μεταξύ των συστημάτων και της επαναχρησιμοποίησης του ODN , η μετάβαση από GPON σε NGPON και NGPON2 αποδεικνύει την ωρίμανση της τεχνολογίας και την ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης. (23, 25, 26, 27,28 )



Εικόνα 28 Συνύπαρξη δικτύων GPON, XGPON κ.α.

#### 4.4 Πρόσφατες περιπτώσεις εκδήλωσης ενδιαφέροντος για τις νέες τεχνολογίες

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εργαστηριακή έρευνα, η οποία πειραματίζεται συνεχώς σε πολλά επίπεδα. Παρακάτω δίνονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τόσο παθητικών δικτύων όσο και μακρινών αποστάσεων.

Ήδη, η Verizon, στα μέσα του 2016 ανακοίνωσε ότι θα αρχίσει δοκιμές της τεχνολογίας NG-PON2 στο εργαστήριο Καινοτομίας χρησιμοποιώντας εξοπλισμό από την Ericsson και Adtran.

Οι εταιρείες Vodafone και Wind συμφώνησαν να συνεργαστούν στον σχεδιασμό και την εκμετάλλευση των δικτύων νέας γενιάς. Πρόκειται για μια συνεργασία σχετική με δίκτυα οπτικών ινών γνωστά ως NGN ή NGA, τα οποία προσφέρουν υπερ-υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, άνω των 100εκατ. μονάδων πληροφορίας το

δευτερόλεπτο (Mbps). Προς την κατεύθυνση αυτή υπέγραψαν σχετικό μνημόνιο συνεργασίας (MoU), ενώ έχουν ανακοινώσει επενδυτικά σχέδια πολλών εκατοντάδων εκατομμυρίων. (31)

Με την καταιγιστική ταχύτητα των 1,2 terabytes ανά δευτερόλεπτο, ένα νέο σύστημα οπτικής επικοινωνίας, που αναπτύχθηκε από το University College του Λονδίνου (UCL), δημιούργησε ένα νέο ρεκόρ για τον για τον γρηγορότερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων. Για να κατανοηθεί η τάξη του μεγέθους, οι ερευνητές λένε ότι θα μπορούσε να κατεβάσει σε high definition το σύνολο της τηλεοπτικής σειράς Game of Thrones, σε λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο.

Η ομάδα των ερευνητών κατάφερε να ενσωματώσει ακόμη πιο αποτελεσματικά ψηφιακά φίλτρα περιορισμού θορύβου, τα οποία ενώ έχουν εξελιχθεί για ασύρματη μετάδοση, τροποποιήθηκαν για να λειτουργήσουν σε δίκτυα οπτικής μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτό η ομάδα κατόρθωσε να εξασφαλίσει ότι τα μεταδιδόμενα σήματα ήταν σε θέση να φτάσουν στον προορισμό τους και να είναι πλήρως εκμεταλλεύσιμα. «Ενώ οι αποδοτικότερες τρέχουσες εμπορικές εφαρμογές οπτικής μετάδοσης μπορούν οριακά να πετύχουν ταχύτητες έως 100gigabits ανά δευτερόλεπτο εργαζόμαστε με σύγχρονο εξοπλισμό στο εργαστήριό μας για να σχεδιάσουμε συστήματα επόμενης γενιάς στον πυρήνα των δικτύων, τα οποία μπορούν να χειριστούν σήματα δεδομένων με ταχύτητες άνω του (1) ενός terabit ανά δευτερόλεπτο » δήλωσε ο επικεφαλής της έρευνας, Dr Robert Maher, του τμήματος Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του UCL. Για να έχετε μια σύγκριση, αυτή είναι σχεδόν 50.000 φορές μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα ευρυζωνικής σύνδεσης στη Μ. Βρετανία, η οποία είναι της τάξεως των 24 megabits ανά δευτερόλεπτο. Να σημειώσω μάλιστα ότι αυτή είναι η ταχύτητα που σήμερα της δίνουμε τον ορισμό : «Superfast broad band». (28)

Άλλη περίπτωση ερευνητών που πέτυχαν να στείλουν κωδικοποιημένες πληροφορίες μέσω καλωδίων οπτικών ινών και να τις αποκωδικοποιήσουν με ακρίβεια, σε απόσταση ρεκόρ 12.000χιλιομέτρων, χωρίς να χρειαστεί να το ενισχύσουν καθόλου καθ' όλη τη διαδρομή τους από τον πομπό έως τον δέκτη, είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Φωτονικής του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια-Σαν Ντιέγκο . Στη

χρηματοδότηση της έρευνας συνέβαλαν η Google και η ιαπωνική Sumitomo Electric Industries, παραγωγός καλωδίων οπτικών ινών.

Φυσικά υπάρχουν επιφυλάξεις στο κατά πόσο η νέα μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοσθεί με την ίδια επιτυχία στον πραγματικό κόσμο, έξω από το εργαστήριο.(32)

Η οπτική ίνα παραμένει πάντα μια ώριμη και διαχρονική επιλογή και παρά το αρχικά υψηλότερο κόστος επένδυσης και τον μακρύτερο χρόνο ανάπτυξης προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερο εύρος ζώνης με χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

Τα PON είναι σήμερα ευρέως διαδεδομένα σε όλον τον κόσμο, με το GPON να αποτελεί την προτιμώμενη επιλογή μεταξύ των μεγαλύτερων παρόχων που επιθυμούν να προσφέρουν στους συνδρομητές τους την ευρυζωνική εμπειρία 1Gbit/s. Για παρόχους που χρειάζονται ακόμη μεγαλύτερες χωρητικότητες για εταιρικούς ή οικιακούς πελάτες καθώς και για λύσεις backhauling η νέα γενιά PON (NG-PON,NG-PON2),που προτυποποιήθηκε το 2015, αυξάνει περαιτέρω τη χωρητικότητα σε ένα πρωτόγνωρο εύρος ζώνης της τάξης των 40 Mbit/s. Ενώ η έρευνα στοχεύει στην κατάκτηση ταχυτήτων terabytes.

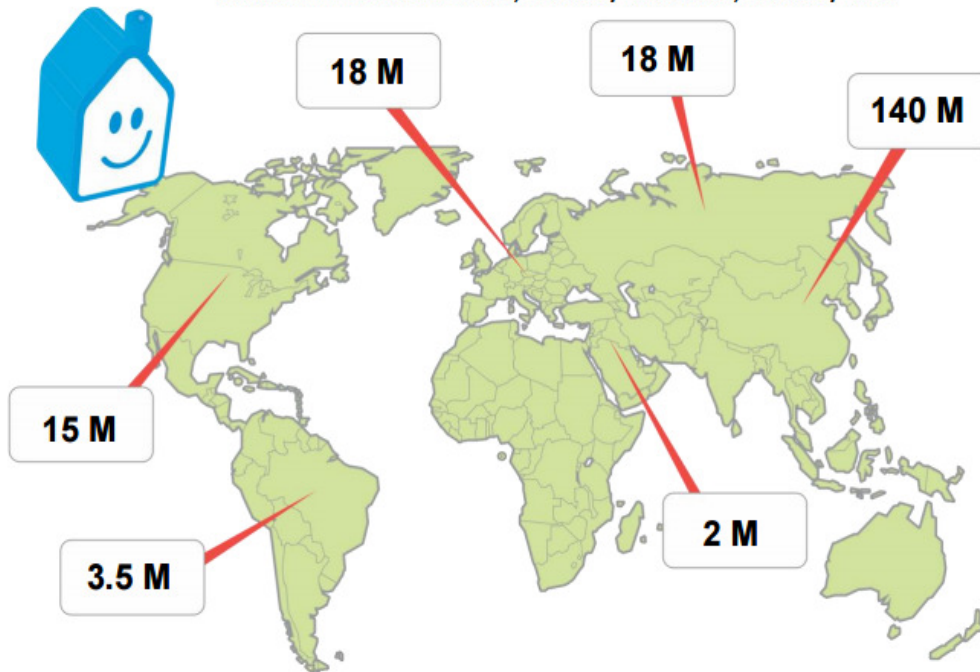
#### **4.5 Παγκόσμια γεωγραφική κατάσταση της αγοράς**

