



**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών**

4/12/2022

Πολυπύρηνες Οπτικές Ύνες

Αναστάσιος Κακούρος AM: 2597
Φίλιππος Κάτσι AM: 2979
Επιβλέπων Καθηγήτρια Χριστίνα Πολίτη

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Κεφάλαιο 1°.....	4
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.3 Ορισμός και δομή οπτικής ίνας.....	6
1.4 Δομή και λειτουργίες οπτικής ίνας.....	6
1.5 Τύποι οπτικών ινών.....	7
1.6 Βιβλιογραφία.....	10
Κεφάλαιο 2°.....	10
2.1 Η φύση του φωτός.....	10
2.2 Τρόποι μετάδοσης φωτός.....	11
2.3 Οπτικές ίνες.....	12
2.3.1 Εξ' ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες.....	13
2.3.2 Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica-PCS).....	13
2.3.3 Εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες (Plastic Optical Fiber - POF).....	13
2.4 Πολύτροπες Ίνες.....	14
2.4.1 Ίνες βηματικού δείκτη(Stepindex).....	14
2.4.2 Ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης(Graded index).	15
2.5 Μονότροπες Ίνες.....	16
2.6 Λόγοι απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες.....	17
2.6.1 Εξασθένηση.....	17
2.6.2 Διασπορά.....	19
2.6.2.1 Πολύτροπη διασπορά.....	19
2.6.2.2 Χρωματική διασπορά.....	20
2.6.3 Διασπορά υλικού.....	21
2.6.4 Διασπορά κυματοδηγού.....	22
2.6.5 Απορρόφηση.....	22
2.6.6 Η επίδραση του υδρογόνου.....	22
2.7 Φάση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	23
2.8 Βιβλιογραφία.....	23
Κεφάλαιο 3°.....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Τύποι ινών πολλαπλών πυρήνων (MCF).....	24

3.3 Κατηγορίες πολλαπλών πυρήνων (MCF)	24
3.3.1 Μη συνδεδεμένος πυρήνας(Uncoupled)	24
3.3.2 Συζευγμένοι πυρήνες(Coupled)	25
3.4. Τέσσερις (4) πυρήνες MCF	25
3.5. Εφτά (7) πυρήνες MCF	26
3.7. Δεκαεννιά (19) πυρήνες MCF	26
3.8 Βιβλιογραφία.....	27
Κεφάλαιο 4°	27
4.1 Εισαγωγή	27
4.2 Πολυπλεξία διαίρεσης κυμάτων (WDM)	27
4.2.1 Πολυπλεξία χονδροειδούς διαίρεσης κυμάτων (CDWM).....	30
4.2.2 Πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού κύματος (DWDM).....	31
4.2.3 Ζώνες C και L	33
4.3 Πολυπλεξία διαχωρισμού διαστήματος (SDM)	33
4.3.1 Πολυπύρηνες ίνες(MCF).....	34
4.3.2 Ίνες λίγων λειτουργιών(FMF)	35
4.4 Βιβλιογραφία.....	36
Κεφάλαιο 5°	37
5.1 Εισαγωγή	37
5.1.1 MATLAB	37
5.2 Περιγραφή πειράματος.....	38
5.2.1 Δείκτης διάθλασης (Refractive index).....	39
5.2.2 Ένταση (Intensity).....	40
5.2.3 Φάση ηλεκτρομαγνητικού κύματος (Phase).....	41
5.2.4 Απόσταση διάδοσης (Propagation Distance).....	42
5.3 Συμπεράσματα και ευχαριστίες.....	42
5.4 Βιβλιογραφία.....	43

Περίληψη

Οι οπτικές μπηκαν στις ζωές μας αρχικά το 1840 μεχρι που το 1996 οι πρώτες οπτικές ίνες βγαίνουν στην αγορά και να χωρίζονται σε κατηγορίες πλαστικές και γυάλινες. Οι πλαστικές και οι γυάλινες οπτικές ίνες έχουν δύο κοινές υποκατηγορίες: Μονότροπες και τις πολύτροπες. Όπως μπορείτε να καταλάβετε και απο τα ονόματα τους στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ίνες που μια ακτίνα φωτός μέσα τους μεταδίδεται με έναν τρόπο και στη δεύτερη πολλές ακτίνες φωτός μεταδίδονται ταυτόχρονα με διαφορετικούς τρόπους.

Στην εργασία αυτή θα μιλήσουμε για τις πολυπύρηνες οπτικές ίνες. Κάθε οπτική ίνα, σε οποιαδήποτε κατηγορία και αν ανήκει, μπορεί να έχει παραπάνω από έναν πυρήνα. Θα μιλήσουμε για τις υποκατηγορίες που υπάρχουν στις πολυπύρηνες ίνες, για τους λόγους απώλειας σήματος και για τη πολυπλεξία σήματος.

Στα πλαίσια της πτυχιακής μας πραγματοποιήσαμε μια σύνδεση πολυπύρηνης οπτικής ίνας, με στόχο να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά του σήματος καθώς και της οπτικής ίνας. Η προσομοίωση έγινε στο πρόγραμμα Matlab, με τη βοήθεια ενός Open source κώδικα από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας.

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Η ταχύτατη μετάδοση δεδομένων αποτελεί σήμερα μια επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων voiceover IP. Η καλύτερη πρόταση για την κάλυψη των υψηλών σημερινών αναγκών σε bandwidth, δεν είναι άλλη από τη χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες έχουν μπει πλέον στην ζωή μας προσφέροντας μας μεγάλες ταχύτητες πλησιάζοντας αυτή του φωτός, επίσης μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με σχεδόν μηδενικές απώλειες.

1.2 Ιστορική αναδρομή

-Το **1840**, οι Ντάνιελ Κόλαντων και ο Ζάκ Μπαμπινέ σε συνεργασία με τον ιρλανδικό εφευρέτη Τζόν Τίνταλ ανακαλύπτουν πως το φώς μπορεί να καθοδηγείται μέσα από την διάθλαση, δηλαδή η αρχή που καθιστά την οπτική των ινών πιθανή.

-Το **1952**, ο φυσικός Νάριντερ Σίνγκ Κάπανι ύστερα από πειράματα, οδηγήθηκε στην εφεύρεση της οπτικής ίνας, βασισμένη στις μελέτες του Τίνταλ. Η πιο σύγχρονη μορφή όπου η ίνα ύαλου είναι ντυμένη με μια διαφανή επένδυση για να προσφέρει έναν καταλληλότερο δείκτη διάθλασης, εμφανίστηκε αργότερα μέσα στη δεκαετία.

-Το **1956**, το πρώτο οπτικό ημιεύκαμπτο γαστροσκόπιο ινών ήταν ήδη κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από ερευνητές Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν.

-Το **1966**, διαπιστώθηκε ότι οπτικές ίνες από γυαλί ήταν οι καταλληλότεροι κυματοδηγοί φωτεινής ακτινοβολίας

-Το **1970** περίπου, οι Τσάρλς Κ. Κάο και Τζόρτζ Α. Χοκχαμ είχαν σκεφτεί ότι η οπτική ίνα θα μπορούσε να είναι ένα πρακτικό μέσο για την επικοινωνία, εάν η μείωση θα μπορούσε να φτάσει κάτω από 20 DB ανά χιλιόμετρο. Αυτό το επίπεδο μείωσης επιτεύχθηκε το 1970.

-Το **1973**, δημιουργείται από τον Γκέρχαρντ Μπέρντσε Σότ στη Γερμανία η πιο γερή οπτική ίνα (σε μορφή σχεδόν σαν την σημερινή) που χρησιμοποιεί το γυαλί, τον πυρήνα και τη θήκη. Είναι επομένως , λιγότερο επιρρεπής σε διαδικασίες αλλοίωσης.

-Το **1991**, αναδύεται στην παγκόσμια βιομηχανία ο τομέας <<φωτονιακά κρύσταλλα>> και οδηγούμαστε στην ανάπτυξη της φωτονιακής ίνας κρυστάλλου, που καθοδηγεί το φώς με την βοήθεια της διάθλασης από μια περιοδική δομή.

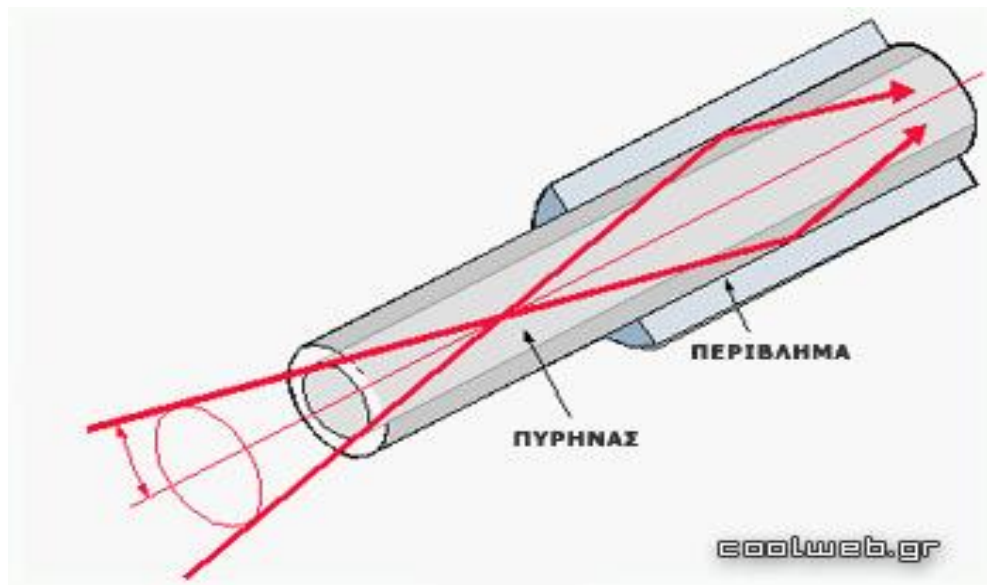
-Τέλος, το **1996** οι πρώτες φωτονιακές ίνες κρυστάλλου γίνονται διαθέσιμες στο εμπόριο.

1.3 Ορισμός και δομή οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, με διάμετρο μικρότερη των 10 μm όπου από μέσα τους μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα υπό μορφή φωτός. Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του 10άδες ή και 100άδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, σε διάμετρο, μικρότερη και από μία τρίχα. Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων μέσω των οπτικών ινών, αφού τα δεδομένα ταξιδεύουν υπό μορφή φωτός, είναι τεράστια(όσο η ταχύτητα του φωτός).

1.4 Δομή και λειτουργίες οπτικής ίνας

Στο ένα άκρο της οπτικής ίνας, υπάρχει ο πομπός και στο άλλο, ο δέκτης. Ο πομπός, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα ενός υπολογιστή, σε ψηφιακά κύματα φωτός. Ο δέκτης, αποκωδικοποιεί τα ψηφιακά κύματα φωτός, σε ψηφιακά δεδομένα. Τα ψηφιακά κύματα φωτός, ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός μέσα από την οπτική ίνα, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της οπτικής ίνας. Οι ανακλάσεις αυτές, γίνονται στα τοιχώματα, σε γωνία μικρότερη των 42 μοιρών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν τα τοιχώματα σαν καθρέφτες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ολική ανάκλαση και είναι η αιτία που τα κύματα φωτός μένουνε μέσα στην οπτική ίνα, συνεχίζοντας το ταξίδι τους μέχρι το άλλο άκρο, χωρίς να βγαίνουν ή να χάνονται έξω από την ίνα. Σε αυτό συνεισφέρει και η δομή της. Το εσωτερικό μέρος της οπτικής ίνας, ονομάζεται πυρήνας και μέσω αυτού, ταξιδεύουν τα κύματα φωτός. Ο πυρήνας, είναι περιτυλιγμένος από μία άλλη στρώση πλαστικού - γυαλιού που ονομάζεται περίβλημα.



Εικόνα 1 – δομή οπτικής ίνας

Το περίβλημα από τις οπτικές ίνες, είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να κρατάει τα κύματα φωτός, με ολικές ανακλάσεις, μέσα στον πυρήνα και να συνεχίζουν το ταξίδι τους μέσω αυτού (του πυρήνα).

Το περίβλημα το πετυχαίνει αυτό, λόγω της διαφορετικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, σε σχέση με το υλικό του πυρήνα.

1.5 Τύποι οπτικών ινών

Υπάρχουν δύο είδη οπτικών ινών:

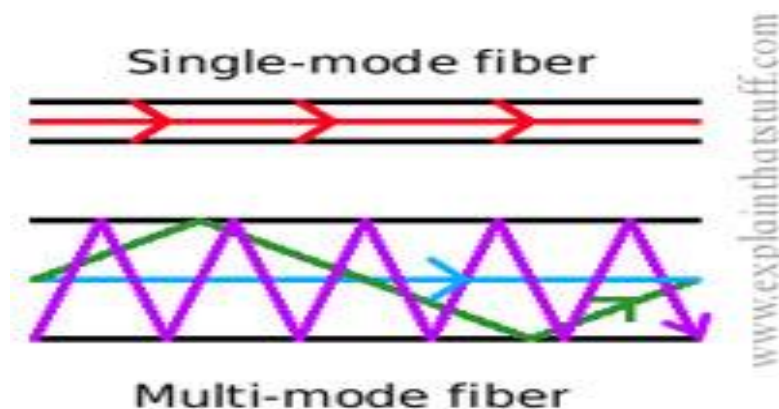
- μονότροπες (απλού τύπου)
- πολύτροπες (πολλαπλού τύπου):
 - Οπτική ίνα διακριτού δείκτη(Stepindex)
 - Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη(Gradedindex)

- **Μονότροπες οπτικές ίνες (single mode fiber optics).**

Στις μονότροπες οπτικές ίνες (απλού τύπου), τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις.

