

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Ενότητα 3: Εισαγωγή στα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

e-mail: louta@uowm.gr

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Μέσα Μετάδοσης (1/66)

- **Μέσα Μετάδοσης** : Αποτελούν το φυσικό δρόμο μεταξύ του πομπού και του δέκτη σε ένα οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνιών. Μπορούμε να αναφερόμαστε στα μέσα μετάδοσης και ως κανάλια ή δίαυλοι επικοινωνίας
- Κατηγορίες Μέσων Μετάδοσης :
 - Κατευθυνόμενα / Καθοδηγούμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Παρέχουν ένα φυσικό μονοπάτι κατά μήκος του οποίου τα σήματα διαδίδονται
 - Παραδείγματα Κατευθυνόμενων Μέσων Μετάδοσης αποτελούν τα Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων, τα Ομοαξονικά Καλώδια, οι Οπτικές Ίνες
 - Μη Κατευθυνόμενα / Καθοδηγούμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Η διάδοση των σημάτων γίνεται στην ατμόσφαιρα ή στο κενό
 - Η επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη αναφέρεται και ως ασύρματη διάδοση
- Και στις δύο κατηγορίες μέσων μετάδοσης, η επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη λαμβάνει χώρα υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

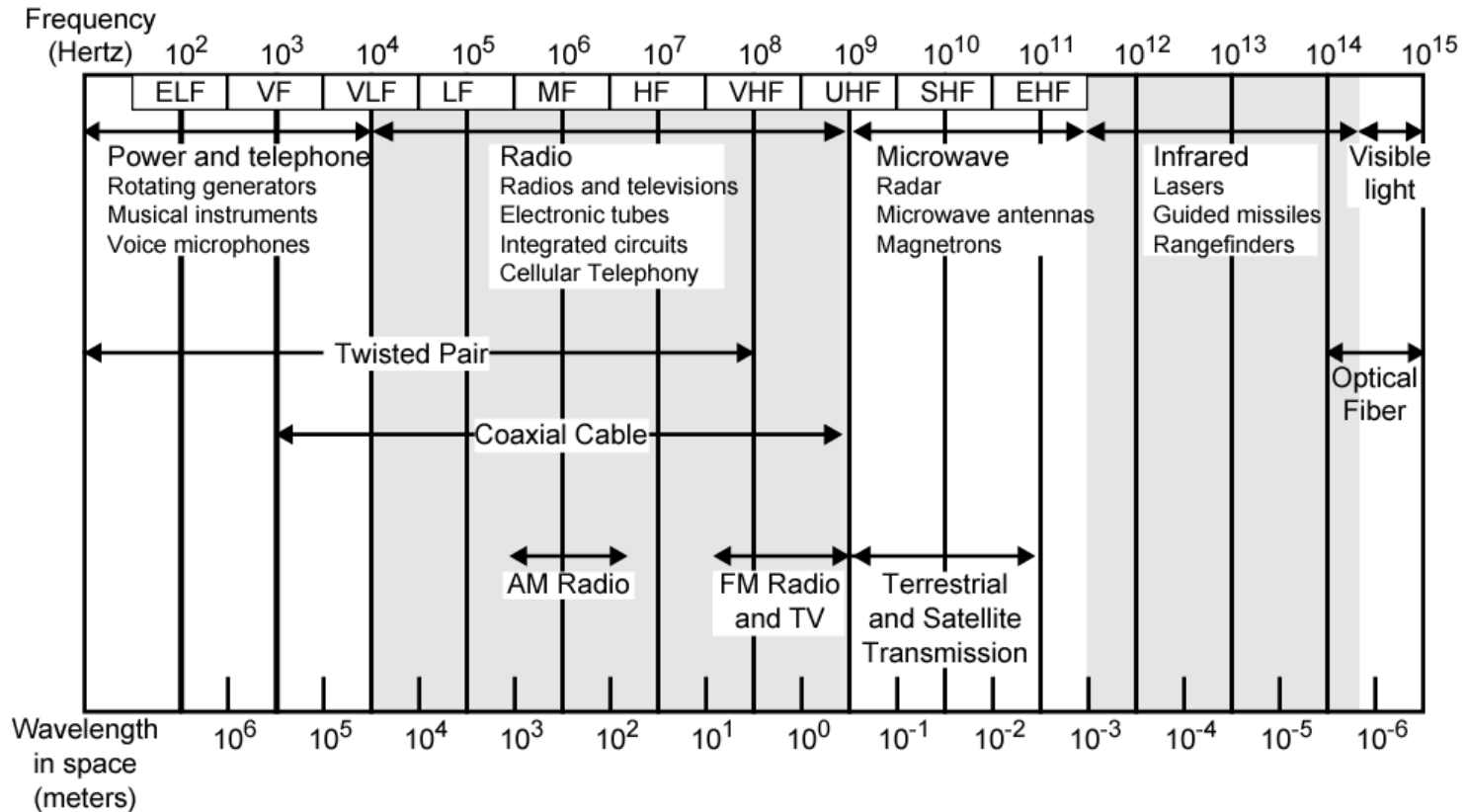


Μέσα Μετάδοσης (2/66)

- Χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - Συχνότητα (*frequency*) f : ο αριθμός των ταλαντώσεων ενός κύματος στο δευτερόλεπτο
 - Μήκος Κύματος (*wavelength*), λ : η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικά μέγιστα ή ελάχιστα
 - Ισχύει η σχέση $\lambda = u/f$, όπου u είναι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων.
 - Στο κενό, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα, ανεξάρτητα από τη συχνότητά τους. Η ταχύτητα αυτή είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$. Αποτελεί το απόλυτο όριο ταχύτητας
 - Στο χαλκό και στις οπτικές ίνες η ταχύτητα διάδοσης του σήματος είναι τα $2/3$ της ταχύτητας του φωτός. Επίσης, υπάρχει μία μικρή εξάρτηση από τη συχνότητα



Μέσα Μετάδοσης (3/66)



ELF = Extremely low frequency MF = Medium frequency UHF = Ultrahigh frequency
 VF = Voice frequency HF = High frequency SHF = Superhigh frequency
 VLF = Very low frequency VHF = Very high frequency EHF = Extremely high frequency
 LF = Low frequency



Μέσα Μετάδοσης (4/66)

- Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και η χρήση του στις Τηλεπικοινωνίες
 - Τα μέρη του φάσματος που καταλαμβάνονται από ραδιοκύματα (10^4 - 10^9 Hz), μικροκύματα (10^9 - 10^{11} Hz), υπέρυθρο (10^{11} - 10^{14} Hz) και ορατό φως (10^{14} - 10^{15} Hz) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση πληροφοριών με διαμόρφωση πλάτους, συχνότητας ή φάσης
 - Οι υπεριώδεις, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμα θα ήταν ακόμη καλύτερες (λόγω των υψηλότερων συχνοτήτων) είναι όμως δύσκολες στην παραγωγή και στη διαμόρφωση, δεν διαδίδονται τόσο καλά μέσα από τα κτίρια και είναι επικίνδυνες για τους ζώντες οργανισμούς
 - Όσο ευρύτερη είναι η ζώνη συχνοτήτων τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει η ζώνη



Μέσα Μετάδοσης (5/66)

- Η ποιότητα μίας μετάδοσης δεδομένων καθορίζεται από τα ακόλουθα:
 - Εύρος ζώνης του σήματος
 - Εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης
 - Εκπεμπόμενη Ισχύς του Σήματος
 - Μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης για το οποίο δεν απαιτείται η χρήση ενισχυτών / επαναληπτών
 - Ευαισθησία στο θόρυβο
 - Ευκολία χρήσης του μέσου μετάδοσης
 - Ασφάλεια



Μέσα Μετάδοσης (6/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ο σημαντικότερος παράγοντας περιορισμού είναι το μέσο μετάδοσης
 - Η χωρητικότητα διαύλου επικοινωνίας εξαρτάται από το εάν το μέσο χρησιμοποιείται για μία ζεύξη επικοινωνίας σημείου προς σημείο ή για μία πολυσημειακή ζεύξη, καθώς και από το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης για το οποίο δεν απαιτείται η χρήση ενισχυτών.
 - Στην περίπτωση πολυσημειακής ζεύξης, κάθε επιπρόσθετη σύνδεση εισάγει κάποια εξασθένηση και παραμόρφωση στη γραμμή, περιορίζοντας την απόσταση μετάδοσης, αλλά και το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ο σημαντικότερος παράγοντας περιορισμού είναι το σήμα (ισχύς του εκπεμπόμενου σήματος και η φασματική του περιγραφή)
 - Ασύρματη Διάδοση: τα σήματα χαμηλών συχνοτήτων (π.χ., συστήματα κινητών επικοινωνιών) είναι πανκατευθυντικά (*omni-directional*), δηλαδή το σήμα διαδίδεται από την κεραία προς όλες τις κατευθύνσεις. Στις υψηλότερες συχνότητες τα σήματα είναι δυνατόν να εστιασθούν σε μία στενή κατευθυντική δέσμη



Μέσα Μετάδοσης (7/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων
 - Αποτελείται από δύο μονωμένα σύρματα χαλκού, τα οποία συστρέφονται μεταξύ τους. Ένα ζεύγος αγωγών δημιουργεί μία ζεύξη επικοινωνίας.
 - Συνήθως, ένας αριθμός από τέτοια ζεύγη τοποθετούνται μαζί, καλύπτονται από προστατευτικό περίβλημα και αποτελούν ένα καλώδιο.
 - Το καλώδιο ενός ζεύγους έχει πάχος που κυμαίνεται από 0,4 έως 0,9 mm.
 - Για μεγάλες αποστάσεις, τα καλώδια μπορεί να περιλαμβάνουν εκατοντάδες συνεστραμμένα ζεύγη
 - Η συστροφή τείνει να μειώσει την παρεμβολή συνακρόασης. Δύο παράλληλα σύρματα δημιουργούν μία πολύ καλή κεραία. Τα κύματα από τις διάφορες περιστροφές ακυρώνονται μεταξύ τους, οπότε το σύρμα ακτινοβολεί λιγότερο.
 - Τα γειτονικά ζεύγη έχουν συνήθως διαφορετικό μήκος συστροφής για τη μείωση της συνακρόασης



Μέσα Μετάδοσης (8/66)

- Separately insulated
- Twisted together
- Often "bundled" into cables
- Usually installed in building during construction



(a) Twisted pair

Συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων

Μέσα Μετάδοσης (9/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων
 - Η πιο συνηθισμένη χρήση του συνεστραμμένου ζεύγους χάλκινων καλωδίων είναι το τηλεφωνικό σύστημα
 - Η πλειοψηφία των τηλεφώνων συνδέονται στα τηλεφωνικά κέντρα μέσω καλωδίου συνεστραμμένων ζευγών
 - Τα συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση είτε αναλογικών είτε ψηφιακών σημάτων
 - Για τη μετάδοση αναλογικών σημάτων απαιτείται η χρήση ενισχυτών κάθε 5-6 Km, ενώ για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων απαιτείται η χρήση επαναληπτών κάθε 2-3 Km.

