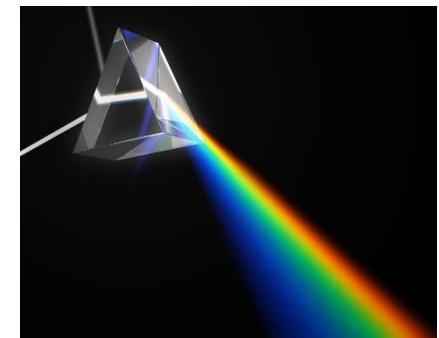


Διάθλαση

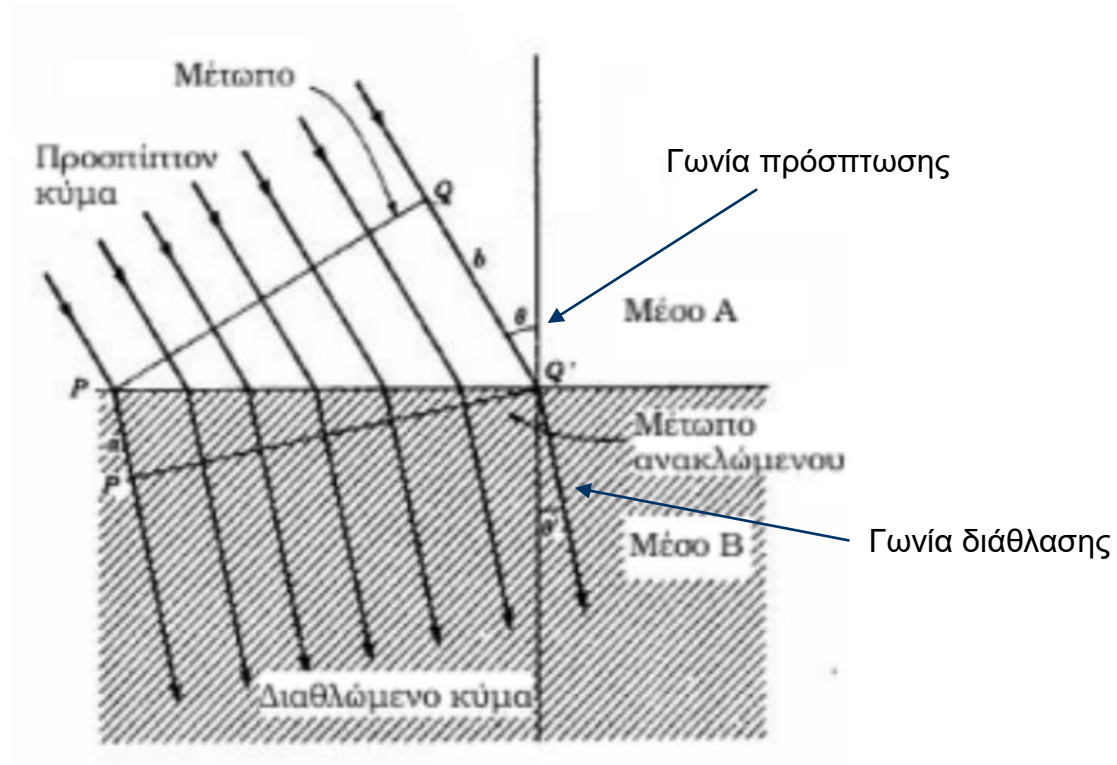
- Αλλαγή της κατεύθυνσης των κυμάτων καθώς περνούν από ένα μέσο σε άλλο
- Όσο μεγαλύτερη η διαφορά στην ταχύτητα του κύματος τόσο μεγαλύτερη η γωνία διάθλασης
- Τα ουράνια τόξα δημιουργούνται από του φωτός – τη διάθλαση κάθε διαφορετικής συχνότητας του ορατού φωτός
- Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν διάθλαση μέσα στο γυάλινο καλώδιο