- **Πολύτροπες οπτικές ίνες (Multimode fiber optics).**

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες (πολλαπλού τύπου), είναι πιο "χοντρές" από τις απλού τύπου, αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα, σε ξεχωριστό μονοπάτι, πολλά κύματα φωτός. Το κάθε κύμα φωτός, εισέρχεται στην οπτική ίνα υπο ελαφρώς διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα, και ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα της, μέσω των διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα.



εικόνα 2- μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα

Οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή εξασθένιση του σήματος. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστάσεις, που υπερβαίνουν τα 3Km, ενώ οι μονότροπες οπτικές ίνες μπορούν να υπερβούν τα 10 Km.

Χαρακτηριστικά	Πολύτροπες	Μονότροπες
Διάμετρος πυρήνα	50–100 μm	2–10 μm
Τρόποι Διάδοσης	Εκατοντάδες ή χιλιάδες	Μικρός αριθμός
Ποσοστό εξασθένησης	Υψηλό	Χαμηλό
Ποιότητα διάδοσης παλμών	Χαμηλή (λόγω διασποράς)	Υψηλή
Δυνατότητα σύζευξης	Εύκολη	Δύσκολη
Κόστος αγοράς	Χαμηλό	Υψηλό
Τεχνικές απαιτήσεις	Περιορισμένες	Υψηλές

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα οπτικής ίνας.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χαμηλό κόστος πρώτης ύλης(γυαλί).	είναι πιο ακριβές
Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια.	είναι πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους
Μπορούν να μεταφέρουν τεράστιο όγκο δεδομένων	είναι πιο εύθραυστες

Υψηλή ασφάλεια	δεν μπορούμε να τις λυγίζουμε πολύ, θα πρέπει να τις εγκαθιστούμε με ελαφριά κλίση, γιατί αλλιώς θα έχουμε απώλειες.
Μικρό μέγεθος και βάρος	
Τα δεδομένα που ταξιδεύουν είναι λιγότερο ευάλωτα σε παρεμβολές	
Η μεταφορά των δεδομένων είναι πολύ γρήγορη	
Σχεδόν καθόλου απώλειες δεδομένων	

1.6 Βιβλιογραφία

<https://www.citytec.gr>

<http://opt-fibers.mysch.gr>

<https://coolweb.gr>

<https://el.wikipedia.org>

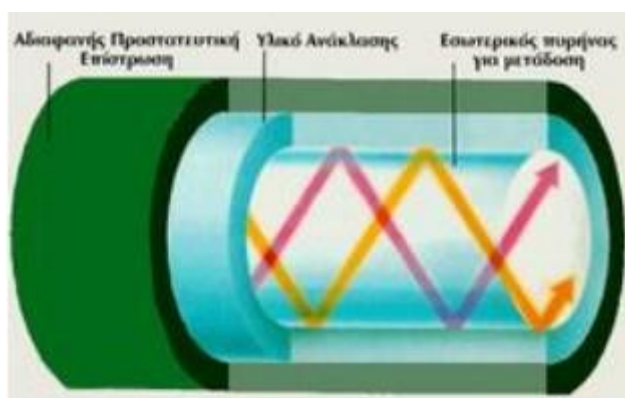
Κεφάλαιο 2^ο

2.1 Η φύση του φωτός

Ήδη από το 16ο -17ο αιώνα το φως θεωρείτο είτε σαν σωματίδιο είτε σαν κύμα- αν και για την εποχή εκείνη τα δύο μοντέλα ήταν ασύμβατα. Τον εικοστό αιώνα έγινε ξεκάθαρο ότι το φως μπορεί να θεωρηθεί είτε σαν κύμα είτε σαν σωματίδιο, αν και δεν ήταν ακριβώς ούτε το ένα ούτε το άλλο ενώ τη λύση τελικά έδωσε η θεωρία της κβαντικής ηλεκτροδυναμικής.

Δύο σημαντικά φαινόμενα, η περίθλαση και η συμβολή του φωτός, απασχόλησαν τους φυσικούς Christian Huygens (Κρίστιαν Χούχενς, 1629-1695) και Tomas Young (Τόμας Γιανγκ, 1773-1829) το 1670 και 1803 αντίστοιχα. Οι Huygens και Young, μέσα από πειραματικές διαδικασίες πάνω στα φαινόμενα αυτά, απέδειξαν ότι το φως έχει κυματική φύση και συγκεκριμένα ότι είναι εγκάρσια κύματα.

Εγκάρσια κύματα είναι εκείνα που κάθε σωματίδιο του μέσου διάδοσης ταλαντεύονται κατά διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία παραδέχεται ότι τα δύο πεδία ηλεκτρικό και μαγνητικό είναι κάθετα μεταξύ τους και προς τη διεύθυνση διάδοσης και κατά συνέπεια ότι το φως είναι ένα εγκάρσιο κύμα.



Εικόνα 4. Τομή οπτικής ίνας(υλικά κατασκευής).

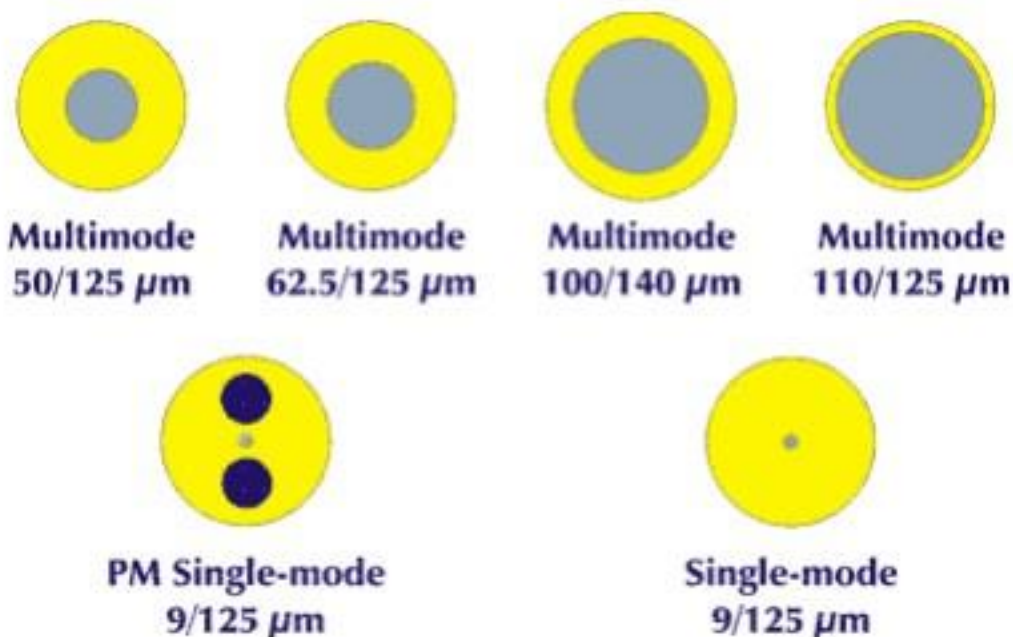
2.2 Τρόποι μετάδοση φωτός.

Ένας ακόμη διαχωρισμός έγκειται στον τρόπο με τον οποίο η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια κατανέμεται μέσα από μια οπτική ίνα. Ο τρόπος μετάδοσης είναι φυσική έννοια, που αναφέρεται στη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από ένα μέσο κυματοδότησης. Στη μαθηματική του μορφή, η θεωρία των τρόπων μετάδοσης προέρχεται από τις εξισώσεις του Maxwell, που αποτελούν τη βάση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Οι τρόποι μετάδοσης αποτελούν λύσεις των εξισώσεων του Maxwell, προσαρμοσμένων σε συνθήκες μετάδοσης οπτικής ακτινοβολίας σε διηλεκτρικό κυματοδηγό κυλινδρικής διατομής. Στην πράξη μια οπτική ίνα μπορεί να υποστηρίξει από 1 έως και 100.000 τρόπους μετάδοσης, ανάλογα με τις διαστάσεις της. Η κατανομή της

ενέργειας στους διάφορους τρόπους μιας πολύτροπης ίνας γίνεται κατά την εισαγωγή του φωτός στην ίνα και εξαρτάται από τις συνοριακές συνθήκες. Ακόμη κι αν κάποιοι τρόποι δε διεγείρονται κατά την εισαγωγή, μετά από κάποιο μήκος μετάδοσης, μικρές κατασκευαστικές ατέλειες της ίνας, καθώς και καμπυλότητες κατά μήκος της διαδρομής, οδηγούν στη διέγερση όλων των δυνατών τρόπων μετάδοσης μέσω φαινομένων οπτικής σύζευξης. Το μήκος αυτό, γνωστό και ως «μήκος υπερπλήρωσης», είναι μερικά μέτρα για πλαστικές ίνες, ενώ για πολύτροπες γυάλινες ίνες φθάνει το ένα χιλιόμετρο .

2.3 Οπτικές ίνες

Ο όρος οπτική ίνα αναφέρεται σε κάθε συσκευή που έχει τη δυνατότητα μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στο ορατό ή κοντά στο ορατό φάσμα συχνοτήτων, κατά μήκος του άξονα της. Οι οπτικές ίνες είναι εξαιρετικά πολύ λεπτά νήματα κατασκευασμένα συνήθως από μεγάλης καθαρότητας γυαλί (διοξείδιο του πυριτίου, SiO_2) σχεδιασμένες να μεταφέρουν το φως από το ένα άκρο τους στο άλλο. Υπάρχει ένας κεντρικός κυλινδρικός πυρήνας (core), μέσα στο οποίο πρέπει να περιοριστεί το οπτικό πεδίο, ο οποίος περιβάλλεται από το μανδύα (cladding) με δείκτη διάθλασης χαμηλότερο από εκείνον του πυρήνα που με τη σειρά του περιβάλλεται από ένα προστατευτικό περίβλημα (jacket).



Μια πρώτη κατηγοριοποίηση στις οπτικές ίνες γίνεται σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους:

- Εξ' ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες
- Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica-PCS)
- Εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες (Plastic Optical Fiber - POF)

2.3.1 Εξ' ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες

Αποτελούν το κυριότερο είδος οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες και ως εκ τούτου θα αποτελέσουν το κύριο αντικείμενο αναφοράς. Τόσο ο πυρήνας, όσο και ο μανδύας, είναι κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί (με το εμπορικό όνομα quartz), υψηλής καθαρότητας σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), στο οποίο έχουν προστεθεί κατάλληλες προσμίξεις, προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διάφορα στο δείκτη διάθλασης πυρήνα και μανδύα.

2.3.2 Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica-PCS)

Χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά φωτός και εικόνας σε μικρές αποστάσεις σε εξειδικευμένες εφαρμογές (ενδοσκοπήσεις). Η χρήση τους σήμερα φθίνει και τείνουν να αντικατασταθούν από εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες.

2.3.3 Εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες (Plastic Optical Fiber - POF)

Συγκρινόμενες με τα άλλα είδη ινών παρουσιάζουν εμφανώς κατώτερες επιδόσεις, ως προς την ελάχιστη εξασθένηση (0,15 dB/m στα 650 nm) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης, καθώς και μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Βρίσκουν όμως εφαρμογή στη μεταφορά φωτός (αυτοκινητοβιομηχανία), σε τοπικά δίκτυα και εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων, κυρίως λόγω του πολύ χαμηλού κόστους.

2.4 Πολύτροπες Ύνες

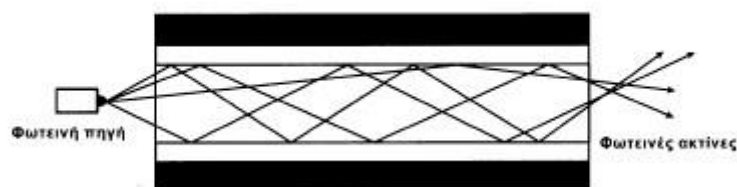
Οι πολύτροπες ίνες υποστηρίζουν περισσότερους του ενός τρόπους μετάδοσης και κατηγοριοποιούνται ως προς την κατανομή του δείκτη διάθλασης σε :

- **Βηματικής μεταβολής (Step index)**
- **Βαθμιαίας μεταβολής (Graded index)**

2.4.1 Ύνες βηματικού δείκτη(Stepindex)

Οι πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης αποτελούν το απλούστερο είδος οπτικής ίνας, έχουν διάμετρο πυρήνα από 100 έως 970 μm και μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου γυάλινες, γυάλινου πυρήνα με πλαστικό μανδύα ή και εξ' ολοκλήρου πλαστικές.