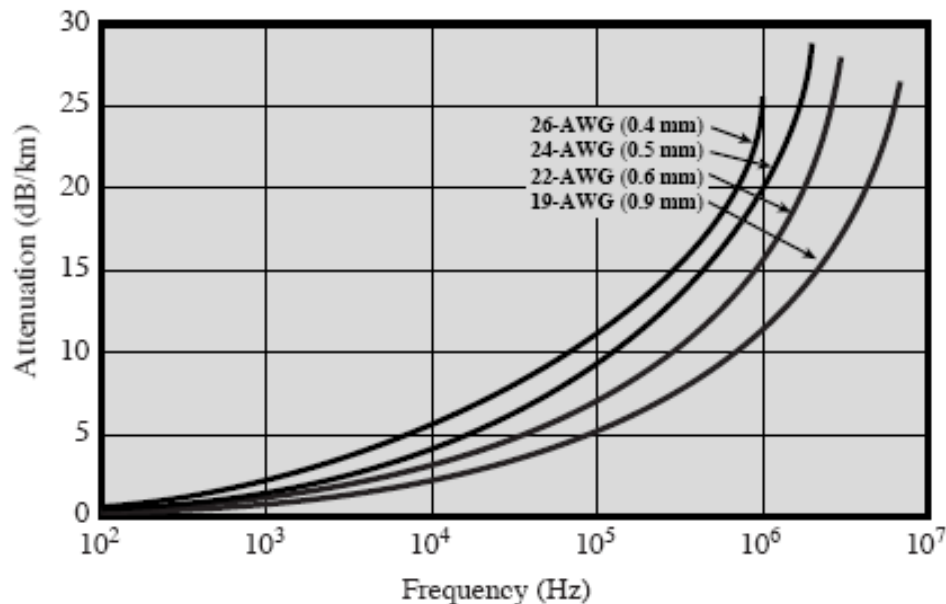


Μέσα Μετάδοσης (10/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων
 - Το εύρος ζώνης εξαρτάται από το πάχος και τη γενικότερη κατασκευή του σύρματος
 - Σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί είναι *100 Mbps* ή και *1 Gbps*. Στην τελευταία περίπτωση τίθεται περιορισμός όσον αφορά τον αριθμό των διασυνδεόμενων συσκευών και της απόστασης τοποθέτησης των συσκευών
 - Η εξασθένηση για το συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων είναι ισχυρά αυξουσα συνάρτηση της συχνότητας
 - Το καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών χάλκινων καλωδίων είναι ευαίσθητο στην παρεμβολή, λόγω εύκολης επαγωγής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων
 - Ο κρουστικός θόρυβος έχει επίσης δυσμενή αποτελέσματα
 - Λαμβάνονται διάφορα μέτρα για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων
 - Ο αγωγός θωρακίζεται με μεταλλική πλέξη
 - Εφαρμόζονται διαφορετικά μήκη συστροφής, για τη μείωση των επιδράσεων της συνακρόασης σε γειτονικά ζεύγη



Μέσα Μετάδοσης (11/66)



(a) Twisted pair (based on [REEV95])

Εξασθένηση σε Συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων



Μέσα Μετάδοσης (12/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων
 - Δύο κατηγορίες συνεστραμμένων ζευγών χάλκινων καλωδίων
 - Το μη θωρακισμένο καλώδιο (*Unshielded Twisted Pair – UTP*)
 - » Είναι ευπρόσβλητο στην εξωτερική ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, συμπεριλαμβανομένης και της παρεμβολής από γειτονικά ζεύγη και το θόρυβο περιβάλλοντος
 - Το θωρακισμένο καλώδιο (*Shielded Twisted Pair – STP*)
 - » Περιλαμβάνουν θωράκιση καλωδίου με μεταλλική πλέξη ή κάλυψη με προστατευτικό περίβλημα, το οποίο μειώνει την παρεμβολή
 - » Τα *STP* παρέχουν καλύτερη απόδοση σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων
 - » Είναι ακριβότερα και δυσκολότερα στη χρήση



Μέσα Μετάδοσης (13/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Συνεστραμμένα Ζεύγη Χάλκινων Καλωδίων
 - Τα συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων χρησιμοποιούνται επίσης και για την καλωδίωση σε τοπικά δίκτυα (LAN)
 - Έχουν προδιαγραφεί δύο κατηγορίες πολύ σημαντικές για τη δικτύωση υπολογιστών:
 - Κατηγορία 3
 - » Τα καλώδια κατηγορίας 3 αποτελούνται από 4 ζεύγη μη θωρακισμένων συνεστραμμένων ζευγών χάλκινων καλωδίων. Για περιορισμένες αποστάσεις και με σωστό σχεδιασμό είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί της τάξης των *16 Mbps* (χαρακτηριστικά μετάδοσης - μέχρι τα *16 MHz*)
 - Κατηγορία 5 / 5e
 - » Για περιορισμένες αποστάσεις και με σωστό σχεδιασμό είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί της τάξης των *100 Mbps* (χαρακτηριστικά μετάδοσης μέχρι τα *100 MHz*). Η κατηγορία 5 έχει περισσότερες συστροφές ανά μονάδα απόστασης καλωδίου, με τυπικό μήκος συστροφής *0,6 έως 0,85 cm*, έναντι *7,5 έως 10 cm* της κατηγορίας 3. Το διαφορετικό μήκος συστροφής της επιτρέπει να παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από την κατηγορία 3. Η κατηγορία 5e επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης *1 Gbps*
 - Κατηγορίες 6 και 7
 - » Έχουν την ικανότητα να μεταδώσουν σήματα στα *250 MHz* και *600 MHz* αντίστοιχα



Μέσα Μετάδοσης (14/66)



(a)



(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

Συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων



Μέσα Μετάδοσης (15/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ομοαξονικό Καλώδιο
 - Το ομοαξονικό καλώδιο (*coaxial cable*) αποτελείται από ένα πυρήνα χάλκινου καλωδίου, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό καλύπτεται από έναν κυλινδρικό αγωγό, συνήθως με τη μορφή δικτυωτού πλέγματος. Ο εξωτερικός αγωγός καλύπτεται με ένα πλαστικό προστατευτικό περίβλημα.
 - Ένα μονό ομοαξονικό καλώδιο έχει διάμετρο από 1 έως 2,5 cm
 - Το ομοαξονικό καλώδιο έχει καλύτερα χαρακτηριστικά μετάδοσης σε υψηλές συχνότητες από το συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων και συνεπώς μπορεί να επιτύχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων
 - Είναι δύσχρηστο λόγω της διαμέτρου του, της μηχανικής σχετικής δυσκαμψίας του, αλλά και της δύσκολης συνδετικής του ικανότητας, αφού δέχεται μόνο ειδικούς συνδέσμους (*connectors*)
 - Παρουσιάζει μεγαλύτερη ασφάλεια στην επικοινωνία από το καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών χάλκινων καλωδίων

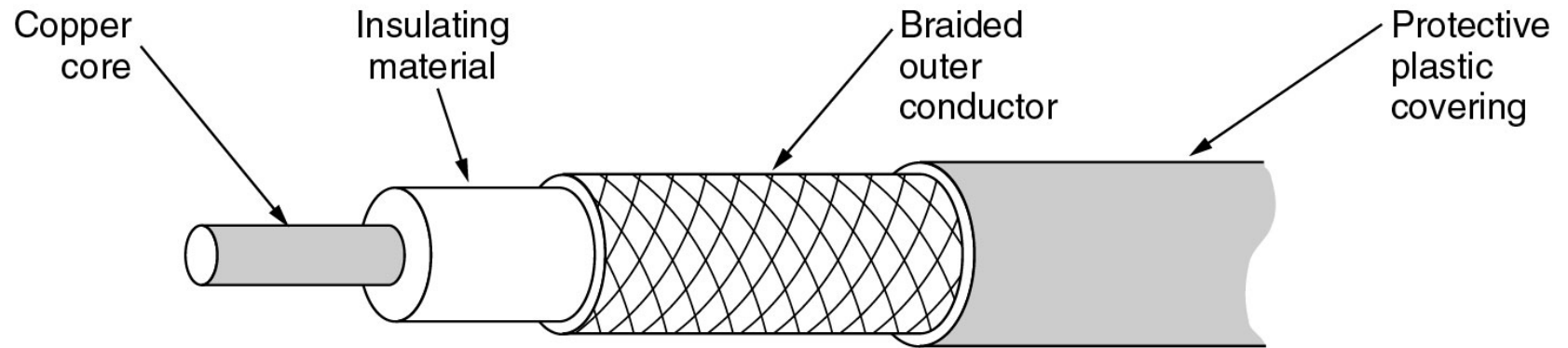


Μέσα Μετάδοσης (16/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ομοαξονικό Καλώδιο
 - Το ομοαξονικό καλώδιο είναι λιγότερο ευαίσθητο στην παρεμβολή και στη συνακρόαση σε σχέση με το συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων
 - Κύριοι περιορισμοί στην απόδοσή του είναι: η εξασθένηση, ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης
 - Ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης εμφανίζεται όταν χρησιμοποιείται η τεχνική πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας
 - Τα σύγχρονα καλώδια έχουν εφικτό εύρος ζώνης κοντά στο 1 GHz
 - Το ομοαξονικό καλώδιο χρησιμοποιείται κυρίως ως μέσο διανομής τηλεοπτικών σημάτων στην καλωδιακή τηλεόραση (*Cable TV*). Ένα σύστημα καλωδιακής τηλεόρασης μπορεί να μεταφέρει ακόμη και εκατοντάδες τηλεοπτικών καναλιών σε αποστάσεις μέχρι δεκάδες χιλιόμετρα. Στην τηλεφωνία, το ομοαξονικό καλώδιο στο υπεραστικό τμήμα του δικτύου έχει αντικατασταθεί από τις οπτικές ίνες, τις μικροκυματικές επικοινωνίες και τις δορυφορικές επικοινωνίες. Με χρήση πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας ένα ομοαξονικό καλώδιο μπορεί να μεταφέρει πάνω από 10.000 κανάλια φωνής ταυτόχρονα

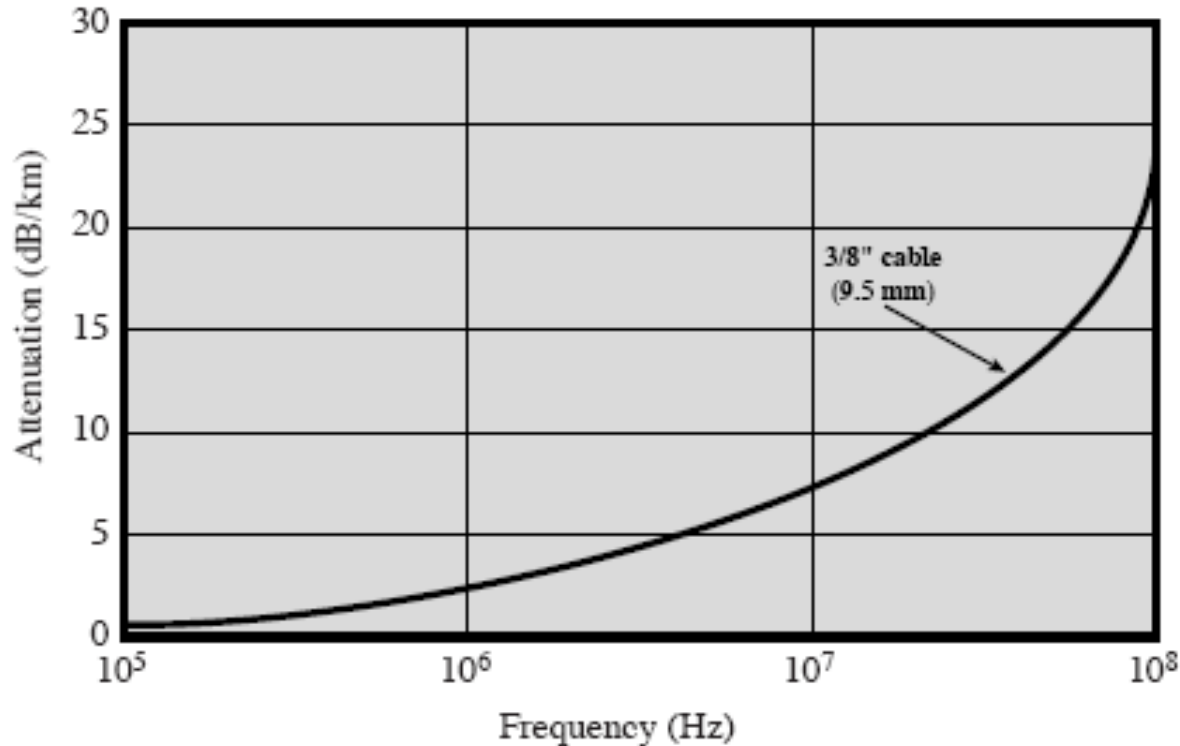


Μέσα Μετάδοσης (17/66)



Ομοαξονικό Καλώδιο

Μέσα Μετάδοσης (18/66)



(b) Coaxial cable (based on [BELL90])

