

William Stallings

Data and Computer

Communications

Κεφάλαιο 4

Μέσα μετάδοσης

Επισκόπηση

- Το μέσο μετάδοσης είναι το φυσικό μονοπάτι ανάμεσα στον μεταδότη και τον αποδέκτη
- Τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: κατευθυνόμενα και μη κατευθυνόμενα (ασύρματα)
 - Παραδείγματα κατευθυνόμενων μέσων μετάδοσης: συνεστραμμένο ζεύγος, χάλκινο ομοαξονικό καλώδιο, οπτική ίνα
 - Παραδείγματα μη κατευθυνόμενων μέσων μετάδοσης: ατμόσφαιρα, διαστημικό κενό

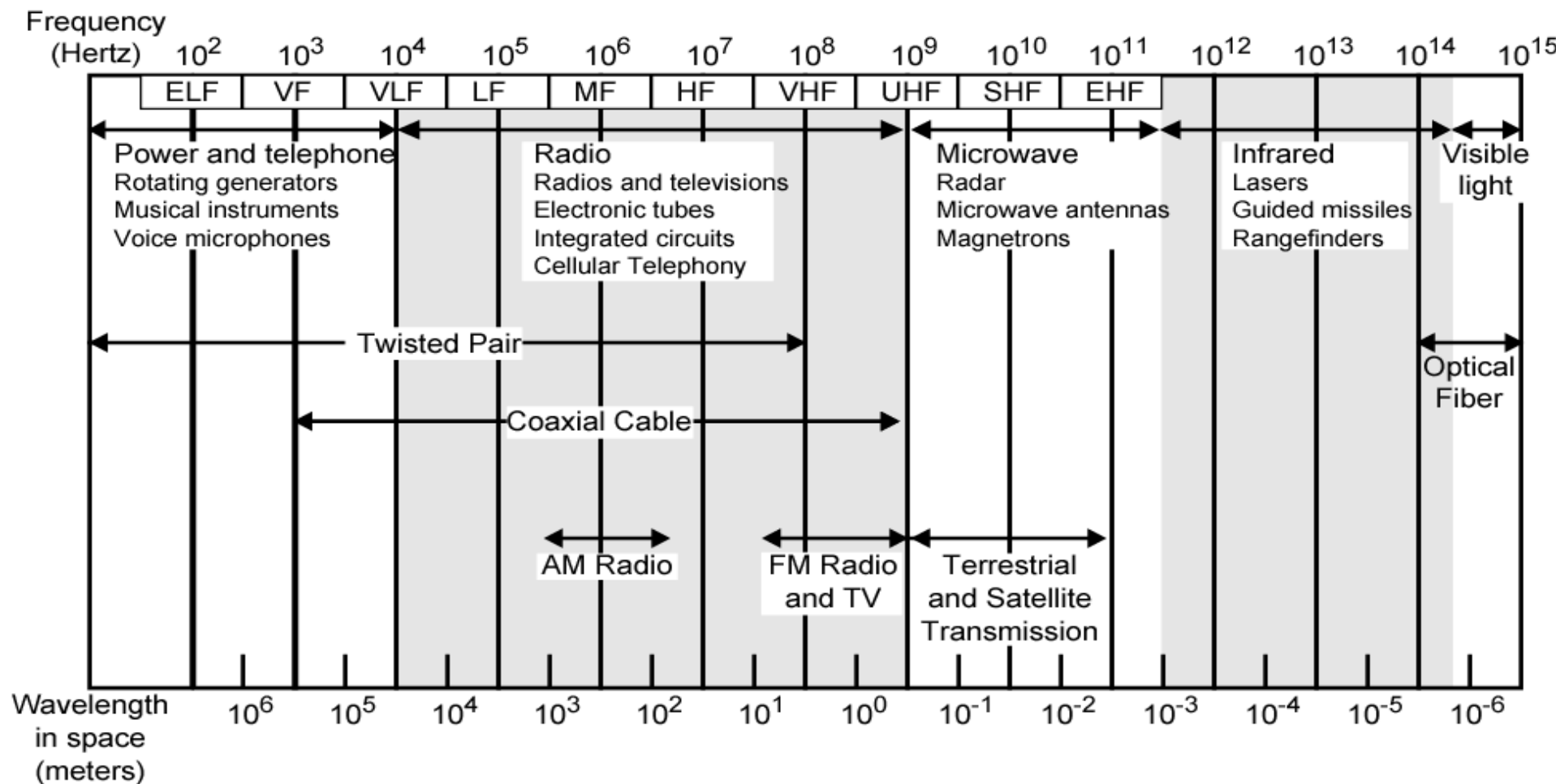
Επισκόπηση

- Σε κάθε περίπτωση το μεταδιδόμενο σήμα έχει τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος
- Τα χαρακτηριστικά και η ποιότητα της μετάδοσης καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης και του σήματος
 - Στα κατευθυνόμενα μέσα τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης είναι πιο σημαντικά
 - Π.χ STP επιτρέπει μεγαλύτερο ρυθμό από UTP
 - ενώ στα μη κατευθυνόμενα μέσα είναι πιο σημαντικά τα χαρακτηριστικά του σήματος
 - Π.χ. σε radio υψηλές συχνότητες επιτρέπουν κατευθυντικότητα

Παράγοντες σχεδιασμού

- Ο ρυθμός μετάδοσης και η απόσταση επικοινωνίας καθορίζονται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης:
 - Εύρος Ζώνης (Bandwidth)
 - Μεγαλύτερο εύρος ζώνης->μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης
 - Γιατί; (Το έχουμε δει)
 - Ατέλειες Μετάδοσης (Transmission Impairments)
 - Εξασθένηση TP> Εξασθένηση coaxial>εξασθένηση fiber
 - Παρεμβολές (Interference)
 - Προκαλούνται από ομόσυχνες εκπομπές
 - Σε μη κατευθυνόμενα μέσα απο γειτονικές κεραίες
 - Σε κατευθυνόμενα από παρακείμενα καλώδια
 - Αριθμός Αποδεκτών
 - Κάθε συσκευή διασύνδεσης δέκτη με το μέσο εισάγει εξασθένηση

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



ELF = Extremely low frequency

VF = Voice frequency

VLF = Very low frequency

LF = Low frequency

MF = Medium frequency

HF = High frequency

VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency

SHF = Superhigh frequency

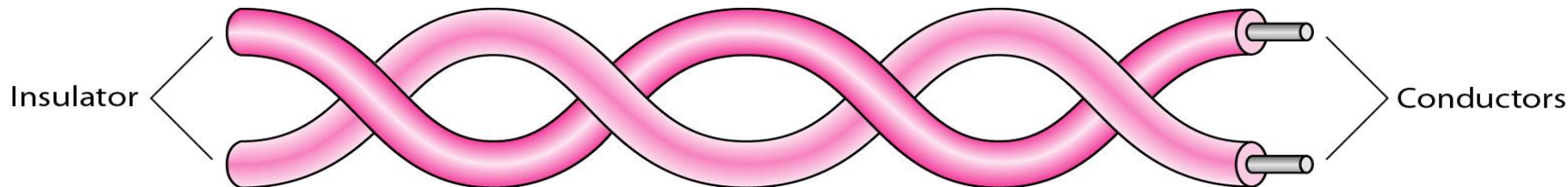
EHF = Extremely high frequency

Κατευθυνόμενα μέσα μετάδοσης

- Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων
- Ομοαξονικό καλώδιο
- Οπτική ίνα

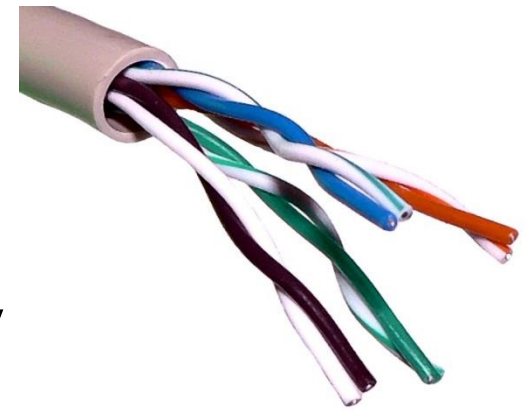
Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων

- Στην κατηγορία αυτή ανήκει το γνωστό τηλεφωνικό καλώδιο
- Αποτελείται από δύο χάλκινα καλώδια που είναι συνεστραμμένα μαζί για να μειωθεί η επίδραση των παρεμβολών συνακρόασης
 - Ένα καλώδιο μεταφέρει το σήμα (τάση)
 - Το δεύτερο είναι σε τάση αναφοράς (γείωση)
 - Ο δέκτης λαμβάνει το σήμα μετρώντας τη διαφορά τάσης
- Είναι το παλιότερο, φθηνότερο και συχνότερα χρησιμοποιούμενο μέσο μετάδοσης



Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων-χαρακτηριστικά

- Τυπικά, ένα πλήθος TP συσκευάζεται στο ίδιο «καλώδιο» με κοινό προστατευτικό περίβλημα
- Η συστροφή μειώνει τις παρεμβολές μεταξύ ζευγών
- Γειτονικά ζεύγη έχουν συνήθως διαφορετικές αποστάσεις συστροφής για μείωση παρεμβολών



Unshielded twisted pair cable
with different twist rates

Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων-χαρακτηριστικά

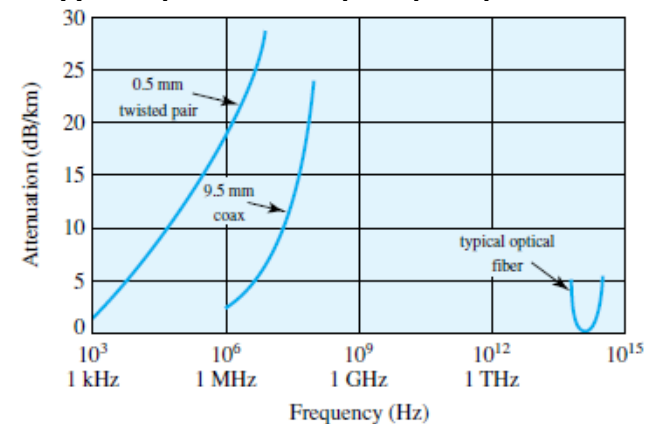
- Επηρεάζεται σημαντικά από τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο και τις παρεμβολές
- Μπορεί να μεταφέρει αναλογικό σήμα εύρους ζώνης μέχρι 1 MHz ή ψηφιακό σήμα της τάξης των λίγων Mbps σε μέση απόσταση
 - Σε μικρές αποστάσεις (LANs) από 10 Mbps-1Gbps.
 - Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.
- Όταν μεταφέρει αναλογικό σήμα χρειάζεται ενισχυτή κάθε 5-6 km,
 - ενώ όταν μεταφέρει ψηφιακό σήμα χρειάζεται repeater κάθε 2-3 km

Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων-χαρακτηριστικά

- Είναι συνήθως ήδη εγκατεστημένο (στα πλαίσια του αναλογικού τηλεφωνικού δικτύου)
 - Συνδέει την τηλεφωνική συσκευή με το κέντρο του παρόχου
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μεταφορά data (modems, DSL)
- Χρησιμοποιείται σε LANs υψηλής ταχύτητας (10-100 Mbps)
 - Σε εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων ο ρυθμός μετάδοσης περιορίζεται στα 4 Mbps
- Το twisted-pair είναι φθηνότερο από τα υπόλοιπα κατευθυνόμενα μέσα μετάδοσης

Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων-χαρακτηριστικά

- Ωστόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι υποδεέστερα των υπολοίπων μέσων μετάδοσης
 - γι' αυτό ο επιτεύξιμος ρυθμός μετάδοσης είναι μικρός και η μέγιστη απόσταση σχετικά περιορισμένη
- Αιτίες:
 - Η εξασθένηση μεταβάλλεται σημαντικά για αυξανόμενη συχνότητα
 - Με αποτέλεσμα να περιοριζόμαστε στο εύρος συχνοτήτων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε
 - Το μέσο μετάδοσης επηρεάζεται από
 - Ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο
 - Κρουστικό θόρυβο

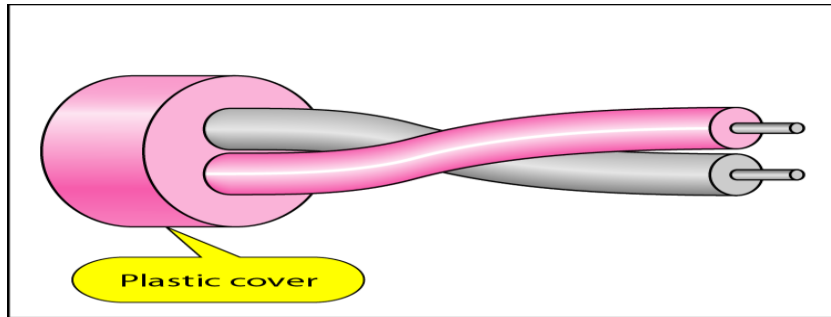


Attenuation of Typical Guided Media

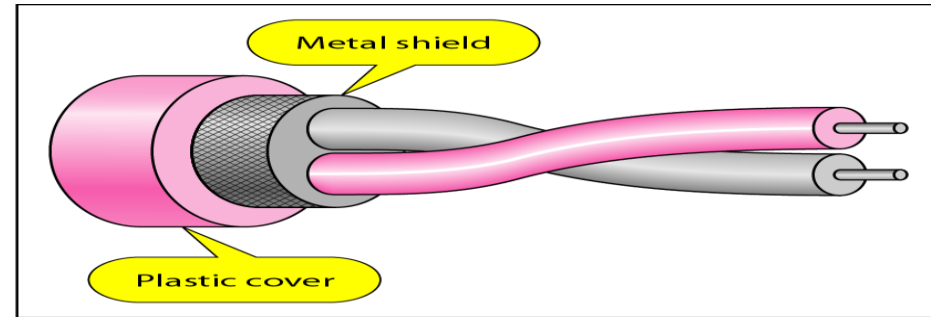
Θωρακισμένο και μη θωρακισμένο TP

- Μη θωρακισμένο ζεύγος (UTP)
 - Κοινό τηλεφωνικό καλώδιο
 - Σε πληθώρα σε όλα σχεδόν τα κτίρια
 - Η φθηνότερη επιλογή
 - Εύκολη εγκατάσταση
 - Επιρρεπές σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- Θωρακισμένο ζεύγος (STP)
 - Μεταλικό κάλυμα το οποίο ελαττώνει τις παρεμβολές
 - Πιο ακριβή επιλογή
 - Δύσκολος χειρισμός (μεγάλη διατομή, βάρος)

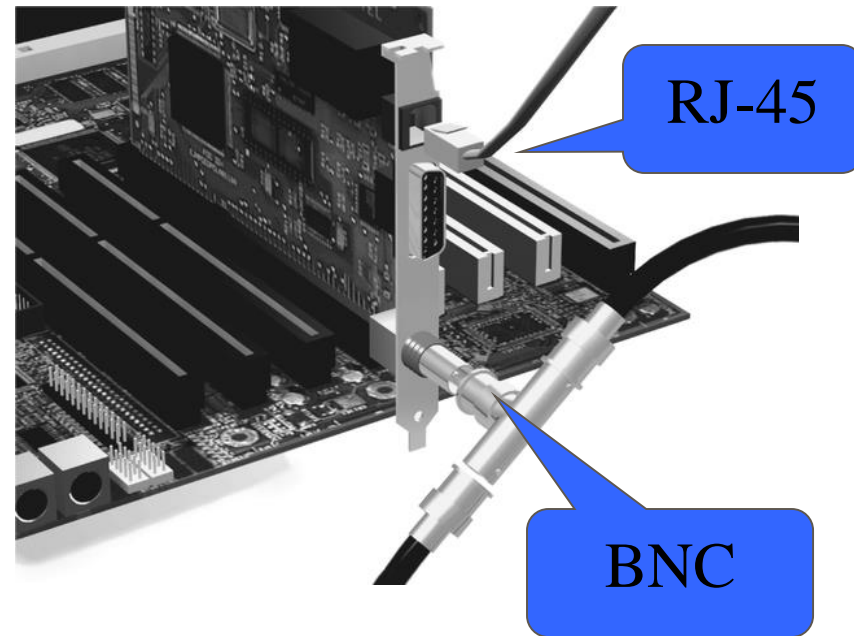
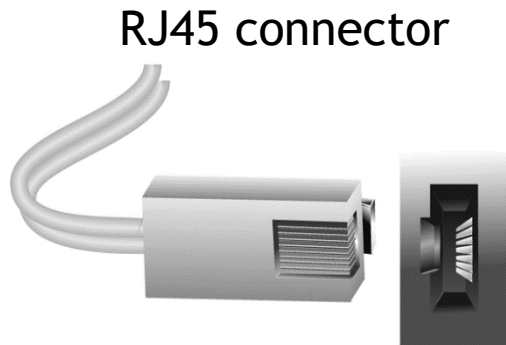
Θωρακισμένο και μη θωρακισμένο TP



a. UTP



b. STP



Κατηγορίες UTP

- Cat 3
 - το γνωστό τηλεφωνικό καλώδιο
 - συχνά αποκαλείται voice-grade twisted pair
 - Bandwidth έως 16 MHz
 - Έχει 7.5-10cm twist length και μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 16 Mbps
- Cat 4
 - Bandwidth έως 20 MHz
- Cat 5
 - Bandwidth έως 100 MHz
 - Καλωδίωση data-πλέον εγκαθίσταται συχνά σε καινούρια κτίρια
 - Η πυκνότερη περιέλιξη (0.6-0.85 cm twist length) αυξάνει το κόστος του,
 - αλλά ταυτόχρονα αναβαθμίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και το καθιστά ικανό να υποστηρίξει μέχρι 100 Mbps με παρόμοιο crosstalk
- Cat 5E (Βελτιωμένο) –βλ. πίνακες
- Cat 6
- Cat 7