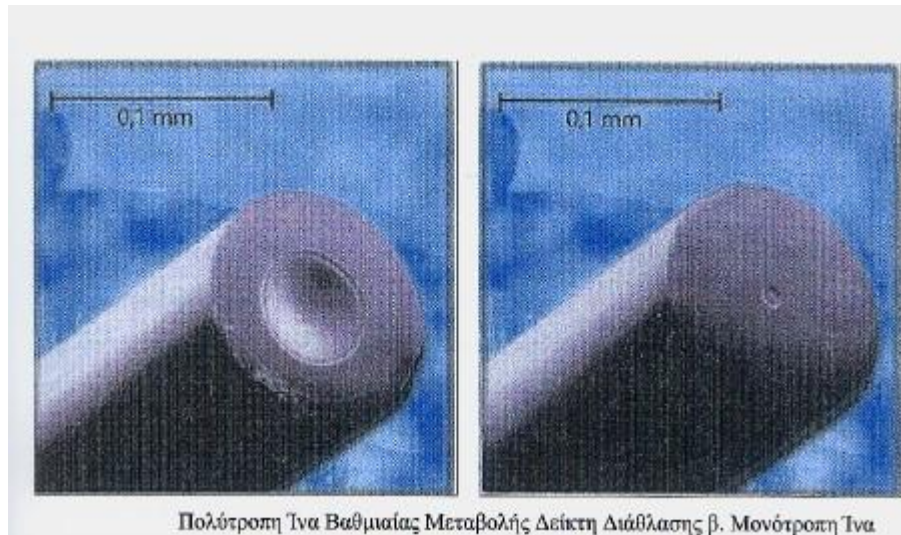
Επειδή κάθε τρόπος μετάδοσης κυματοδηγείται με διαφορετική γωνία ολικής ανάκλασης στην κοινή επιφάνεια πυρήνα/μανδύα, ακολουθεί διαδρομή διαφορετικού μήκους. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος που κινείται κατά μήκος της οπτικής ίνας στο κέντρο του πυρήνα, γνωστός ως βασικός τρόπος, έχει τη μικρότερη διαδρομή, ενώ ο τρόπος με τη μικρότερη γωνία ολικής ανάκλασης τη μεγαλύτερη διαδρομή. Σαν αποτέλεσμα, η μεταφερόμενη από τους διαφορετικούς τρόπους ενέργεια του σήματος πληροφορίας, καταφθάνει στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, προκαλώντας παραμόρφωση του σήματος στο δέκτη, που είναι γνωστή ως διασπορά τρόπου μετάδοσης. Οι πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλασης δεν χρησιμοποιούνται πλέον για μετάδοση δεδομένων και έχουν αντικατασταθεί από πολύτροπες ίνες βαθμιαίας μεταβολής δείκτη διάθλασης .



Εικόνα 4. Οπτική ίνα stepindex

2.4.2 Ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης(Graded index).

Η μείωση της διασποράς σε πολύτροπες ίνες μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ινών βαθμιαίου δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στον μανδύα. Στις ίνες αυτές, ο πυρήνας αποτελείται από ομόκεντρες στρώσεις, με αυξανόμενη προς το κέντρο πυκνότητα νόθευσης που αυξάνει την τιμή του δείκτη διάθλασης όπως βλέπουμε στη παρακάτω εικόνα.

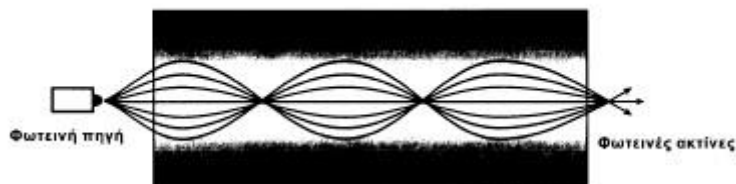


Εικόνα 5. Είδη Ίνας

Οι διάφοροι τρόποι μετάδοσης δεν ακολουθούν ευθύγραμμες διαδρομές εντός του πυρήνα, όπως στις ίνες βηματικής μεταβολής, αλλά καμπύλες, διαθλώμενοι συνεχώς σε κάθε στρώση, μέχρις ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη για την κυματοδήγηση ολική ανάκλαση. Επειδή το φως κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε υλικά με μικρότερο δείκτη διάθλασης, οι τρόποι μετάδοσης, που διέρχονται μακρύτερα από το κέντρο του πυρήνα, καλύπτουν μεν μεγαλύτερη διαδρομή, κινούμενοι όμως γρηγορότερα από άλλους, που διέρχονται κοντύτερα στο κέντρο του πυρήνα, εξισορροπούν κάπως το φαινόμενο της διασποράς τρόπου μετάδοσης.

Οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης χρησιμοποιούνται σήμερα σε καλωδιώσεις τοπικών δικτύων, καθώς και σε δίκτυα δομημένης καλωδίωσης (κυρίως καλωδίωση κορμού). Η διάμετρος του πυρήνα έχει τυποποιηθεί σε 50, 62,5 και σπανιότερα 85 μm , ενώ η διάμετρος του περιβλήματος σε 125 μm . Αν και το κόστος ινών βαθμιαίας μεταβολής δείκτη διάθλασης είναι σήμερα μεγαλύτερο από το κόστος των

μονότροπων ινών, η συνολική εξοικονόμηση, λόγω του χαμηλότερου κόστους των παρελκομένων (πομποδεκτών, συνδέσμων κλπ), καθιστά τη χρήση πολύτροπων ινών οικονομικότερη για καλωδιώσεις μικρού σχετικά μήκους .



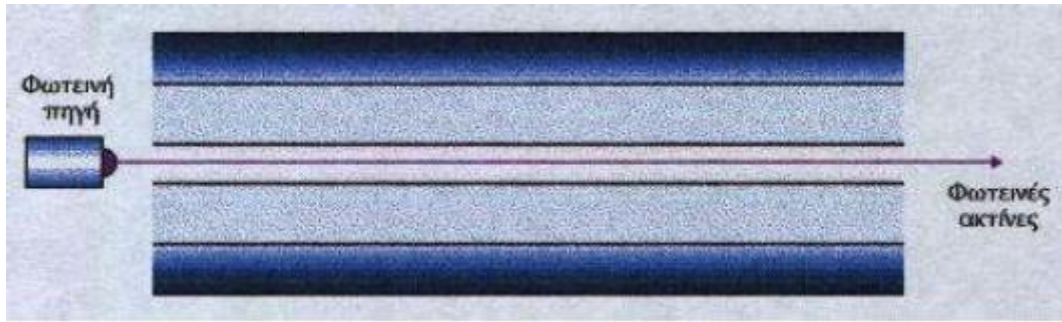
Εικόνα 6. Οπτική Ίνα Gradedindex

2.5 Μονότροπες Ίνες

Στις μονότροπες ίνες, το φως δεν μεταδίδεται με συνεχείς ανακλάσεις στα κοινά τοιχώματα πυρήνα/μανδύα, αλλά κινείται κατά μήκος του πυρήνα. Ο τρόπος αυτός είναι γνωστός σαν βασικός τρόπος μετάδοσης.

Οι μονότροπες ίνες υποστηρίζουν τη μετάδοση μόνο του βασικού τρόπου, μηδενίζοντας έτσι τις επιπτώσεις της διασποράς τρόπου μετάδοσης που εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες. Αυτό επιτυγχάνεται με ελάττωση της διαμέτρου του πυρήνα σε τιμές κάτω των 10 μm , ενώ για λόγους τυποποίησης, η διάμετρος του μανδύα παραμένει στα 125 μm .

Οι μονότροπες οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται σήμερα στις τηλεπικοινωνίες, έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία είτε στα 1300 nm (αστικό δίκτυο) είτε στα 1550 nm (υπεραστικό δίκτυο και υποβρύχιο δίκτυο).



Εικόνα 7. Μονότροπη Ίνα

2.6 Λόγοι απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες.

Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση μεταφοράς σήματος μέσα από παντός τύπου γραμμές, έτσι και στην οπτική ίνα έχουμε απώλεια σήματος. Οι απώλειες αυτές του σήματος οφείλονται κυρίως στους παρακάτω λόγους.

2.6.1 Εξασθένηση

Οι απώλειες εξασθένησης είναι μια λογαριθμική σχέση μεταξύ της εξερχόμενης οπτικής ισχύος και της εισερχόμενης οπτικής ισχύος σε ένα σύστημα οπτικής ίνας. Είναι ένα μέτρο της αποδυνάμωσης της έντασης του σήματος, ή απώλεια της ισχύος του φωτός που συμβαίνει καθώς οι παλμοί του φωτός διαδίδονται κατά μήκος της ίνας. Η αποδυνάμωση κατά μήκος της ίνας είναι εκθετική και μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P(z) = P_0 \exp(-a'z)$$

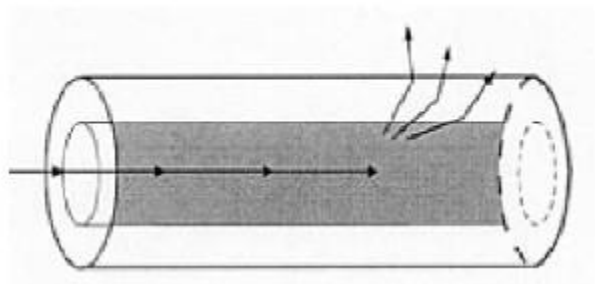
Όπου:

$P(z)$ = η οπτική ισχύς σε απόσταση z από την είσοδο.

P_0 = η οπτική ισχύς στην είσοδο της ίνας.

a' = συντελεστής εξασθένησης της ίνας, [1/km].

Η εξασθένηση στην οπτική ίνα προκαλείται από πολλούς εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Δύο εσωτερικοί παράγοντες είναι η σκέδαση και η απορρόφηση.

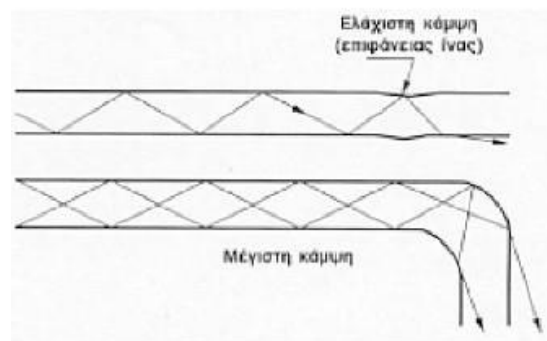


Εικόνα 8. Σκέδαση

Ο πιο κοινός τρόπος σκέδασης, ή *σκέδαση Rayleigh*, προκαλείται από μικροσκοπικές ανομοιομορφίες στην οπτική ίνα. Αυτές οι ανομοιομορφίες αναγκάζουν τις ακτίνες φωτός να διασκορπιστούν κατά ένα μέρος, καθώς μεταδίδονται μέσα στην ίνα, με αποτέλεσμα κάποια ενέργεια φωτός να χάνεται. Η σκέδαση κατά Rayleigh αντιπροσωπεύει τον ισχυρότερο μηχανισμό εξασθένησης στις πιο σύγχρονες οπτικές ίνες, περίπου το 90% της ολικής εξασθένησης μπορεί να αποδοθεί σε αυτόν. Σημαντικό είναι όταν το μέγεθος της σύνθεσης του γυαλιού είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του μήκους κύματος φωτός με το οποίο μεταδίδεται στο γυαλί. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο λιγότερο επηρεάζεται.

Η απορρόφηση μπορεί να προκληθεί από τη μοριακή δομή του υλικού από προσμίξεις στην ίνα, όπως μεταλλικά ιόντα και ιόντα OH- (νερό) και ατομικά σφάλματα όπως ανεπιθύμητα οξειδωμένα μέταλλα στη σύνθεση του γυαλιού. Αυτές οι ακαθαρσίες απορροφούν την οπτική ενέργεια και την μετατρέπουν σε ένα μικρό ποσό θερμότητας. Στα μήκη κύματος 1,25 και 1,39 μm συμβαίνουν οπτικές απώλειες εξαιτίας της παρουσίας ιόντων OH στην ίνα. Πάνω από 1,7 μm μήκος κύματος, το γυαλί αρχίζει να απορροφά ενέργεια φωτός εξαιτίας του μοριακού συντονισμού του μορίου SiO_2 (διοξείδιο του πυριτίου).

Εξωτερικοί παράγοντες εξασθένησης, περιλαμβάνουν παραγόμενες τάσεις καλωδίων, περιβαλλοντολογικές επιδράσεις και φυσικές κάμψεις της ίνας. Οι φυσικές κάμψεις μιας ίνας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στην ελάχιστη κάμψη και στη μέγιστη κάμψη. Η ελάχιστη κάμψη είναι το αποτέλεσμα των μικροσκοπικών ατελειών στη γεωμετρία της ίνας. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να είναι περιστροφικές ασυμμετρίες, αλλαγές στη διάμετρο του πυρήνα, ισχυρά εμπόδια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος αποτέλεσμα της κατασκευής, ή μηχανική τάση, πίεση ή στροφή. Οι μέγιστες κάμψεις αφορούν τις κυρτότητες της ίνας με διαμέτρους της τάξης των cm.



Εικόνα 9. Κάμψη

2.6.2 Διασπορά

Διασπορά είναι ο τεχνικός όρος για τη διεύρυνση των παλμών φωτός, καθώς ταξιδεύουν μέσα στην οπτική ίνα. Η διασπορά περιορίζει το εύρος ζώνης στην οπτική ίνα, ελαττώνοντας την ποσότητα των πληροφοριών που μπορεί να μεταφέρει η ίνα. Υπάρχουν διάφορες φυσικές αιτίες της διασποράς στις ίνες. Οι πιο βασικές είναι:

- Πολύτροπη διασπορά.
- Χρωματική διασπορά.

2.6.2.1 Πολύτροπη διασπορά.