Όπως έγινε κατανοητό τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα γνωρίζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη παγκοσμίως. Η σύνδεση FTTH είναι προτιμότερη κυρίως λόγω της υψηλής ταχύτητας και της καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών. Αν και αρχικά δεν προτιμήθηκε, λόγω του μεγάλου αρχικού κόστους και της δυσκολίας εγκατάστασης των οπτικών, συνεχίζει πορεία με εκθετική ανάπτυξη σήμερα.

Στη συνέντευξη τύπου του FTTH Council Europe, που πραγματοποιήθηκε στο Βέλγιο στις 27 Απριλίου 2016, παρουσιάστηκαν στοιχεία για τη διείσδυση των FTTH /B παγκοσμίως , αλλά και στην Ευρώπη στα τέλη του 2015.

## Number of FTTH subscribers worldwide

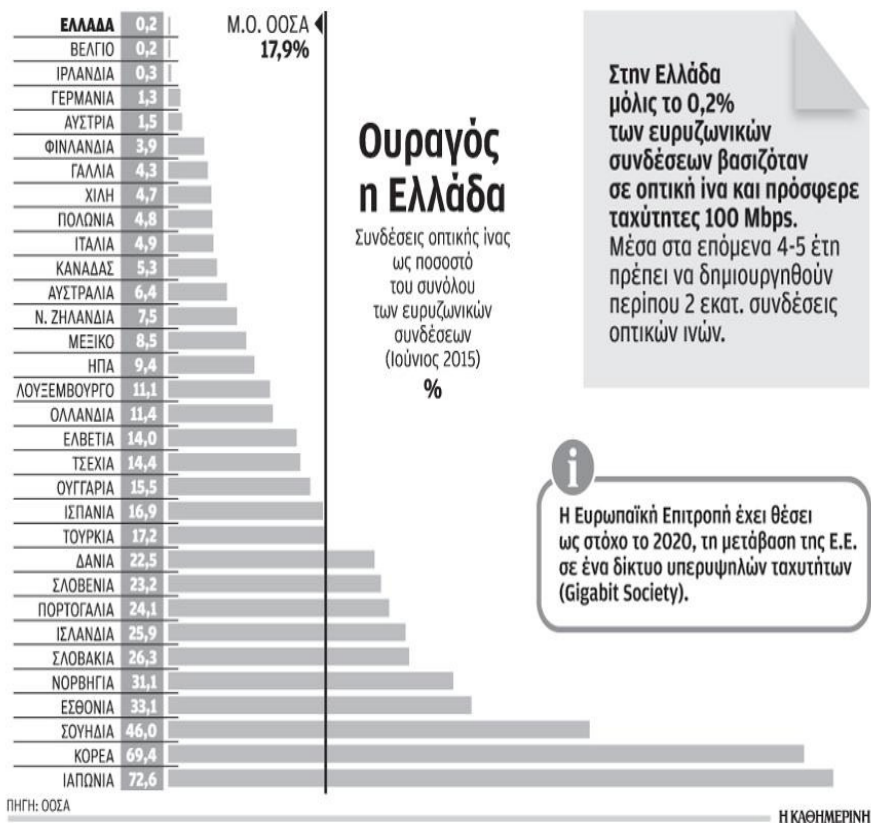
Source: FTTH Global Alliance, February 2015 idate, February 2016



Εικόνα 29 Παγκόσμιος αριθμός συνδρομητών FTTH υπηρεσιών

Όπως φαίνεται στη εικόνα 26, αρχές του 2016 υπήρχαν περισσότεροι από 196.5 εκατομμύρια FTTH συνδρομητές σε όλο τον κόσμο, με την Ασία να κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό διείσδυσης, με 140 εκατομμύρια συνδρομητές. Στην Βόρεια και Νότια Αμερική η διείσδυση έχει φτάσει τα 18.5 εκατομμύρια συνδρομητές , ενώ η Ευρώπη με 18 εκατομμύρια έρχεται τρίτη. Τέλος στη Μέση Ανατολή η ανάπτυξη δικτύων FTTH είναι πολύ χαμηλή καθώς μόλις έχει φτάσει τα 2 εκατομμύρια.

Οι κυριότερες χώρες που επενδύουν στην έρευνα, εφαρμογή και προώθηση αυτής της τεχνολογίας είναι η Ιαπωνία, η Κορέα, η Σουηδία, η Κίνα, οι Η.Π.Α, ενώ στην Ευρώπη η Σουηδία, η Εσθονία, η Νορβηγία και Ρωσία .



**Εικόνα 30 Διείσδυση οπτικών ινών στην Ευρώπη και τον Κόσμο**

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια γίνεται σημαντική προσπάθεια για την εγκαθίδρυση και εξάπλωση της τεχνολογίας Οπτικών Δικτύων Fiber to The Cabinet (FTTC) καθώς και Fiber to The Home (FTTH). Επισημαίνεται ότι δεν έχει ξεπεράσει στην παγκόσμια κατάταξη το 1% της διείσδυσης στις τεχνολογίες FTTH. Σύμφωνα με στοιχεία του ΟΟΣΑ που δημοσιεύτηκαν και που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, “μόλις το 0,2% των ευρυζωνικών συνδέσεων βασίζονται σε οπτική ίνα και πρόσφερε ταχύτητες 100Mbps”.

Η Ιαπωνία είναι η πιο ανεπτυγμένη χώρα όσον αφορά το FTTH. Στατιστικά στοιχεία που εκδίδονται από το τέλος του 2007 και μετά, έδειξαν ότι οι χρήστες του FTTH έχουν φτάσει τα 11εκ., ποσοστό που αγγίζει το 40% επί του συνόλου των χρηστών στην Ιαπωνία. Κάθε μήνα σχεδόν 300.000 νέοι συνδρομητές επιλέγουν να συνδεθούν με το παθητικό οπτικό δίκτυο FTTH και 60.000 συνδρομητές απαρνούνται τις ADSL συνδέσεις και περνούν στις FTTH συνδέσεις. Στα ίδια πλαίσια και η Κορέα είναι η



χώρα με τον υψηλότερο ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Το πλήθος χρηστών είναι 4,5 εκ. χρήστες στα τέλη του 2010.

Στις Η.Π.Α οι τρεις μεγάλοι πάροχοι αποφάσισαν να εφαρμόσουν την FTTH από το 2004 και μετά, με ρυθμό ανάπτυξης που ξεπερνά το 100%, είναι κατά πολύ μπροστά από την Ευρώπη στην παγκόσμια κατάταξη των συνδέσεων FTTH.