Σύγκριση θωρακισμένου και μη συνεστραμμένου ζεύγους

	Εξασθένιση (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
Συχνότητα (MHz)	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	41	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

Νέες κατηγορίες TP

	Category 3 Class C	Category 5 Class D	Category 5E	Category 6 Class E	Category 7 Class F
Εύρος ζώνης	16 MHz	100 MHz	100 MHz	200 MHz	600 MHz
Τύπος καλωδίου	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FTP	SSTP
Κόστος σύνδεσης (Cat 5 =1)	0.7	1	1.2	1.5	2.2

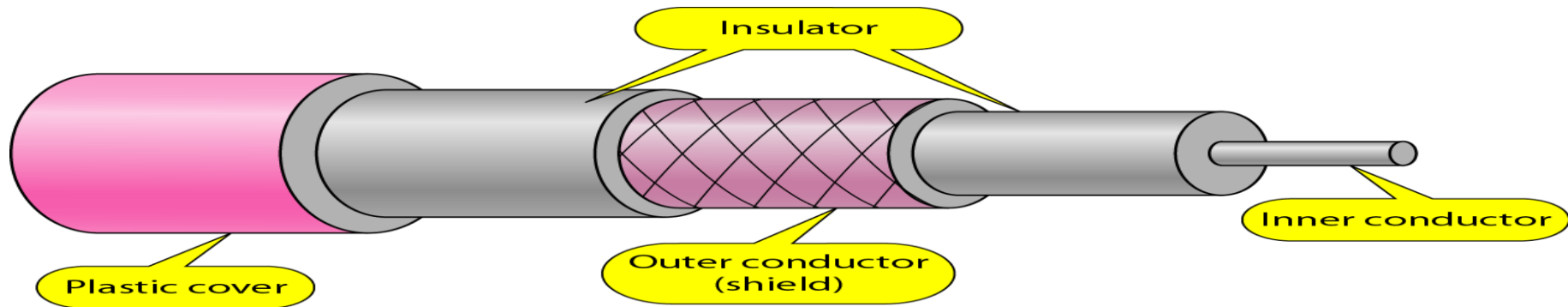


FTP: Aluminum Foil Shield

Ομοαξονικό καλώδιο

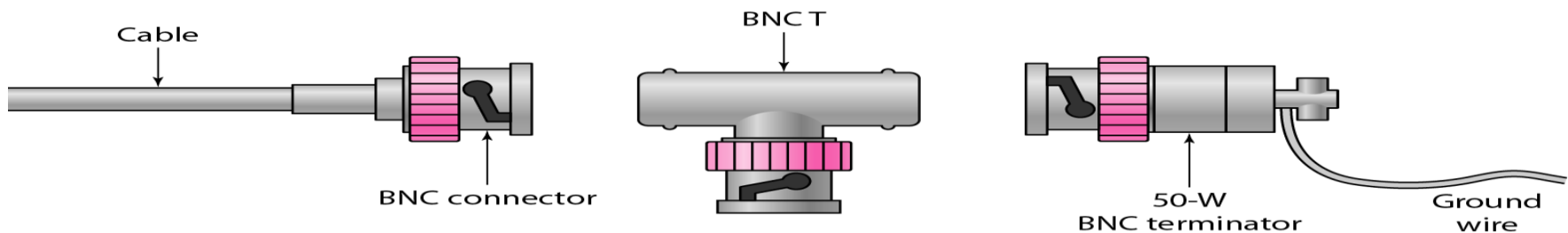
- Μπορεί να λειτουργήσει σε μεγαλύτερο συχνотικό εύρος
 - Άρα να δώσει υψηλότερες ταχύτητες από το TP
- Όπως και το twisted pair, αποτελείται από δύο αγωγούς, μόνο που η διάταξή τους είναι εντελώς διαφορετική
- Αποτελείται από έναν εσωτερικό αγωγό που περιβάλλεται από έναν εξωτερικό αγωγό κυλινδρικής μορφής
- Μεταξύ των δύο αγωγών παρεμβάλεται μονωτής, ενώ ο εξωτερικός αγωγός περιβάλλεται από πλαστικό κάλυμμα ή θωράκιση
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις από το TP
 - Και να υποστηρίξει περισσότερους σταθμούς στο ίδιο μέσο μετάδοσης

Ομοαξονικό καλώδιο



To connect coaxial cable to device, we need BNC (Bayonet Neill-Concelman) connector

BNC connectors



Εφαρμογές ομοαξονικού καλωδίου

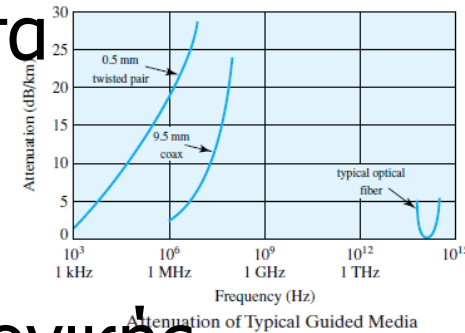
- Το ομοαξονικό καλώδιο είναι το μέσο μετάδοσης με τις περισσότερες εφαρμογές
- Διανομή τηλεοπτικού σήματος
 - Κεραία προς δέκτη TV
 - Καλωδιακή TV
 - Μπορεί να μεταφέρει αρκετές δεκάδες τηλεοπτικά σήματα σε αποστάσεις της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων
- Τηλεφωνικές συνδέσεις μεγάλης απόστασης
 - Με τη χρήση πολύπλεξης συχνότητας (FDM) μπορεί να μεταφέρει έως 10,000 τηλεφωνικές κλήσεις ταυτόχρονα
 - Αντικαθίσταται σταδιακά από οπτική ίνα, δορυφόρους, microwave links
- Συνδέσεις I/O ψηφιακών συσκευών σε μικρές αποστάσεις
- Τοπικά δίκτυα

Ομοαξονικό καλώδιο – χαρακτηριστικά μετάδοσης

- Το ομοαξονικό καλώδιο μπορεί να μεταφέρει τόσο αναλογικά όσο και ψηφιακά σήματα

— Πιο αποδοτικά από TP

->



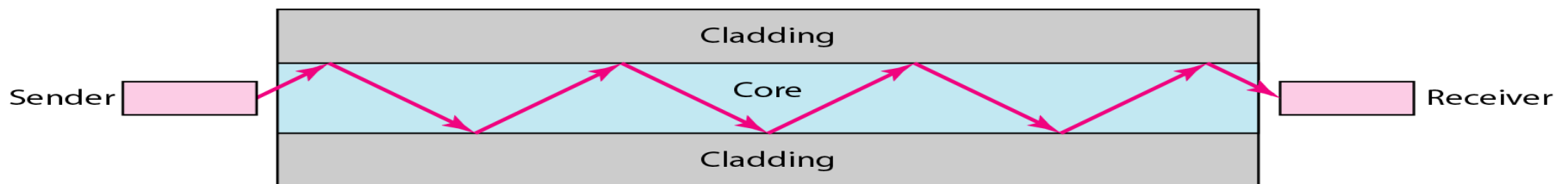
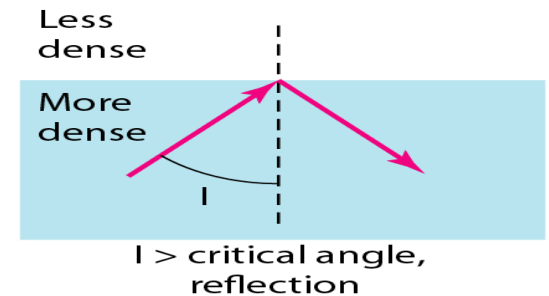
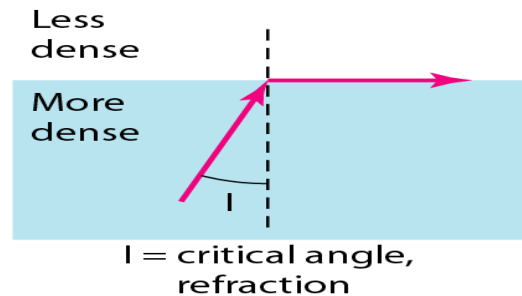
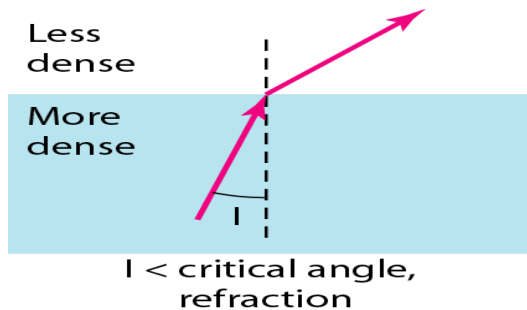
- Λόγω της θωράκισής του και της ομοαξονικής δομής του είναι πιο ανθεκτικό από το twisted pair, στις παρεμβολές και στο crosstalk
- Οι κυριότεροι περιορισμοί στη χρήση του τίθενται από την εξασθένιση, το θερμικό θόρυβο και τον intermodulation noise (όταν εφαρμόζεται FDM)

Ομοαξονικό καλώδιο – χαρακτηριστικά μετάδοσης

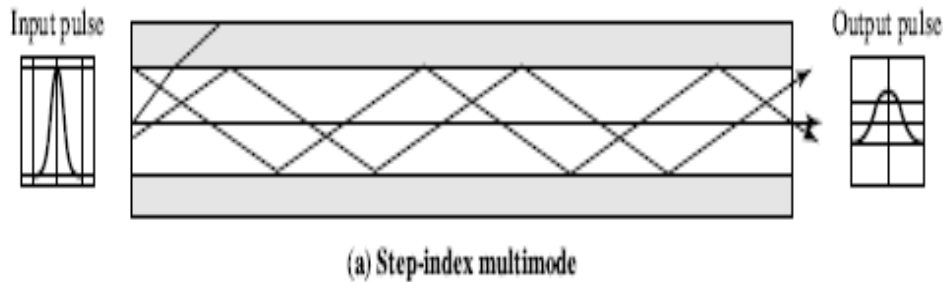
- Αναλογική μετάδοση
 - Ενισχυτές κάθε μερικά km
 - Μικρότερη εμβέλεια για χρήση μεγαλύτερους εύρους συχνοτήτων
 - Το παραπάνω εύρος εκτείνεται ως 500MHz
- Ψηφιακή μετάδοση
 - Επαναλήπτες κάθε 1km
 - Ή μικρότερη απόσταση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων

Οπτική ίνα-αρχή λειτουργίας

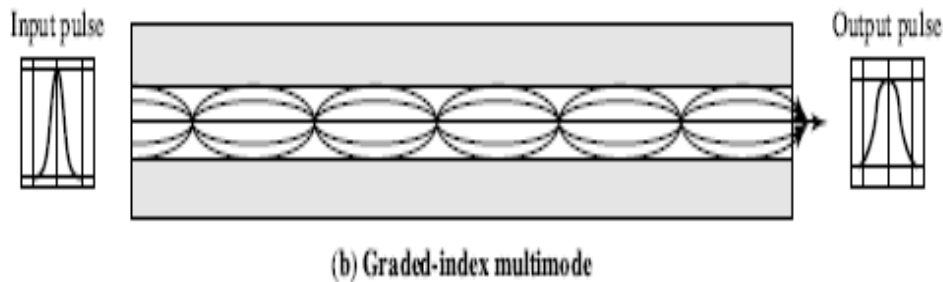
- Από τι υλικό;
 - Πιο αποδοτικές (<BER) ίνες από καθαρο λωμένο πυρίτιο
 - Δυσκολο να κατασκευαστουν
 - Ίνες γυαλιου: πιο οικονομικες, με καλή απόδοση
 - Πλαστικές ίνες: ικανοποιητική απόδοση για μικρές αποστάσεις



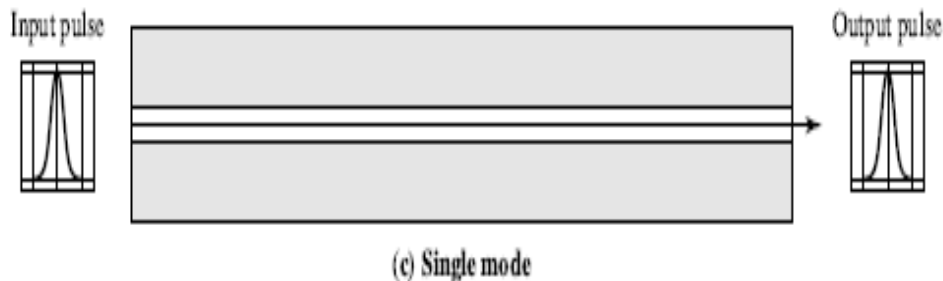
Οπτική ίνα-αρχή λειτουργίας



- Πολλαπλά μονοπατια διαδοσης φωτός
- «Απλωμα» σηματος στο δεκτη
- ISI-θα πρεπει να περιοριστηει ο ρυθμος μεταδοσης με διαστηματα φρουρας



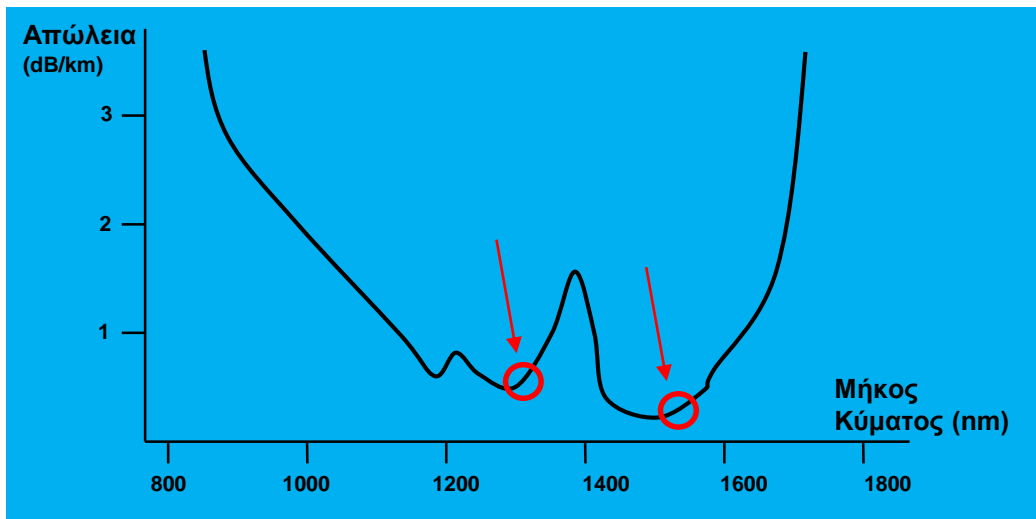
- Διαφορετικος δεικτης διαθλασης πυρηνα
 - Υψηλοτερος στο κεντρο