Η πολύτροπη διασπορά περιγράφει τη διεύρυνση του παλμού στις πολύτροπες ίνες που προκαλείται από τους διάφορους τρόπους μετάδοσης, με διαφορετικές ταχύτητες μέσα στην ίνα. Αυτός ο τύπος διασποράς ονομάζεται μερικές φορές διασπορά στον τρόπο επειδή είναι

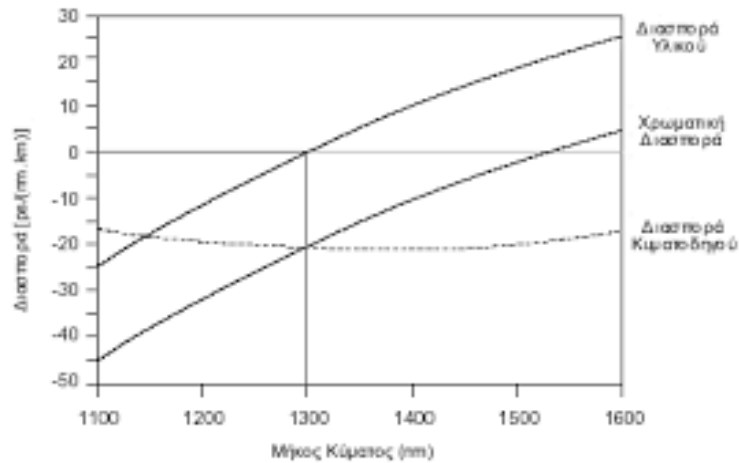
χαρακτηριστικό μόνο μιας πολύτροπης ίνας. Η πολύτροπη διασπορά μπορεί να ελαττωθεί με τρεις τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας ίνα μικρότερης διαμέτρου πυρήνα ώστε να ελαττωθούν οι τρόποι μετάδοσης μέσα από την ίνα.
- Χρησιμοποιώντας ίνα διαβαθμισμένου δείκτη. Όπως αναφέρθηκε, ίνες διαβαθμισμένου δείκτη χρησιμοποιούν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης στην ίνα ώστε όλοι οι τρόποι να φτάνουν στο τέλος της μαζί.
- Χρησιμοποιώντας μονότροπη ίνα. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες αυτή η επιλογή εξαλείφει την πολύτροπη διασπορά.

2.6.2.2 Χρωματική διασπορά

Η χρωματική διασπορά αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι διαφορετικά χρώματα ή μήκη κύματος διάδοσης, μεταδίδονται σε διαφορετικές ταχύτητες ακόμα και στον ίδιο τρόπο. Η χρωματική διασπορά είναι αποτέλεσμα της υλικής διασποράς, κυματοδηγούμενης διασποράς και κατανεμημένης διασποράς. Στην εικόνα 9 παρακάτω φαίνεται η χρωματική διασπορά μαζί με τις άλλες συνιστώσες της κυματοδηγούμενης διασποράς και διασποράς υλικού.

Σε αυτό παράδειγμα, η χρωματική διασπορά μηδενίζεται σε ένα μήκος κύματος κοντά στα 1550nm. Αυτό είναι χαρακτηριστικό ίνας μετατοπισμένης διασποράς. Η κοινή μονότροπη ίνα ή πολύτροπη έχει διασπορά 0 σε μήκος κύματος 1300nm. Σε αυτό το μήκος κύματος, η κυματοδηγούμενη διασπορά είναι μικρή.



Εικόνα 10. Χρωματική διασπορά.

2.6.3 Διασπορά υλικού

Διαφορετικά μήκη κύματος μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες σε μια ίνα, ακόμα με τον ίδιο τρόπο. Ξέρουμε ότι ο δείκτης διάθλασης (n) δίδεται από τη σχέση:

$$n = c/v$$

όπου:

c = η ταχύτητα φωτός στο κενό

v = η ταχύτητα του ίδιου μήκους κύματος στο υλικό.

Κάθε μήκος κύματος μεταδίδεται με διαφορετική ταχύτητα μέσα σ' ένα υλικό. Αυτό αλλάζει τις τιμές v στην εξίσωση για κάθε μήκος κύματος. Η διασπορά που προκαλείται από αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διασπορά υλικού.

Η διασπορά υλικού επηρεάζει αρκετά τις μονότροπες ίνες. Στις πολύτροπες ίνες, η πολύτροπη διασπορά αντικαθιστά την διασπορά υλικού όσο αφορά το αποτέλεσμα που έχει στο σύστημα.

2.6.4 Διασπορά κυματοδηγού

Όσο μικρότερη είναι η συχνότητα του κύματος, τόσο μεγαλύτερο μέρος της ισχύος κυματοδηγείται στο μανδύα. Ανάλογα με τη κατανομή της ισχύος του παλμού που διαδίδεται στο πυρήνα και το μανδύα μεταβάλλεται ο ενεργός δ.δ. που 'βλέπει' ο διαδιδόμενος ρυθμός άρα και η καθυστέρηση του.

2.6.5 Απορρόφηση

Η απορρόφηση φωτός είναι η κύρια αιτία απώλειας οπτικών ινών κατά τη διάρκεια της οπτικής μετάδοσης. Το φως απορροφάται στις ίνες από τα υλικά των οπτικών ινών. Έτσι, η απορρόφηση φωτός σε οπτικές ίνες είναι επίσης γνωστή ως απορρόφηση υλικού. Στην πραγματικότητα η ελαφριά ισχύς απορροφάται και μεταφέρεται σε άλλες μορφές ενέργειας όπως η θερμότητα, λόγω μοριακών συντονισμών και ακαθαρσιών μήκους κύματος. Η ατομική δομή είναι σε οποιοδήποτε καθαρό υλικό και απορροφούν επιλεκτικά μήκη κύματος ακτινοβολίας. Είναι αδύνατη η κατασκευή υλικών που είναι απόλυτα καθαρά. Έτσι, οι κατασκευαστές οπτικών ινών επιλέγουν να κάνουν το γερμάνιο και άλλα υλικά με καθαρό διοξείδιο του πυριτίου για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του πυρήνα οπτικών ινών.

2.6.6 Η επίδραση του υδρογόνου.

Η εμφάνιση του υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από τη χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα, είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στη μεταλλική θωράκιση του καλωδίου. Η έκθεση της οπτικής ίνας σε υδρογόνο, προκαλεί τη διάχυση του υδρογόνου στο υλικό του γυαλιού, μεταβάλλοντας έτσι τη χαρακτηριστική καμπύλη εξασθένησης της ίνας και αυξάνοντας τις απώλειες. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά και είναι της τάξης των 0,15 dB/(Km.Atm) για μήκος κύματος 1550 nm και θερμοκρασία 25C. Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι σημαντικότερες σε υποβρύχιες ζεύξεις όπου το νερό μπορεί να εισχωρήσει σε μεγάλο μήκος του καλωδίου, από μικρούς τραυματισμούς

του εξωτερικού μανδύα και να προκαλέσει καταστροφική για τη ζεύξη αύξηση της συνολικής εξασθένησης.

2.7 Φάση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Συζευγμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και παρουσιάζουν τυπική κυματική συμπεριφορά. Αν τα φορτία ταλαντώνονται περιοδικά οι διαταραχές αυτές είναι κύματα, των οποίων οι ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες είναι κάθετες η μία στην άλλη και κάθετες επίσης προς τη διεύθυνση διάδοσης.

2.8 Βιβλιογραφία

<https://shopdelta.eu>

<https://www.blackbox.co.uk>

<http://dide.zak.sch.gr>

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Εισαγωγή

Οι τεχνολογίες μετάδοσης πολλαπλών πυρήνων ιών (MCF) έχουν μελετηθεί ευρέως ως η απλούστερη μορφή πολυπλεξίας διαχωρισμού διαστήματος (SDM). Υπάρχουν πολλοί τύποι MCF, αλλά το πιο συνηθισμένο είναι το "Uncoupled MCF" όπου κάθε μεμονωμένος πυρήνας θεωρείται ότι είναι μια ανεξάρτητη οπτική διαδρομή. Το βασικό ζήτημα σε αυτά τα συστήματα είναι ο τρόπος καταστολής του διαπυρήνα crosstalk και του μηχανισμού ζεύξης / αποσύνδεσης. Επί του παρόντος, έχουν προταθεί και καταδειχθεί πολλές ποικιλίες MCF, μέθοδοι ζεύξης, τεχνικές συναρμολόγησης και συστήματα μετάδοσης και παρά το γεγονός ότι πολλές από τις τεχνολογίες συστατικών βρίσκονται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης, τα συστήματα MCF διαθέτουν ήδη την ικανότητα για τεράστια χωρητικότητα μετάδοσης.

3.2 Τύποι ινών πολλαπλών πυρήνων (MCF)

Ένας ενιαίος τύπος MCF (SM-MCF) υποστηρίζει μόνο τη λειτουργία LP 01 σε κάθε πυρήνα. Αντίθετα, εάν ένας δεδομένος πυρήνας καθοδηγεί πολλούς τρόπους LP, η ίνα είναι γνωστή ως MCF πολλαπλών τρόπων (MM-MCF). Επιπλέον, ένα MCF που υποστηρίζει μόνο τις πρώτες τρεις ή τέσσερις ομάδες τρόπου LP (LP 01 , LP 11 , LP 21 , LP 02) συνήθως ονομάζεται MCF λίγων τρόπων (FM-MCF)

3.3 Κατηγορίες πολλαπλών πυρήνων (MCF)

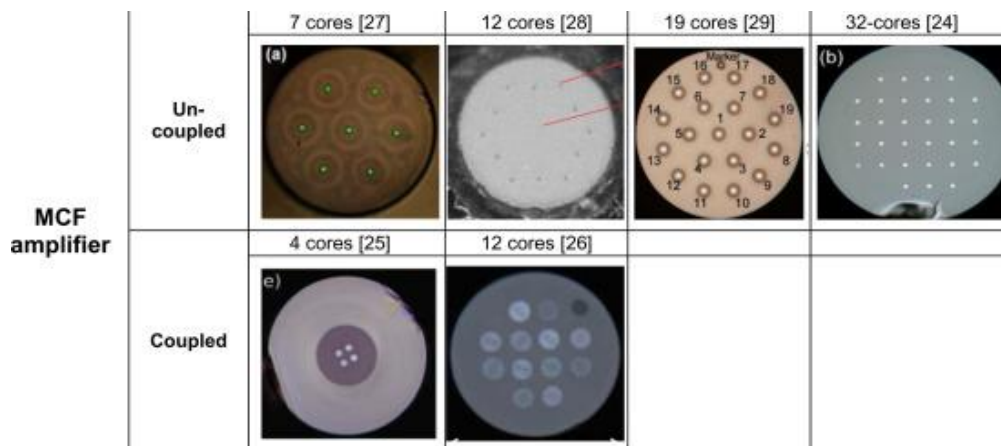
Οι ενισχυτές MCF μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.7 : μη συνδεδεμένος πυρήνας και ζεύγος πυρήνας. Και οι δύο τύποι ινών έχουν πολλαπλούς πυρήνες μέσα σε μία μόνο επένδυση, αλλά είναι διαφορετικοί τύποι MCF με εντελώς διαφορετικές οπτικές ιδιότητες και αρχές μετάδοσης.

3.3.1 Μη συνδεδεμένος πυρήνας(Uncoupled)

Σε συστήματα μετάδοσης MCF χωρίς ζεύξη, το φως διαδίδεται ανεξάρτητα σε κάθε πυρήνα, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ανεξάρτητες διαδρομές οπτικού σήματος. Επομένως, ο χαμηλός συνδυασμός ενδιάμεσων τιμών είναι πολύ σημαντικός σε αυτά τα είδη MCF (και τους σχετικούς ενισχυτές). Έχουν αναφερθεί διάφοροι οπτικοί ενισχυτές μη συνδεδεμένου πυρήνα με διαφορετικές διευθετήσεις πυρήνα (π.χ. εξαγωνικό, τετράγωνοδικτυωτό πλέγμα ή δομή δακτυλίου) και διαφορετικές διαμορφώσεις άντλησης (π.χ., άντληση πυρήνα, επένδυση ή υβριδική). Μέχρι τώρα, ένας ενισχυτής MCF 32 πυρήνων με επένδυση αντιπροσωπεύει την υψηλότερη πυκνότητα πυκνότητας ενισχυτή MCF που έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής.

3.3.2 Συζευγμένοι πυρήνες(Coupled)

Από την άλλη πλευρά, στη συζευγμένη θήκη MCF, κάθε πυρήνας είναι τοποθετημένος αρκετά κοντά ώστε να συνδέεται ισχυρά μεταξύ τους. Σε αυτό το καθεστώς, οι συζευγμένοι πυρήνες μπορούν να δημιουργήσουν συζευγμένους τρόπους κυματοδηγού οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως υπερόδια που ορίζονται από τη σειρά των πυρήνων. Κατά συνέπεια, οι συζευγμένοι πυρήνες MCF απαιτούν γενικά DSP για την ανάκτηση των αρχικών σημάτων εισόδου από τα σήματα εξόδου στο τέλος της γραμμής μετάδοσης. Ομοίως με την περίπτωση των MMF, ο αντίκτυπος οποιασδήποτε απώλειας / κέρδους που εξαρτάται από τη λειτουργία μπορεί να ελαχιστοποιηθεί εγγενώς λόγω της ισχυρής σύζευξης λειτουργίας (ουσιαστικά ένα μέσο αποτέλεσμα).