Σε μια του συνέντευξη στην PORTEL.DE, ο καθηγητής (FH) Hartwig Tauber, Γενικός Διευθυντής του FTTH Council στην Ευρώπη, εξηγούσε ότι η εικόνα στην Ευρώπη είναι εξίσου ελπιδοφόρα: «Αρχικά η ανάπτυξη των συνδέσεων το 2004 στην Ευρώπη ήταν πολύ χαμηλή, ενώ εκτιμήθηκε ότι θα ξεπεράσει τα 3 εκατομμύρια το 2010. Στο μεταξύ, έχουμε ήδη περίπου 1,8 εκατομμύρια συνδέσεις και αναμένουμε ο αριθμός να σκαρφαλώσει στα 5.5 εκατομμύρια το 2010 και στα 15 εκ. το 2012».

Σύμφωνα με τα στοιχεία του FTTH Council, ο ρυθμός μετάδοσης των ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ευρώπη θα αυξάνεται με ένα ετήσιο ποσοστό του 50%. Η χρήση των παθητικών οπτικών δικτύων, ως ευρυζωνικά δίκτυα που χρησιμοποιούνται από τα νοικοκυριά, θα αυξάνεται με ρυθμό περίπου 20% ετησίως, ενώ η κίνηση που θα αναπτύξουν, ως FTTH συνδέσεις, θα είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των ADSL συνδέσεων.

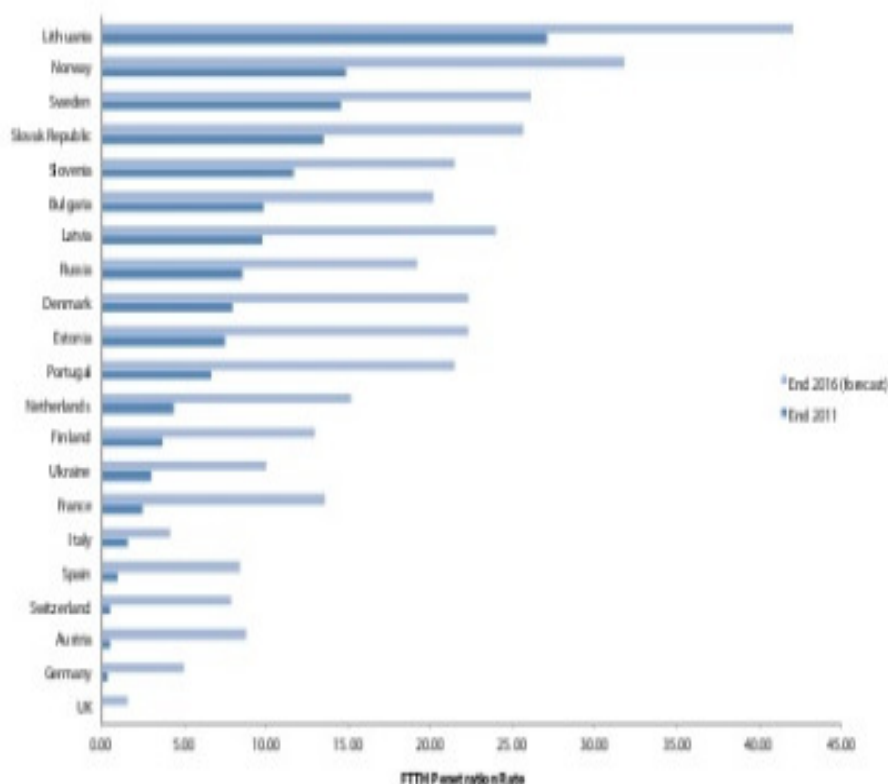
Σημειώνεται, επίσης, ότι και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει ως στόχο το 2020 τη μετάβαση της Ε.Ε σε ένα δίκτυο υπερ-υψηλών ταχυτήτων (Gigabit Society) όπου το σύνολο των Ευρωπαϊκών συνδέσεων θα προσφέρει ταχύτητες μετάδοσης άνω των 30 Mbps . Από αυτές τουλάχιστον οι μισές θα έχουν ταχύτητες άνω των 100 Mbps , δηλαδή θα βασίζονται στην οπτική ίνα.

Από το 2003 , και στην Κίνα υπήρξε αυξανόμενο το FTTH. Οι εμπορικές εκδόσεις τεχνολογίας οπτικών δικτύων από τη Netcom, την Guangzhou Telecom και την Chongqing Telecom υπήρξαν επιτυχείς. Ενδεικτικά είναι και τα στοιχεία που αναφέρουν ότι μέχρι το τέλος του 2007 το πλήθος των χρηστών ξεπέρασε τις 100 χιλιάδες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι από το 2009 έως και σήμερα οι ασιατικές χώρες καταλαμβάνουν τις πρώτες θέσεις παγκοσμίως, με την Ιαπωνία στη 1<sup>η</sup> θέση ξεπερνώντας τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα,. Οι

ευρωπαϊκές χώρες καταλαμβάνουν θέσεις από την 3<sup>η</sup> πλέον και μετά ,ενώ οι ΗΠΑ περιορίζονται περίπου στο μέσο όρο.

Στην παρακάτω εικόνα (31) παρουσιάζεται μια πρόβλεψη του FTTH Council Europe για τη διείσδυση των δικτύων FTTH στην Ευρώπη έως στα τέλη του 2016.



**Εικόνα 31 Πρόβλεψη διείσδυσης οπτικών ινών στην Ευρώπη**

Η ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά για το FTTH (FTTH Council Europe) ότι η εικόνα η οποία παρουσιάστηκε προηγουμένως δεν προβλέπεται να αλλάξει μέχρι το 2016 και οι χώρες που σήμερα υστερούν ( όπως π.χ. η Ελλάδα κ.α.) δεν αναμένεται να καλύψουν άμεσα το κενό αυτό.

Επίσης εκτιμά ότι η κάλυψη των οπτικών ινών θα φτάσει σε ένα ποσοστό της τάξης του 10.6% των νοικοκυριών στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το τέλος του 2016 και η Ευρώπη θα συνεχίσει να βρίσκεται πίσω από τις πρωτοπόρες χώρες της Ασίας και της Βόρειας Αμερικής. (29, 30, 31).

## 4.6 Εκτίμηση της παρούσας και μελλοντικής κατάστασης των Οπτικών Δικτύων Επικοινωνίας

Έχοντας ήδη περιγράψει την εξέλιξη των οπτικών τεχνικών, των οπτικών συστημάτων και των δικτύων επικοινωνίας γίνεται σαφές ότι η οπτική βιομηχανία συνεχίζει να ωριμάζει κινούμενη με βάση τις απαιτήσεις που υπαγορεύει η τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Αυτή υποδεικνύει, μέρα με τη μέρα, την ανάγκη για δίκτυα ψηλότερων ταχυτήτων και μεγαλύτερης εμβέλειας. Εξ αρχής είχαν τεθεί οι στόχοι για υλοποίηση δικτύων χωρητικότητας Tbps, τα οποία θα λύνουν το πρόβλημα εύρους ζώνης για τις επόμενες δεκαετίες και η χρησιμοποίησή τους σε επικοινωνίες μεγάλης απόστασης, χερσαίες και υποθαλάσσιες, Δικτύων MAN, LAN, Access Networks, αλλά και μέσα στους υπολογιστές.