- Μειωμένη διάμετρος πυρήνα σε σχέση με step-index
- Επιτρεπει διέλευση μονο μιας ακτινας

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Τεράστιο εύρος ζώνης
 - Σε μία μόνο οπτική ίνα φτάνει σε μερικές δεκάδες THz
 - το εκμεταλλευόμαστε χρησιμοποιώντας κυρίως τις δυο περιοχές χαμηλής εξασθένησης οπτικού σήματος των 200 nm περίπου, η πρώτη στα 1310 nm και η δεύτερη στα 1550 nm



Οι δυο βασικές περιοχές χαμηλής εξασθένησης (απώλειας) οπτικού σήματος μιας οπτικής ίνας

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

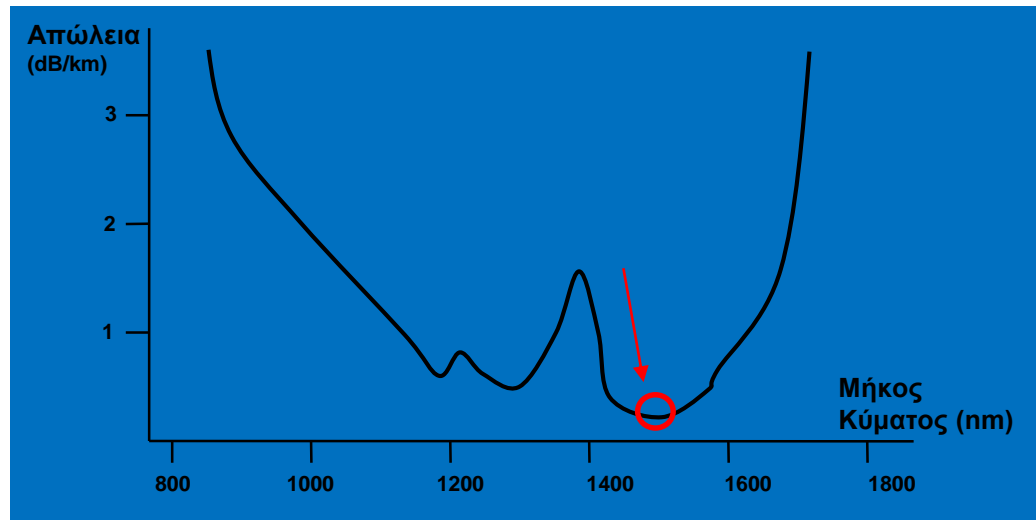
- Τεράστιο εύρος ζώνης Πχ
 - στη μπάνα του 1 μM κάθε μονοτροπικής οπτικής ίνας, το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι κατά τρεις τάξεις μεγέθους περισσότερο από ολόκληρο το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης ραδιοφωνικών συχνοτήτων, που είναι περίπου 25 GHz!
 - η χωρητικότητα καναλιού μίας μόνο οπτικής είναι μεγαλύτερη από ένα τυπικό άθροισμα τηλεφωνικής κυκλοφορίας των Ηνωμένων Πολιτειών σε περίοδο αιχμής!
- Υπάρχει θεωρητική δυνατότητα αρκετών δεκάδων Tb/s
 - οπτικά συστήματα μετάδοσης που συνδυάζουν τις τεχνικές πολυπλεξίας WDM και TDM και που φτάνουν αθροιστικά σε ρυθμούς bit της τάξης του 1 Tb/s έγιναν εμπορικά διαθέσιμα πριν από δυο περίπου χρόνια

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Καλύτερες ποιότητες σημάτων
 - Η οπτική μετάδοση δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία
 - Συνεπώς οι οπτικές ίνες επιδεικνύουν ανώτερη επίδοση από άλλα μέσα μετάδοσης
 - Για δεδομένη απόσταση, το BER μιας μετάδοσης σε οπτική ίνα είναι σημαντικά καλύτερο από το BER μιας μετάδοσης σε χάλκινο καλώδιο ή μιας ασύρματης (wireless) μετάδοσης
 - Συνηθισμένες τιμές για το BER είναι από 10^{-9} έως 10^{-15} αντίστοιχα, ενώ για τους αντίστοιχους χάλκινους συνδέσμους το BER δεν θα ήταν καλύτερο από μόλις 10^{-5}
 - Έτσι η αντοχή στο θόρυβο (noise immunity) της οπτικής ίνας είναι μεγαλύτερη από τα άλλα μέσα μετάδοσης που συχνά υποφέρουν αρκετά από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Χαμηλή εξασθένιση σήματος
 - η εξασθένισή τους μπορεί να είναι χαμηλή ως και 0.25 dB/km

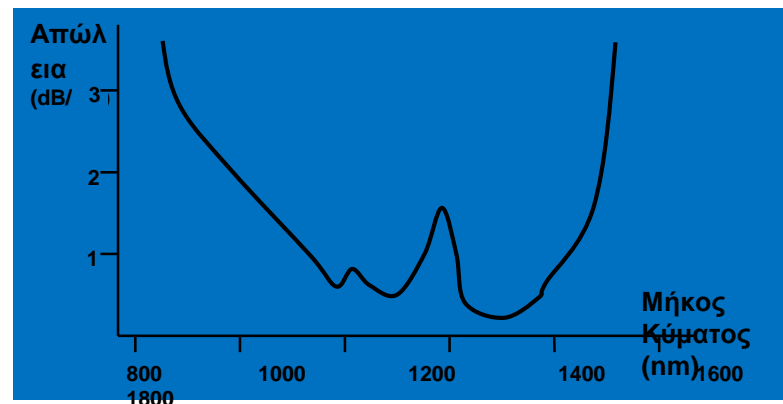


Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Χαμηλή εξασθένιση σήματος
 - Τέτοια επίπεδα εξασθένισης συνεπάγονται τη δυνατότητα ενός οπτικού σήματος σε αυτή τη ζώνη να διανύσει μια απόσταση περίπου 120 km προτού χρειαστεί ενίσχυση ή αναγέννηση
 - Στο ίδιο σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε και την ζώνη των 1310 nm με τυπική απώλεια 0.4 dB/km· αυτή έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε οπτικά συστήματα επικοινωνίας
 - Η τρίτη ζώνη χαμηλής εξασθένισης στα 800 nm δεν φαίνεται στο σχήμα
 - Σε αυτή τη ζώνη οι απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις δύο προηγούμενες (γύρω στα 2.5 dB/km) και κυρίως χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα οπτικά συστήματα

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Χαμηλή εξασθένιση σήματος
 - Υπάρχουν και άλλοι τύποι οπτικών ινών σαν την καινούρια allwave ίνα για παράδειγμα
 - Αυτή παρέχει περισσότερο οπτικό φάσμα προς εκμετάλλευση καθώς εξαφανίζει τις απώλειες στην περιοχή γύρω στα 1385 nm της συμβατικής ίνας, όπου όπως φαίνεται και στο Σχήμα η απώλεια της συμβατικής ίνας προς στιγμήν ανεβαίνει



Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Ευκολία εγκατάστασης & συντήρησης
 - Μια οπτική ίνα καλής ποιότητας είναι μερικές φορές λιγότερο εύθραυστη από έναν χάλκινο σύνδεσμο
 - Οι οπτικές ίνες δεν παθαίνουν διάβρωση και είναι λιγότερο ευάλωτες σε φθορές λόγω διαφόρων περιβαλλοντικών συνθηκών
 - Είναι ιδιαίτερα εύκαμπτες,
 - ζυγίζουν λιγότερο από τα χάλκινα καλώδια
 - και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε χώρο

Πλεονεκτήματα Οπτικής Ίνας

- Καλύτερη ασφάλεια
 - Αποτελεί ασφαλές μέσο μετάδοσης καθώς δεν είναι δυνατόν να διαβαστούν ή να μεταβληθούν τα μεταδιδόμενα οπτικά σήματα χωρίς φυσική διάσπαση της ίνας
 - Για πολλές κρίσιμες εφαρμογές (ηλεκτρονικού εμπορίου, στρατιωτικές), οι οπτικές ίνες προτιμώνται αντί π. χ. των χάλκινων μέσων μετάδοσης
 - από τα οποία υπάρχει γενικά η δυνατότητα να αντληθούν παράνομα πολύτιμες μεταδιδόμενες πληροφορίες από τα ηλεκτρομαγνητικά τους πεδία

Οπτική ίνα-Εφαρμογές

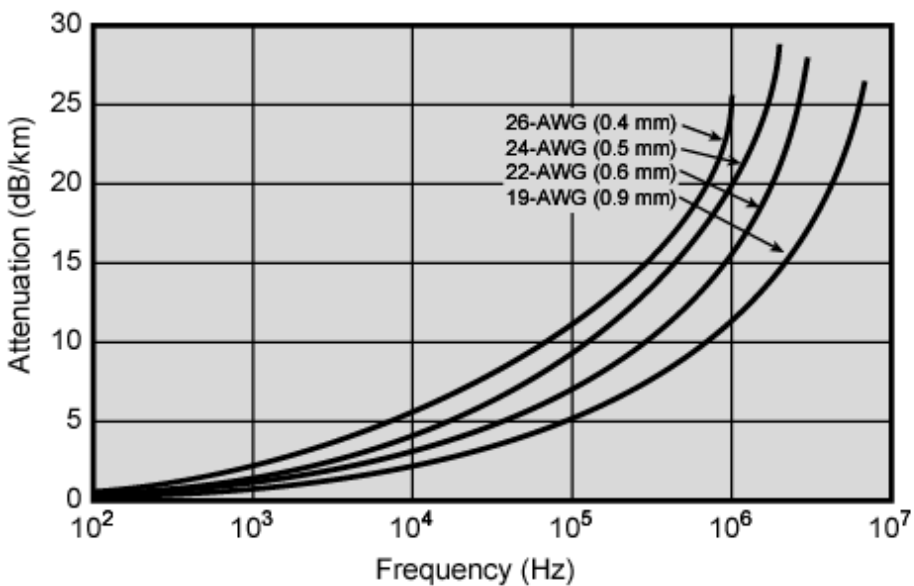
- Συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων
- Συνδέσεις σε μητροπολιτικό επίπεδο
- Συνδέσεις μεταγωγής σε αγροτικές περιοχές
- Βρόχοι συνδρομητή
- LANs

Οπτική ίνα-χαρακτηριστικά μετάδοσης

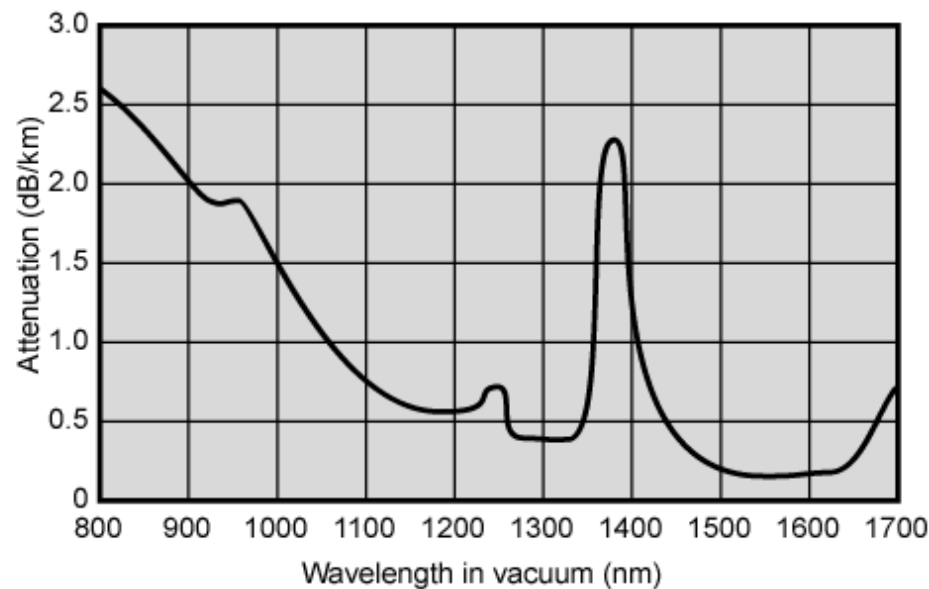
- Πομποί
 - Δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitting Diode, LED)
 - Φθηνότεροι
 - Μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας
 - Μεγαλύτερος χρόνος ζωής
 - Injection Laser Diode (ILD)
 - Πιο ακριβοί
 - Μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης
- Πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM)
 - Η τεχνολογία που επιτρέπει την πλήρη εκμετάλλευση του bandwidth μιας ίνας

Χρήση συχνοτήτων από εφαρμογές για οπτικές ίνες

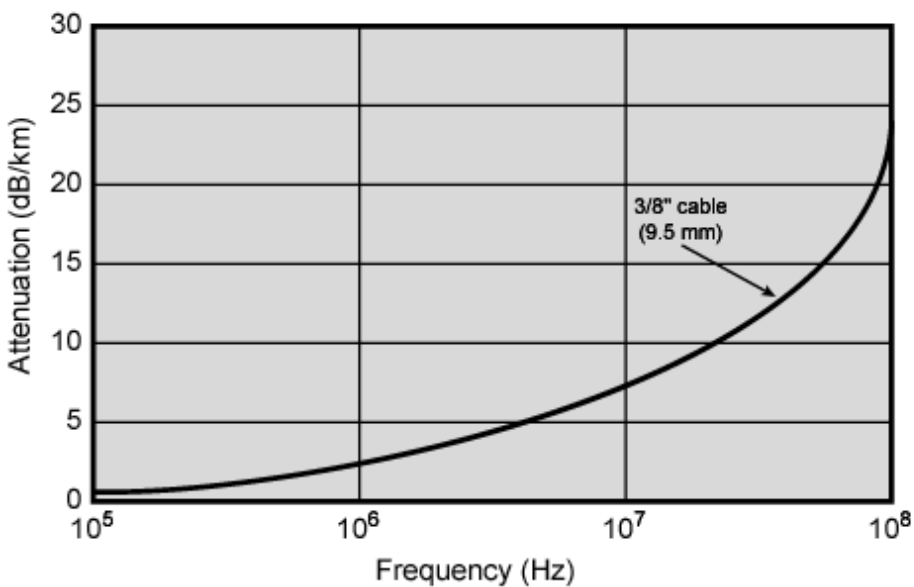
Μήκος κύματος (στο κενό) εύρος (nm)	Εύρος συχνοτήτων (THz)	Ετικέτα μπάντας	Τύπος ίνας	Εφαρμογή
820 to 900	366 έως 333		Πολύτροπη	LAN
1280 to 1350	234 έως 222	S	Μονότροπη	Various
1528 to 1561	196 έως 192	C	Μονότροπη	WDM
1561 to 1620	185 έως 192	L	Μονότροπη	WDM



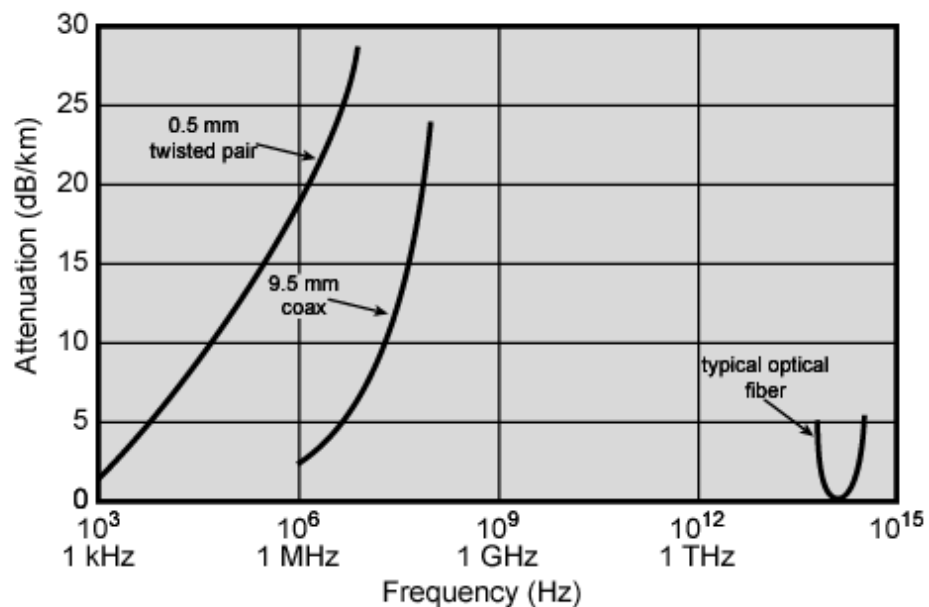
(a) Twisted pair (based on [REEV95])