εικόνα 11. coupled και uncoupled

3.4. Τέσσερις (4) πυρήνες MCF

Ο πρώτος συζευγμένος (4-πυρήνας) πυρήνας MCF αποδείχθηκε χρησιμοποιώντας μια διαμόρφωση με αντλία πυρήνα και έναν συζευγμένο 12-πυρήνα MCF ενισχυτή έχει αναφερθεί πρόσφατα με διαμόρφωση με αντλία επένδυσης.

3.5. Εφτά (7) πυρήνες MCF

Ο πρώτος ενισχυτής MCF για εφαρμογές SDM κυκλοφόρησε το 2011 [ένας ενισχυτής ινών με επικάλυψη erbium 7-πυρήνων (EDFA) [27] με μια εξαγωνική δομή κλειστού πυρήνα]. Αυτό το EDFA χρησιμοποίησε μια διαμόρφωση με αντλία πυρήνα με τους ενεργούς πυρήνες με νάρθηκα ενσωματωμένους με επιτυχία σε ένα μόνο MCF και η συσκευή αποδείχθηκε ότι δίνει εξαιρετική απόδοση ενισχυτή παρόμοια με εκείνη των συμβατικών απλών τρόπων EDFA. Ωστόσο, ένα ζεύγος συσκευών ανεμιστήρα / ανεμιστήρα χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνδεση στα μεμονωμένα SMF και το σύστημα δεν διέφερε πολύ από τον αριθμό των εξαρτημάτων από την περίπτωση των 7 παράλληλων ενισχυτών SMF. Για παράδειγμα, επτά δίοδοι λέιζερ απλής λειτουργίας και 14 απομονωτές / ζεύκτες WDM συμπεριλήφθηκαν για αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα. Ενώ τεχνολογικά εντυπωσιακό, το αποτέλεσμα ίσως δεν ήταν τόσο απροσδόκητο, δεδομένου ότι εκτός από το πολυπύρηνο EDF κάθε κανάλι εκμεταλλεύεται υπερσύγχρονα εξαρτήματα SMF, με κάθε πυρήνα να αντλείται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα ειδικό λέιζερ αντλίας σε ένα ανά κανάλι. Επομένως, τα οφέλη από την προοπτική κόστους ανά bit δεν ήταν απολύτως αυτονόητα για αυτήν την προσέγγιση και μπορούν πραγματικά να πραγματοποιηθούν μόνο με την κοινή χρήση των δαπανηρών συστατικών στοιχείων όπως οι αντλίες-δίοδοι, απομονωτές, φίλτρα, ηλεκτρονικά και μονάδες ελέγχου θερμοκρασίας

3.7. Δεκαεννιά (19) πυρήνες MCF

Οι εργασίες που αφιερώθηκαν στη βελτίωση της κοινής χρήσης συστατικών ξεκίνησαν σε ένα πείραμα ενισχυτή MCF 19 πυρήνων με αντλία πυρήνα [29], όπου μόνο ένας ενσωματωμένος οπτικός απομονωτής και ένας απλός σύνδεσμος WDM χρησιμοποιήθηκαν και για τα 19 χωρικά κανάλια για την καταστολή της διάδοσης του οπίσθιου φωτός και για το συνδυασμό του φωτός λέιζερ της αντλίας με το φως σήματος. Αυτή η επίδειξη παρείχε ένα καλό παράδειγμα ανταλλαγής στοιχείων μεταξύ των πυρήνων ενός ενισχυτή SDM. Ωστόσο, σημειώστε ότι 10 ακριβές δίοδοι απλής λειτουργίας και τρέχοντες οδηγοί χρειάστηκαν να αντλήσουν τους 19 μεμονωμένους πυρήνες σε αυτό το πείραμα.

3.8 Βιβλιογραφία

<https://www.sciencedirect.com>

<https://www.intechopen.com>

<https://www.techbriefs.com>

<https://www.kddi-research.jp>

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Εισαγωγή

Οι οπτικές ίνες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά όλων των παγκόσμιων διαδικτυακών επικοινωνιών. Κάθε μέρα, περισσότερα από 100 exabytes δεδομένων μεταφέρονται μέσω οπτικών ινών. Αυτό είναι το ίδιο με τη μεταφορά ισοδύναμου gigabyte όλων των ταινιών που έχουν γίνει ποτέ, κάθε πέντε λεπτά. Με απλά λόγια, είναι πολλά δεδομένα. Λόγω της βασικής ανθρώπινης επιθυμίας επικοινωνίας, η ζήτηση δεδομένων στο Διαδίκτυο αυξάνεται εκθετικά. Η συνολική ζήτηση δεδομένων στο Διαδίκτυο έχει υπερδιπλασιαστεί τα τελευταία 5 χρόνια. Ωστόσο, υπάρχει ένα θεμελιώδες όριο στο πόσα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν στις τρέχουσες αναπτυσσόμενες οπτικές ίνες μονής λειτουργίας. Αυτό είναι γνωστό ως το μη γραμμικό όριο Shannon. Αυτό το όριο χωρητικότητας έχει επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικά μήκη κύματος, πόλωση και τεχνικές κωδικοποίησης. Σαν αποτέλεσμα, Απαιτούνται νέες τεχνολογίες για την περαιτέρω επέκταση της χωρητικότητας μετάδοσης και την αποφυγή του περιορισμού της χωρητικότητας.

4.2 Πολυπλεξία διαίρεσης κυμάτων (WDM)

Το WDM είναι μια τεχνική μετάδοσης οπτικών ινών για τη χρήση πολλαπλών μηκών κύματος φωτός για την αποστολή δεδομένων μέσω του ίδιου μέσου. Τα πρώιμα συστήματα μετάδοσης οπτικών ινών τοποθετούν πληροφορίες σε σκέλη γυαλιού μέσω απλών παλμών φωτός. Ένα φως ανάβει και σβήνει για να αντιπροσωπεύει ψηφιακά και

μηδενικά. Το πραγματικό φως θα μπορούσε να έχει σχεδόν οποιοδήποτε μήκος κύματος - από περίπου 670 νανόμετρα έως 1550 νανόμετρα. Πολλαπλή διαίρεση μήκους κύματος, ή WDM, είναι μια τεχνική μετάδοσης οπτικών ινών που χρησιμοποιεί πολλαπλά μήκη κύματος φωτός για την αποστολή δεδομένων μέσω του ίδιου μέσου.

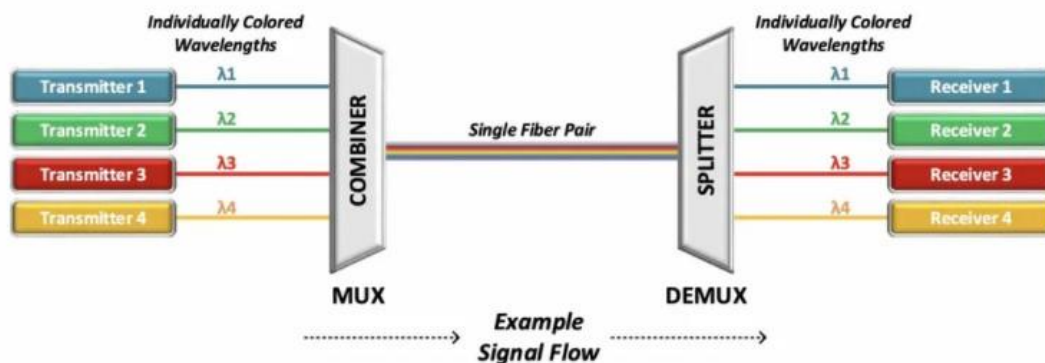
Κατά τη δεκαετία του 1980, τα μόντεμ επικοινωνίας δεδομένων οπτικών ινών χρησιμοποίησαν LED χαμηλού κόστους για να τοποθετήσουν παλμούς πλησίον υπέρυθρων σε χαμηλού κόστους ίνες. Καθώς η ανάγκη για πληροφορίες αυξήθηκε, έτσι και η ανάγκη για εύρος ζώνης. Τα πρώτα συστήματα SONET χρησιμοποιούσαν λέιζερ 1310 νανομέτρων για την παροχή ροών δεδομένων 155 Mb / s σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Αλλά αυτή η ικανότητα εξαντλήθηκε γρήγορα. Με την πάροδο του χρόνου, οι εξελίξεις στα οπτικοηλεκτρονικά εξαρτήματα επέτρεψαν το σχεδιασμό συστημάτων που ταυτόχρονα μεταδίδουν πολλαπλά μήκη κύματος φωτός σε μία μόνο ίνα, αυξάνοντας σημαντικά την ικανότητα των ινών. Έτσι, το WDM γεννήθηκε. Πολλαπλές ροές δεδομένων υψηλού ρυθμού bit 10 Gb / s, 40 Gb / s, 100 Gb / s, 200 Gb / s και πιο πρόσφατα, 400 Gb / s και 800 Gb / s, καθεμία από τις οποίες φέρει ξεχωριστή απόδοση, μπορεί να πολλαπλασιαστεί πάνω από μία ίνα.

Τα δίκτυα WDM χρησιμοποιούν πολλά χρώματα φωτός ή μήκους κύματος, πάνω στην ίδια κοινή διαδρομή (ίνες). Οι οπτικοί πομποί συντονισμένοι σε συγκεκριμένα μήκη κύματος στέλνουν φως σε έναν παθητικό συνδυασμό που ονομάζεται mux (συντόμευση για πολυπλέκτη).

Όλα τα μήκη κύματος ταξιδεύουν κάτω από ένα κοινό ζεύγος ινών και διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας έναν παθητικό διαχωριστή ή αποπολυπλέκτη (ονομάζεται επίσης demux).

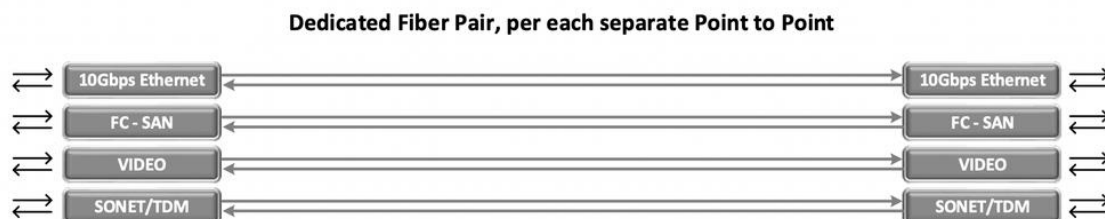
Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τη διαδικασία του πώς ρέουν πολλά σήματα σε ένα δίκτυο WDM. Σε αυτό το παράδειγμα, η ροή σήματος εμφανίζεται για μία κατεύθυνση για λόγους απεικόνισης. Ωστόσο, τα δίκτυα WDM είναι παραδοσιακά αμφίδρομα και επιτρέπουν συνδυασμένα και διαχωρισμένα μήκη κύματος και στις δύο κατευθύνσεις σε ένα ζεύγος ινών.



Εικόνα 12. Πολλαπλή διαίρεση μήκους κύματος (WDM) χρησιμοποιεί πολλαπλά ή μήκη κύματος, πάνω από την ίδια ίνα μετάδοσης. Οι οπτικοί πομποί συντονισμένοι σε συγκεκριμένα μήκη κύματος στέλνουν φως σε έναν παθητικό οπτικό συνδυασμό που ονομάζεται πολυπλέκτης. Όλα τα μήκη κύματος ταξιδεύουν κάτω από την κοινή ίνα και διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας έναν παθητικό οπτικό διαχωριστή που ονομάζεται αποπολυπλέκτης. Τώρα κάθε δέκτης στο άλλο άκρο της ίνας θα μπορεί να λαμβάνει μόνο το δικό του διακριτό σήμα μήκους κύματος.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα μιας λύσης χωρίς WDM, όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλά ζεύγη ειδικών ινών για κάθε ξεχωριστή υπηρεσία και δεν μπορεί να αποσταλεί άλλη κίνηση μέσω της ίνας.

Για αυτόν τον τύπο λύσης, το κόστος εμφάνισης πρόσθετων υπηρεσιών απαιτεί τη χρήση ενός επιπλέον διαθέσιμου ζεύγους ινών, ή πιθανώς πρέπει να μισθώσει ένα επιπλέον ζεύγος κάθε φορά που απαιτείται άλλη υπηρεσία.

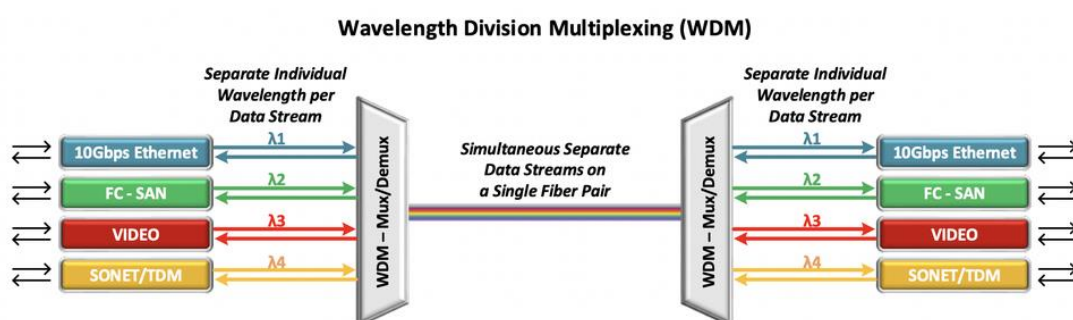


Εικόνα 13: Χωρίς WDM, πολλαπλές υπηρεσίες και ρυθμοί δεδομένων δεν μπορούν να μοιραστούν το ίδιο ζεύγος ινών. Απαιτούνται ειδικά ζεύγη ινών ανά κάθε ξεχωριστό σημείο σε σημείο.