Με γνώμονα αυτά, η οπτική τεχνολογία επιχείρησε και επιχειρεί να φτάσει τα όρια των δυνατοτήτων της και να ανταποκριθεί επαρκώς στις προκλήσεις της σύγχρονης εποχής, καθώς χρειάζεται να στηρίξει μια πληθώρα υπηρεσιών ολοένα και πιο ογκούμενης χωρητικότητας: κίνηση IP, εφαρμογή πολυμέσων (Multimedia), νέες Υπηρεσίες - ευρυζωνικές (video on demand, video conference, κ.λπ.).

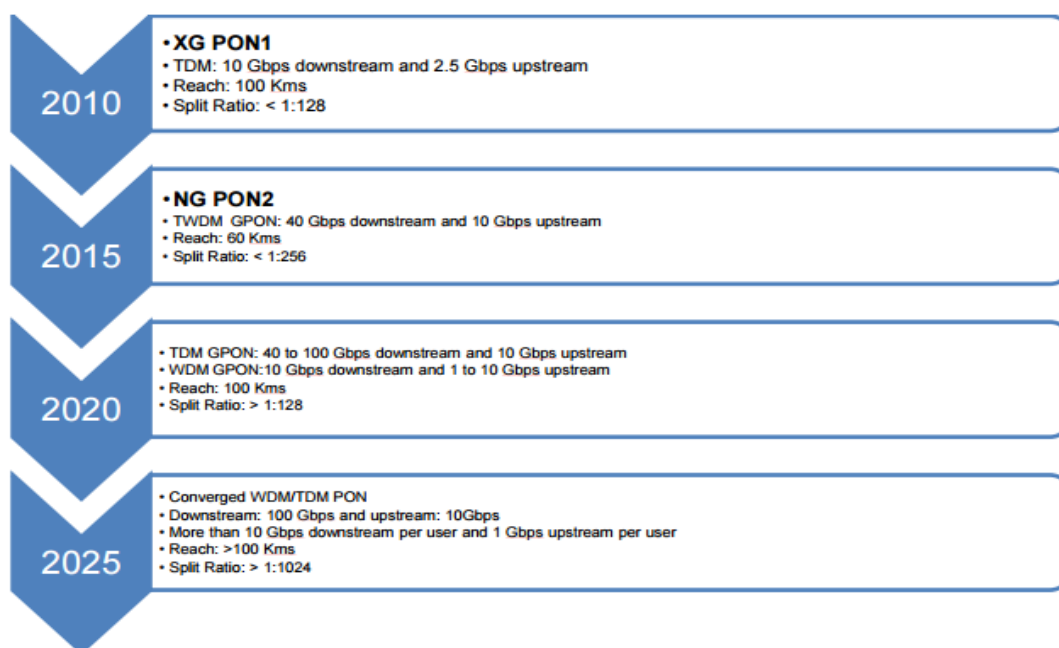
Και με τα εκατομμύρια χιλιόμετρα καλωδίων οπτικών ινών, που έχουν ήδη εγκατασταθεί και τα οποία συνεχίζουν, φαίνεται ότι θα είναι εύκολη η μεταφορά των υπηρεσιών ευρείας ζώνης όσο το δυνατόν πιο κοντά στο τελικό χρήστη.

Οι οπτικές ίνες επεκτάθηκαν στα δίκτυα πρόσβασης με την τεχνολογία FTTH. Και από δω και στο εξής οδηγός των εξελίξεων είναι οι ευρυζωνικές υπηρεσίες. Δεν είναι καθόλου τυχαίο το γεγονός ότι παγκοσμίως υπάρχει μεγάλη κινητικότητα από τις περισσότερες χώρες προς την κατεύθυνση αυτή.

Οι προσπάθειες οι οποίες καταβάλλονται είναι ευδιάκριτες σε όλα τα επίπεδα. Οι εργαστηριακοί ερευνητές εκδηλώνουν έντονο ενδιαφέρον αλλά και εργάζονται ώστε να πετύχουν υψηλές ταχύτητες σε μαζικές υπηρεσίες. Εδώ είναι και ο συνωστισμός. Η μια δοκιμή διαδέχεται την άλλη, και το μόνο που απομένει είναι αυτές οι δοκιμές να μπορέσουν να τεθούν σε εφαρμογή και σε πραγματικές συνθήκες.

Παράλληλα κινούνται και οι ερευνητές της τεχνολογίας οπτικών επικοινωνιών, ώστε να συμπληρώσουν, να αντικαταστήσουν και να αναβαθμίσουν την υπάρχουσα τεχνολογία αλλά και τον εξοπλισμό που την απαρτίζει. Οι οργανισμοί τεχνικών προτύπων προτείνουν και αναπτύσσουν ολοκληρωμένα συστήματα και πρότυπα επικοινωνίας. Το ενδιαφέρον όλων πλέον έχει επικεντρωθεί στην ευρυζωνική πρόσβαση.

Ως τελευταίος σταθμός εξέλιξης της αναφέρθηκε το NG-PON2. Ο προσανατολισμός και η εμμονή είναι στις συμμετρικές ταχύτητες. Καθώς δεν είναι σημαντικές μόνο οι download ταχύτητες, αλλά εξίσου και οι upload, απαιτείται συμμετρία και μικρότερη καθυστέρηση για καινοτόμες υπηρεσίες και εφαρμογές. Η σημαντική αναβάθμιση των δικτύων XG-PON και η μετάβαση στα NG-PON2 φαίνεται να κατακτά το προσδοκώμενο, με την αλλαγή ταχύτητας σε μια γρήγορη ταχύτητα, με τη χρήση, φυσικά, πολυπλεξίας WDM.



Beyond NG-PON2 - as envisioned by Analysys Mason, 2009

Πηγή : [http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO\\_White\\_Paper\\_2014.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2014.pdf)

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ITU-T διερευνά τη δυνατότητα και στοχεύει στην ενίσχυση της ικανότητας για πέρα από 10 Gbps και 1Gbps ροής καθόδου και ανόδου αντίστοιχα για τον κάθε χρήστη και σε απόσταση πάνω από 100Km στο μέλλον.

Στην παραπάνω εικόνα αποτυπώνεται η προσδοκία αυτή μέχρι το 2025. (27)

Το «all optical» είναι το όραμα του μέλλοντος για τα δίκτυα επικοινωνίας νέας γενιάς. Η συνεχιζόμενη πρόοδος και εξέλιξη στην οπτική τεχνολογία υπόσχεται συνεχείς αλλαγές, όσο το οπτικό δίκτυο εξελίσσεται στον υπέρτατο στόχο των end- to - end υπηρεσιών.

Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους παρόχους να προσφέρουν νέες υπηρεσίες, κάνοντας πιο προσιτό οικονομικά το εύρος ζώνης. Αντίστοιχα, οι καταναλωτές θα έχουν πρόσβαση σε νέες υψηλού εύρους ζώνης υπηρεσίες που πραγματοποιούνται λόγω της αυξημένης χωρητικότητας των οπτικών ινών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1.α). Η. Αβραμόπουλος, Φωτονική Τεχνολογία για Τηλεπικοινωνίες, σημειώσεις, ΕΜΠ.