(c) Optical fiber (based on [FREE02])



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



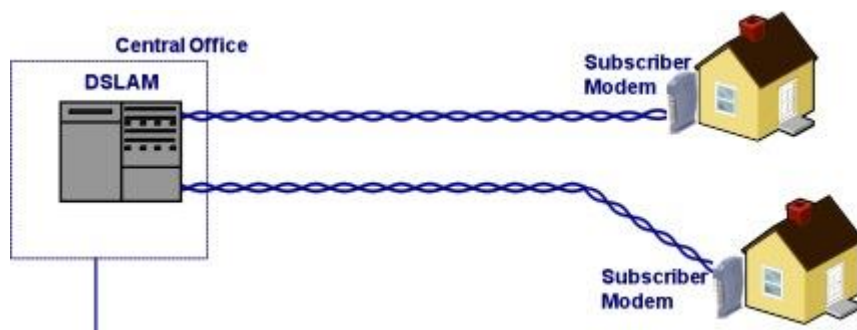
(d) Composite graph

Δίκτυα πρόσβασης

- Στις μέρες μας χρησιμοποιείται συνδυασμός οπτικής ίνας και χαλκού για το δίκτυο πρόσβασης
- Πόσο όμως από το καθένα;

Digital Subscriber Line (DSL)

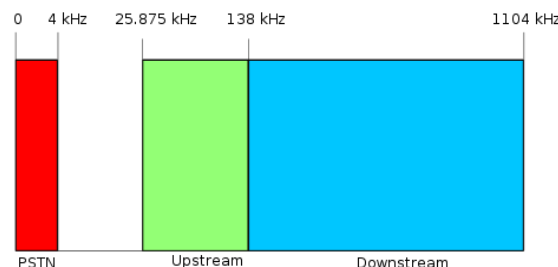
- Ο τοπικός βρόχος (local loop) βασίζεται σε συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων χαλκού
 - Local loop: το φυσικό κύκλωμα συνεστραμμένου ζεύγους μεταλλικών καλωδίων που συνδέει έναν συνδρομητή με το πλησιέστερο αστικό τηλεφωνικό κέντρο
- DSL: Μετατρέπει το απλό τηλεφωνικό καλώδιο σε ένα κανάλι μεγάλου εύρους ζώνης με τη χρήση ειδικών modems, τα οποία τοποθετούνται στις δυο άκρες της γραμμής



Digital Subscriber Line (DSL)

- DSL

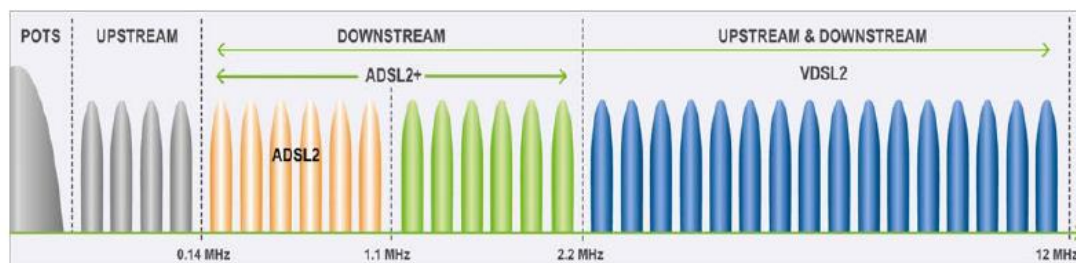
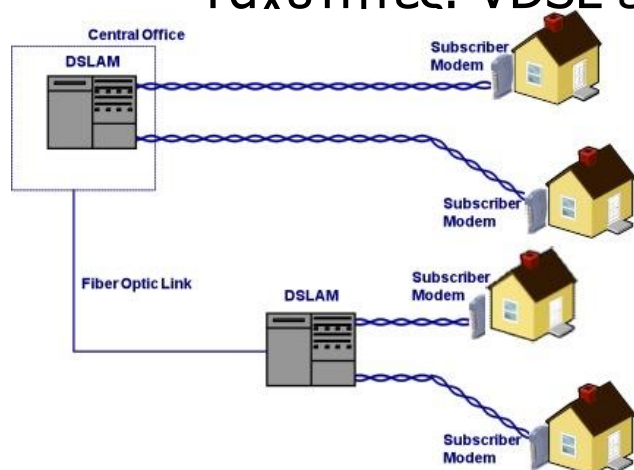
- Χρησιμοποιεί φάσμα του ζεύγους καλωδίων που δε χρησιμοποιείται απο τη τηλεφωνία



- η παραδοσιακή τηλεφωνία και η μετάδοση δεδομένων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα
- οι συχνότητες που χρησιμοποιεί εξασθενούν περισσότερο από αυτές της τηλεφωνίας, με αποτέλεσμα να μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις έως 5 χλμ. από το τηλεφωνικό κέντρο
- Όσο μεγαλώνει η απόσταση από το τηλεφωνικό κέντρο τόσο μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί
- ADSL2 / ADSL2+: έως 24/3.5 Mbps
 - στην πράξη πολύ λίγοι χρήστες μπορούν να συνδεθούν σε αυτές τις ταχύτητες, λόγω της απόστασής τους από το τηλεφωνικό κέντρο.

Very-high-bitrate DSL (VDSL)

- Τεχνολογία που προσφέρει γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από το ADSL/ADSL2+
 - Aka: FTTc
- Πως;
 - Μειώνεται η χρήση του συνεστραμμένου ζεύγους
 - ο εξοπλισμός (DSLAM) τοποθετείται σε επίπεδο γειτονιάς
 - Η μικρότερη απόσταση εισάγει και μικρότερες εξασθενήσεις
 - Ταχύτητες: VDSL έως 52/16 Mbps, VDSL2 έως 100/100 Mbps



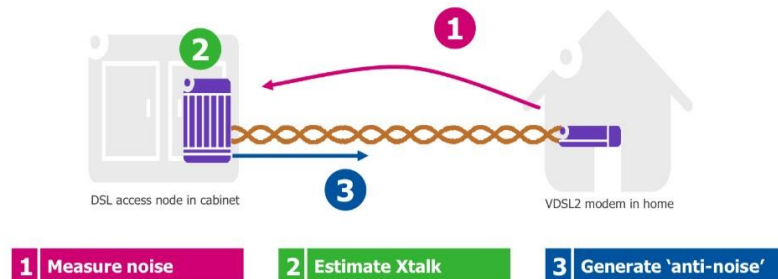
VDSL & vectoring

- Το πρόβλημα: crosstalk μεταξύ γειτονικών συνεστραμμένων ζευγών



- Η λύση: Εκτίμηση θορύβου crosstalk και πρόσθεση «αντίθετου» σήματος

VDSL2 VECTORING HOW DOES IT WORK?



FTTB / FTTH

- Fiber To The Building

- περιορίζει στο ελάχιστο την χρήση καλωδίου χαλκού
- Για αυτόν ακριβώς το λόγο, μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλότερες ταχύτητες από το VDSL



- Fiber to the Home

- η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το χώρο (κατοικίας ή εργασίας) του τελικού χρήστη
- Χρησιμοποιεί πλήρως οπτικές ίνες
 - => μπορεί να πετύχει πάρα πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (τάξης Gbps)



Ασύρματη μετάδοση

- Υπάρχουν δύο είδη ασύρματης μετάδοσης: η κατευθυνόμενη (directional) και η μη κατευθυνόμενη (omnidirectional)
- Κατά την κατευθυνόμενη μετάδοση η μεταδίδουσα κεραία εκπέμπει μια εστιασμένη ηλεκτρομαγνητική δέσμη και πρέπει η μεταδίδουσα και η λαμβάνουσα κεραία να είναι σωστά ευθυγραμμισμένες, ώστε η μετάδοση να είναι επιτυχής
- Κατά την μη κατευθυνόμενη μετάδοση το μεταδιδόμενο σήμα διαδίδεται προς κάθε κατεύθυνση και μπορεί να ληφθεί από πολλές κεραίες τοποθετημένες σε διάφορες θέσεις
- Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα του σήματος τόσο πιο εύκολη είναι η εστίασή του σε μια δέσμη

Συχνότητες ασύρματης μετάδοσης

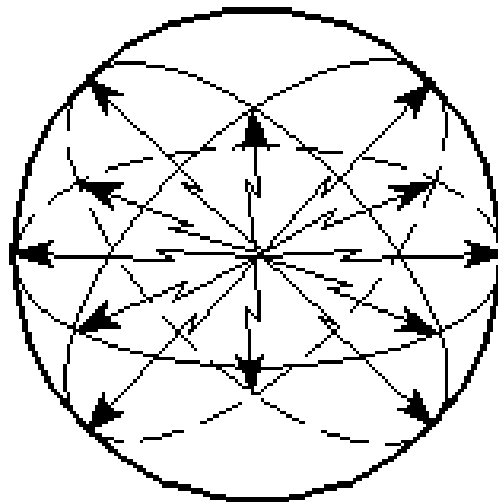
- Υπάρχουν τρία τμήματα του φάσματος συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για ασύρματες μεταδόσεις:
 - 2-40 GHz (μικροκυματικές συχνότητες)
 - Στις συχνότητες αυτές έχουμε εξαιρετικά κατευθυνόμενες δέσμες και γι' αυτό οι μικροκυματικές συχνότητες είναι κατάλληλες για επικοινωνίες point-to-point
 - 30 MHz – 1 GHz (ραδιοσυχνότητες)
 - Οι συχνότητες αυτές είναι κατάλληλες για μη κατευθυνόμενη μετάδοση
 - 3×10^{11} Hz – 2×10^{14} Hz (υπέρυθρο φάσμα)
 - Χρησιμοποιείται για τοπικές point-to-point και multipoint εφαρμογές σε περιορισμένους χώρους μεγέθους δωματίου

Κεραίες

- Ηλεκτρικός αγωγός που χρησιμοποιείται για διάχυση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας ή για συλλογή αυτής
- Εκπομπή
 - Ηλεκτρική ενέργεια από τον πομπό
 - Μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από την κεραία
 - Και διαχέεται στο περιβάλλον αυτής
- Λήψη
 - Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια προσπίπτει στην κεραία
 - Μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα από τη κεραία
 - Το σήμα αυτό δίδεται στο δέκτη
- Η ίδια κεραία χρησιμοποιείται κατά κανόνα και για εκπομπή και για λήψη

Πρότυπο εκπομπής

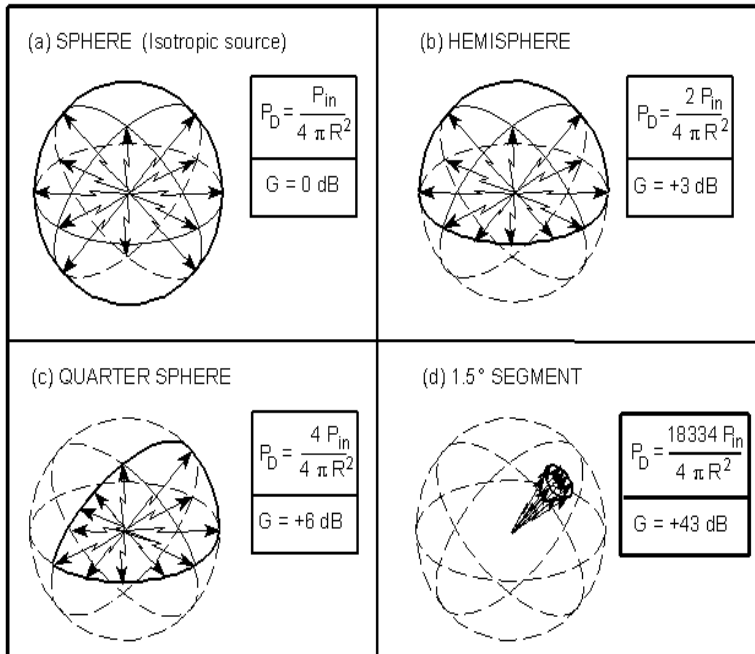
- Ισοτροπική κεραία
 - διοχετεύει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπει κατά την ίδια ποσότητα σε κάθε κατεύθυνση
 - Για αυξανόμενη απόσταση η λαμβανόμενη ισχύς μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης, καθώς μοιράζεται σε μεγαλύτερη σφαιρική επιφάνεια



$$P_R = \frac{P_{\text{πομπού}}}{4\pi R^2}$$

Μη ισοτροπικές κεραίες-κέρδος κεραίας

- Στη πράξη, δεν υπάρχει ισοτροπική κεραία καθώς καμία δε δίνει απόλυτα σφαιρική διάδοση
 - Επιπλέον, συμφέρει να συγκεντρώσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ προς συγκεκριμένη κατεύθυνση
- Ο παράγοντας G (παράγοντας κέρδους-antenna gain) δείχνει το κέρδος στη λαμβανόμενη ισχύ σε σχέση με αυτήν της ισοτροπικής κεραίας
 - Πχ στο b) σε απόσταση R , η ισχύς P' είναι διπλάσια από ότι η P στο a). Άρα:



$$\left(\frac{P'}{P} \right) = 2 = G$$

$$10 \log \left(\frac{P'}{P} \right) = 3 \text{ dB} = G_{dBi}$$

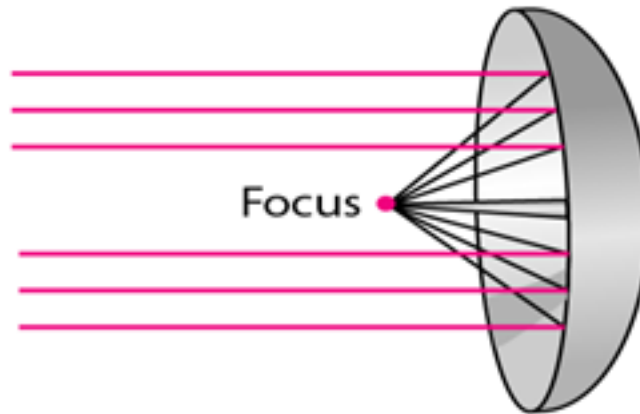
Παράγοντας κέρδους κεραίας

- ♦ Παράγοντας που σχετίζεται με τον παράγοντα κέρδους είναι και η *ενεργός επιφάνεια* A_e (effective area) της κεραίας
- ♦ Σχετίζεται με τη φυσική επιφάνεια A της κεραίας με τον τύπο: $A_e = KA$, όπου K ο συντελεστής απόδοσης της κεραίας (συνήθως K από 0.55 έως 0.75)
- ♦ Η ενεργός επιφάνεια αντιστοιχεί στο τμήμα της φυσικής επιφάνειας που απορροφά το σύνολο της εισερχόμενης ακτινοβολίας στην κεραία
- ♦ Σχέση G - A_e :

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

Παραβολική κεραία

- Χρησιμοποιούνται σε terrestrial microwave και satellite εφαρμογές
- Το παραβολικό σχήμα δημιουργεί τη δυνατότητα
 - επικεντρωμένης (focused) εκπομπής,
 - επικέντρωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας σε ένα σημείο (δέκτης)