Οι τεχνολογίες WDM επιτρέπουν στους οργανισμούς να τοποθετούν εξοπλισμό και στα δύο άκρα ενός ζεύγους ινών και να συνδυάζουν πολλαπλά κανάλια μήκους κύματος σε ένα ζεύγος ινών αντί να χρησιμοποιούν πολλαπλά ξεχωριστά ζεύγη ινών για κάθε ξεχωριστή υπηρεσία.

Χρησιμοποιώντας είτε την πολυπλεξία χονδροειδούς διαίρεσης κυμάτων (CWDM) είτε την πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού κύματος (DWDM), οι χειριστές μπορούν να συνδυάσουν πολλές διαφορετικές υπηρεσίες σε μία μόνο ίνα εκχωρώντας διαφορετικό χρώμα ή μήκος κύματος σε κάθε υπηρεσία.

Οι πολυπλέκτες χρησιμοποιούνται για να συνδυάσουν όλα αυτά τα μήκη κύματος σε μία μόνο ίνα και οι αποπολυπλέκτες χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τα χρώματα μακρύτερα στο δίκτυο.



Εικόνα 14. Το WDM μπορεί να μεταφέρει πολλά πρωτόκολλα χωρίς να χρειάζεται να τα μετατρέψει σε κοινή μορφή σήματος. Ένα ζεύγος ινών μπορεί να μεταφέρει σχεδόν οτιδήποτε χρειάζεται.

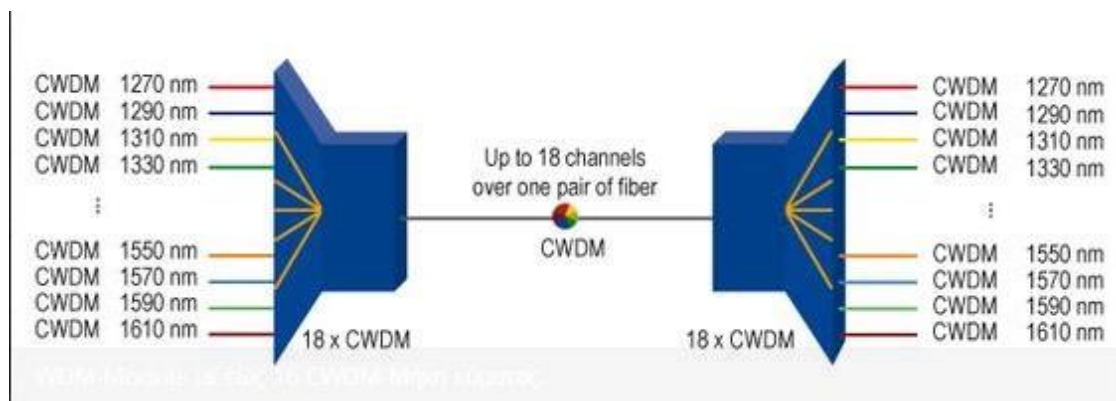
4.2.1 Πολυπλεξία χονδροειδούς διαίρεσης κυμάτων (CDWM)

Το Coarse Division Division Multiplexing (CWDM) είναι μια τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος που χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας, υψηλό εύρος ζώνης και περιοχές με πυκνά σημεία πρόσβασης. Η μετάδοση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας 18 κανάλια με μήκος κύματος μεταξύ 1270 nm και 1610 nm. Λόγω της απόστασης καναλιού των 20 nm μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά λείζερ.

Το CWDM έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους λόγω της χαμηλής κατανάλωσης σε Watt που φτάνει τα 0,5W ισχύος. Το κόστος του συστήματος CWDM καταλαμβάνει μόνο το 30% των εξόδων DWDM.

Ωστόσο, το μειονέκτημα του CWDM είναι ότι τα υποστηριζόμενα μήκη κύματος του είναι περιορισμένα, συνήθως για πέντε ή έξι διαφορετικά μήκη κύματος οπτικού μεταξύ 1270nm και 1610nm με διάστημα 20nm.

- Έως 18 CWDM μήκος κύματος πάνω από ένα ζεύγος ινών
- Απόσταση καναλιού CWDM 20 nm, 1270 nm έως 1610 nm
- Αποστάσεις έως 120 χλμ
- Οικονομική λύση WDM
- Με δυνατότητα κλιμάκωσης από υβριδικό CWDM / DWDM - ιδανική λύση για την επένδυσή σας



Εικόνα 15. Πολυπλεξία χονδροειδούς διαίρεσης κυμάτων (CWDM)

4.2.2 Πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού κύματος (DWDM)

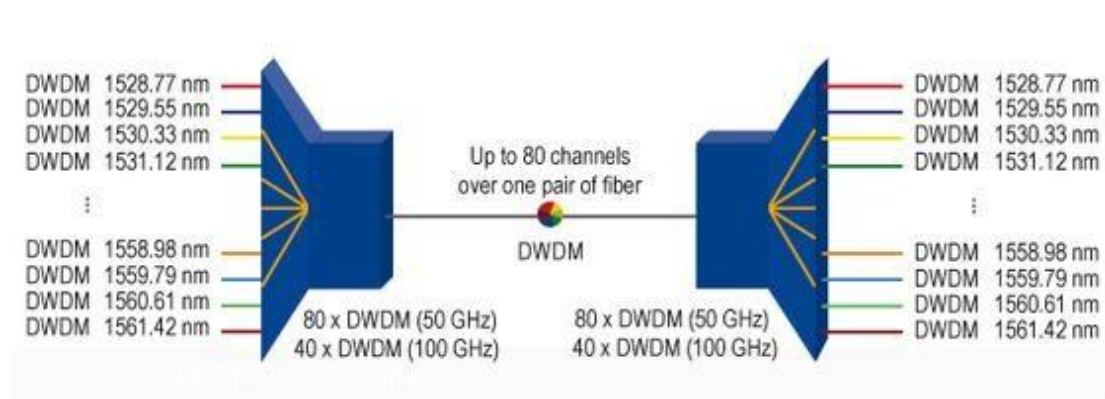
Η πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού μήκους κύματος (DWDM) είναι μια τεχνολογία που συνδυάζει - πολυπλεξία - σήματα δεδομένων από διαφορετικές πηγές, ώστε να μπορούν να μοιράζονται ένα μόνο ζεύγος οπτικών ινών, διατηρώντας παράλληλα τον πλήρη διαχωρισμό των ροών δεδομένων. Κάθε σήμα μεταφέρεται σε ξεχωριστό μήκος κύματος φωτός. Το πυκνό τμήμα του DWDM αναφέρεται στο γεγονός ότι περισσότερα από 80 ξεχωριστά μήκη κύματος, το καθένα περίπου 0,8 πλάτους νανομέτρου (nm), μπορούν να μοιράζονται μία μόνο οπτική ίνα.

Το DWDM επιτρέπει τεράστιες ποσότητες δεδομένων να διασχίζουν έναν μόνο σύνδεσμο δικτύου. Επειδή μεταφέρονται σε διαφορετικά μήκη κύματος, οι ροές - που ονομάζονται επίσης *κανάλια* - δεν παρεμβαίνουν μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, διατηρείται η ακεραιότητα των δεδομένων, καθώς και κάθε διαχωρισμός που σχετίζεται με την ασφάλεια - για παράδειγμα, ξεχωριστοί ενοικιαστές στο ίδιο κέντρο δεδομένων.

Λόγω της ικανότητάς του να χειρίζεται τόσα δεδομένα, το DWDM είναι δημοφιλές στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών και καλωδιακών και αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των βασικών τους δικτύων. Είναι επίσης ενδιαφέρον για όσους εκτελούν πυκνοκατοικημένα κέντρα δεδομένων, ιδιαίτερα παρόχους υπηρεσιών υπέρ κλίμακας cloud για τις υποδομές IaaS ή παρόχους συντοπισμού για τους πυκνούς πολλούς μισθωμένους χώρους τους, για παράδειγμα.

Επί του παρόντος υπάρχει περιορισμός στα μήκη κύματος μεταξύ 1530 nm και 1625 nm που αντιστοιχεί στη ζώνη C και L.

- Έως 96 DWDM μήκος κύματος πάνω από ένα ζεύγος ινών
- Απόσταση καναλιού DWDM 0,8 nm (πλέγμα 100 GHz) ή 0,4 nm (πλέγμα 50 GHz)
- Αποστάσεις άνω των 1.000 km μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση οπτικού ενισχυτή
- Μήκος κύματος DWDM: 1528 nm (κανάλι 61) έως 1563 nm (κανάλι 17)



Εικόνα 16. Πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού κύματος (DWDM)

Επί του παρόντος υπάρχει περιορισμός στα μήκη κύματος μεταξύ 1530 nm και 1625 nm που αντιστοιχεί στη ζώνη C και L.

Channel spacing in GHz	200	100	50	25	12,5
Channel spacing in nm	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1
Number of available channels (C-Band)	22	45	90	180	360
Number of available channels (L-Band)	35	70	140	280	560

Εικόνα 17. Αριθμός διαθέσιμων καναλιών C- band και L-band.

4.2.3 Ζώνες C και L

Η ζώνη C (συμβατική ζώνη) κυμαίνεται από 1530 nm έως 1565nm και αντιπροσωπεύει τη συμβατική ζώνη. Οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν τη χαμηλότερη απώλεια στη ζώνη C και κατέχουν μεγάλο πλεονέκτημα στα συστήματα μετάδοσης μεγάλων αποστάσεων. Χρησιμοποιείται συνήθως σε πολλές μητροπολιτικές περιοχές σε συνδυασμό με συστήματα οπτικής μετάδοσης WDM, υπεραστικών, υπεραστικών και υποβρυχίων και τεχνολογία EDFA. Καθώς η απόσταση μετάδοσης μεγαλώνει και χρησιμοποιούνται ενισχυτές οπτικών ινών αντί για επαναλήπτες οπτικών προς ηλεκτρονικών-οπτικών, η ζώνη C γίνεται όλο και πιο σημαντική. Με την έλευση του DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) που επιτρέπει σε πολλά σήματα να μοιράζονται μία μόνο ίνα, η χρήση της ζώνης C έχει επεκταθεί.

Η ζώνη L (ζώνη μεγάλου μήκους κύματος, 1565-1625nm) είναι η δεύτερη ζώνη μήκους κύματος χαμηλότερης απώλειας και χρησιμοποιείται συχνά όταν η ζώνη C δεν επαρκεί για την κάλυψη των απαιτήσεων εύρους ζώνης. Με την ευρεία διαθεσιμότητα ενισχυτών ινών b-doped (EDFAs), τα συστήματα DWDM έχουν επεκταθεί προς τα πάνω στη ζώνη L και αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την επέκταση της χωρητικότητας των επίγειων οπτικών δικτύων DWDM. Τώρα, έχει εισαχθεί στους υποθαλάσσιους χειριστές καλωδίων να κάνουν το ίδιο πράγμα - να επεκτείνει τη συνολική χωρητικότητα των υποβρυχίων καλωδίων.

4.3 Πολυπλεξία διαχωρισμού διαστήματος (SDM)

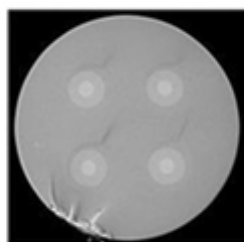
Το Space Division Multiplexing (SDM) διακρίνεται ως η τεχνολογία που επιτρέπει την υπέρβαση αυτών των ορίων και θα παραδώσει τα οπτικά δίκτυα του αύριο. Χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα διάφορα σχήματα φωτός σε μια οπτική ίνα πολλαπλών τρόπων σαν να ήταν ανεξάρτητα κανάλια, το SDM επιτρέπει την αύξηση του εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες. Ωστόσο, η δημιουργία και η πολυπλεξία πολυάριθμων σχημάτων φωτός παραμένει περίπλοκη. Οι τρέχοντες πολυπλέκτες έχουν έναν αυστηρά περιορισμένο αριθμό λειτουργιών, προκαλούν σημαντικές απώλειες και δεν είναι επίσης πολύ επιλεκτικοί κατά τρόπο λειτουργίας - όλα αυτά καθιστούν την ψηφιακή επεξεργασία

του λαμβανόμενου σήματος πολύ πιο περίπλοκη. Υπάρχουν δυο τύποι ινών SDM: Πολυπύρηνες ίνες(MCF) και Ίνες λίγων λειτουργιών(FMF).