Εξασθένηση σε Ομοαξονικό Καλώδιο

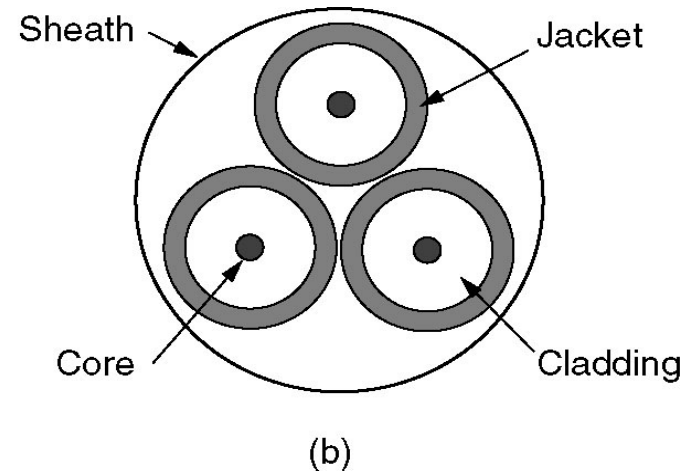
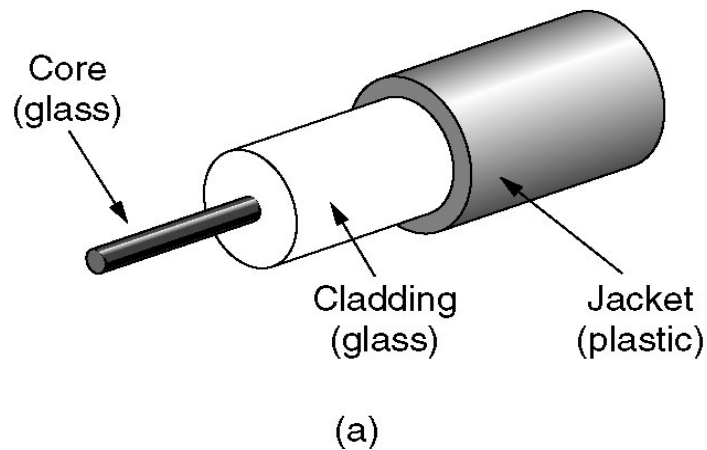


Μέσα Μετάδοσης (19/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Η οπτική ίνα είναι ένα λεπτό εύκαμπτο μέσο ικανό να οδηγήσει μία οπτική ακτίνα
 - Το καλώδιο οπτικής ίνας αποτελείται από τρία τμήματα:
 - Τον πυρήνα (*core*)
 - » Ο πυρήνας αποτελεί το ενδότερο τμήμα. Περικλείει μία ή περισσότερες ίνες, φτιαγμένες από γυαλί ή πλαστικό. Κάθε ίνα περιβάλλεται από την περιένδυσή της
 - Την περιένδυση (*cladding*)
 - » Η περιένδυση είναι ένα γυάλινο ή πλαστικό επίστρωμα, το οποίο έχει διαφορετικές οπτικές ιδιότητες από εκείνες του πυρήνα. Σε αυτό το γεγονός στηρίζεται και η μετάδοση των οπτικών σημάτων μέσω μίας οπτικής ίνας
 - Το εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα (*jacket*)
 - » Το εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα κατασκευάζεται από πλαστικό και από άλλα υλικά επίστρωσης για την προστασία των ινών από την υγρασία, το γδάρισμα, το σπάσιμο και άλλους περιβαλλοντολογικούς κινδύνους.
 - Το καλώδιο οπτικής ίνας είναι παρόμοια με τα ομοαξονικά καλώδια, με εξαίρεση το πλέγμα



Μέσα Μετάδοσης (20/66)



Οπτική Ίνα & Καλώδιο Οπτικών Ινών

Μέσα Μετάδοσης (21/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Πλεονεκτήματα
 - Η μεγάλη χωρητικότητα της τάξης των εκατοντάδων *Gbps*
 - το μικρό τους μέγεθος και βάρος
 - η μη ευαισθησία τους σε περιβάλλοντα υγρά ή σε περιοχές με κινδύνους εκρήξεων από σπινθήρες
 - η χαμηλή εξασθένηση
 - η μεγάλη απόσταση μεταξύ των αναμεταδοτών
 - η ηλεκτρομαγνητική μόνωση (οι οπτικές ίνες δεν είναι ευάλωτες στην παρεμβολή, στον κρουστικό θόρυβο και στη συνακρόαση)
 - και η ασφάλεια των επικοινωνιών
 - Μειονεκτήματα
 - Δυσκολία στον τρόπο σύνδεσης των οπτικών ινών σε πομπό και δέκτη
 - » Ευθυγράμμιση της ίνας με τη φωτεινή πηγή του πομπού
 - Δυσκολία στη σύνδεση πολλών χρηστών σε μία οπτική ίνα



Μέσα Μετάδοσης (22/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Μετάδοση οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες
 - Το σύστημα μετάδοσης οπικών ινών αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία : την πηγή φωτός, το μέσο μετάδοσης και τον ανιχνευτή
 - Η μετάδοση πληροφορίας γίνεται με διαμόρφωση πλάτους του εκπεμπόμενου φωτός από την πηγή
 - Ο παλμός φωτός παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 1 και η απουσία φωτός παριστάνει το 0
 - Το οπτικό σήμα από μία πηγή εισέρχεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας
 - Ο ανιχνευτής παράγει έναν ηλεκτρικό παλμό όταν ανιχνεύει φως
 - Σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης έχουμε μονόδρομη μετάδοση δεδομένων με μετατροπή ηλεκτρικού σήματος σε παλμούς φωτός, μετάδοση του φωτός μέσα στην οπτική ίνα και μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό στον παραλήπτη

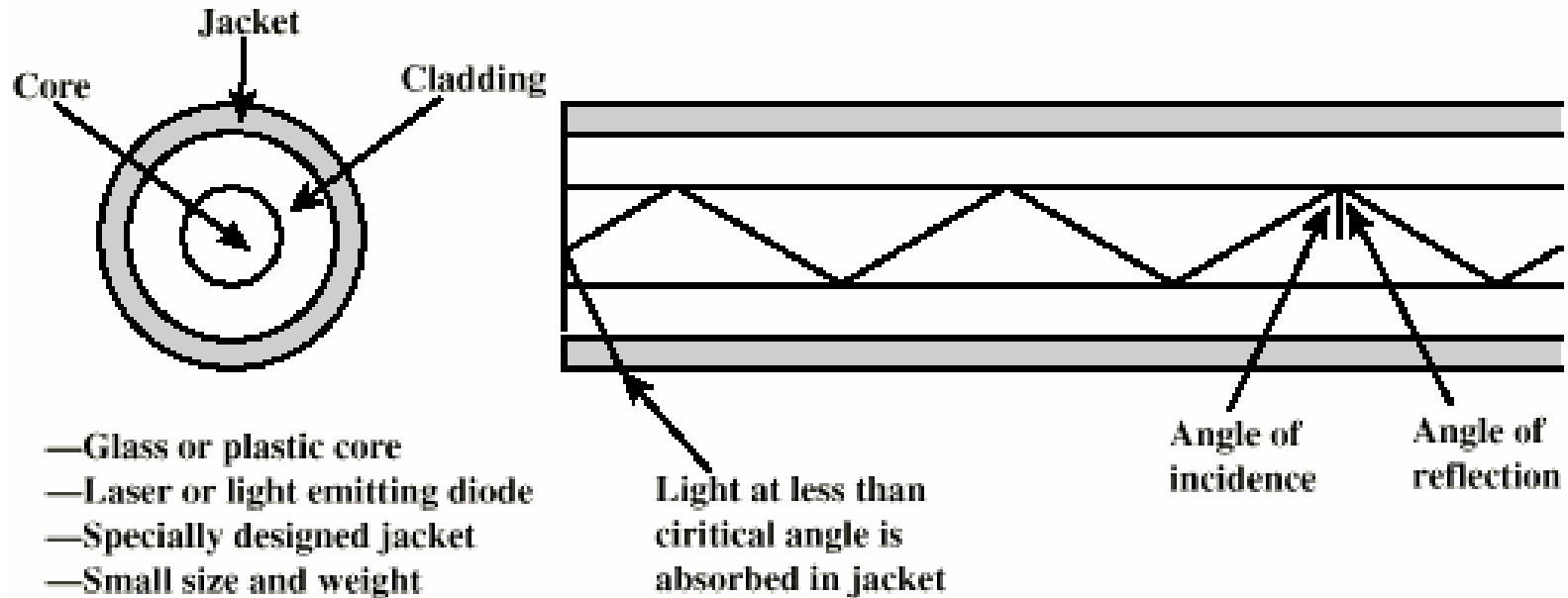


Μέσα Μετάδοσης (23/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Μετάδοση οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες
 - Η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει πληροφορία μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας. Η φωτεινή δέσμη οδεύει με διαδοχικές ανακλάσεις στα σύνορα των τοιχωμάτων του πυρήνα της ίνας με την περιένδυση προς το άλλο άκρο.
 - Το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα
 - Προϋποθέσεις για την ολική ανάκλαση είναι : ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού υλικού να είναι μικρότερος του εσωτερικού και η γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης στα σύνορα να είναι μεγαλύτερη από μία κρίσιμη τιμή που ονομάζεται οριακή γωνία
 - Η περιένδυση κατασκευάζεται με υλικό το οποίο έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα της ίνας. Αυτό επιτυγχάνεται με προσμίξεις διαφόρων στοιχείων στο γυαλί όπως γερμάνιο (*Ge*) και φώσφορος (*P*) για την αύξηση του δείκτη διάθλασης του πυρήνα και βόριο (*B*) και φθόριο (*F*) για τη μείωση του δείκτη διάθλασης της περιένδυσης
 - Οι χαμηλότερες απώλειες έχουν ληφθεί από ίνες εξαιρετικά λιωμένου πυριτίου (*fused ultrapure silica*)



Μέσα Μετάδοσης (24/66)



Οπτική Ίνα & Τρόπος Μετάδοσης Οπτικού Σήματος

Μέσα Μετάδοσης (25/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης

- Οπτικές Ίνες

- Μετάδοση οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες

- Στην περίπτωση που έχουμε πολλαπλές δέσμες φωτός που διαδίδονται κατά μήκος του πυρήνα της οπτικής ίνας μιλάμε για πολύτροπη ίνα (*multi-mode fiber*)
 - Στην πολύτροπη μετάδοση υπάρχουν πολλαπλά μονοπάτια διάδοσης, κάθε ένα με διαφορετικό μήκος
 - Ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει κάθε δέσμη φωτός στον αποδέκτη είναι διαφορετικός. Αυτό έχει ως συνέπεια οι παλμοί φωτός να απλώνονται στο χρόνο, γεγονός που περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
 - Η πολύτροπη ίνα είναι κατάλληλη για μετάδοση σε μικρές αποστάσεις
 - Μειώνοντας τη διάμετρο του πυρήνα της οπτικής ίνας σε λίγα μήκη κύματος φωτός έχουμε λιγότερες ανακλάσεις. Σε περίπτωση που η διάμετρος του πυρήνα της οπτικής ίνας μειωθεί σε 1 μήκος κύματος φωτός, το οπτικό σήμα θα μπορεί να διαδίδεται σε ευθεία γραμμή χωρίς ανακλάσεις. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία μονότροπη ίνα (*single-mode fiber*)
 - Στη μονότροπη ίνα δεν έχουμε την παραμόρφωση που εισάγεται στην πολύτροπη ίνα και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως για μετάδοση μεγάλων αποστάσεων
 - Στις πολύτροπες ίνες ο πυρήνας έχει διάμετρο $50 \mu m$, ενώ στις μονότροπες ίνες ο πυρήνας έχει διάμετρο $8-10 \mu m$

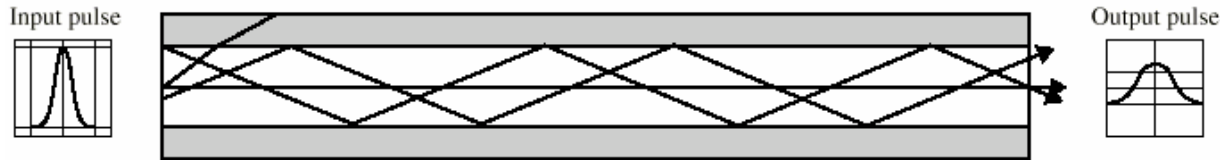


Μέσα Μετάδοσης (26/66)