<http://docplayer.gr/3339176-Systimata-metadosis-iktya-optikon-inon.html>

β). Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες, σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, 2006.

<http://docplayer.gr/3133997-Mathia-eisagogi-stis-tilepikoinonies.html>

2. [http://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies Susthmata metadoshs/Systimata Metadosis kai ai%20 Diktya Optikwn Inwn.pdf](http://www.photonics.ntua.gr/Diafaneies_Susthmata_metadoshs/Systimata_Metadosis_kai%20Diktya_Optikwn_Inwn.pdf)

3. [http://www.eng.ucy.ac.cy/gellinas/LECTURE01\\_Greek.pdf](http://www.eng.ucy.ac.cy/gellinas/LECTURE01_Greek.pdf)

4. Διαχείριση Δικτύων Υπολογιστών, Α. Μήλιου, Π. Νικοπολιτίδης, Α. Πομπόρτσης, εκδόσεις Τζιόλα, 2007.

5. Ηλεκτρολογία ( Γ' Λυκείου ) Τεχν. Κατεύθυνσης- κύκλος Τεχνολογίας και Παραγωγής.

6. Δίκτυα Υπολογιστών, Andrew s. Tanenbaum , η αμερικανική έκδοση, εκδόσεις Κλειδάριθμος.

7. Επικοινωνίες Υπολογιστών και δεδομένων, William Stallings, έκτη έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.

8. Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες, Κυριάκος Βλάχος, 2009.

<http://docplayer.gr/3273348-Type-the-company-name-kath-kyriakos-vlahos-systimata-epikoinonion-me-optikes-ines.html>

9. <http://docplayer.gr/4762266-Optikoilektroniki-mathima-1o-eisagogi-i-exelixi-ton-tilepikoinonion-kai-ta-optika-systimata-ar-tsipoyras-phd-email-aris-di-uoa.html>

10. Α. Σ. Πομπόρτσης, Εισαγωγή στις σύγχρονες Τεχνολογίες Επικοινωνιών, εκδόσεις Τζιόλα, 2009.

11. [http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014\\_pp438-442.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014_pp438-442.pdf)

12. Δίκτυα Οπτικών Ινών, Paul E. Green, Μετάφραση Κ. Καρούμπαλος, εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1994.

13. Χρήστος Παναγογιαννόπουλος, Τεχνολογία οπτικών ινών , Μεταπτυχιακή εργασία , 2012.

14. Διδακτορική διατριβή Ιωάννη Βαρδακά «Αποτίμηση της απόδοσης τηλεπικοινωνιακών δικτύων πολυδιάστατης κίνησης με έμφαση στα οπτικά δίκτυα».
15. [http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO\\_White\\_Paper\\_2014.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2014.pdf)
16. FTTH, Fiber to the Home ή Fear to the Haul, άρθρο του Δημήτρη Φιλίππου, Μάιος – Ιούνιος 2009, Communication Solutions.  
<http://www.comsol.gr/dat/34276F71/file.pdf>
17. <http://www.alticelabs.com/content/WP-Evolution-of-FTTH-Networks-for-NG-PON2.pdf>
18. [https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/manos/files/highspeednets/PONs\\_2015.pdf](https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/manos/files/highspeednets/PONs_2015.pdf)
19. <http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/PON/EPON.PDF>
20. /2011 3rd International Conference on Advanced Computer Control ( ICACC 2011)
21. <http://www.ebusinessforum.gr/print/index.php?pageid=50&language=en&ctn=115&moduleid=-1&label=0>
22. [teiserron.gr/index.php?action=dlattach;topic=8699.0;attach=5380](http://teiserron.gr/index.php?action=dlattach;topic=8699.0;attach=5380)
23. <https://en.wikipedia.org/wiki/10G-PON>
24. //2011 3rd International Conference on Advanced Computer Control ( ICACC 2011)
25. <http://www.fiberoptictel.com/ftth-pon-evolution-gpon-to-ng-pon2/>
26. <https://en.wikipedia.org/wiki/NG-PON2>
27. [http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO\\_White\\_Paper\\_2014.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2014.pdf)
28. <http://www.infocom.gr/2016/02/15/erevnites-xeperasan-1-ana-defterolepto/31454/>
29. [http://www.epliiitto.fi/images/09\\_Tobias%20Ahl\\_FTTH%20Council.pdf](http://www.epliiitto.fi/images/09_Tobias%20Ahl_FTTH%20Council.pdf)
30. <http://www.slideshare.net/ceobroadband/regulatory-policy-and-the-rollout-of-ftth-networks>
31. <http://www.kathimerini.gr/867122/article/oikonomia/epixeirhseis/synergasia-vodafone--wind-sta-nea-diktya>
32. [http://erevoktonos.blogspot.gr/2015/blog\\_904.html](http://erevoktonos.blogspot.gr/2015/blog_904.html)

Άλλες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν:

- I. <http://hk.fiberhomegroup.com/en/Operators/152/440.aspx>
- II. <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340669#.V7H5qluLSUk>
- III. <http://www.slideshare.net/ceobroadband/regulatory-policy-and-the-rollout-of-ftth-networks>
- IV. <http://www1.huawei.com/en/static/HW-201369.pdf>
- V. [http://hermes.di.uoa.gr/exe\\_activities/diktia/ethernet.html](http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/ethernet.html)
- VI. <http://www.infocom.gr/wp-content/uploads/2015/10/ultrabroadband-2-10-15.pdf>
- VII. [http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan01/pesavento\\_1\\_01\\_2001.pdf](http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan01/pesavento_1_01_2001.pdf)
- VIII. <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/evrizonikotita.php>
- IX. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL. 11 No. 1, January 2011, An integrated survey in Optical Networks: Concepts, Components and Problems.
- X. <https://openwifi.ellak.gr/2016/08/30/evrizonikes-sindesis-optikes-ines-ke-psifiaki-ikonomia/>
- XI. file:///C:/Users/%CE%93%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%9D%CE%97%CE%A3/Desktop/%CE%9D%CF%84%CE%BF%CE%BD%CF%84%CF%8C/CELEX%253A52004DC0369%253AEL%253ATXT.html
- XII. [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1272066](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1272066)
- XIII. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=Celex:52004DC0369:EL:HTML>



## ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ

**Δίκτυο πρόσβασης** : Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακής Τυποποίησης (European Telecommunications Standards Institute -ETSI), ως δίκτυο πρόσβασης ορίζεται το τμήμα του δικτύου που συνδέει τον συνδρομητή με το αστικό κέντρο , περιλαμβάνοντας το πρωτεύον ή «κύριο δίκτυο», το «δευτερεύον» ή «απερχόμενο δίκτυο» και το «συνδρομητικό δίκτυο».Το απερχόμενο και το συνδρομητικό δίκτυο αναφέρονται από κοινού ως «δίκτυο διανομής». Επίσης το Δίκτυο πρόσβασης αναφέρεται ως αστικό δίκτυο, τοπικό, βρόχος ή τελευταίο μίλι (last mile).

**Δυφίο** : Συντομευμένη μορφή του όρου «δυναμικό ψηφίο», που παράγεται από τα συνθετικά των δυ(αδικό) + (ψη)φίο = δυφίο. Απόδοση στα ελληνικά του αγγλικού bit.Ένα από τα ψηφία 0 ή 1 του δυαδικού συστήματος αρίθμησης.