4.3.1 Πολυπύρηνες ίνες(MCF)

Ίνες πολλαπλών πυρήνων (MCFs), όπου η χωρητικότητα πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των πυρήνων που υπάρχουν στην ίνα. Η λειτουργία ζεύξης που ονομάζεται mode crosstalk είναι ένα σημαντικό και θεμελιώδες εμπόδιο για την SDM μετάδοση, η οποία είναι αναπόφευκτη μετά από διάδοση μεγάλων αποστάσεων εντός ατελών ινών. Ένας σημαντικός λόγος που κάνει το MCF ισχυρό υποψήφιο για μετάδοση SDM υψηλής χωρητικότητας είναι ότι η λειτουργία crosstalk διατηρείται αρκετά χαμηλό στα MCFs, ώστε να μην προκαλεί αισθητό θόρυβο ακόμη και μετά από μετάδοση εκατοντάδων ή χιλιάδων χιλιομέτρων. Το MCF έχει χρησιμοποιηθεί στο λέιζερ ινών για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά μόνο τα τελευταία χρόνια, το MCF έχει εισαχθεί στην οπτική μετάδοση λόγω της υψηλής χωρικής πυκνότητας με χαμηλή απώλεια και χαμηλό crosstalk. Για κάθε ένα πυρήνα των MCF, εξακολουθεί να εφαρμόζεται η κατάσταση μίας λειτουργίας.

Το επίπεδο crosstalk καθορίζεται από την απόσταση από πυρήνα προς πυρήνα, τον δείκτη πυρήνα και την ακτίνα, καθώς και το προφίλ ευρετηρίου επένδυσης. Η πυκνότητα του πυρήνα κυριαρχείται από την απόσταση από τον πυρήνα προς τον πυρήνα (ονομάζεται βήμα).



Εικόνα 18. Πολυπύρηνη ίνα(MCF)

4.3.2 Ίνες λίγων λειτουργιών(FMF)

Few-Mode Fibers (FMFs), όπου η χωρητικότητα πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των λειτουργιών που υποστηρίζονται από τις ίνες. Το σύστημα μετάδοσης MDM χρησιμοποιεί τους περιορισμένους ορθογώνιους τρόπους σε λίγες ίνες λειτουργίας (FMF) ως ανεξάρτητα κανάλια για τη διεξαγωγή μετάδοσης πληροφοριών προκειμένου να πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα μετάδοσης του συστήματος. Οι λίγες οπτικές ίνες λειτουργίας χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους στις ίνες ως νέο βαθμό ελευθερίας, η απόδοση του φάσματος του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί με επιτυχία από το FMF. Καθώς το FMF έχει περιοχές πεδίου μεγάλης λειτουργίας, η μη γραμμική ανοχή του είναι πάντα καλύτερη από αυτή του SMF. Δεν βελτιώνει μόνο την ικανότητα του οπτικού συστήματος μετάδοσης, αλλά και αποφεύγει τα μη γραμμικά αποτελέσματα. Το σύστημα MDM που βασίζεται σε FMF μπορεί να λύσει τη μελλοντική κρίση εύρους ζώνης ινών μονής λειτουργίας

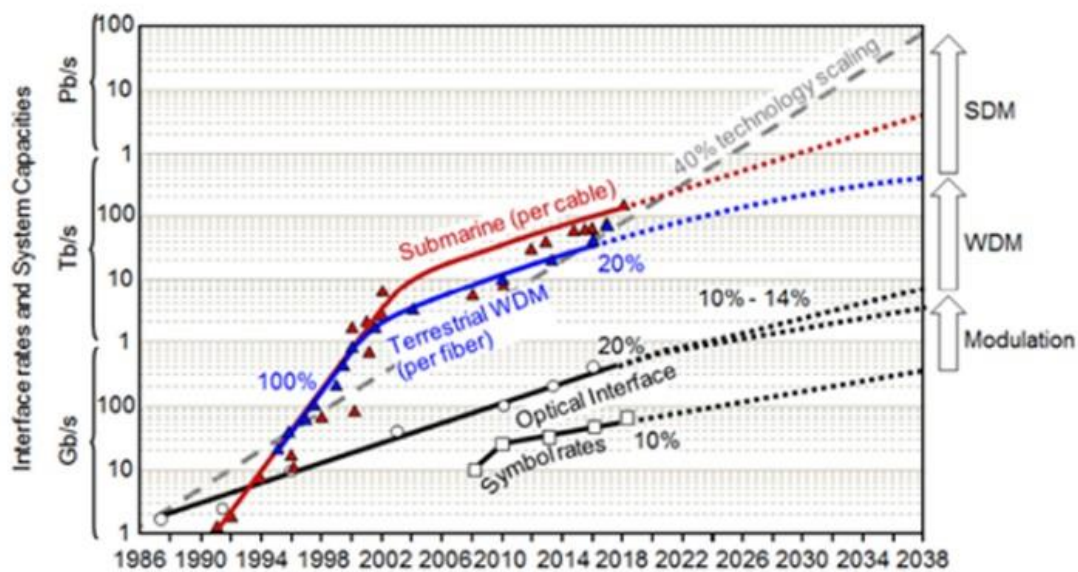


Εικόνα 19. Ίνααλίγων λειτουργιών(FMF)

Τα FMF έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των MCF. Στα FMF, ο αριθμός των λειτουργιών μπορεί να κλιμακωθεί έως και 100, διατηρώντας παράλληλα μια τυπική διάμετρο επένδυσης 125 μm και, ως εκ τούτου, υψηλή πυκνότητα. Τα FMF είναι ίνες ενός πυρήνα που μπορούν να κατασκευαστούν με τυποποιημένες διαδικασίες κατασκευής, οι οποίες επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Συγκριτικά, ο αριθμός των πυρήνων στα MCF περιορίζεται σε περίπου τέσσερις με τυπική διάμετρο επένδυσης 125 μm .

Τα MCF κατασκευάζονται με μη τυποποιημένες διαδικασίες που είναι δαπανηρές και δεν προσαρμόζονται στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Το πλεονέκτημα των MCFs, ωστόσο, είναι ότι το crosstalk μεταξύ χωρικών καναλιών είναι πολύ χαμηλότερο από ό, τι στα FMF. Σε εφαρμογές μικρής εμβέλειας, όπως DCI (έως και 10s km), αυτό το φαινόμενο που δημιουργείται με απόσταση μπορεί να περιοριστεί. Αυτό δεν ισχύει για εφαρμογές μεγάλης εμβέλειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το SDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από την πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM). Αυτό επιτρέπει σε μία μόνο ίνα να μεταφέρει πολλαπλά σήματα ή υπηρεσίες που μεταδίδονται σε διαφορετικά μήκη κύματος χωρίς να παρεμβαίνει μεταξύ τους. Η SDM μπορεί όχι μόνο να φέρει το επόμενο σημαντικό βήμα στην χωρητικότητα ανά ίνα, αλλά αναμένεται επίσης να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και να επιτρέψει σημαντικά χαμηλότερο κόστος ανά bit.



Εικόνα 20. Άνοδος SDM

4.4 Βιβλιογραφία

<http://repository.library.teiwest.gr>

<https://www.cailabs.com>
<https://www.ciena.com>
<https://www.wwt.com>
<https://medium.com>
<https://www.pandacomdirekt.com>
<https://searchnetworking.techtarget.com>
<https://www.pandacomdirekt.com>
<https://www.thunder-link.com>
<https://www.prysmiangroup.com>

Κεφάλαιο 5^ο

5.1 Εισαγωγή

Έχοντας λοιπόν μελετήσει και αναλύσει τις μονότροπες, πολύτροπες, μονοπύρηνες και πολυπύρηνες οπτικές ίνες θελήσαμε να πραγματοποιήσουμε μια προσομοίωση σύνδεσης οπτικής ίνας. Το πείραμα αυτό σχετίζεται με την απόδοση του φωτός στην οπτική ίνα από πομπό σε δέκτη. Στόχος μας, η παρατήρηση της οπτικής ίνας όσον αφορά την απόδοση της σχετικά με την απόσταση που διανύει. Έγιναν διάφορες δοκιμές μεταβάλλοντας τιμές μεταβλητών S βγάζοντας έτσι συμπεράσματα όσον αφορά τη μετάδοση πληροφορίας με μέσο το φως.

Η προσομοίωση γίνεται στο πρόγραμμα Matlab με τη χρήση διαγραμμάτων όπως θα δείτε σε εικόνες που ακολουθούν. Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε open source κώδικας Δανών καθηγητών καθώς είχαν σχεδιάσει κάτι παρόμοιο. (ΝΑ ΚΑΝΟΥΜΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΔΑΝΩΝ)

5.1.1 MATLAB

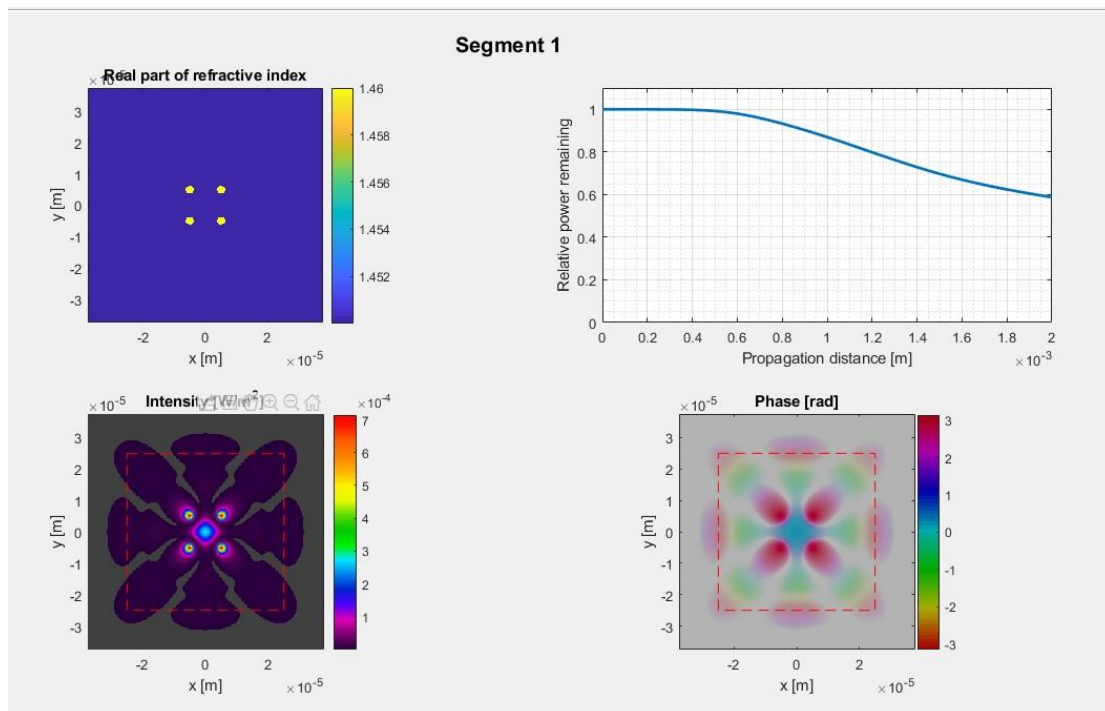
Το Matlab είναι ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και προγραμματιστικής γλώσσας. Χρησιμοποιείται για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων καθώς και για προγραμματισμό. Το Matlab μέσα από διάφορες εντολές παρέχει τη δυνατότητα εμφάνισης

διαγραμμάτων κάτι το οποίο χρησιμοποιήσαμε για τη παρατήρηση της έντασης (I), της φάσης (φ), την ισχύ (P) και το δείκτη διάθλασης (n).

5.2 Περιγραφή πειράματος

Στο πείραμα μας προσομοιώνεται μια σύνδεση μεταξύ πομπού και δέκτη. Ο στόχος του πειράματος είναι η παρατήρηση της έντασης του φωτός που διαπερνά την οπτική ίνα. Ο πομπός μεταδίδει ένα φως σε μία μονότροπη πολυπύρηνη οπτική ίνα μήκους 0,002 μέτρα. Η οπτική ίνα αποτελείται από τέσσερις (4) πυρήνες επομένως αυτό τη καθιστά σε μία οπτική πολυπύρηνη ίνα. Ο κάθε πυρήνας ξεχωριστά δέχεται φως με την ίδια ένταση.

Στα παρακάτω σχήματα βλέπουμε τα αποτελέσματα από την αναπαράσταση της σύνδεσης.



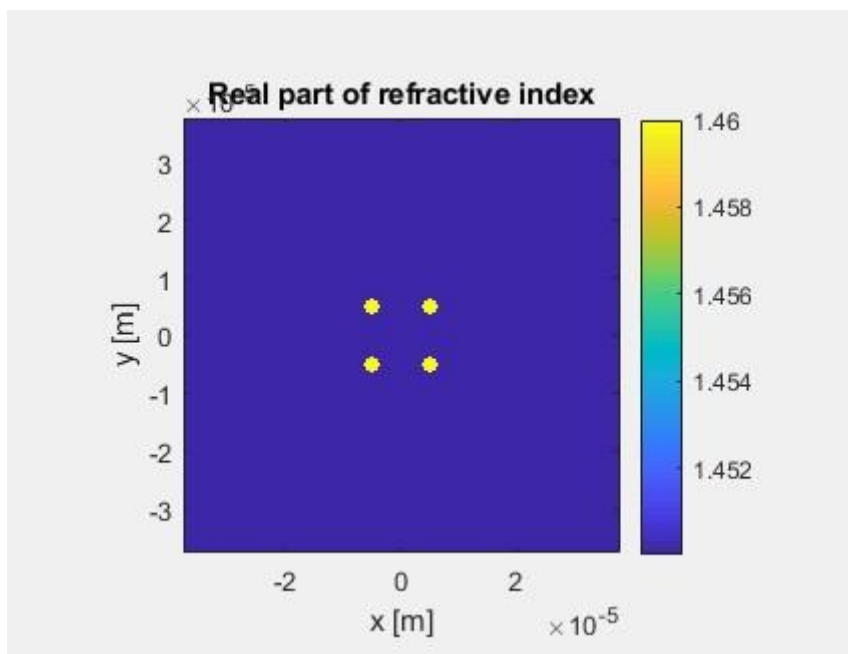
Εικόνα 21. Αποτελέσματα από το πείραμα σε πρόγραμμα Matlab

Στα παραπάνω σχήματα βλέπουμε το Δείκτη διάθλασης, την απόσταση διάδοσης, την ένταση και τη φάση. Σε συνέχεια της έκθεσης μας θα λάβετε πληροφορίες σχετικά με κάθε διάγραμμα.