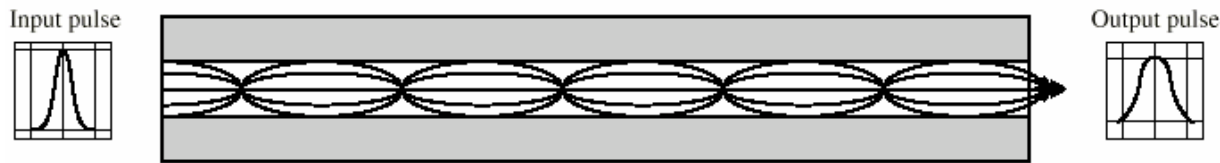
- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Μετάδοση οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες
 - Η πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης (*graded index multi-mode*) χαρακτηρίζεται από μεταβολή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας. Ο υψηλότερος δείκτης διάθλασης στο κέντρο της ίνας κάνει τις ακτίνες του φωτός που κινούνται κατά μήκος του πυρήνα να διαδίδονται πιο αργά από αυτές που κινούνται στην περιένδυση
 - Αντί να έχουμε ζικ – ζακ ανακλάσεις στην περιένδυση που εμφανίζονται στις πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλασης (*step index multi-mode fibers*), το φως στον πυρήνα κάμπτεται με ελικοειδή τρόπο λόγω του βαθμιαίου δείκτη, μειώνοντας την απόσταση ταξιδιού του
 - Η μικρότερη απόσταση και η υψηλότερη ταχύτητα επιτρέπουν στο φως που κινείται κοντά στην περιένδυση να φθάσει στο δέκτη σχεδόν στον ίδιο χρόνο με τις ακτίνες που διαδίδονται στην ευθεία του άξονα του πυρήνα
 - Οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης χρησιμοποιούνται συνήθως στα τοπικά δίκτυα
 - Οι πολύτροπες ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης και βηματικής μεταβολής δείκτη διάθλασης εισάγουν εξασθένηση στο σήμα της τάξης των $2-5 \text{ dB/Km}$ και $4-10 \text{ dB/Km}$, αντίστοιχα
 - Η μονότροπη ίνα εισάγει εξασθένηση της τάξης των $0,2-2 \text{ dB/Km}$



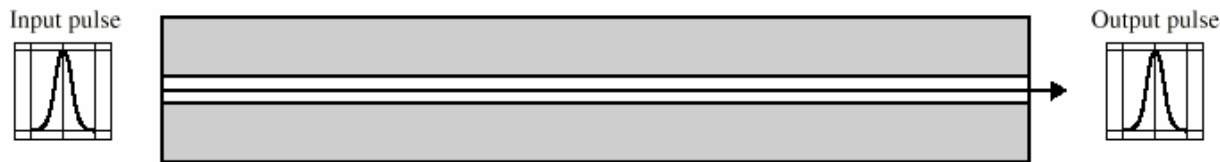
Μέσα Μετάδοσης (27/66)



(a) Step-index multimode



(b) Graded-index multimode



(c) Single mode

Τύποι μετάδοσης οπτικής ίνας

Μέσα Μετάδοσης (28/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης

- Οπτικές Ίνες

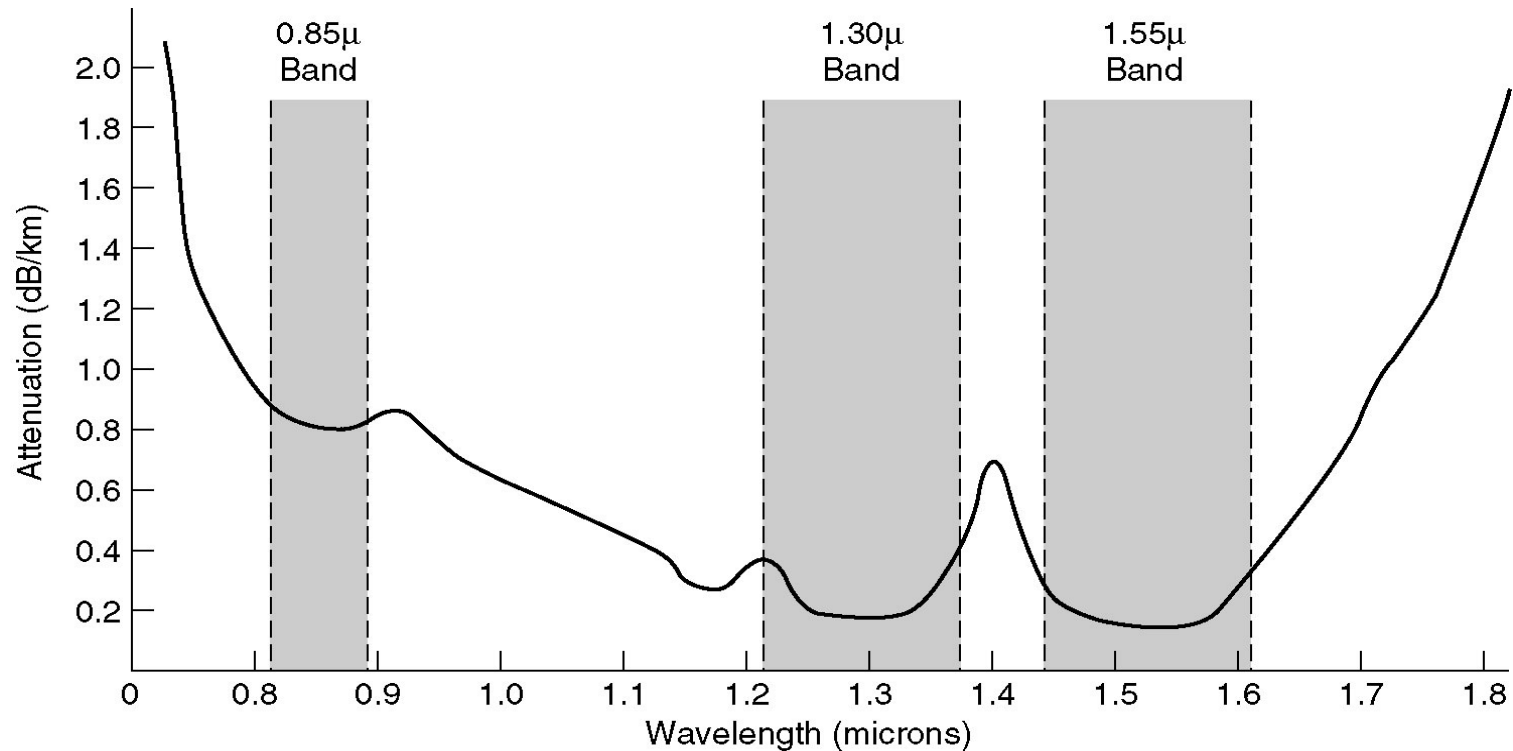
- Μετάδοση Οπτικού Σήματος στις Οπτικές Ίνες

- Εξασθένηση

- » Η εξασθένηση του φωτός μέσα στον πυρήνα της οπτικής ίνας εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός και από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού (γυαλιού ή πλαστικού) του πυρήνα
 - » Στις οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται τρεις ζώνες μηκών κύματος : 850 nm , 1300 nm και 1550 nm
 - » Όλες οι ζώνες βρίσκονται στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος συχνοτήτων, κάτω από την περιοχή του ορατού φωτός ($400\text{ nm} - 700\text{ nm}$)
 - » Οι δύο τελευταίες ζώνες έχουν καλές ιδιότητες εξασθένησης (κάτω από 5% ανά χιλιόμετρο), επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων σε μεγαλύτερες αποστάσεις
 - » Βασικές αιτίες εξασθένησης είναι η απορρόφηση και η σκέδαση
 - » Απορρόφηση έχουμε από το ίδιο το υλικό και τις προσμίξεις, ενώ η σκέδαση οφείλεται στη μη κανονικότητα της κρυσταλλικής δομής του γυαλιού και στις ατέλειες κατασκευής της ίνας (διαφοροποιήσεις στη διάμετρο κατά μήκος της ίνας, κυλινδρικές παραμορφώσεις, παρουσία φυσαλίδων, κλπ)



Μέσα Μετάδοσης (29/66)



Εξασθένηση του φωτός στις οπτικές ίνες



Μέσα Μετάδοσης (30/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Μετάδοση Οπτικού Σήματος στις Οπτικές Ίνες
 - Χρωματική Διασπορά (*Chromatic Dispersion*)
 - » Οι παλμοί φωτός εκτείνονται κατά πλάτος κατά τη διάδοσή τους κατά μήκος μίας οπτικής ίνας
 - » Οφείλεται στη διαφορετική στιγμή άφιξης στο δέκτη των διαφόρων συνιστωσών του σήματος
 - » Αιτίες χρωματικής διασποράς: α) πολυχρωματικό φως (οι πηγές ενός οπτικού σήματος δεν είναι απόλυτα μονοχρωματικές, δηλαδή, εκπέμπουν σήματα με διαφορετικά μήκη κύματος. Οι διαφορετικές χρωματικές συνιστώσες έχουν διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης στην οπτική ίνα και έτσι φθάνουν στο δέκτη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές παραμορφώνοντας το αρχικό σήμα) και β) πολυτροπες ίνες (η κάθε συνιστώσα του σήματος ακολουθεί διαφορετικό δρόμο - *mode* - ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης, οπότε διανύει διαφορετική απόσταση με αποτέλεσμα να φθάνει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές
 - » Για να αποφύγουμε την αλληλοεπικάλυψη των παλμών, λόγω της επέκτασής τους, μπορούμε να αυξήσουμε την απόσταση μεταξύ τους, αυτό όμως έχει ως συνέπεια τον περιορισμό του ρυθμού μετάδοσης σημάτων



Μέσα Μετάδοσης (31/66)

- Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικές Ίνες
 - Μετάδοση οπτικού σήματος στις οπτικές ίνες
 - Ανάλογα με τον τύπο της πηγής που χρησιμοποιείται, διακρίνουμε δύο κατηγορίες εκπομπής οπτικών σημάτων
 - » *Laser (Light amplification by stimulated emission of radiation)*
 - » *LED (Light Emitting Diode)*
 - Πλεονεκτήματα *Laser*
 - » Μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής
 - » Υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης
 - » Στενή δέσμη φωτός
 - » Συνεργασία με *multi-mode* και *single mode* τύπο οπτικής ίνας
 - » Μικρή χρωματική διάχυση (σχεδόν μονοχρωματικός τύπος φωτός)
 - Πλεονεκτήματα *LED*
 - » Χαμηλότερο κόστος
 - » Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
 - » Μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας
 - Οι περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν *LED* στη ζώνη μήκους κύματος των *850 nm*. Περιορίζονται σε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων κάτω των *100 Mbps* και αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων
 - Για την επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης και μεγαλύτερων αποστάσεων χρησιμοποιούνται *LED* στα *1300 nm* ή πηγές *laser*



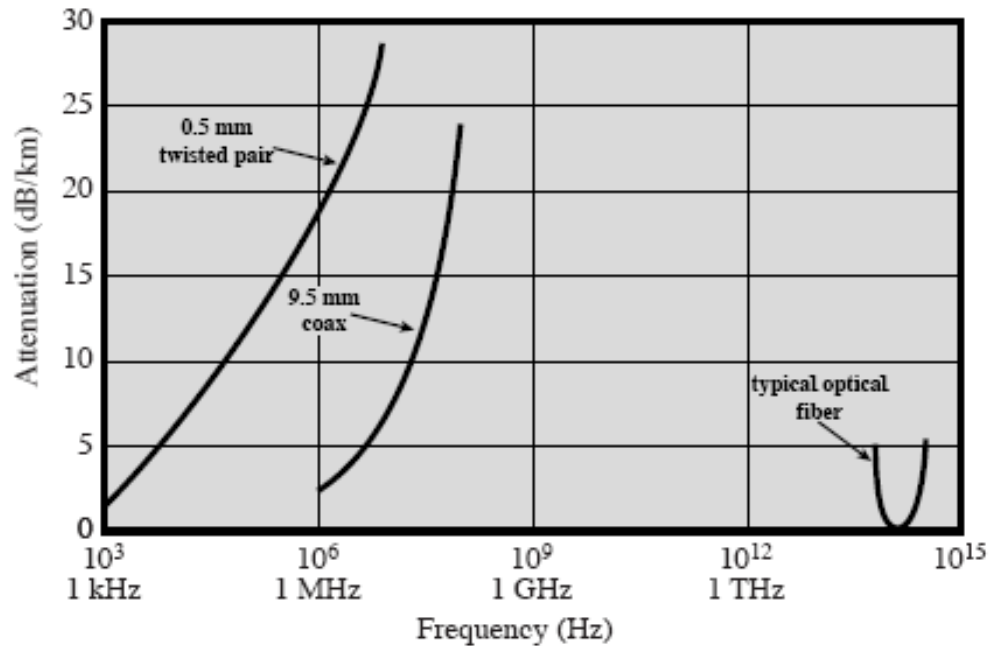
Μέσα Μετάδοσης (32/66)