**Ethernet** : Τεχνολογία τοπικής δικτύωσης (LAN). Πρόκειται για πρότυπο δικτύων υπολογιστών. Το 1985 έγινε αποδεκτό από το IEEE ως πρότυπο 802.3 βασικής ζώνης για ενσύρματα δίκτυα LAN.

Πρακτικά το Ethernet χρησιμοποιεί τη μέθοδο μετάδοσης δεδομένων σε μορφή πακέτων μέγιστου μεγέθους 1500bytes και ελάχιστο 46bytes. Γι' αυτό δεδομένα με μεγαλύτερο των 1500 bytes κατανέμονται σε πακέτα των 46-1500 τα οποία αποστέλλονται διαδοχικά στη γραμμή επικοινωνίας.

Τα δίκτυα τύπου Ethernet παρουσιάζουν προβλήματα, όταν πρόκειται να υποστηρίξουν σύγχρονες εφαρμογές, καθώς δεν είναι δυνατή η ύπαρξη ελέγχου, τόσο πάνω στην καθυστέρηση πρόσβασης , όσο και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης, ιδίως σε καταστάσεις υψηλού επικοινωνιακού φόρτου. Επίσης δεν υποστηρίζονται μηχανισμοί προτεραιοτήτων. Αυτό αντιμετωπίζεται με τις δύο ακόλουθες προσεγγίσεις: α) Τη χρήση τμηματοποίησης και β) τη μετανάστευση σε δίκτυα Ethernet μεγάλου εύρους ζώνης .Η τμηματοποίηση σημαίνει στην πράξη τη σύνδεση ενός πολύ μικρού αριθμού υπολογιστών ανά τμήμα . Η δεύτερη προσέγγιση αναφέρεται στα πρότυπα των λεγόμενων δικτύων υψηλών ταχυτήτων (Fast Ethernets και περιλαμβάνει τις τεχνολογίες :

Isochronous Ethernet,

Fast Ethernet (100Base-T, 100Mbps- CSMA/CD)

Fast Ethernet (100Mbps Demand Priority LAN).

**Ενθυλάκωση** : Η πρόσθεση πληροφορίας ελέγχου από μία οντότητα πρωτοκόλλου στα δεδομένα που λαμβάνονται από τον χρήστη.

**Εύρος ζώνης :** Με τον όρο εύρος ζώνης συχνοτήτων – bandwidth - προσδιορίζεται το φάσμα συχνοτήτων που μπορούν να περάσουν ανεμπόδιστα από ένα μέσο μετάδοσης. Δηλαδή πρόκειται για τη μέγιστη συχνότητα που μπορεί να διαδοθεί μέσα από ένα καλώδιο χωρίς πρόβλημα. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων έχει άμεση σχέση με το εύρος ζώνης του καλωδίου. Το εύρος ζώνης επηρεάζει τον ρυθμό μετάδοσης και επομένως τον όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας. Επίσης το εύρος ζώνης είναι ανάλογο με τη διάμετρο του καλωδίου.

Σύμφωνα με το American National Standard Dictionary of Information Technology, ANSI Standard X3. 172, 1995, ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στις οριακές συχνότητες ενός φάσματος συνεχόμενων συχνοτήτων.

### **Ευρυζωνικότητα :**

A). Ο όρος περιγράφει πρόσφατες συνδέσεις με το διαδίκτυο (Internet), οι οποίες είναι 2 έως 2000 φορές πιο γρήγορες από τις παλιότερες τεχνολογίες σύνδεσης. Όμως, ο όρος δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα ή υπηρεσία. Η ευρυζωνικότητα συνδυάζει το εύρος ζώνης με την ταχύτητα μιας σύνδεσης.

B). Τυπικά και σύμφωνα με τη σύσταση 1.113 του τομέα πιστοποίησης της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), ως ευρυζωνικότητα ορίζεται ως “η ικανότητα μετάδοσης δεδομένων σε ρυθμούς γρηγορότερους από τα αρχικά ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN) κατά 1.5 ή 2.0 Mbps (Mbit ανά δευτερόλεπτο)”. Από τηλεπικοινωνιακής πλευράς, οι ευρυζωνικές τεχνολογίες είναι μετεξέλιξη των υπαρχόντων δικτύων ISDN, τα οποία πλέον ISDN καλούνται στενού εύρους ζώνης (narrow band ISDN).

Γ) Σύμφωνα με την Επιτροπή Επικοινωνιών της Ευρωπαϊκής επιτροπής, «ευρυζωνικότητα είναι ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν καινοτόμες διαδραστικές, πάντοτε συνδεδεμένες, υπηρεσίες προσφέροντας μεγάλη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης η οποία αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και επιτρέπουν την ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών δεδομένων, εικόνας και φωνής ( triple play) » .

Συγκρινόμενη με τις παραδοσιακές στενοζωνικές συνδέσεις, η ευρυζωνική πρόσβαση είναι σε θέση να διαβιβάζει σχεδόν αμέσως μεγάλο όγκο δεδομένων, περιορίζοντας τους χρόνους αναμονής και βελτιώνοντας την απόδοση προς όφελος των χρηστών.

Η ταχύτητα της ευρυζωνικής σύνδεσης συνήθως ορίζεται από δύο αριθμούς. Ο πρώτος αναφέρεται στην ταχύτητα λήψης της πληροφορίας (ρυθμός καθόδου) και ο δεύτερος στην ταχύτητα αποστολής αυτής (ρυθμός ανόδου).

Ως τεχνολογία βασίζεται κυρίως στην παροχή πολλαπλών καναλιών πάνω σε ένα επικοινωνιακό μέσο με τη χρήση τεχνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας ή κύματος (FDM, WDM).

**ITU ITU-T** : Ο ITU Τομέας Προτυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (Telecommunication Standardization Sector) είναι ένα μόνιμο όργανο της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union- ITU) η οποία είναι μια ειδική αντιπροσωπεία των Ηνωμένων Εθνών. Η σύμβαση για την ITU είναι ότι «είναι υπεύθυνη για τη μελέτη τεχνικών, λειτουργικών και δασμολογικών ζητημάτων και για την έκδοση Προτάσεων υπό τη σκοπιά της προτυποποίησης των τηλεπικοινωνιών σε παγκόσμια βάση». Ο πρωταρχικός της σκοπός είναι να προτυποποιεί, στην έκταση που αυτό είναι απαραίτητο, τεχνικές και λειτουργίες στις τηλεπικοινωνίες για την εξασφάλιση, συμβατότητας των διεθνών τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων, ανεξάρτητα από τις χώρες προέλευσης και προορισμού. Η ITU-T δημιουργήθηκε το 1933 ως αποτέλεσμα αναδιάρθρωσης της ITU. Είναι οργανωμένη σε 14 ομάδες μελέτης που προετοιμάζουν τις προτάσεις. Οι εργασίες της εκτελούνται σε τετραετείς κύκλους. Κάθε τέσσερα χρόνια γίνεται ένα Παγκόσμιο Συνέδριο Προτυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (World Telecommunications Standardization Conference).

**Οντότητα** : α) ομάδα των 8 bits

β) υπό την ευρεία έννοια : προγράμματα εφαρμογών του χρήστη, προγράμματα μεταφοράς αρχείων, τα συστήματα βάσεων δεδομένων, ο εξοπλισμός του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και τα τερματικά.