5.2.1 Δείκτης διάθλασης (Refractive index)

Δείκτης διάθλασης (refractive index) ονομάζεται ο συντελεστής που δείχνει το πόσο εύκολα διαδίδεται το φως μέσα σε κάποιο συγκεκριμένο μέσο. Έχοντας λοιπόν ως μέτρο σύγκρισης τη ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό, η οποία είναι και η μέγιστη δυνατή, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\text{ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό}}{\text{ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο μέσο}}$$



Εικόνα 22. Δείκτης διάθλασης οπτικής ίνας

Στο σχήμα(να βάλουμε τον αριθμό του) βλέπουμε το δείκτη διάθλασης της οπτικής μας ίνας.

Το κίτρινο χρώμα δείχνει τους πυρήνες από τους οποίους αποτελείται η ίνα. Όπως μπορείτε να διακρίνετε και εσείς, υπάρχουν τέσσερις (4) πυρήνες επομένως η ίνας μας θεωρείται πολυπύρηνη οπτική ίνα. Οι θέσεις των πυρήνων παραμένουν σταθερές. Σε άλλες περιπτώσεις το καλώδιο μπορεί να περιστρέφεται κάτι που κάνει τους πυρήνες να

κάνουν μια κυκλική κίνηση χωρίς όμως αυτό να έχει κάποια επίπτωση στην απόδοση της.

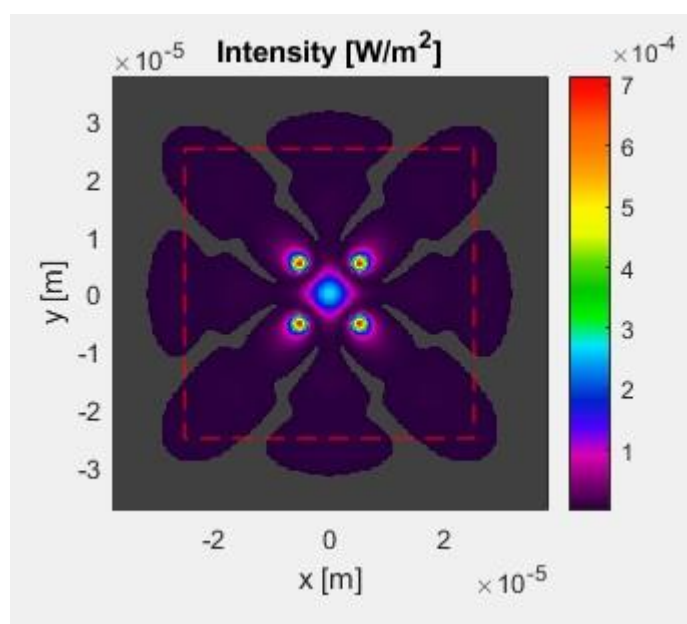
5.2.2 Ένταση (Intensity)

Ένταση ονομάζεται το φυσικό μέγεθος που ορίζει ροή ενέργειας μέσα από μία επιφάνεια σε συγκεκριμένο χρόνο. Είναι το βασικό μέγεθος της κυματικής (κλάδος Φυσικής) στην οποία αναφέρεται και ως Ένταση κύματος. Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι η καντέλα ή κηρίο (cd). Το κηρίο ή καντέλα χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης για μία φωτεινή πηγή. Η μαθηματική σχέση που ορίζει την ένταση είναι η παρακάτω:

$$I = \frac{P}{dS} \quad \text{ή} \quad I = \frac{E}{dSdt}$$

(Όπου I συμβολίζει την ένταση, P συμβολίζει την ισχύ, S συμβολίζει την επιφάνεια και το t συμβολίζει το χρόνο)

Το παρακάτω σχήμα εικόνα 23 είναι ένα από τα γραφήματα τα οποία παράχθηκαν έπειτα από την εκτέλεση του πειράματός μας.



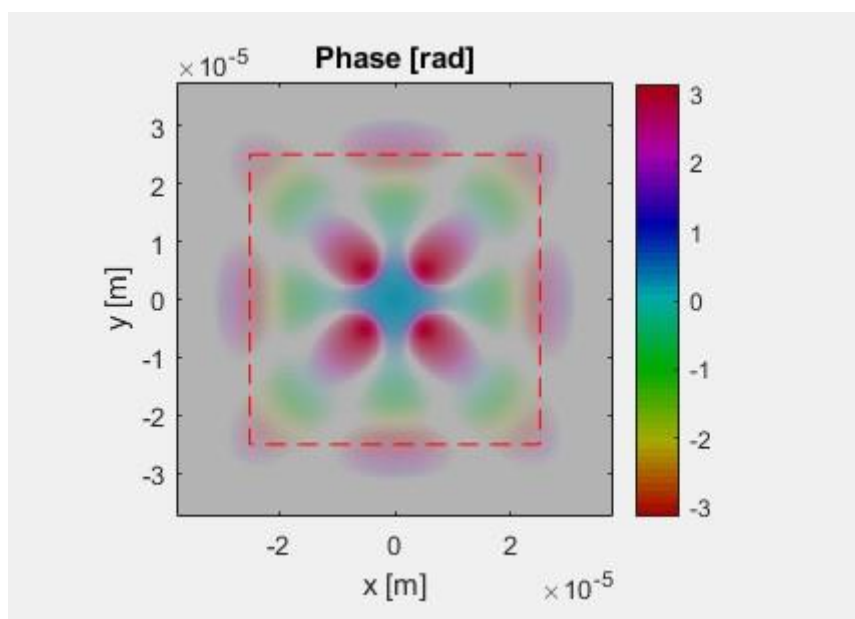
Εικόνα 23. Ένταση οπτικής ίνας

Όπως μπορείτε να καταλάβετε και από το τίτλο του γραφήματος μας δείχνει την ένταση που υπάρχει μέσα στην οπτική ίνα. Καθόλη τη διάρκεια μετάδοσης του φωτός μέσα από τους πυρήνες παρατηρήθηκε

πως η ένταση σε κάθε πυρήνα είναι μεταβαλλόμενη ενώ παρατηρήθηκε πως στο κέντρο της οπτικής ίνας, υπάρχει μια μικρή ένταση σε σχέση με τους πυρήνες.

5.2.3 Φάση ηλεκτρομαγνητικού κύματος (Phase)

Συζευγμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και παρουσιάζουν τυπική κυματική συμπεριφορά. Αν τα φορτία ταλαντώνονται περιοδικά οι διαταραχές αυτές είναι κύματα, των οποίων οι ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες είναι κάθετες η μία στην άλλη και κάθετες επίσης προς τη διεύθυνση διάδοσης.



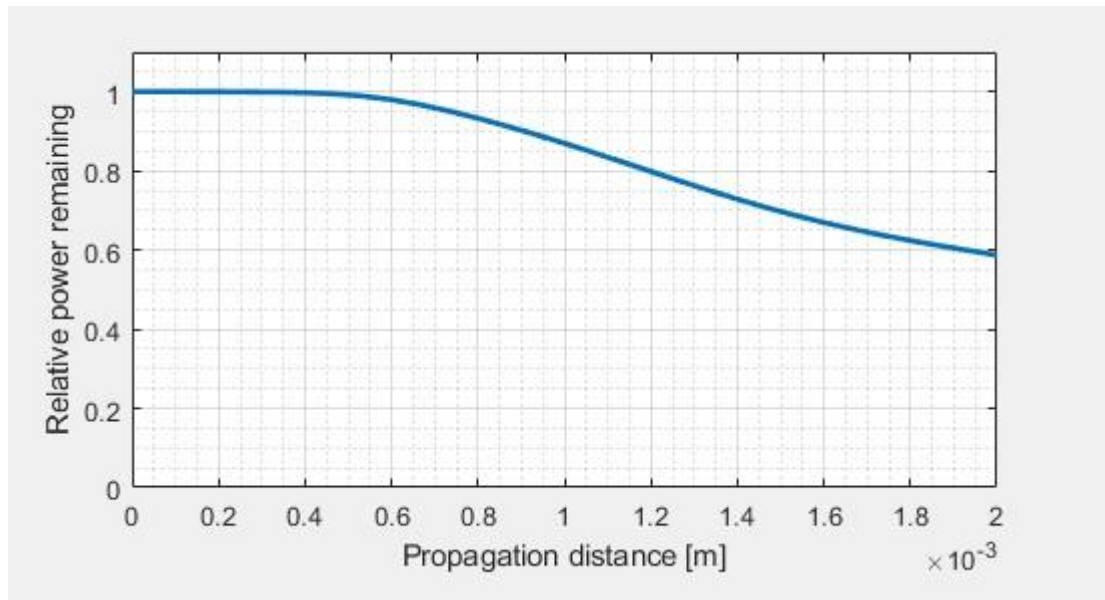
Εικόνα 24. Φάση οπτικής ίνας

Όπως και στην ένταση (βλ. Προηγούμενη ενότητα), έτσι και η φάση είναι μεταβαλλόμενη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η εικόνα(νούμερο εικόνας) είναι ένα στιγμιότυπο από το γράφημα της φάσης. Παρατηρούμε πως στα τέσσερα (4) σημεία όπου βρίσκονται οι πυρήνες πραγματοποιείται η μεταβολή της φάσης.

5.2.4 Απόσταση διάδοσης (Propagation Distance)

Στις οπτικές ίνες, η διάδοση του φωτός γίνεται λόγω της εσωτερικής ανάκλασης. Όταν το φως πέφτει στο ένα άκρο της ίνας τότε το φως διαθλάται. Η διαθλασμένη ακτίνα φωτός πέφτει στην επιφάνεια που χωρίζει την ίνα και επικαλύπτει μια γωνία η οποία είναι μεγαλύτερη από τη κρίσιμη γωνία.

Κρίσιμη γωνία (Critical angle) στις οπτικές ίνες, είναι η μεγαλύτερη γωνία στην οποία μια ακτίνα φωτός, που ταξιδεύει στο κενό, μπορεί να χτυπήσει το όριο μεταξύ του μέσου και του δεύτερου χαμηλότερου δείκτη διάθλασης χωρίς να ανακλάται πλήρως στο πρώτο μέσο.



Εικόνα 25. Μέγιστη απόσταση διάδοσης

5.3 Συμπεράσματα και ευχαριστίες

Για αρχή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους κύριους (να βαλουμε τους καθηγητές που ειχαμε το κωδικα) για τον Open source κώδικα το οποίο παρέχουν στην ιστοσελίδα (την ιστοσελιδα). Χάρη στο κώδικα τους καταφέραμε να προσομοιώσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τη σύνδεση μιας πολυπύρηνης μονότροπης οπτικής ίνας με τέσσερις (4) πυρήνες.

Δυστυχώς η απόσταση στην οποία γίνεται η διάδοση της πληροφορίας είναι πολύ μικρή, 0,002 μέτρα για την ακρίβεια, καθώς ο κώδικας δεν μας επέτρεπε να αυξήσουμε την ένταση του φωτός. Παρόλαυτα, το πείραμα μας έτρεξε με επιτυχία και καταφέραμε να καταλάβουμε αρκετά σχετικά με τη διάδοση πληροφορίας μέσα από οπτικές ίνες. Όπως αναφέρεται και πιο πάνω στην ενότητα 5.2.2 η ένταση μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του πειράματος διότι το φως που διαπερνά τους πυρήνες της οπτικής ίνας, θα πρέπει να τους σκεφτούμε ως ένα κύμα.

Έγινε προσπάθεια παραμετροποίησης του κώδικα για να έχουμε μεγαλύτερη απόσταση διάδοσης χωρίς επιτυχία δυστυχώς. Μπορούσαμε να μεγαλώσουμε το γράφημα, να μας δείχνει δηλαδή μεγαλύτερη απόσταση, όμως δεν μπορέσαμε να αυξήσουμε την ένταση του φωτός. Θα μπορούσε κανείς να πει πως αυτό είναι μία πρόταση βελτίωσης στους κατόχους αυτού του κώδικα, να μας δίνεται δηλαδή η δυνατότητα αύξησης έντασης.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τη κα. Χριστίνα Πολίτη για την υπομονή και τη στήριξη που μας παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας μας. Παρόλο το φόρτο εργασίας της και τα πολλά μαθήματα που διδάσκει, πάντα έβρισκε χρόνο μέσα στη μέρα της να απαντήσει στα μηνύματα μας και να μας δώσει λύσεις. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές (τους δανους με το κωδικα), που μας βοήθησαν στο πειραματικό κομμάτι. Ασχέτως αν ήμασταν γνωστοί ή άγνωστοι για εκείνους μπήκαν στο κόπο να απαντήσουν στα ερωτηματικά μας και να μας δώσουν λύση σε ένα κομβικό σημείο της εργασίας μας.

5.4 Βιβλιογραφία

<https://www.vedantu.com>

<https://www.britannica.com>

<https://forums.whirlpool.net.au>

<https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>