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

Σύγκριση laser και LED ως πηγές φωτός σε οπτικά συστήματα



Μέσα Μετάδοσης (33/66)



(d) Composite graph

Εξασθένηση στα κατευθυνόμενα / καθοδηγούμενα μέσα μετάδοσης

Μέσα Μετάδοσης (34/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Διακρίνουμε δύο τύπους διάδοσης
 - Κατευθυντική Διάδοση (*Directional*)
 - Η κεραία εκπομπής στέλνει μία εστιασμένη ηλεκτρομαγνητική δέσμη
 - Οι κεραίες του πομπού και του δέκτη θα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένες (έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στη λήψη του σήματος)
 - Πανκατευθυντική Διάδοση (*Omnidirectional*)
 - Το σήμα διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις και μπορεί να ληφθεί από πολλές κεραίες
 - » Μετάδοση σε συστήματα κινητών επικοινωνιών
 - Στην ασύρματη διάδοση χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 2 GHz έως 40 GHz για μικροκυματικές και δορυφορικές επικοινωνίες, στις οποίες υψηλή κατευθυντικότητα είναι επιτεύξιμη
 - Οι συχνότητες 30 MHz έως 1 GHz είναι κατάλληλες για πανκατευθυντικές εφαρμογές
 - Το υπέρυθρο φάσμα χρησιμοποιείται για τοπικές σημείου προς σημείο εφαρμογές και πολυσημειακές εφαρμογές σε περιορισμένες περιοχές (π.χ., δωμάτιο)

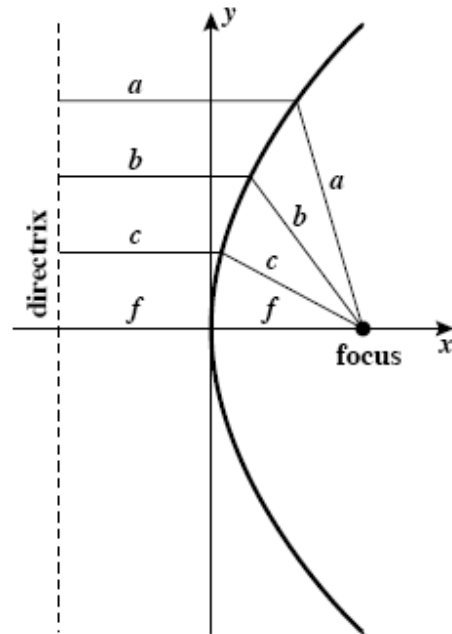


Μέσα Μετάδοσης (35/66)

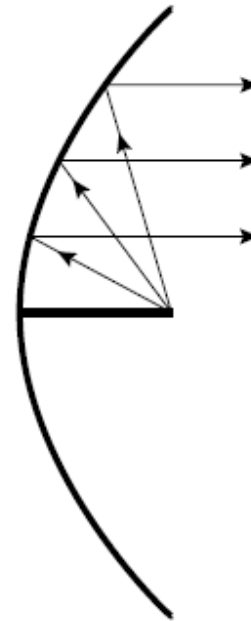
- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Η μετάδοση επιτυγχάνεται με τη χρήση κεραιών
 - Οι κεραίες εκπέμπουν προς διάφορες κατευθύνσεις, αλλά όχι με την ίδια ισχύ. Το διάγραμμα ακτινοβολίας (*radiation pattern*) δείχνει γραφικά το πως ακτινοβολεί μία κεραία προς το περιβάλλον
 - Ισοτροπική Κεραία (*Isotropic Antenna*) – εκπέμπει το ίδιο ποσό ισχύος προς όλες τις κατευθύνσεις (Ιδεατή Κεραία)
 - Διάγραμμα ακτινοβολίας είναι μία σφαίρα, όπου το κέντρο της είναι η κεραία
 - Παραβολικές Κεραιές (*Parabolic Reflective Antenna*)
 - Εάν μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας τοποθετηθεί στο κέντρο της παραβολικής κεραίας (*focus*) και η επιφάνειά της αποτελείται από ανακλαστικό υλικό, τότε το κύμα θα εκπεμφθεί σε σειρές παράλληλες προς τον άξονα της παραβολικής κεραίας, θεωρητικά χωρίς διασπορά. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της κεραίας, τόσο πιο κατευθυντική θα είναι η ακτίνα. Στην πράξη εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό διασποράς, λόγω του ότι η ενέργεια καταλαμβάνει περισσότερα από ένα σημεία για την εκπομπή της. Στο δέκτη, η ακτίνα θα συγκεντρωθεί στο κέντρο της κεραίας για τη λήψη



Μέσα Μετάδοσης (36/66)



(a) Parabola



(b) Cross-section of parabolic antenna showing reflective property

Παραβολική Κεραία



Μέσα Μετάδοσης (37/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Η μετάδοση επιτυγχάνεται με τη χρήση κεραιών
 - Κέρδος Κεραίας
 - Μέτρο της κατευθυντικότητας της κεραίας
 - Ορίζεται ως το πηλίκο της ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος προς μία κατεύθυνση προς την ισχύ του σήματος που θα παρήγαγε μία ιστροπική κεραία προς οποιαδήποτε κατεύθυνση
 - Για παράδειγμα, εάν μία κεραία έχει κέρδος 3 dB , αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της κεραίας στη συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι καλύτερη από αυτήν της ιστροπικής κεραίας κατά τον παράγοντα του 2 (εκπέμπει διπλάσια ισχύ σήματος στη συγκεκριμένη κατεύθυνση από αυτήν που εκπέμπει η ιστροπική κεραία)



Μέσα Μετάδοσης (38/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Οι μηχανισμοί που διέπουν την ασύρματη μετάδοση είναι πολύπλοκοι και μπορούν να συνοψισθούν στους ακόλουθους μηχανισμούς:
 - Ανάκλαση (*Reflection*)
 - » Ανάκλαση εμφανίζεται όταν ένα διαδιδόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματός του.
 - » Ανακλώμενα κύματα παράγονται ύστερα από πρόσπτωση των διαδιδόμενων κυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους και στα κτίρια
 - » Μπορεί να συμβάλλουν εποικοδομητικά ή όχι στο δέκτη



Μέσα Μετάδοσης (39/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Οι μηχανισμοί που διέπουν την ασύρματη μετάδοση είναι πολύπλοκοι και μπορούν να συνοψισθούν στους ακόλουθους μηχανισμούς:
 - Περίθλαση (*Diffraction*)
 - » Περίθλαση εμφανίζεται όταν στη διαδρομή του κύματος παρεμβάλλεται αδιαπέραστο σώμα. Η περίθλαση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή δευτερογενών κυμάτων πίσω από το εμπόδιο, τα οποία φθάνουν στο δέκτη ακόμη και όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ του πομπού και του δέκτη
 - » Η περίθλαση εξηγεί το πως μπορεί και διαδίδεται η ενέργεια των ραδιοκυμάτων σε αστικές και μη περιοχές, χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη



Μέσα Μετάδοσης (40/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Οι μηχανισμοί που διέπουν την ασύρματη μετάδοση είναι πολύπλοκοι και μπορούν να συνοψισθούν στους ακόλουθους μηχανισμούς:
 - Σκέδαση (*Scattering*)
 - » Σκέδαση εμφανίζεται σε περίπτωση που στη διαδρομή του ραδιοκύματος παρεμβάλλονται αντικείμενα σε διαστάσεις μικρότερες ή ίσες από το μήκος κύματος. Η σκέδαση συντελεί να έχουμε εκπομπή του σήματος προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις.
 - » Η σκέδαση είναι μηχανισμός διάδοσης που είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί στα συστήματα ασύρματων, κινητών και προσωπικών επικοινωνιών
 - » Στα αστικά συστήματα, οι θέσεις των λαμπτήρων και τα οδικά σήματα σκεδάζουν το σήμα προς πολλές κατευθύνσεις και παρέχουν κάλυψη σε περιοχές που μπορεί να μην είχαν λόγω της ανάκλασης ή της περίθλασης



Μέσα Μετάδοσης (41/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης

- Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης

- Οι μηχανισμοί που διέπουν την ασύρματη μετάδοση είναι πολύπλοκοι και μπορούν να συνοψισθούν στους ακόλουθους μηχανισμούς:

- Διάθλαση (*Refraction*)

- » Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μετακινείται από ένα μέσο μίας ορισμένης πυκνότητας σε ένα άλλο μέσο μίας άλλης πυκνότητας, τότε η ταχύτητά του μεταβάλλεται. Ως αποτέλεσμα, προκαλείται μία κάμψη της κατεύθυνσης του κύματος στο σύνορο ανάμεσα στα δύο μέσα
- » Ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται με το μήκος κύματος, επομένως το φαινόμενο της διάθλασης διαφέρει για σήματα διαφορετικού μήκους κύματος
- » Μία αλλαγή κατεύθυνσης συμβαίνει όταν το κύμα κινείται από ένα μέσο σε ένα άλλο. Μία συνεχόμενη αλλαγή κατεύθυνσης συμβαίνει όταν ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου αλλάζει συνεχώς
- » Κάτω από κανονικές συνθήκες, ο δείκτης διάθλασης της ατμόσφαιρας μειώνεται με το ύψος, επομένως τα κύματα διαδίδονται πιο αργά κοντά στο έδαφος από ότι σε υψηλότερα σημεία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία ελαφρά κάμψη των ραδιοκυμάτων προς τη γη

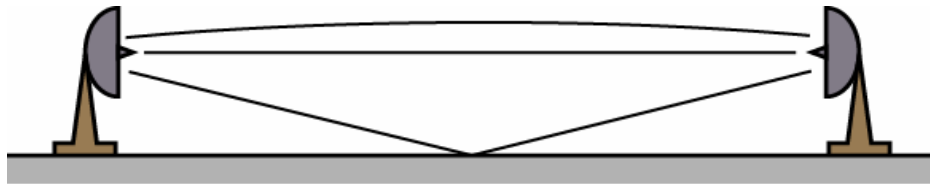


Μέσα Μετάδοσης (42/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Στα κινητά συστήματα επικοινωνιών, καθώς το κινητό τερματικό κινείται σε μία περιοχή, οι τρεις μηχανισμοί επιδρούν στο λαμβανόμενο σήμα κατά διαφορετικούς τρόπους
 - » Για παράδειγμα, εάν το κινητό έχει οπτική επαφή με το σταθμό βάσης, η περίθλαση και η σκέδαση ενδέχεται να μην επηρεάσουν τη διάδοση
 - » Εάν το κινητό δεν έχει οπτική επαφή με το σταθμό βάσης σε μία μητροπολιτική περιοχή, η περίθλαση και η σκέδαση ενδέχεται να κυριαρχούν στη διάδοση

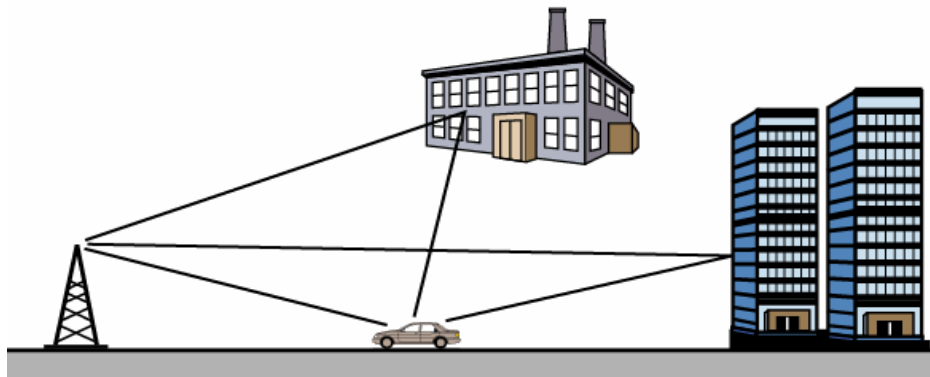


Μέσα Μετάδοσης (43/66)