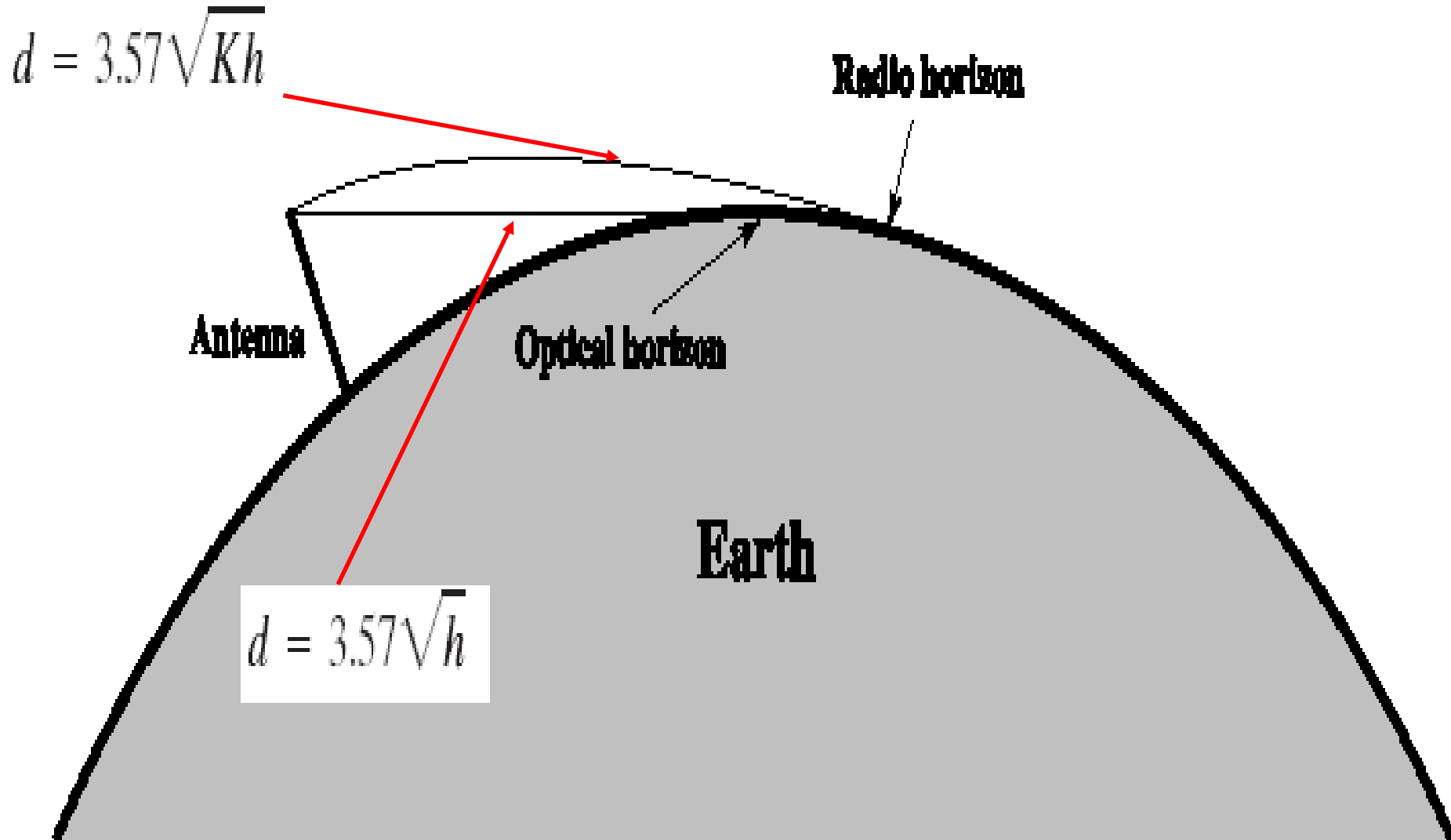
Terrestrial Microwave

- Χρησιμοποιούνται παραβολικές κεραίες διαμέτρου 3m, για τη μετάδοση και τη λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συχνότητας 2-40 GHz
- Επιτυγχάνονται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, της τάξης των εκατοντάδων Mbps
- Η ηλεκτρομαγνητική δέσμη ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή και πρέπει να υπάρχει οπτική επαφή των κεραιών μετάδοσης και λήψης
- Συχνά οι κεραίες μικροκυμάτων τοποθετούνται σε σημαντικό ύψος από το έδαφος, έτσι ώστε να μπορούν να μεταδίδουν πάνω από μεσολαβούντα εμπόδια
- Για μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιούνται επαναλήπτες

Terrestrial Microwave

- Χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων όταν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτική ίνα ή ομοαξονικό κλώδιο
 - Απαιτούν πολύ λιγότερους repeaters ή ενισχυτές από το ομοαξονικό καλώδιο για την ίδια απόσταση, αλλά απαιτούν οπτική επαφή ανάμεσα στις δύο κεραίες
- Συνήθως χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση τηλεφωνικού ή τηλεοπτικού σήματος
- Επίσης, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση τους για κοντινές ζεύξεις point-to-point μεταξύ κτιρίων
 - Πχ για closed-circuit TV
 - ή για τη σύνδεση τοπικών δικτύων
- Επίσης, μια εταιρία μπορεί να χρησιμοποιήσει μικροκυμματική ζεύξη για να εξασφαλίσει μια μακρινή ζεύξη στην ίδια πόλη
 - παρακάμπτοντας την τηλεφωνική εταιρία

Terrestrial Microwave



Commonly used Terrestrial Microwave bands

Typical Digital Microwave Performance

Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data Rate (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

Πιο συχνά χρησιμοποιούμενη περιοχή: 4 GHz - 6 GHz

Λόγω μεγάλης χρήσης της παραπάνω, πλέον χρησιμοποιείται και η περιοχή των 11 GHz

12 GHz: cable TV systems

Συνδέσεις μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά τηλεοπτικού σήματος σε τοπικά κέντρα. Στη συνέχεια το σήμα μοιράζεται με coaxial cable στους συνδρομητές

22 GHz: Μικροκύματα υψηλότερων συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για short point-to-point links μεταξύ κτιρίων

Υψίσυχνα μικροκύματα δεν είναι αποδοτικά για long range transmission εξαιτίας αυξημένης εξασθένησης

Δορυφορικές μικροκυματικές επικοινωνίες

- Ο δορυφόρος λειτουργεί ως αναμεταδότης
- LEO, MEO, GEO
- Λαμβάνει το σήμα σε μια συχνότητα, το ενισχύει και το επαναμεταδίδει σε άλλη συχνότητα
- Εφαρμογές
 - Τηλεόραση
 - Τηλεφωνία σε μακρινές αποστάσεις
 - Ιδιωτικά εταιρικά δίκτυα

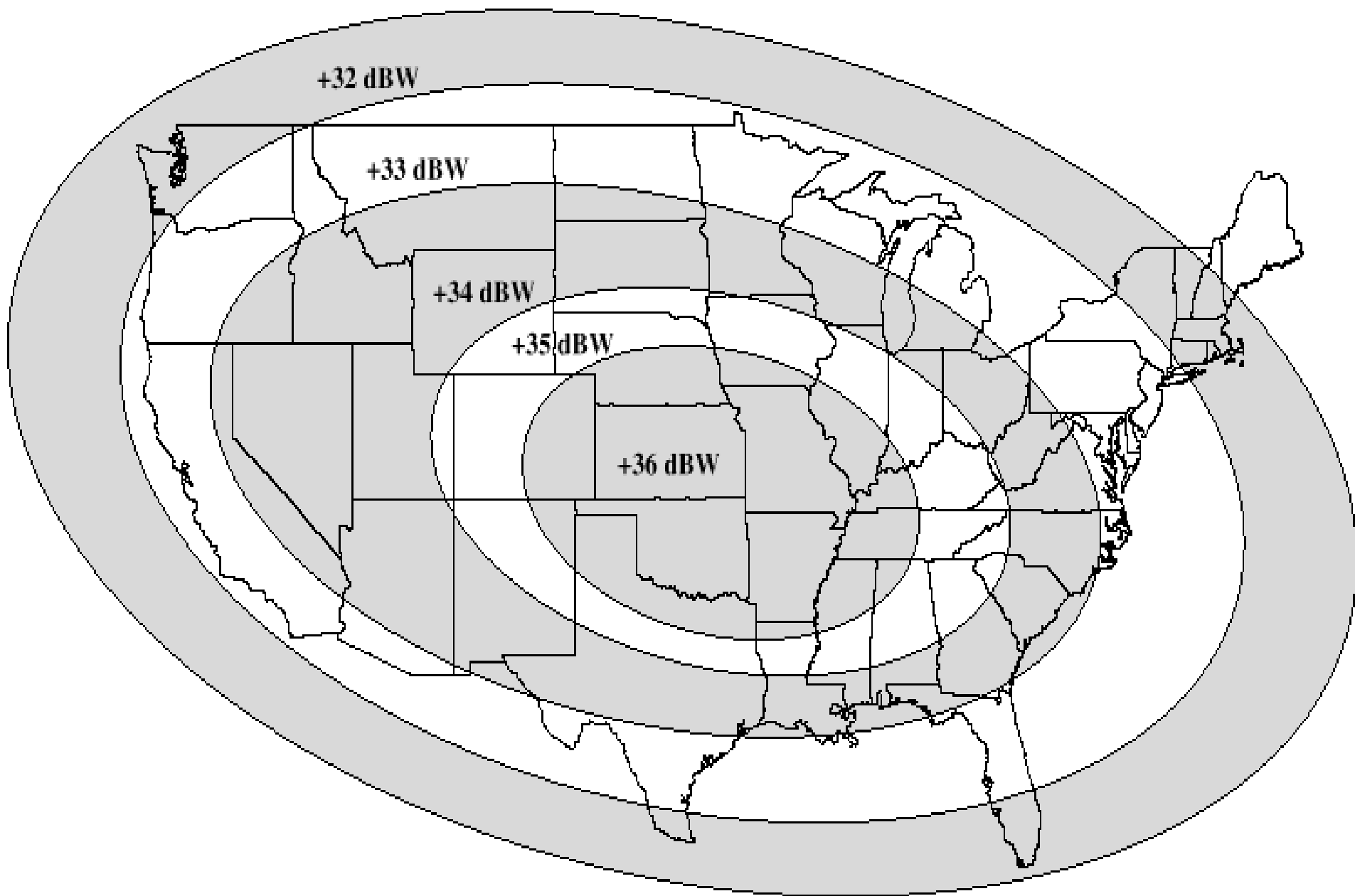
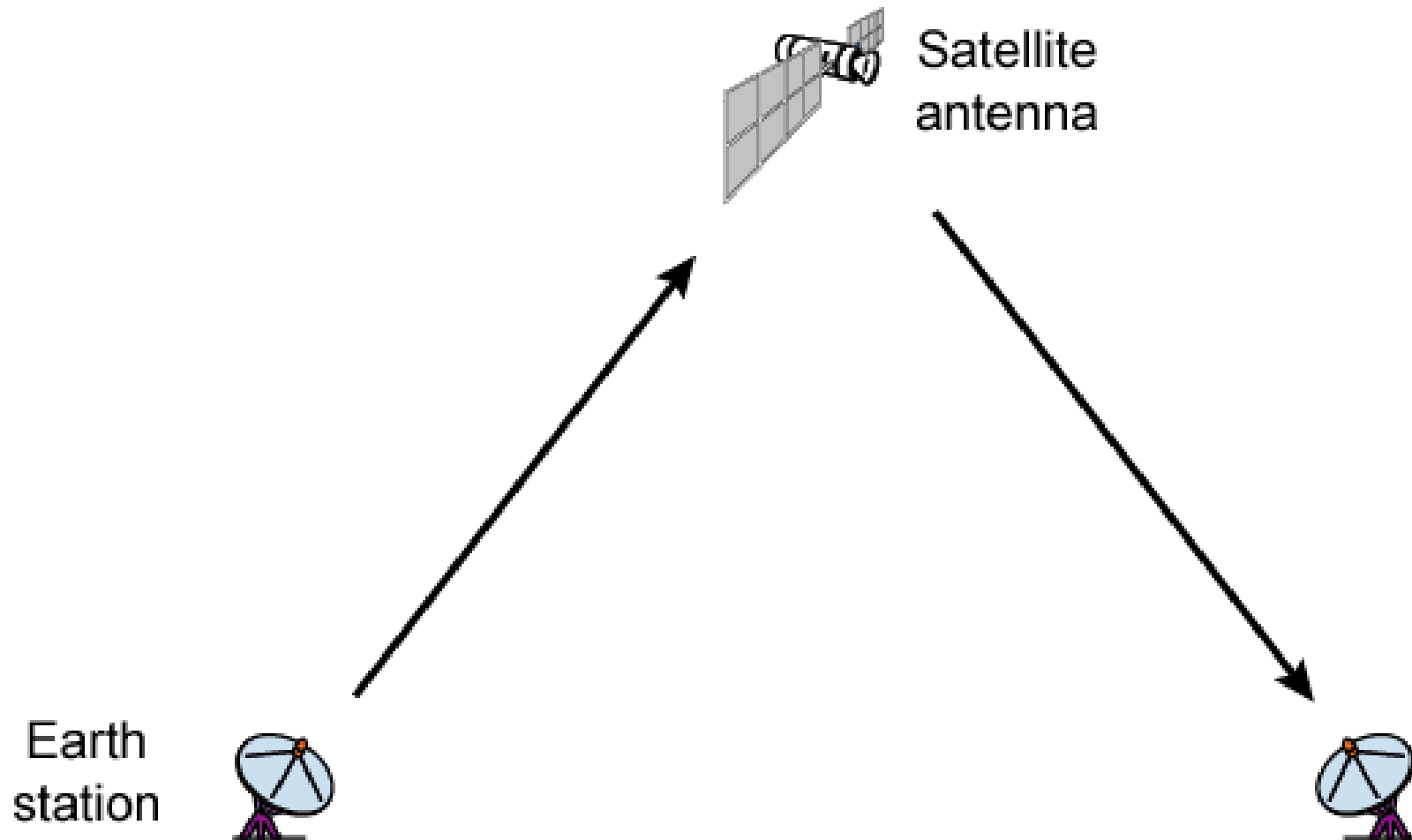


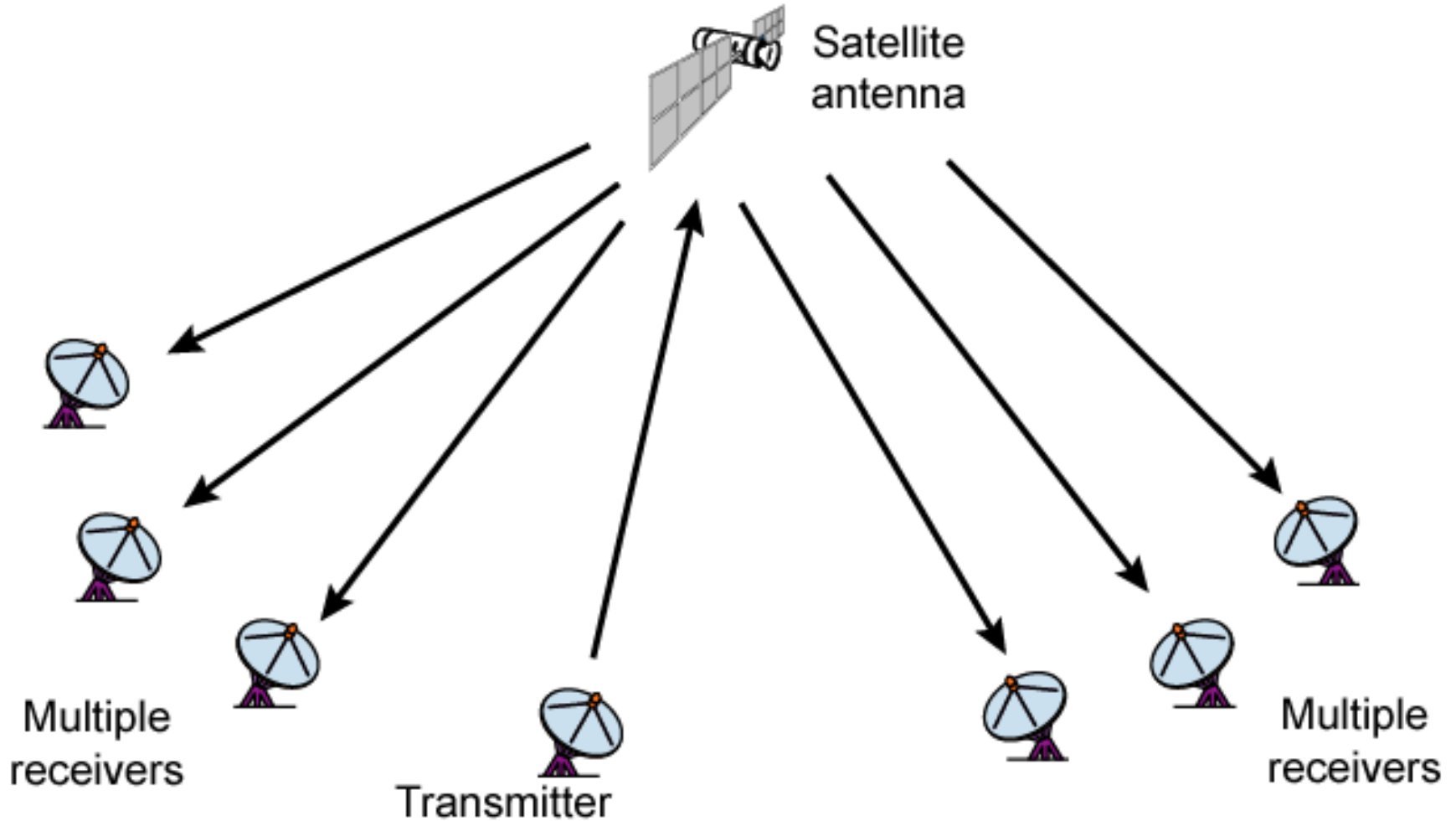
Figure 9.6 Typical Satellite Footprint

Δορυφορικές συνδέσεις σημείου προς σημείο



(a) Point-to-point link

Δορυφορικές συνδέσεις εκπομπής



(b) Broadcast link

Δορυφορικές μικροκυματικές επικοινωνίες

- Συνήθως χρησιμοποιείται η περιοχή συχνοτήτων 1-10 GHz. Το εύρος ζώνης είναι περίπου 100 MHz
- Η καθυστέρηση διάδοσης είναι περίπου 270 msec και είναι ανεξάρτητη από τη θέση των σταθμών εδάφους που επικοινωνούν
- Μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη είναι η τεχνολογία VSAT
 - προσφέρει δορυφορική επικοινωνία με χρήση δορυφορικών κεραιών μικρών διαστάσεων (διάμετρος 5ft) και χαμηλού κόστους