**Πακέτο** : Ομάδα από bits που περιλαμβάνει δεδομένα καθώς και πληροφορία ελέγχου. Γενικά αναφέρεται στη μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου του στρώματος δικτύου (OSI στρώμα 3 ).

**Πολυπλεξία** : η διαδικασία επιλογής ενός σήματος μεταξύ των πολλών που εφαρμόζονται στην είσοδο ενός καναλιού.

**Φέρον** : Συνεχής συχνότητα ικανή να διαμορφώνεται ή να επηρεάζεται από ένα δεύτερο σήμα , το οποίο μεταφέρει την πληροφορία.

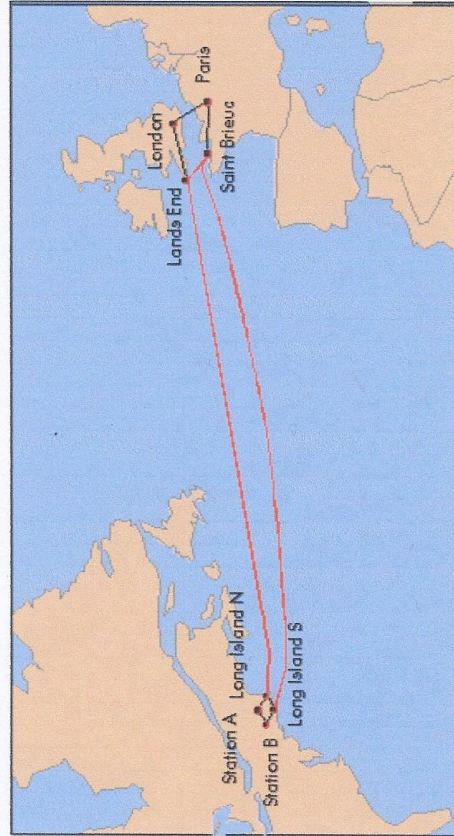
**FTTH** : Το πανόραμα της αγοράς FTTH, το οποίο ενημερώνεται δύο φορές το χρόνο από το IDATE για το συμβούλιο FTTH στην Ευρώπη, καταγράφει τον αριθμό των συνδρομητών σε κάθε χώρα σε όλη την ευρωπαϊκή ήπειρο, και κατατάσσει τις χώρες σύμφωνα με το ποσοστό των σπιτιών που λαμβάνουν άμεση σύνδεση οπτικών ινών. Το πανόραμα συμπεριλαμβάνει τόσο τις οπτικές ίνες στο σπίτι όσο και τις οπτικές ίνες στα κτήρια μια προσέγγιση κατάλληλη για πολυκατοικίες, όπου η υπάρχουσα καλωδίωση του κτηρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει την τελική σύνδεση με τον πελάτη. Για να συμπεριληφθεί μια χώρα στην πανευρωπαϊκή κατάταξη πρέπει τουλάχιστον το 1% των σπιτιών της να είναι συνδεδεμένα με οπτικές ίνες ή τουλάχιστον 200.000 οικίες.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **ΕΙΚΟΝΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ**

## Υπερατλαντικό Καλώδιο FLAG Atlantic-1

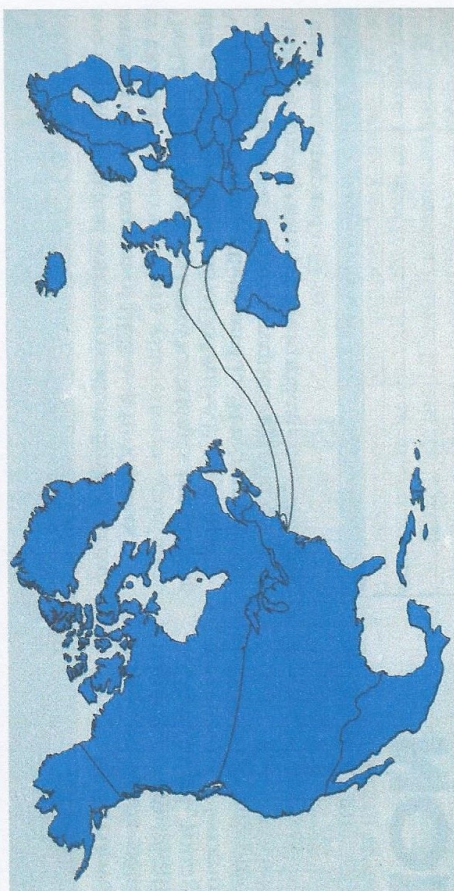
- Ρυθμός σηματοδότησης (Tb/s): 2.4/κατεύθυνση
- Μήκος (km): 6250/κατεύθυνση
- Κόστος κατασκευής (δισ Δολάρια): 1.1
- Χώρες που συνδέονται: ΗΠΑ, Γαλλία, Αγγλία
- Βάση δεδομένων υποβρυχίων καλωδίων (International Cable Protection Committee)
  - <http://iscpc.org>
- Πώς ποντίζεται ένα οπτικό καλώδιο;
  - <http://www.alcatel.com/submarine>







## TAT-12/13 Δίκτυο



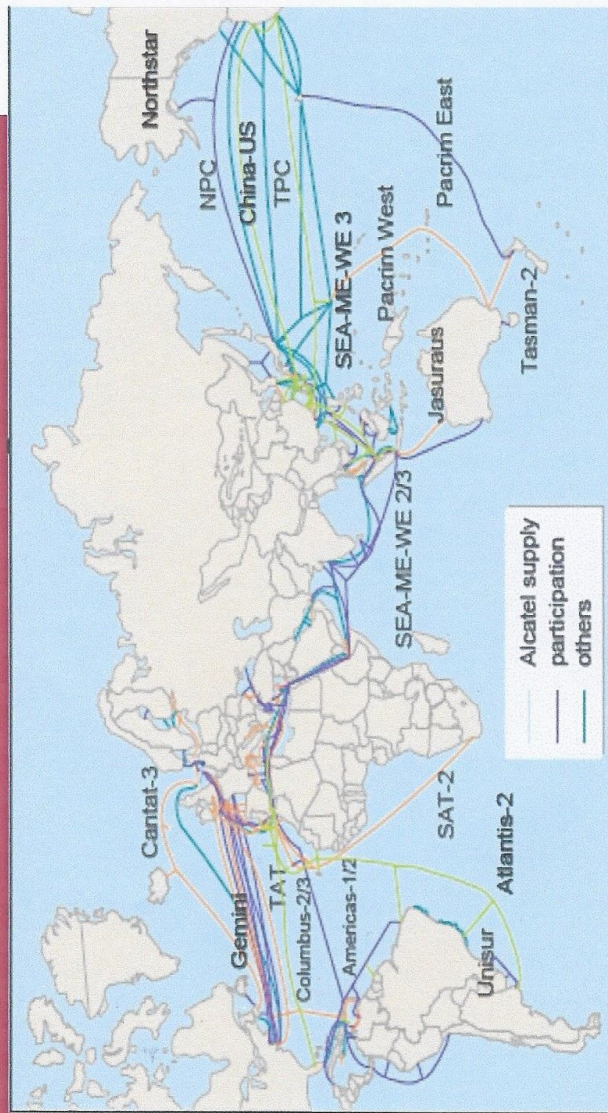
### •Το TAT-12/13 Δίκτυο

- 10 Gbps
- 13000km
- Rhode Island-England 5913 km με 133 επαναλήψεις ανά 45 km.
- Αγγλίας-Γαλλίας, 370 km και περιέχει 4 επαναλήψεις ανά 74 km .
- New York-Rhode Island, 162 km χωρίς επαναλήψεις
- France-New York, 6321 km long με 140 επαναλήψεις ανά 45 km.
- 2 ζεύγη ινών (service-restoration)
- Κάθε ζεύγος: 2xSTM-16 (2x2,5 Gbps)
- Χρόνος ανάκτησης<300 ms
- Λειτουργεί από το 1996
- Κόστος 740.000.000\$