(a) Microwave line of sight

Μηχανισμοί Διάδοσης



(b) Mobile radio

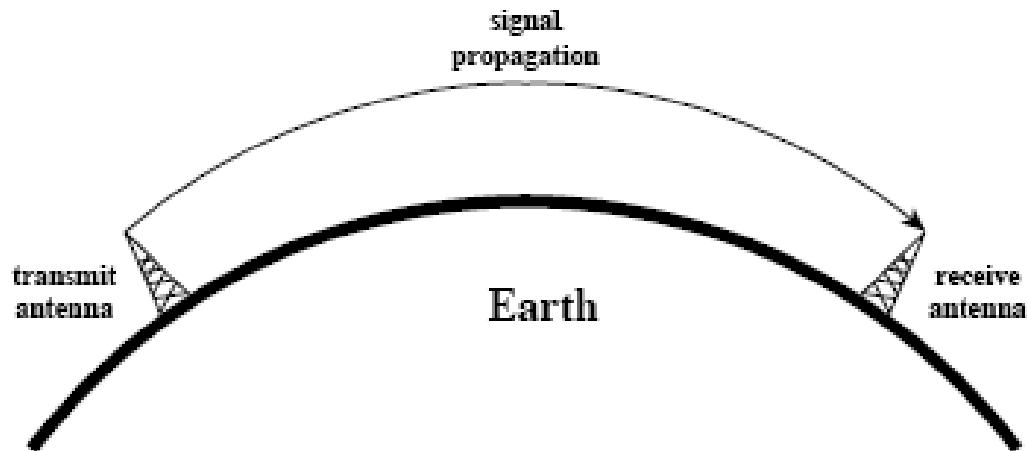


Μέσα Μετάδοσης (44/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Ένα σήμα που εκπέμπεται από μία κεραία ακολουθεί μία από τις τρεις διαδρομές:
 - Διάδοση εδάφους (*ground wave propagation*)
 - » Το κύμα ακολουθεί την καμπυλότητα της γης και το κύμα μπορεί να διαδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις (αρκετά μεγαλύτερες από τον οπτικό ορίζοντα)
 - » Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε συχνότητες μέχρι περίπου τα 2 MHz
 - » Το γεγονός αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της διάθλασης
 - » Τα κύματα αυτής της συχνότητας δεν μπορούν να διατμήσουν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας
 - » Παράδειγμα αυτής της διάδοσης είναι το ραδιόφωνο στα AM



Μέσα Μετάδοσης (45/66)



(a) Ground-wave propagation (below 2 MHz)

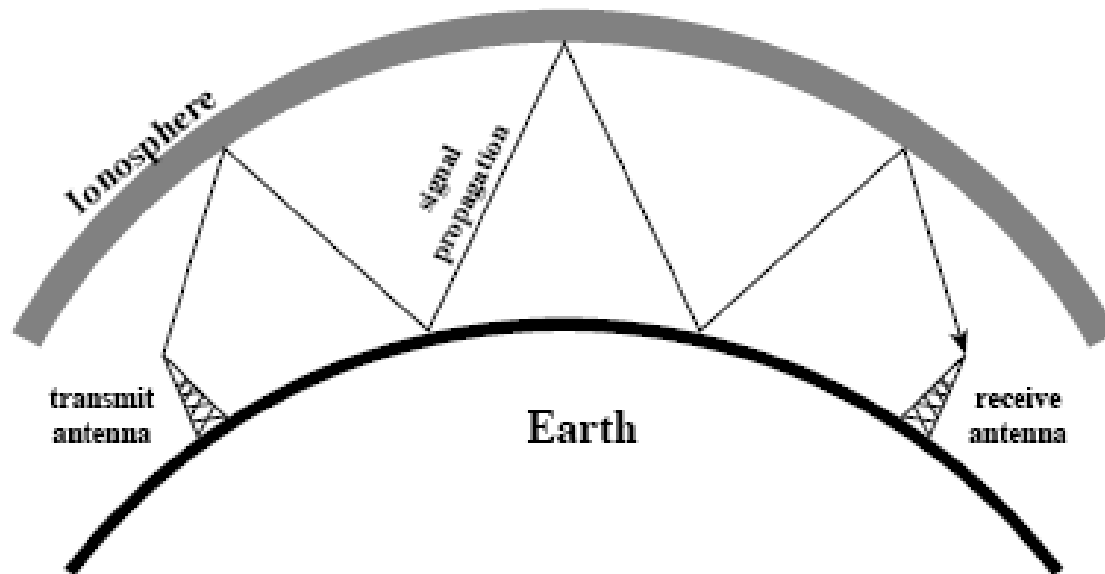
Μηχανισμός Διάδοσης Εδάφους

Μέσα Μετάδοσης (46/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Ατμοσφαιρική Διάδοση (*sky wave propagation*)
 - » Με την ατμοσφαιρική διάδοση, ένα σήμα που εκπέμπεται από μία κεραία στη γη ανακλάται από την ιονόσφαιρα (ιονισμένο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας)
 - » Το φαινόμενο αυτό της ανάκλασης οφείλεται ουσιαστικά στο φαινόμενο της διάθλασης
 - » Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε συχνότητες από 2 MHz μέχρι περίπου τα 30 MHz
 - » Η ατμοσφαιρική διάδοση χρησιμοποιείται για ραδιοερασιτεχνικές μεταδόσεις, για μεταδόσεις CB και διεθνείς ραδιομεταδόσεις όπως το BBC.



Μέσα Μετάδοσης (47/66)



(b) Sky-wave propagation (2 to 30 MHz)

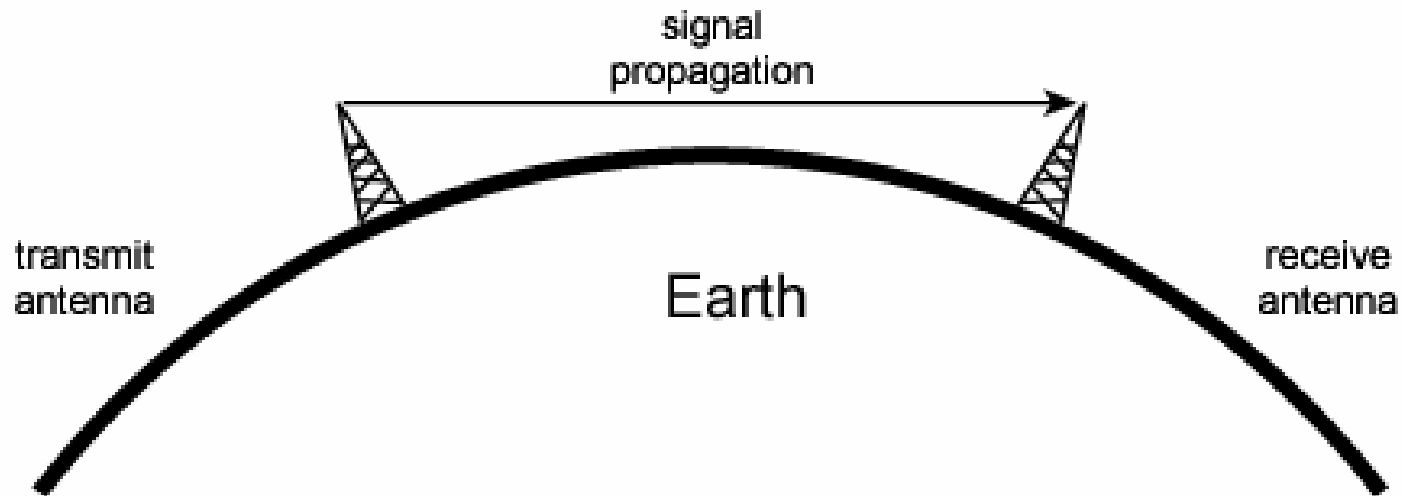
Μηχανισμός Ατμοσφαιρικής Διάδοσης

Μέσα Μετάδοσης (48/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Διάδοση οπτικής επαφής (*LOS- Line of Sight*)
 - » Πάνω από τα 30 MHz η επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη
 - » Για την επικοινωνία πομπού και δέκτη απαιτείται ευθυγράμμιση και μετάδοση οπτικής επαφής
 - » Η καμπυλότητα της γης περιορίζει την απόσταση οπτικής επαφής, καθώς εάν οι δύο σταθμοί είναι μακριά η γη θα εμποδίσει την επικοινωνία τους
 - » Καθώς τα κύματα ακολουθούν ελαφρώς καμπύλες διαδρομές λόγω διάθλασης στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, ο «ορίζοντας κύματος», δηλαδή η μέγιστη ανεμπόδιστη απόσταση διάδοσης, είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τον «οπτικό ορίζοντα»



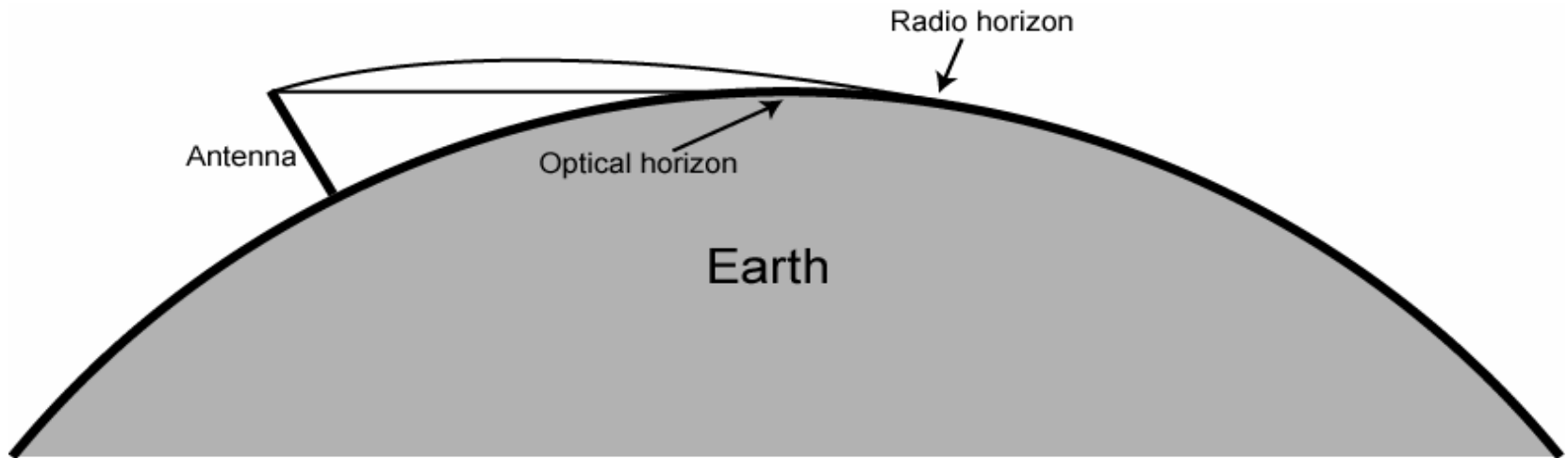
Μέσα Μετάδοσης (49/66)



(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)

Μηχανισμός Διάδοσης Οπτικής Επαφής

Μέσα Μετάδοσης (50/66)



Οπτικός Ορίζοντας και Ορίζοντας Κύματος



Μέσα Μετάδοσης (51/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης

- Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης

- Διάδοση οπτικής επαφής (*LOS- Line of Sight*)

- » Οι κεραιές τοποθετούνται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τη γη για να αποφευχθεί η παρεμβολή της γης και των διαφόρων εμποδίων και να επιτύχουν έτσι μεγαλύτερη απόσταση μετάδοσης

- » Χωρίς παρεμβολή εμποδίων, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των κεραιών που έχουν τοποθετηθεί στο ίδιο ύψος δίδεται από την ακόλουθη σχέση :

$$d = 3,57(\sqrt{Kh1} + \sqrt{Kh2})$$

- » Όπου είναι η απόσταση μεταξύ των κεραιών σε Km,

- » είναι το ύψος των κεραιών σε m,

- » είναι ένας συντελεστής διόρθωσης για το γεγονός ότι τα μικροκύματα κάμπτονται ή διαθλώνται από την κυρτότητα της γης και ως εκ τούτου θα μεταδοθούν μακρύτερα από την ευθεία της οπτικής επαφής. Συνήθως, παίρνει την τιμή 4/3.