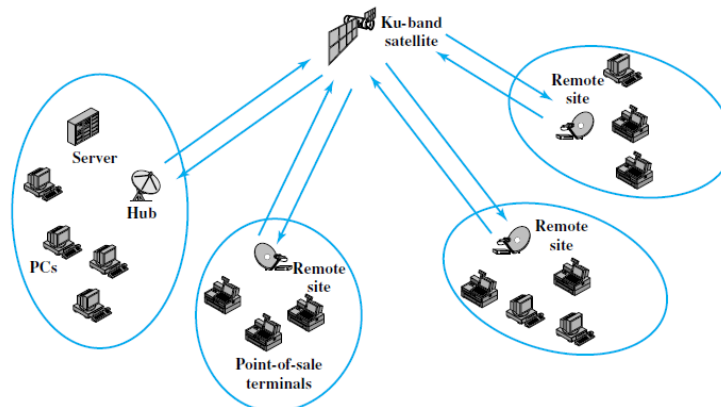


Figure 4.7 Typical VSAT Configuration

Πλεονεκτήματα

- **Μεγάλη κάλυψη.** Εξαιτίας του μεγάλου ύψους περιστροφής, οι δορυφορικές εκπομπές έχουνε μεγάλη περιοχή λήψης
- **Δυνατότητα Broadcast/multicast**
- **Κάλυψη σε περιοχές χωρίς επίγεια υποδομή.**
- **Διαθεσιμότητα a-priori γνωστή (δεν υπάρχει NLOS).**

Μειονεκτήματα

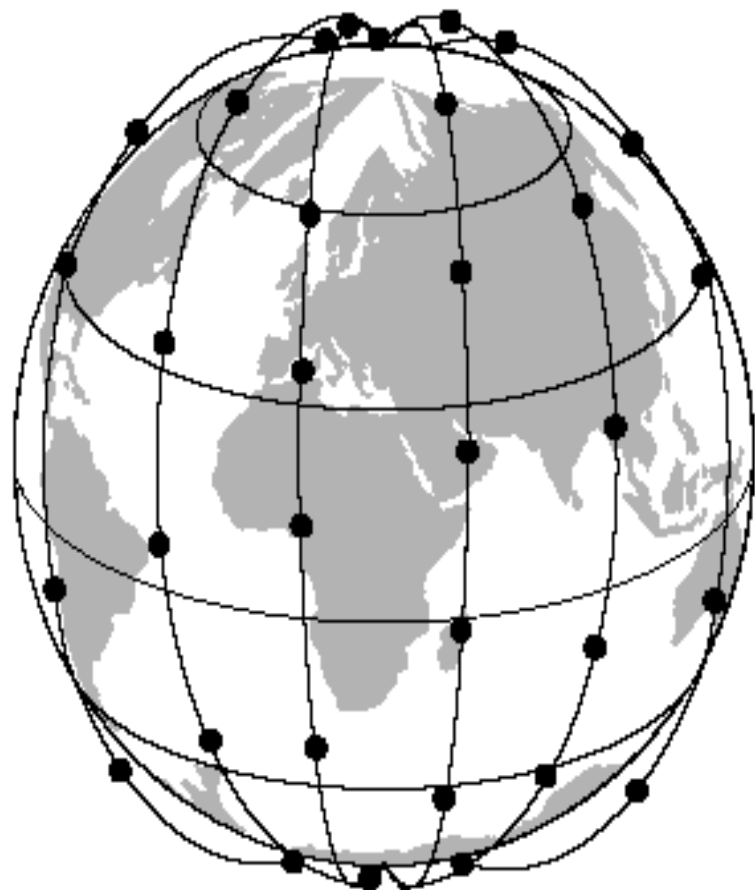
- **Κόστος εγκατάστασης (ιδιαίτερα για LEO)**
- **Χρόνος εγκατάστασης**
- **Μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης**
 - Εξαιτίας του μεγάλου ύψους περιστροφής
 - Προβλήματα στην εφαρμογή πρωτοκόλλων για επίγειες επικοινωνίες

Commonly used bands for satellite communications

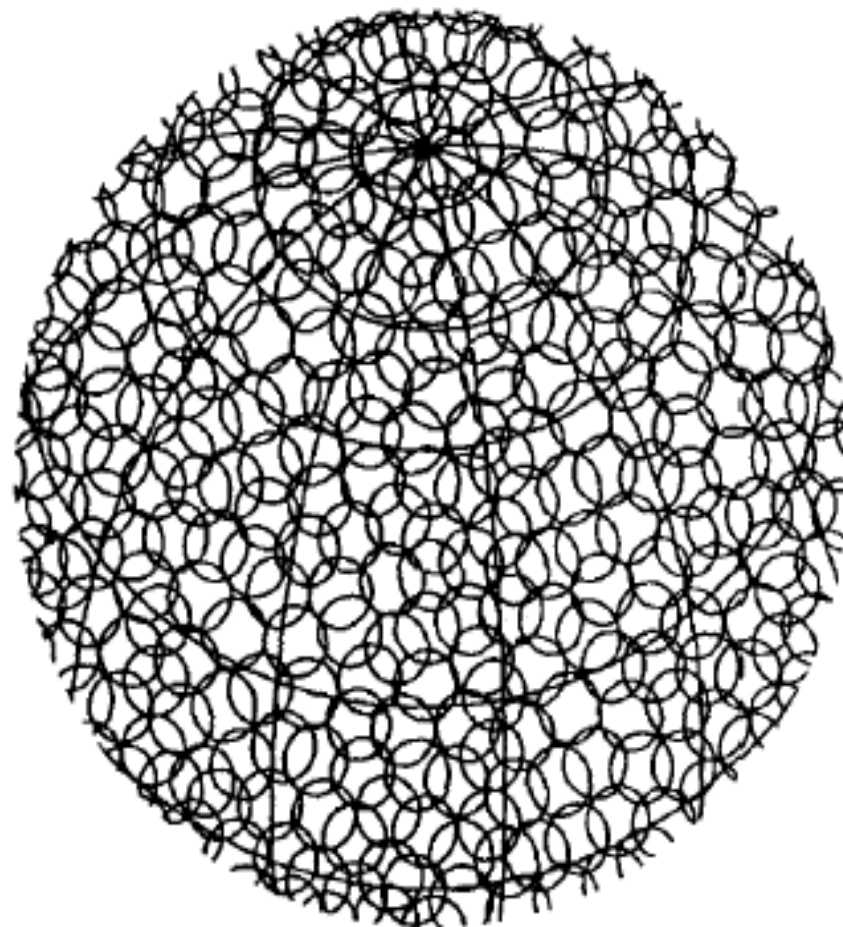
Band	Representative Uplink / Downlink frequencies (GHz)	Primary Use
L	1.8 / 1.6	Maritime
C	6 / 4	Traditional
X	8 / 7	Military
Ku	14 / 12	Current
Ka	30 / 20 44 / 22	Emerging
V	50	Military

Εφαρμογές

- Δορυφορική τηλεφωνία
- Κυψελωτά συστήματα.
 - Παροχή μεγαλύτερων κυψελών (overlay cells) σε παραδοσιακά κυψελωτά συστήματα
- Δυνατότητα δικτύωσης από εναέρια συστήματα μεταφοράς
- Global Positioning Systems (GPS)
- Internet access



(a)

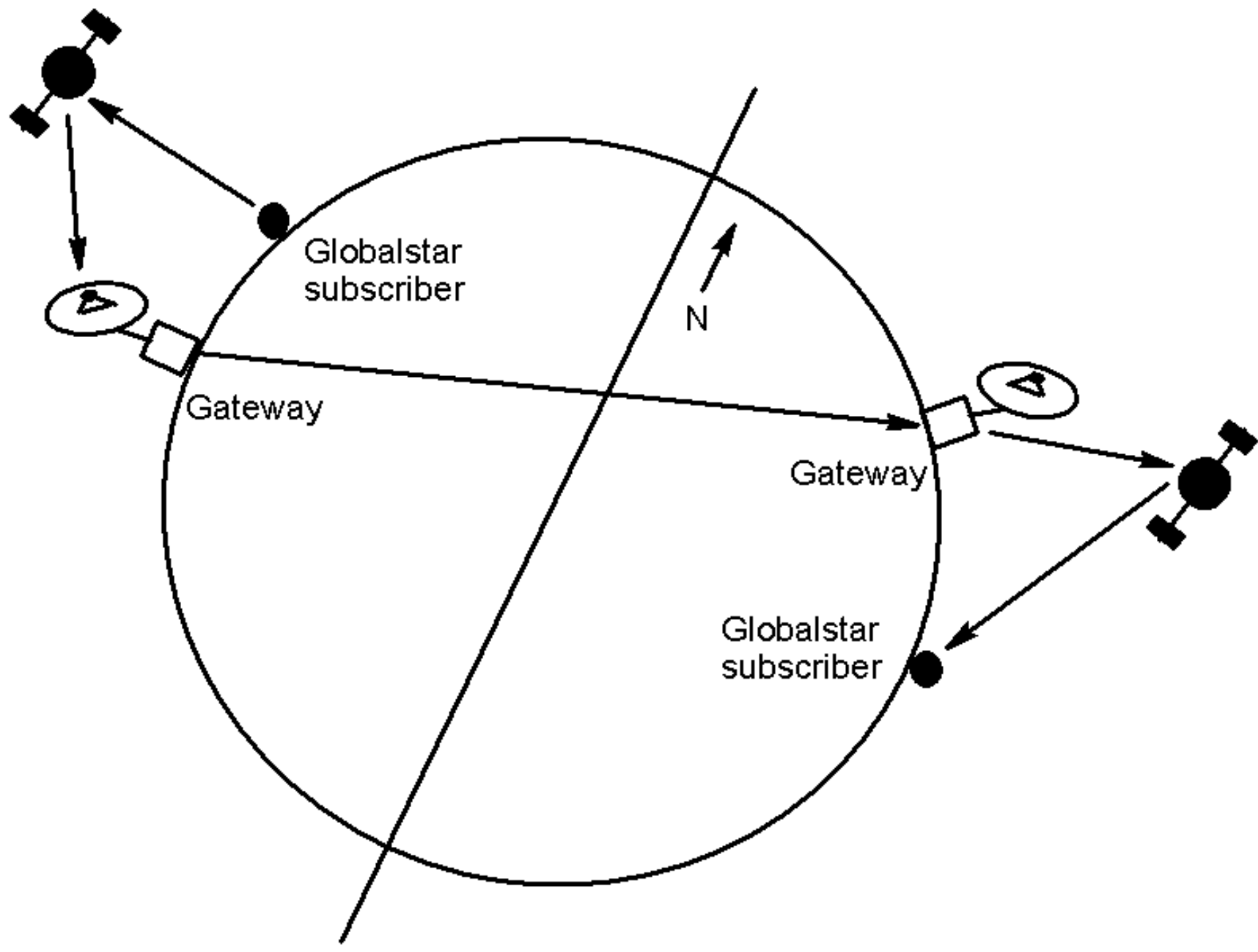


(b)

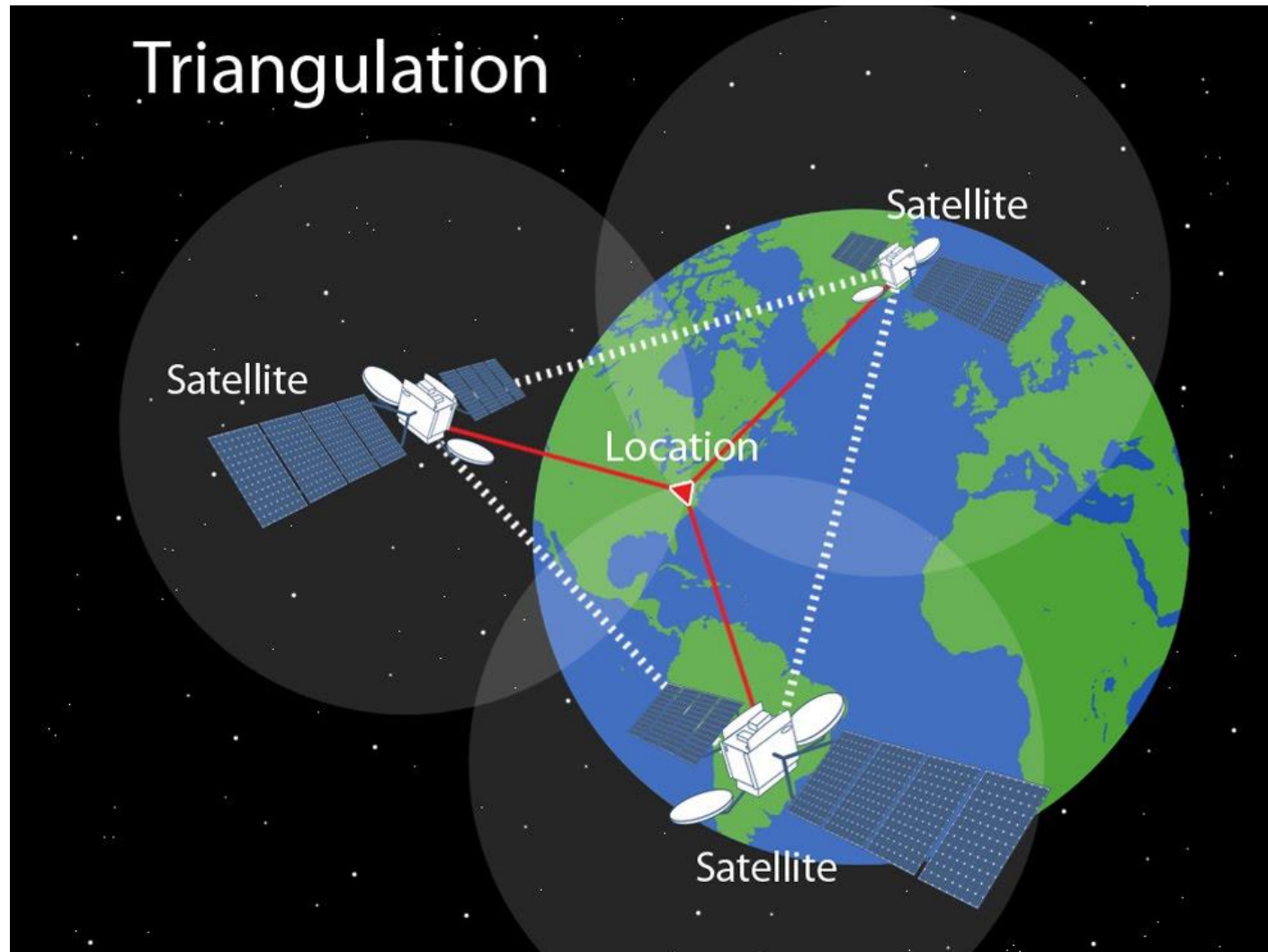
(a) The Iridium satellites form six necklaces around the earth. (b) 1628 moving cells cover the earth.