## Το Δίκτυο SEA-ME-WE 3



### Το Δίκτυο SEA-ME-WE 3

- 2.5 Gbps
- Συνολικό μήκος 39000 km
- 92 τηλεπικοινωνιακοί φορείς
- 41 σημεία σύνδεσης σε 35 χώρες
- WDM-SDH δίκτυο-8 κανάλια
- 500 επαναλήπτες
- Κόπιο τμήμα του λειτουργεί από το 1999. Εχει ολοκληρωθεί από 2001





## The Fiberoptic Link Around the Globe



### •The Fiberoptic Link Around the Globe (FLAG)

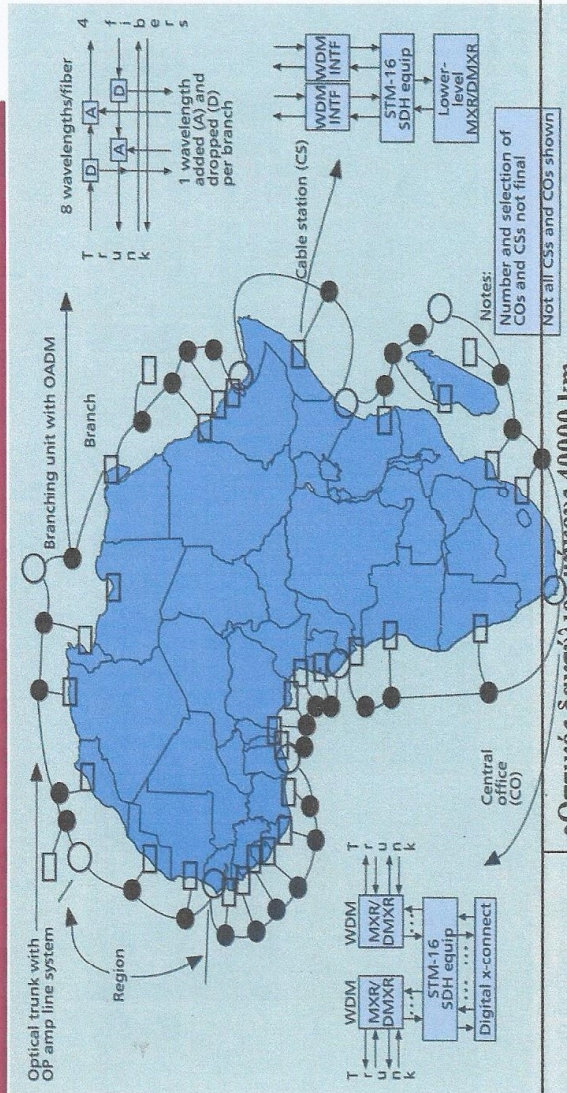
•10 Gbps

- 120,000 ψηφιακά κυκλώματα των 64 Kbps που ενσωματώνουν SDH.
- 5 τμήματα συνολικό μήκος 27,531 km
- 355 οπτικούς ενισχυτές
- Ενώνει 12 χώρες σε 16 σημεία
- 2 ζεύγη ινών
- Κάθε ζεύγος ινών: 32xSTM-1 (5 Gbps)
- Ανάκτηση δικτύου < 50 ms
- Λειτουργεί από το 1997
- Κόστος 1.500.000.000\$





# Africa ONE: Το αφρικανικό οπτικό δίκτυο



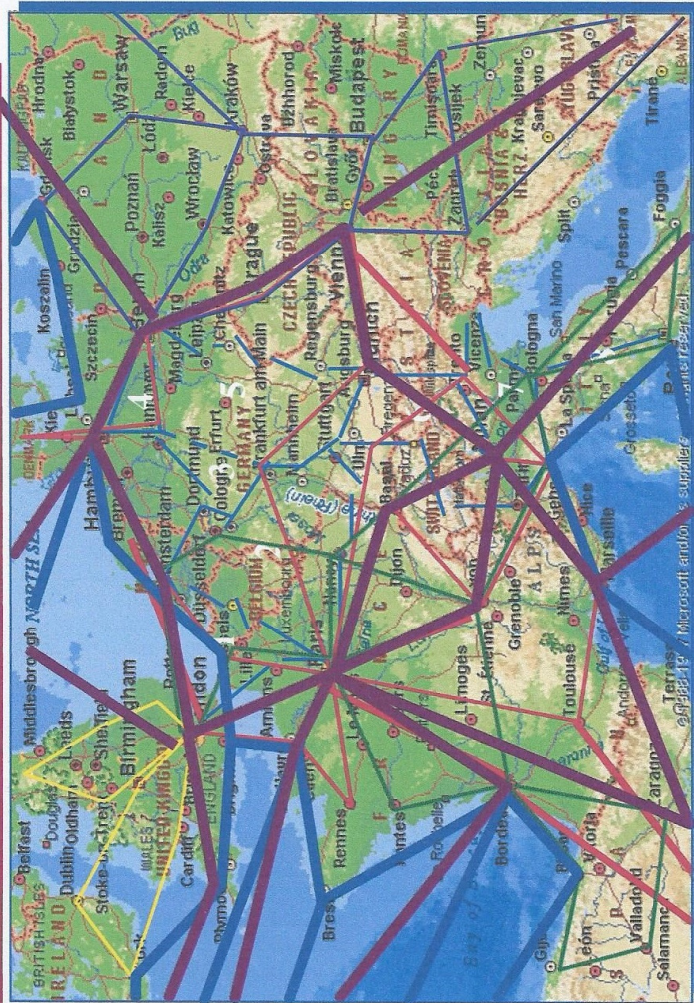
## Africa ONE: Το Αφρικανικό Οπτικό Πεδίο

- Οπτικός δακτύλιος μήκους 40000 km
- 54 σημεία διασύνδεσης
- Χρησιμοποίηση οπτικών ενισχυτών ίνας EDFAs,
- Χρησιμοποιούνται αμφίδρομη μετάδοση με γραμμή ασφάλειας με 8 συνολικά μήκη κύματος. Κάθε ίνα περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα STM-16 (2.5 Gbps).
- Πολυπλεξία WDM - SDH
- 40 Gbps χωρητικότητα ανά περιοχή εκ των οποίων 30 Gbps διατίθεται για κανονικές υπηρεσίες και 10 Gbps για
- Λειτουργεί από το 1999
- Κόστος 2.600.000.000\$





# Το Ευρωπαϊκό Οπτικό Δίκτυο



<p><b>•Πανευρωπαϊκό Δίκτυο Φωτονικών</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Χρησιμοποίηση τεχνολογίας SDH-ATM</li><li>•Πολυπλέξια WDM και επαναχρησιμοποίηση συχνότητων</li></ul>
--	--