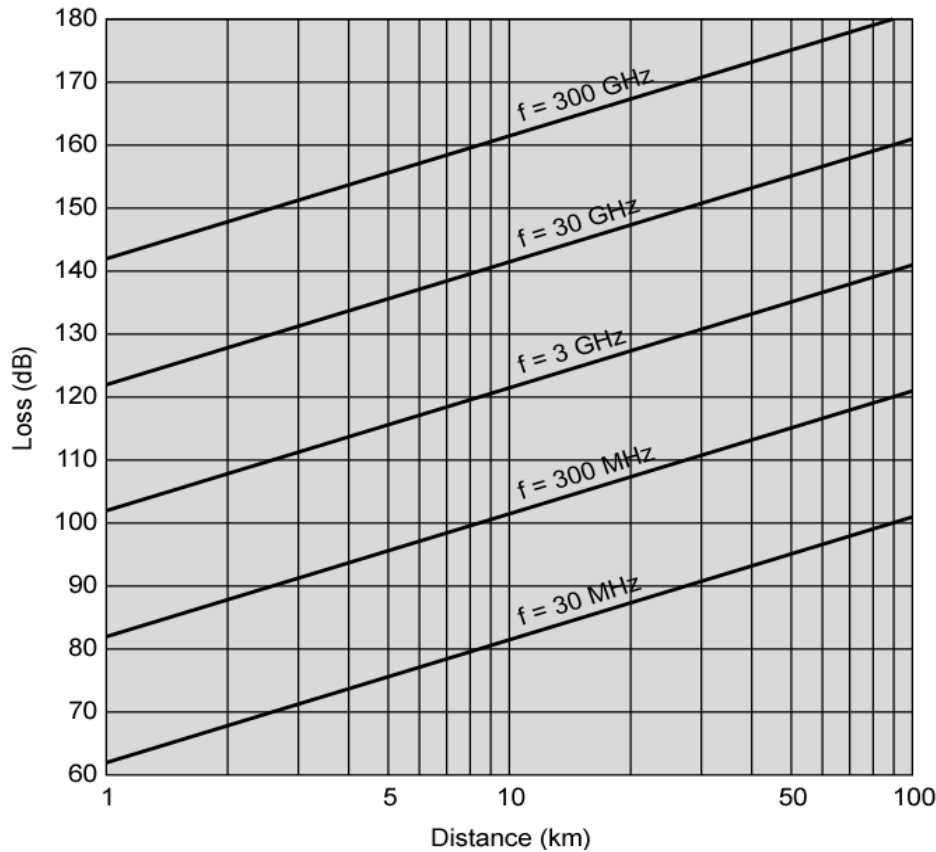


Μέσα Μετάδοσης (52/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Διάδοση οπτικής επαφής (*LOS- Line of Sight*)
 - » Κύρια πηγή απώλειας στην ασύρματη διάδοση αποτελεί η εξασθένηση
 - » Η εξασθένηση είναι αύξουσα συνάρτηση της συχνότητας
 - » Θεωρώντας ανεμπόδιστη οπτική επαφή (*free space loss*), οι απώλειες λόγω εξασθένησης δίδονται από την ακόλουθη σχέση:
$$L = 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$
 - » Όπου d είναι η απόσταση,
 - » λ είναι το μήκος κύματος



Μέσα Μετάδοσης (53/66)



Εξασθένηση Σημάτων
Διαφορετικών
Συχνοτήτων



Μέσα Μετάδοσης (54/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Η παρουσία αντικειμένων προκαλούν ανακλάσεις και σκεδάσεις του σήματος.
 - Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλαπλών εκδοχών του μεταδιδόμενου σήματος, τα οποία φθάνουν στους δέκτες μετατοπισμένα χρονικά μεταξύ τους και χωρικά όσον αφορά τη γωνία άφιξής τους.
 - Η τυχαία φάση και τα πλάτη των διαφόρων συνιστωσών πολλαπλών διαδρομών αθροίζονται στο δέκτη και προκαλούν διακυμάνσεις στο λαμβανόμενο σήμα
 - Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να συνεπάγονται διαλείψεις μικρής διάρκειας, παραμόρφωση σήματος ή και τα δύο
 - Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών (*multi-path fading*) και εξαρτάται και από τον καιρό και από τη συχνότητα



Μέσα Μετάδοσης (55/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Γενικές Αρχές Ασύρματης Διάδοσης
 - Πρόβλημα παρουσιάζεται λόγω της απορρόφησης των κυμάτων από το νερό και το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα, το οποίο παρουσιάζεται εντονότερο σε ορισμένες συχνότητες (π.χ., τα αποτελέσματα της βροχόπτωσης γίνονται ιδιαίτερα αισθητά σε συχνότητες πάνω από *10 GHz*)
 - Λόγω αυξανόμενης δημοτικότητας των ασύρματων επικοινωνιών, οι περιοχές μετάδοσης επικαλύπτονται και είναι δυνατή η παρεμβολή δύο διαφορετικών μεταδόσεων
 - Διαχείριση φάσματος
 - » Διαγωνιστικές Διαδικασίες (Δημοπρασίες, Καλλιστεία, Λοτταρία)



Μέσα Μετάδοσης (56/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ραδιοκύματα & Ραδιοκύματα Ευρείας Εκπομπής
 - Τα ραδιοκύματα είναι ένας γενικός όρος που καλύπτει τις συχνότητες 3 KHz έως 1 GHz
 - Τα ραδιοκύματα είναι μη κατευθυντικά (ταξιδεύουν από τον πομπό προς όλες τις κατευθύνσεις), οπότε ο πομπός και ο δέκτης δεν χρειάζονται ευθυγράμμιση
 - Οι ιδιότητες των ραδιοκυμάτων εξαρτώνται από τη συχνότητά τους. Στις ζώνες *VLF*, *LF* και *MF*, τα ραδιοκύματα ακολουθούν το έδαφος
 - Τα κύματα αυτά μπορούν να ανιχνευθούν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις
 - Οι ραδιοφωνικές εκπομπές στα *AM* χρησιμοποιούν τη ζώνη *MF*
 - Τα ραδιοκύματα σε αυτές τις ζώνες μπορούν να διαπεράσουν κτίρια
 - Στις ζώνες *HF* και *VHF* τα επιφανειακά κύματα τείνουν να απορροφώνται από το έδαφος. Τα κύματα όμως που φθάνουν στην ιονόσφαιρα διαθλώνται από αυτή και στέλνονται πίσω σε αυτή. Τα σήματα μπορεί να αναπηδήσουν αρκετές φορές
 - Οι ραδιοερασιτέχνες χρησιμοποιούν αυτές τις ζώνες για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης τις ζώνες αυτές χρησιμοποιεί και ο στρατός



Μέσα Μετάδοσης (57/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Ραδιοκύματα & Ραδιοκύματα Ευρείας Εκπομπής
 - Τα ραδιοκύματα ευρείας εκπομπής καλύπτουν την *VHF* ζώνη και ένα μέρος της *UHF* ζώνης, από *30 MHz* έως *1 GHz*.
 - Η περιοχή αυτή καλύπτει τα ραδιοκύματα *FM* και την τηλεόραση *VHF* και *UHF*
 - Επίσης, η περιοχή αυτή χρησιμοποιείται για διάφορες δικτυακές εφαρμογές δεδομένων
 - Η μετάδοση στα ραδιοκύματα ευρείας εκπομπής περιορίζεται στη γραμμή οπτικής επαφής και απομακρυσμένοι πομποί δεν παρεμβάλλουν ο ένας τον άλλο λόγω ανακλάσεων από την ατμόσφαιρα
 - Τα ραδιοκύματα ευρείας εκπομπής είναι λιγότερο ευαίσθητα στην εξασθένηση λόγω βροχοπτώσεων από ότι οι μικροκυματικές επικοινωνίες



Μέσα Μετάδοσης (58/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Μικροκυματικές Επικοινωνίες
 - Για τις μικροκυματικές επικοινωνίες χρησιμοποιείται παραβολικός τύπος κεραίας με τυπικό μέγεθος 3 m περίπου, με τον οποίο επιτυγχάνεται υψηλός λόγος σήματος προς θόρυβο
 - Χρησιμοποιείται η ζώνη συχνοτήτων από 2 GHz έως 40 GHz
 - Όσο υψηλότερη η χρησιμοποιούμενη συχνότητα, τόσο υψηλότερος ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
 - Κύρια χρήση : μεγάλης απόστασης τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, προσφέροντας εναλλακτική λύση στους παρόχους έναντι του ομοαξονικού καλωδίου και της οπτικής ίνας
 - Οι πιο κοινές ζώνες είναι 4 GHz - 6 GHz και 11 GHz. Η ζώνη 12 GHz χρησιμοποιείται ως μέρος των συστημάτων καλωδιακής τηλεόρασης
 - Τα μικροκύματα υψηλής συχνότητας (22 GHz) χρησιμοποιούνται για κοντινές σημείου προς σημείο ζεύξεις μεταξύ κτιρίων
 - Στις υψηλότερες συχνότητες έχουμε αυξανόμενη εξασθένηση. Τέτοιες συχνότητες είναι επαρκείς για συνδέσεις υψηλής χωρητικότητας μεταξύ κοντινών σημείων
 - Οι κεραίες είναι μικρότερες και φθηνότερες στις υψηλότερες συχνότητες

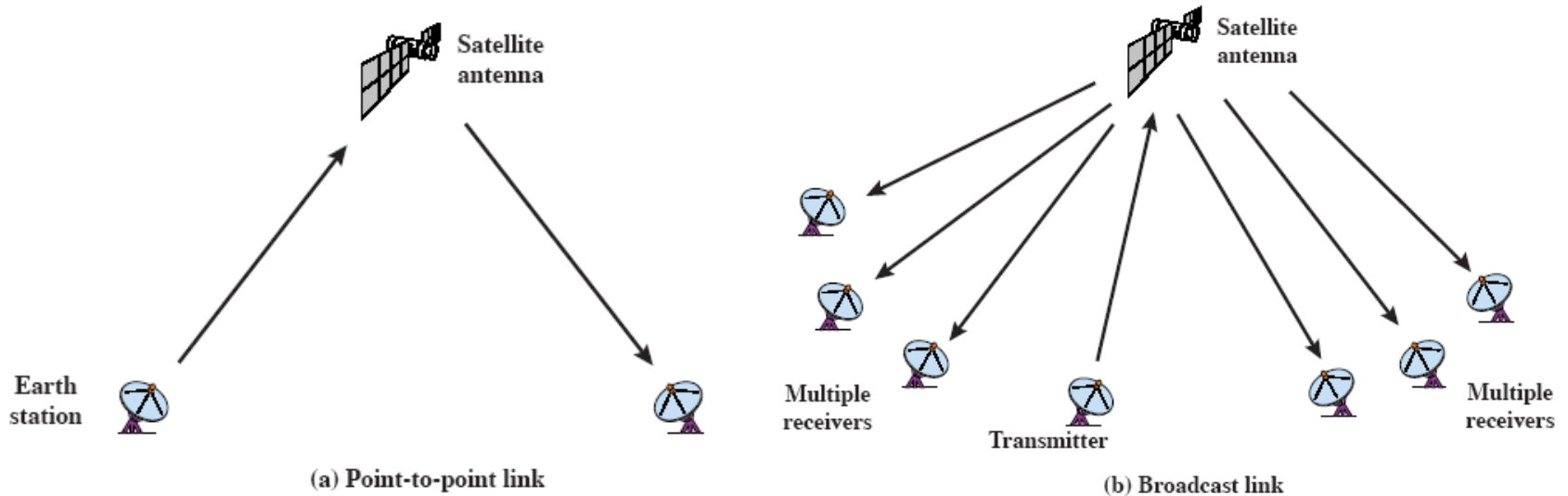


Μέσα Μετάδοσης (59/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Δορυφορικές Επικοινωνίες
 - Οι δορυφόροι επικοινωνίας είναι ουσιαστικά σταθμοί αναμετάδοσης μικροκυμάτων
 - Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία δύο ή περισσότερων πομποδεκτών (επίγειοι σταθμοί / σταθμοί βάσης)
 - Ο δορυφόρος αποτελείται από ένα πλήθος αναμεταδοτών (*transponders*) κάθε ένας από τους οποίους λαμβάνει μεταδόσεις σε μία ζώνη συχνοτήτων (*uplink*), ενισχύει το σήμα ή απλά το αναμεταδίδει εκπέμποντάς το σε μία άλλη ζώνη συχνοτήτων (*downlink*), ώστε να αποφευχθούν παρεμβολές με το εισερχόμενο σήμα
 - Ο δορυφόρος μπορεί να χρησιμοποιείται για να παρέχει ζεύξεις σημείου προς σημείο μεταξύ δύο επίγειων σταθμών ή για την επικοινωνία ενός επίγειου πομπού με έναν αριθμό επίγειων δεκτών