Εφαρμογές

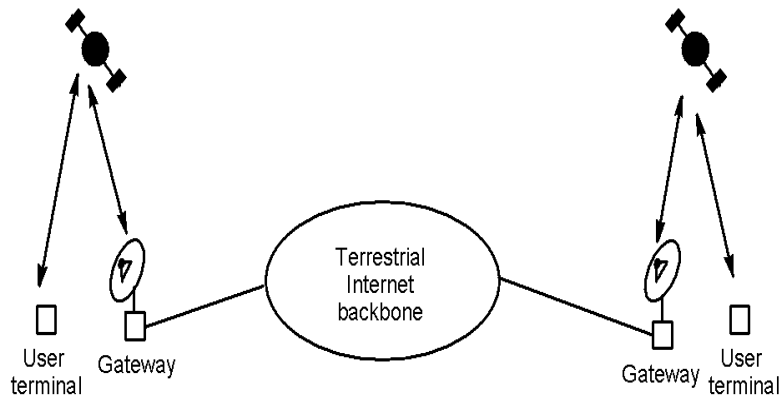




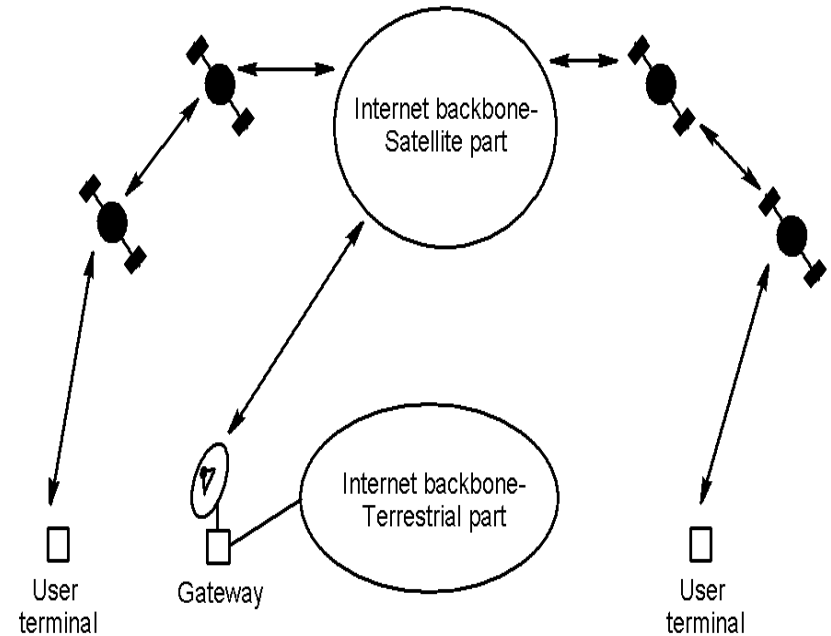
GPS



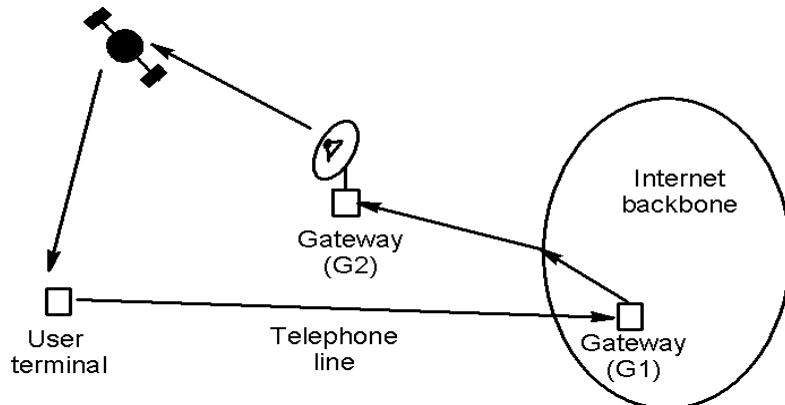
Satellite-based Internet access



Access Network



Access/core network



Internet access through a hybrid system

Ραδιοκύματα (radio)

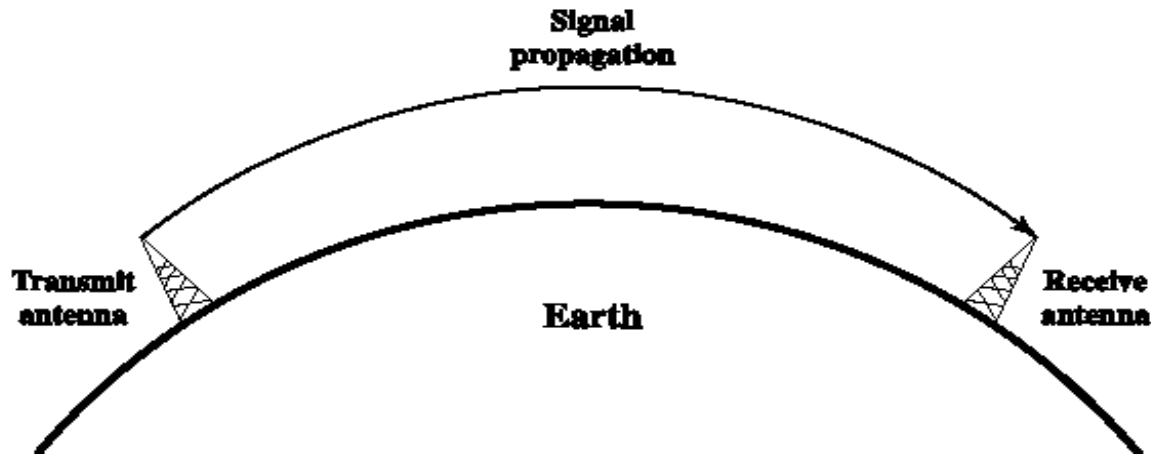
- Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περιοχή συχνοτήτων 30 MHz – 1 GHz
- Η μετάδοση είναι μη κατευθυνόμενη. Π.χ.
 - FM radio, UHF και VHF TV
- Για την μέγιστη απόσταση μετάδοσης και τις απώλειες ισχύουν οι ίδιες σχέσεις όπως στα μικροκύματα
- Λόγω του μεγαλύτερου μήκους κύματος λ , οι απώλειες είναι μικρότερες απ'ότι στη μικροκυματική μετάδοση
- Ευάλωτη σε πολύδρομη διάδοση

Ραδιοκύματα (radio)

Band	Frequency Range	Free-Space Wavelength Range	Propagation Characteristics	Typical Use
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1000 km	GW	Power line frequencies; used by some home control systems
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1000 to 100 km	GW	Used by the telephone system for analog subscriber lines
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	GW; low attenuation day and night; high atmospheric noise level	Long-range navigation; submarine communication
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	GW; slightly less reliable than VLF; absorption in daytime	Long-range navigation; marine communication radio beacons
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1000 to 100 m	GW and night SW; attenuation low at night, high in day; atmospheric noise	Maritime radio; direction finding; AM broadcasting
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	SW; quality varies with time of day, season, and frequency	Amateur radio; international broadcasting, military communication; long-distance aircraft and ship communication
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	LOS; scattering because of temperature inversion; cosmic noise	VHF television; FM broadcast and two-way radio; AM aircraft communication; aircraft navigational aids
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	LOS; cosmic noise	UHF television; cellular telephone; radar; microwave links; personal communications systems
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	LOS; rainfall attenuation above 10 GHz; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Satellite communication; radar; terrestrial microwave links; wireless local loop
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	LOS; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Experimental; wireless local loop
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	LOS	Infrared LANs; consumer electronic applications
Visible light	400 THz to 900 THz	770 nm to 330 nm	LOS	Optical communication

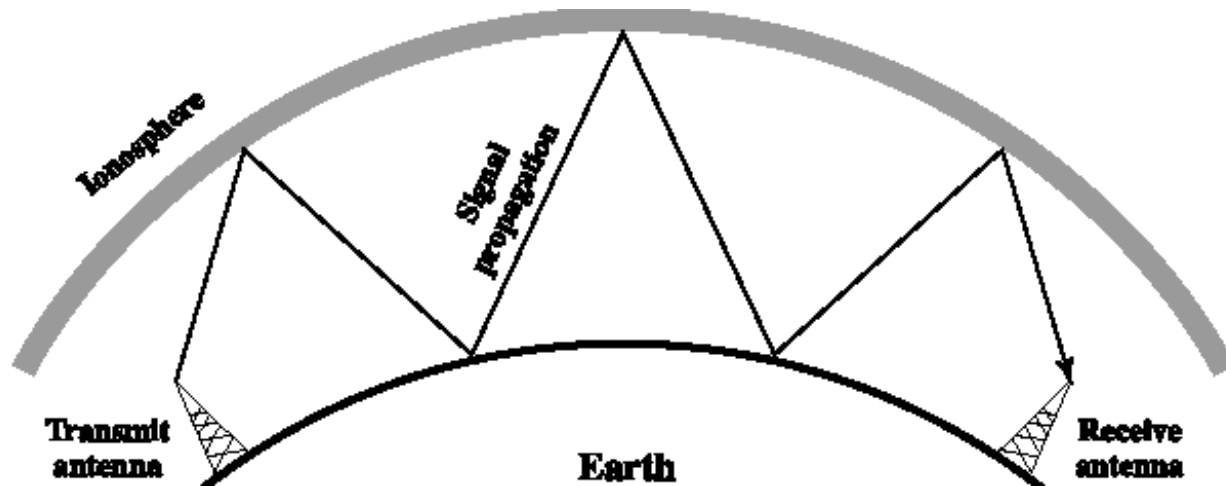
Διάδοση Ground Wave

- Συμβαίνει μόνο σε χαμηλές συχνότητες, έως 2 MHz
- Τα ραδιοσήματα ακολουθούν την καμπυλότητα της Γης
- Η εμβέλεια εξαρτάται από τη συχνότητα: παγκόσμια για 100 kHz λιγότερη από 100 για AM σταθμούς (~ 1 MHz)



Διάδοση μέσω ιονόσφαιρας

- Γίνεται σε συχνότητες 3-30 MHz
- Τα ραδιοκύματα «ανακλώνται» στην ιονόσφαιρα
- Δυνατή παγκόσμια εμβέλεια μέσω διαδοχικών αναπηδήσεων του σήματος στην ιονόσφαιρα και το έδαφος



Εξασθένηση λόγω απόστασης (free space path loss)

- Ρόλο παίζουν η συχνότητα του σήματος και η απόσταση. Για ιστροπική κεραία, έχουμε:

$$\frac{P_{\text{πομπού}}}{P_{\text{δέκτη}}} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2$$

- Συνεπώς, σε σταθερή απόσταση η μεταβολή στη λαμβανόμενη ισχύ είναι **ανάλογη του f^2** . Συνεπώς, σήματα μεγαλύτερης συχνότητας εξασθενίζουν πιο εύκολα
- Αξίζει να σημειωθεί ότι οι απώλειες μεταβάλλονται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης (d)
- Απαιτείται η χρήση repeaters κάθε 10-100 km

Εξασθένηση λόγω απόστασης (free space path loss)

- Για μη-ισοτροπική κεραία, έχουμε:

$$\frac{P_{\text{πομπού}}}{P_{\text{δέκτη}}} = \frac{(4\pi d)^2}{G_{\text{πομπού}} G_{\text{δέκτη}} \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_{\text{πομπού}} A_{\text{δέκτη}}} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_{\text{πομπού}} A_{\text{δέκτη}}}$$

- Συνεπώς, σήματα μεγαλύτερης συχνότητας πλέον είναι πιο ανθεκτικά

Εξασθένιση λόγω απόστασης (free space path loss)

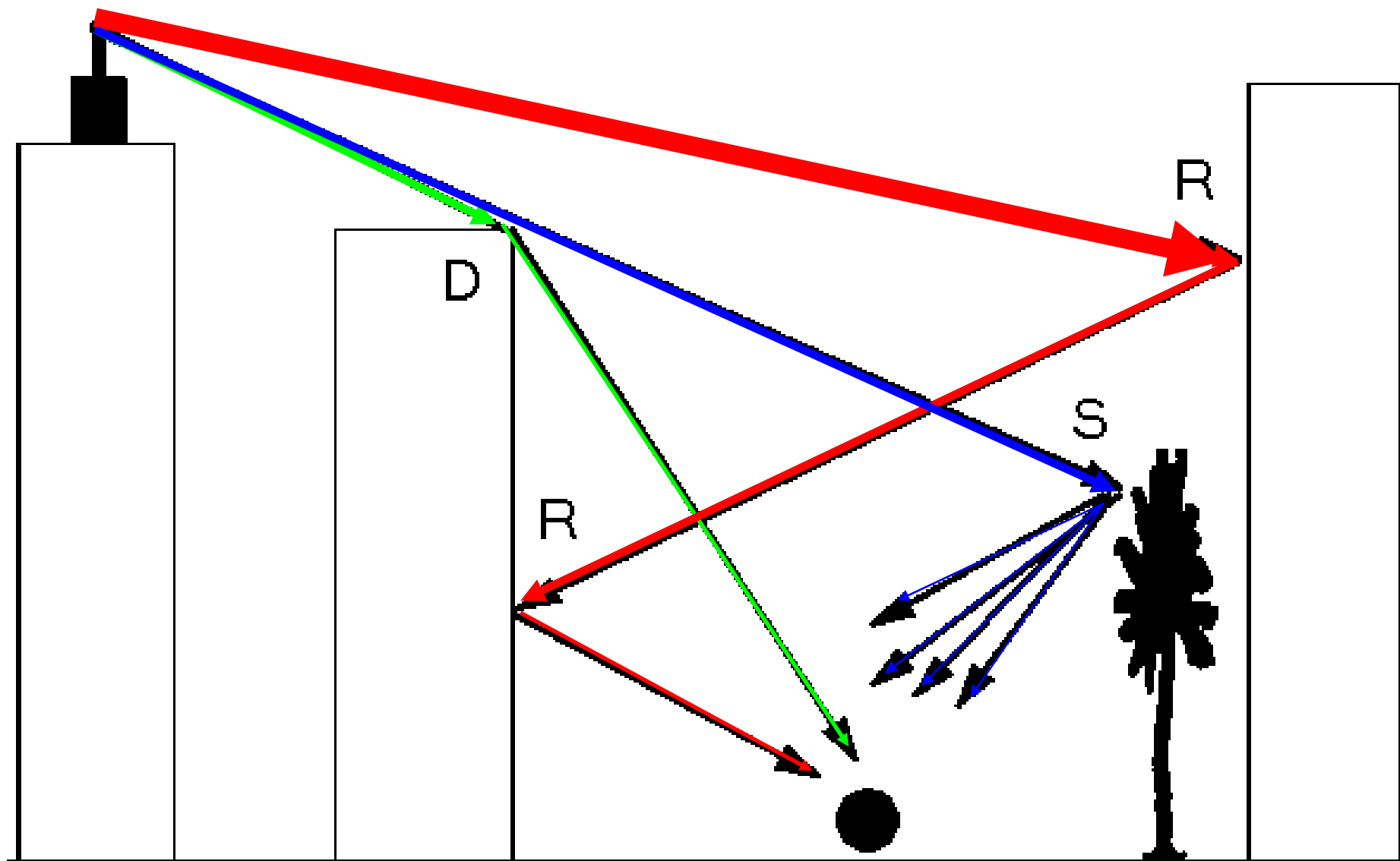
- Οι προηγούμενοι τύποι λαμβανόμενης ισχύος ισχύουν για σημεία στη *μακρινή περιοχή* της κεραίας.
- Για την περίπτωση της ισοτροπικής κεραίας και ένα τέτοιο σημείο σε απόσταση d_o στο οποίο η ισχύς είναι γνωστή, $P(d_o)$, για $d > d_o$:

$$P_{\delta\acute{\epsilon}κτ\eta} = P_{d_o} \left(\frac{d_o}{d} \right)^2$$

Μηχανισμοί διάδοσης

- Ανάκλαση: Συμβαίνει όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα πέσει πάνω σε αντικείμενο διαστάσεων $\gg \lambda$. Ανακλάται μέρος της ισχύος του σήματος
- Περίθλαση: Συμβαίνει όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα πέσει πάνω σε αδιαπέραστο αντικείμενο. Δευτερεύοντα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται πίσω από το αδιαπέραστο αντικείμενο. Αυτό εξηγεί την λήψη RF σε περιβάλλοντα χωρίς LOS
- Διασπορά: Συμβαίνει όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα πέσει πάνω σε αντικείμενο διαστάσεων $\leq \lambda$
 - Προκαλεί πολύ περισσότερα δευτερεύοντα RF κύματα από τους άλλους 2 μηχανισμούς
 - Η δυσκολότερη στη πρόβλεψη
 - Σε περιβάλλοντα πόλης προκαλείται πχ από οδικά σήματα, στύλους φωτός, φυλλωσίες δέντρων κτλ