Μέσα Μετάδοσης (60/66)



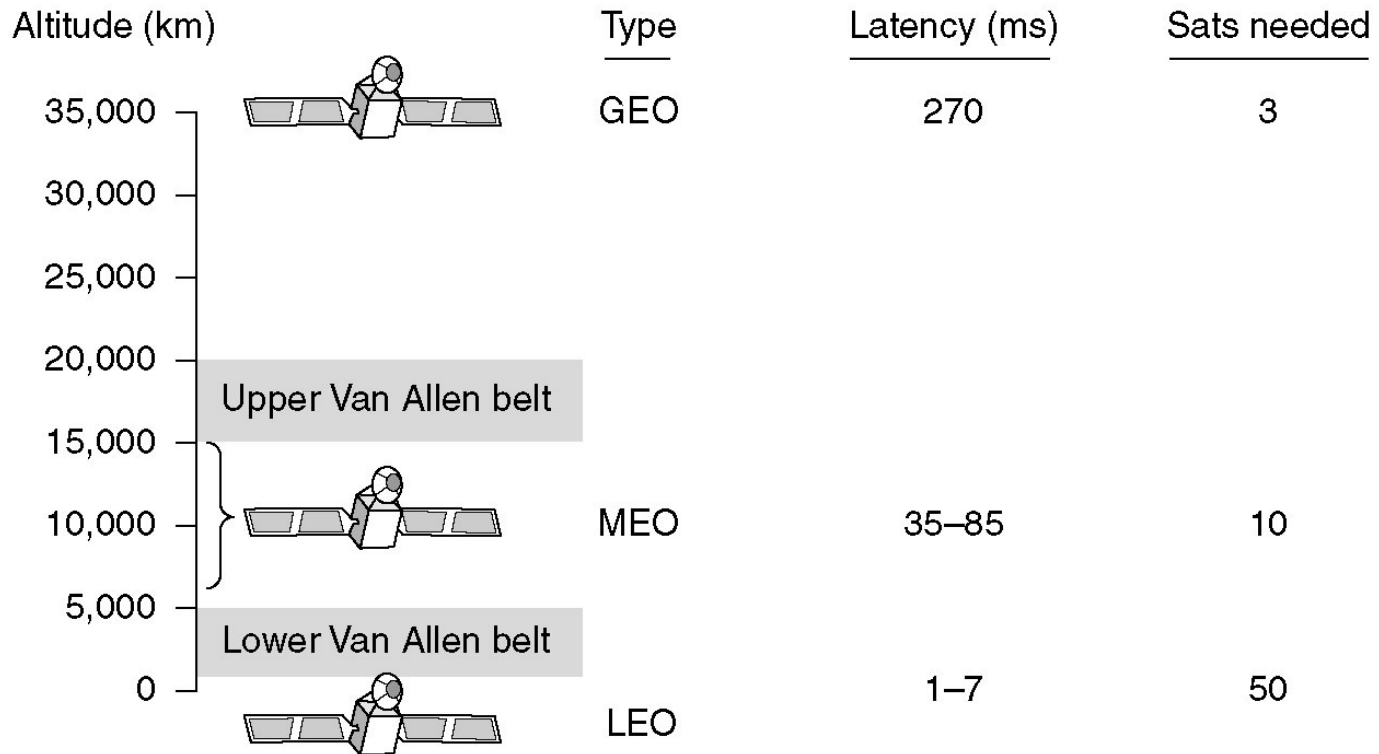
Ζεύξεις σημείου προς σημείο και πολυσημειακή τοπολογία στις δορυφορικές επικοινωνίες

Μέσα Μετάδοσης (61/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Δορυφορικές Επικοινωνίες
 - Η περίοδος της τροχιάς ενός δορυφόρου μεταβάλλεται σύμφωνα με την ακτίνα της τροχιάς του υψωμένη στη δύναμη $3/2$ ($3^{\text{ος}}$ Νόμος *Kepler*)
 - Όσο υψηλότερα βρίσκεται ο δορυφόρος, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιόδός του
 - Κοντά στην επιφάνεια της γης, η περίοδος είναι 90 min . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς φεύγουν από το οπτικό πεδίο πολύ γρήγορα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να απαιτούνται πολλοί δορυφόροι για την παροχή αδιάλειπτων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών
 - Σε ύψος 35.874 Km οι δορυφόροι έχουν περίοδο περιστροφής ίση με την περίοδο της γης, οπότε παραμένουν πρακτικά στάσιμοι
 - Η περίοδος ενός δορυφόρου είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζει το σημείο που πρέπει να τοποθετηθούν. Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η παρουσία των ζωνών *Van Allen*. Τις ζώνες αυτές αποτελούν σωματίδια με υψηλό φορτίο, τα οποία έχουν παγιδευτεί στο μαγνητικό πεδίο της γης. Ένας δορυφόρος που περνούσε μέσα από αυτές τις ζώνες θα καταστρεφόταν πολύ γρήγορα
 - Υπάρχουν τρεις περιοχές στις οποίες οι δορυφόροι μπορούν να τοποθετηθούν με ασφάλεια



Μέσα Μετάδοσης (62/66)



Συστήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών



Μέσα Μετάδοσης (63/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Δορυφορικές Επικοινωνίες
 - Η βέλτιστη περιοχή συχνοτήτων για δορυφορική επικοινωνία είναι από 1 GHz έως 10 GHz.
 - Κάτω από 1 GHz υπάρχει σημαντικός θόρυβος από φυσικές πηγές συμπεριλαμβανομένου του γαλαξιακού, ηλιακού και ατμοσφαιρικού θορύβου και της ανθρώπινης παρεμβολής από διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές
 - Πάνω από 10 GHz το σήμα εξασθενεί σημαντικά από την ατμοσφαιρική απορρόφηση
 - Οι περισσότεροι δορυφόροι χρησιμοποιούν τη ζώνη 4/6 (*uplink*: 5,925-6,425GHz και *downlink* 3,7-4,2GHz)
 - Διαθέσιμο εύρος ζώνης 500 MHz
 - Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι ζώνες 12/14 και 19/29 GHz. Πρέπει όμως να ξεπεραστούν προβλήματα εξασθένησης που παρουσιάζονται σε αυτές τις ζώνες συχνοτήτων
 - Υπηρεσίες : τηλεοπτική διανομή, τηλεφωνική μετάδοση μεγάλων αποστάσεων, ιδιωτικά επιχειρησιακά δίκτυα
 - Λόγω των μεγάλων αποστάσεων διάδοσης εισάγεται μία καθυστέρηση διάδοσης του σήματος μεταξύ δύο επίγειων σταθμών της τάξης του ενός τετάρτου του δευτερολέπτου. Αυτή η καθυστέρηση γίνεται αντιληπτή στις συνηθισμένες τηλεφωνικές συνομιλίες



Μέσα Μετάδοσης (64/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Υπέρυθρη Ακτινοβολία
 - Χρησιμοποιούνται πομποδέκτες που διαμορφώνουν μη σύμφωνο (*non-coherent*) υπέρυθρο φως
 - Οι πομποδέκτες πρέπει να έχουν οπτική επαφή είτε άμεσα, είτε έμμεσα (π.χ., μέσω ανάκλασης από μία ανοιχτόχρωμη επιφάνεια όπως το ταβάνι του δωματίου)
 - Τα τηλεχειριστήρια των τηλεοράσεων, των συσκευών βίντεο και των στερεοφωνικών χρησιμοποιούν όλα υπέρυθρη ακτινοβολία
 - Η υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται και για τη διασύνδεση των υπολογιστών με τα περιφερειακά τους
 - Σημαντική διαφορά της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τη μικροκυματική επικοινωνία είναι ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν διαπερνά τοίχους
 - Επίσης, δεν αντιμετωπίζονται προβλήματα ασφάλειας και παρεμβολών σε αντίθεση με τις μικροκυματικές επικοινωνίες
 - Στην υπέρυθρη ακτινοβολία δεν τίθεται θέμα κατανομής συχνοτήτων και δεν απαιτείται χορήγηση άδειας λειτουργίας

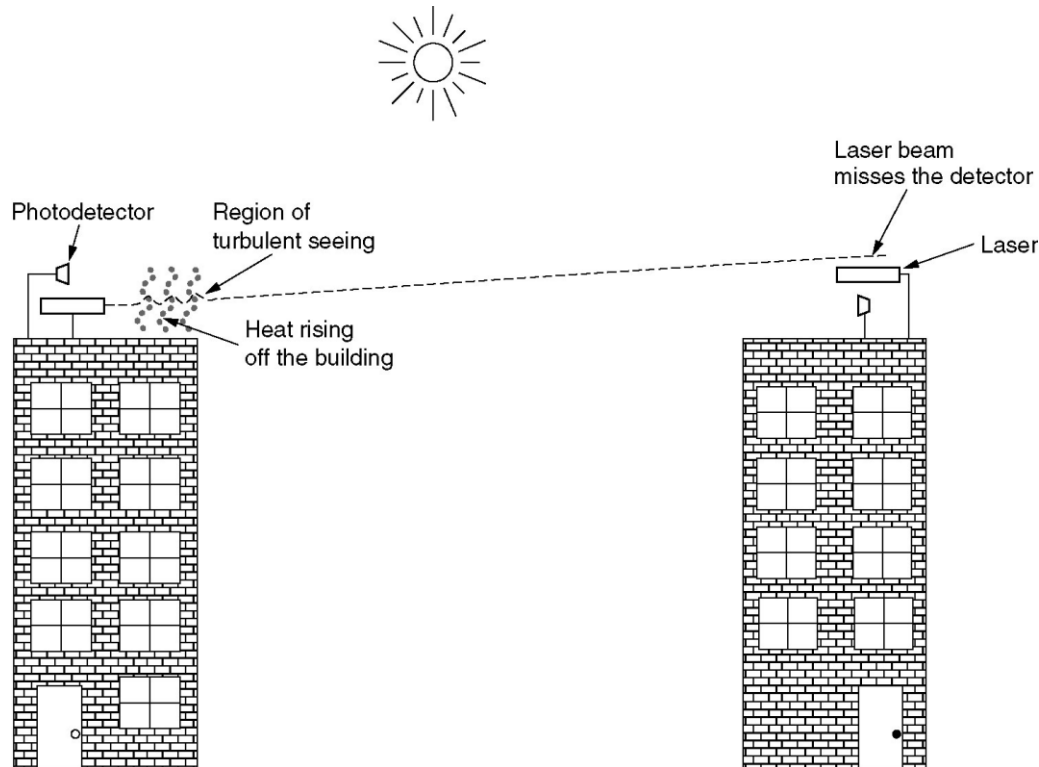


Μέσα Μετάδοσης (65/66)

- Μη Κατευθυνόμενα Μέσα Μετάδοσης
 - Οπτικά Κύματα
 - Είναι δυνατή η διασύνδεση τοπικών δικτύων *LAN* μεταξύ δύο κτιρίων με τη χρήση συστημάτων *laser* που είναι τοποθετημένα στις ταράτσες των κτιρίων
 - Η επικοινωνία είναι μονόδρομη. Επομένως, κάθε κτίριο χρειάζεται το δικό του *laser* και τον δικό του ανιχνευτή φωτός
 - Τα συστήματα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικά ευθυγραμμισμένα
 - Η επικοινωνία επηρεάζεται από τη βροχόπτωση και την ομίχλη, ενώ συνήθως λειτουργούν καλά σε ηλιόλουστες μέρες
 - Προβλήματα μπορούν να παρατηρηθούν και σε ηλιόλουστες μέρες (δημιουργία ρευμάτων μεταγωγής θερμότητας, τα οποία εκτρέπουν την ακτίνα του *laser* από τον ανιχνευτή)
 - Τα συστήματα αυτά παρέχουν υψηλό εύρος ζώνης σε πολύ χαμηλό κόστος και δεν απαιτούν άδεια λειτουργίας



Μέσα Μετάδοσης (66/66)



Αμφίδρομο σύστημα επικοινωνίας *laser*. Ρεύματα μεταγωγής θερμότητας παρεμβάλλονται στο σύστημα επικοινωνίας

Τέλος Ενότητας



Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE277/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