Transmitter



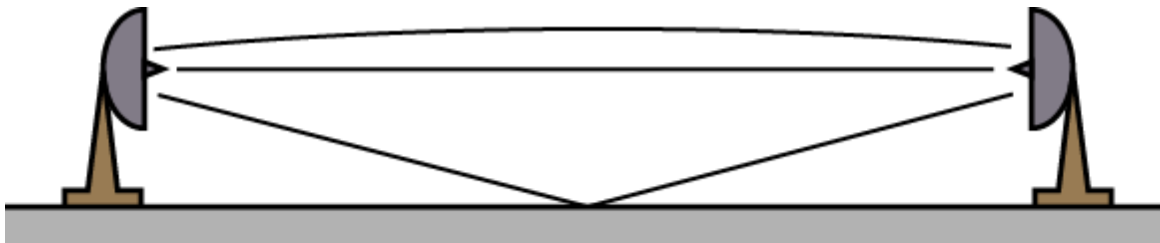
Receiver

Ανάκλαση (R), Περίθλαση (D), Διασπορά (S)

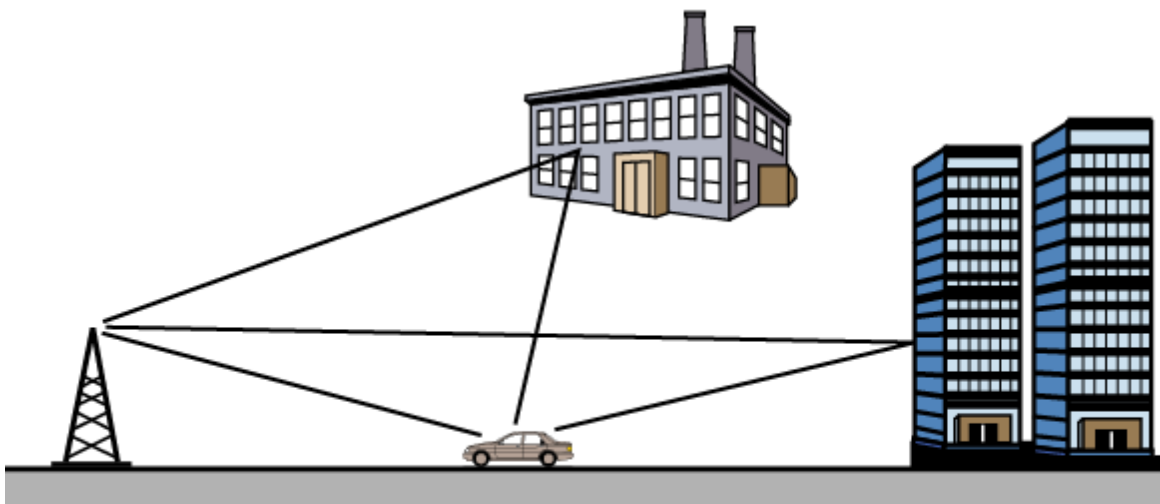
Μηχανισμοί διάδοσης

- Η σχετική συνεισφορά των παραπάνω τριών μηχανισμών διάδοσης στο τελικό λαμβανόμενο σήμα, εξαρτάται από το περιβάλλον
- Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει LOS μεταξύ transmitter-receiver, η διάθλαση και η διασπορά δεν έχουν σημαντική επίδραση
- Αντιθέτως, σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει LOS μεταξύ transmitter-receiver, (π.χ ο χρήστης ενός κινητού στο δρόμο μιας πόλης) η διάθλαση και η διασπορά καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος

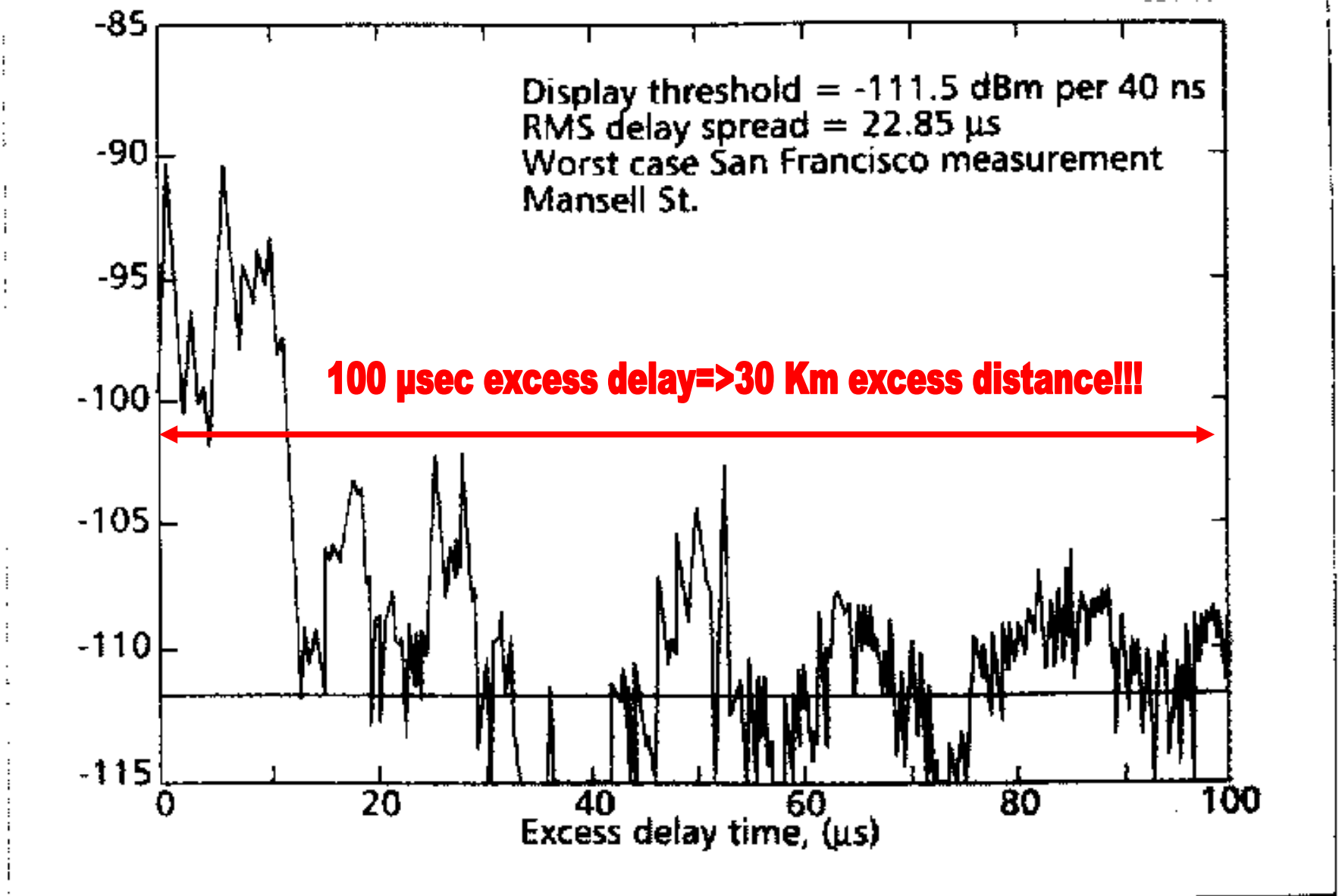
Πολύδρομη διάδοση



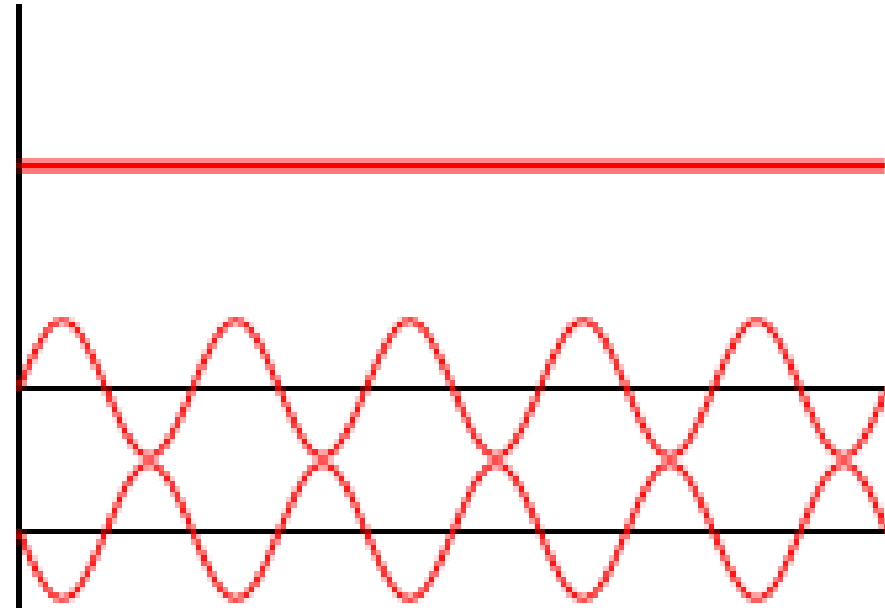
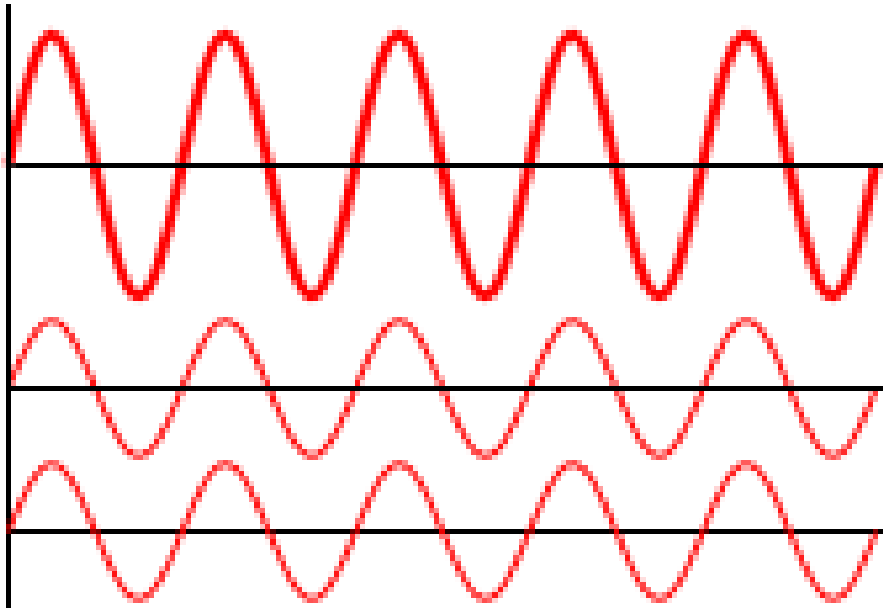
(a) Microwave line of sight



(b) Mobile radio



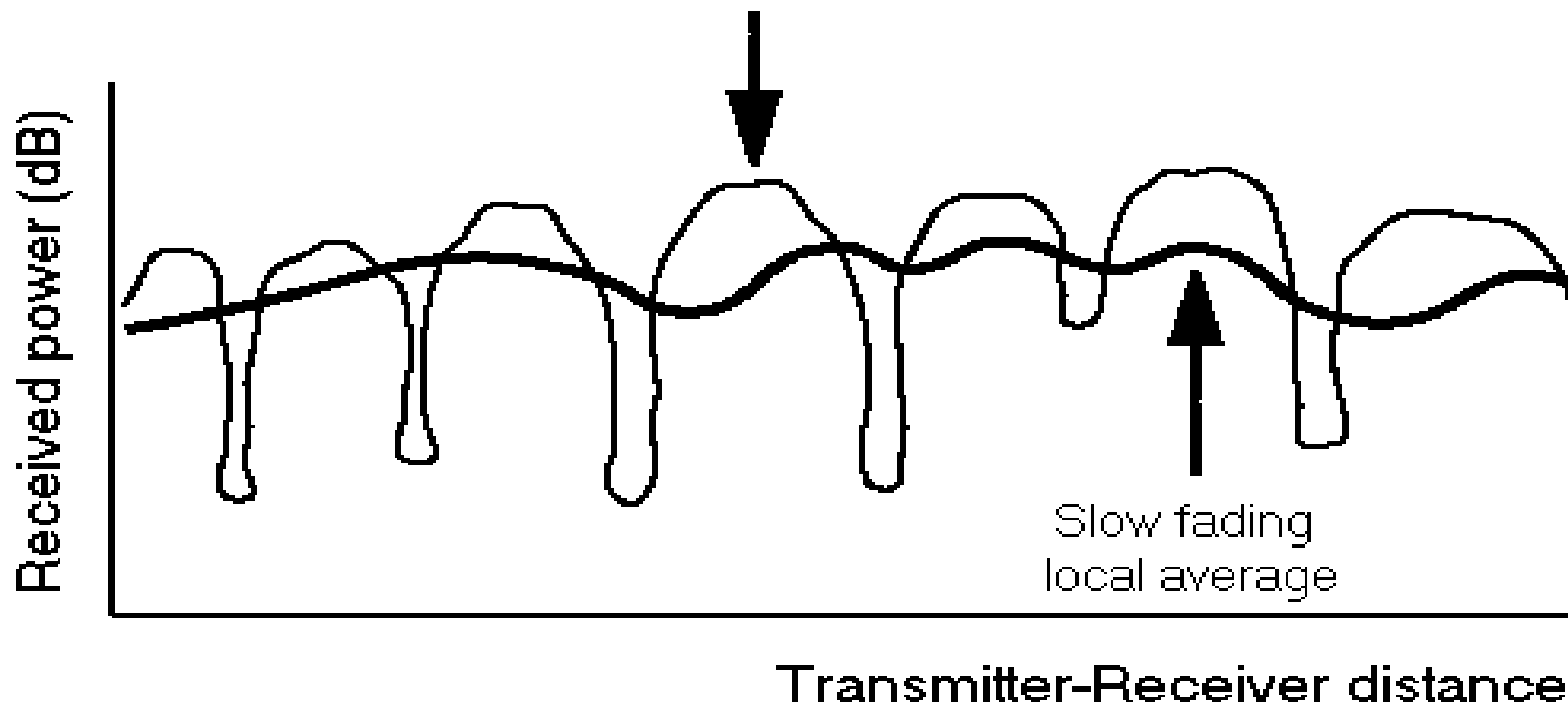
One of the worst cases of multipath time dispersion observed in a cellular radio system. Measurement made in San Francisco, California.



Μεταβολή σήματος (εποικοδομητική/καταστροφική) λόγω multipath propagation

Λαμβανόμενο σήμα

Fast, small-scale fading signal



Υπέρυθρη εκπομπή

- Δεν διαπερνούν τους τοίχους
 - παράδειγμα;
- Δεν απαιτείται κάποια άδεια για τη χρήση των συχνοτήτων τους
- Χρήση line-of-sight, point-to-point
 - Δε χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους (παρεμβολές από ηλιακό φως)
- IrDA: Infrared Data Association

Υπέρυθρη εκπομπή

- Πλεονεκτήματα IR:

- Απλή αποδιαμόρφωση με ανίχνευση πλάτους σήματος
- Το παραπάνω οδηγεί σε απλούς receivers
- Δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο
- Δε διαπερνάει τοίχους=>security & ελάττωση co-channel interference

- Μειονεκτήματα IR:

- Δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί έξω από κτίρια
- Περιορισμός ισχύος εκπομπής για θέματα υγείας=> μικρές εμβέλειες