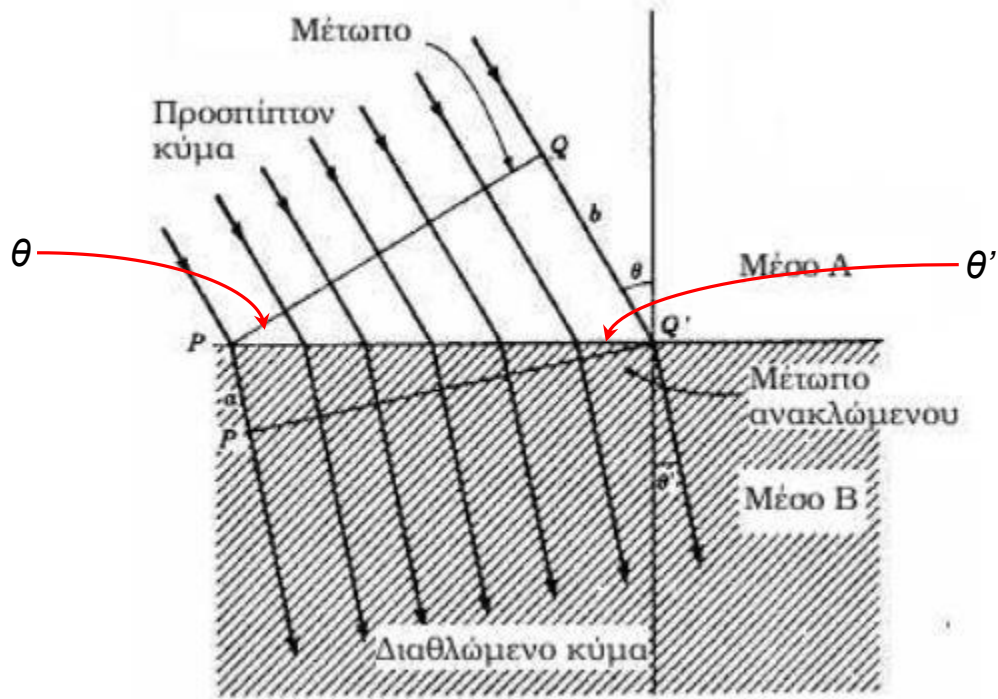


Διάθλαση (Refraction) (1/3)

- **Υπενθύμιση:**
 - η συχνότητα του κύματος είναι σταθερή
 - η ταχύτητα και το μήκος κύματος εξαρτώνται από το μέσο
- **Διάθλαση:**
 - όταν ένα κύμα περνά από ένα μέσο κάποιας πυκνότητας σε μέσο άλλης πυκνότητας
 - αλλάζει η ταχύτητα μετάδοσης
 - παράδειγμα από αντικείμενο σε υγρό
- **Αποτέλεσμα:** Το κύμα ακολουθεί μία άλλη κατεύθυνση στο δεύτερο μέσο και ταυτόχρονα η ταχύτητά του μεταβάλλεται

Διάθλαση (Refraction) (2/3)





Από τα τρίγωνα PQQ' και $PP'Q'$ προκύπτει:

$$PQ \sin \theta' = P'Q' \sin \theta$$

Έτσι:

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} = \frac{P'Q' / PQ}{P'Q' / PQ} = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{v_B}{v_A}$$

όπου v_A = Ταχύτητα κύματος στο μέσο A

v_B = Ταχύτητα κύματος στο μέσο B

Διάθλαση (Refraction) (3/3)

- Νόμος του Snell:

$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \frac{v_b}{v_a}$$

- v_a, v_b : ταχύτητα στα μέσα διάδοσης A και B
- πώς προέκυψε;

$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \sqrt{\frac{k}{k'}} = \frac{1}{\mu}$$

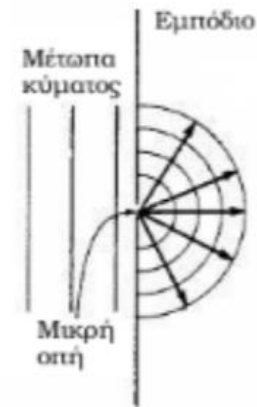
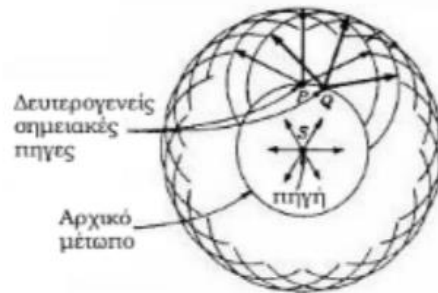
- k, k' : διηλεκτρικές σταθερές των μέσων A και B
- μ : συντελεστής διάθλασης

Περίθλαση

- Η κύρτωση των κυμάτων γύρω από ένα αντικείμενο
 - Ακούμε ήχους που παράγονται πίσω από ένα τοίχο
 - Φωτίζεται ένα δωμάτιο όταν ανάβουμε το φως στο διπλανό
 - Ακούμε ένα ραδιοφωνικό σταθμό πίσω από ένα βουνό
- Το ποσοστό της κύρτωσης εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου και το μήκος του κύματος
 - Μεγάλο αντικείμενο, μικρό μήκος κύματος = μικρή περίθλαση
 - Μικρό αντικείμενο, μεγάλο μήκος κύματος = μεγάλη περίθλαση

Περίθλαση (Diffraction) (1/3)

- **Περίθλαση:**
 - Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση
- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**
 - Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων
- Το συνολικό πεδίο σε σημεία μακριά από την πηγή είναι ίσο με το διάνυσμα του αθροίσματος των δευτερευόντων αυτών κυμάτων



Christiaan Huygens (Χέγενς)

Περίθλαση (Diffraction) (2/3)

- **Περίθλαση:**

- Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση

- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**

- Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων

- Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη εμποδίζεται από επιφάνειες με τραχιές ακμές, γωνίες ή οπές

- Οι γωνίες μετατρέπονται σε δευτερογενείς πηγές του κύματος και επανεκπέμπουν το κύμα (με μικρότερη ισχύ)

Περίθλαση (Diffraction) (3/3)

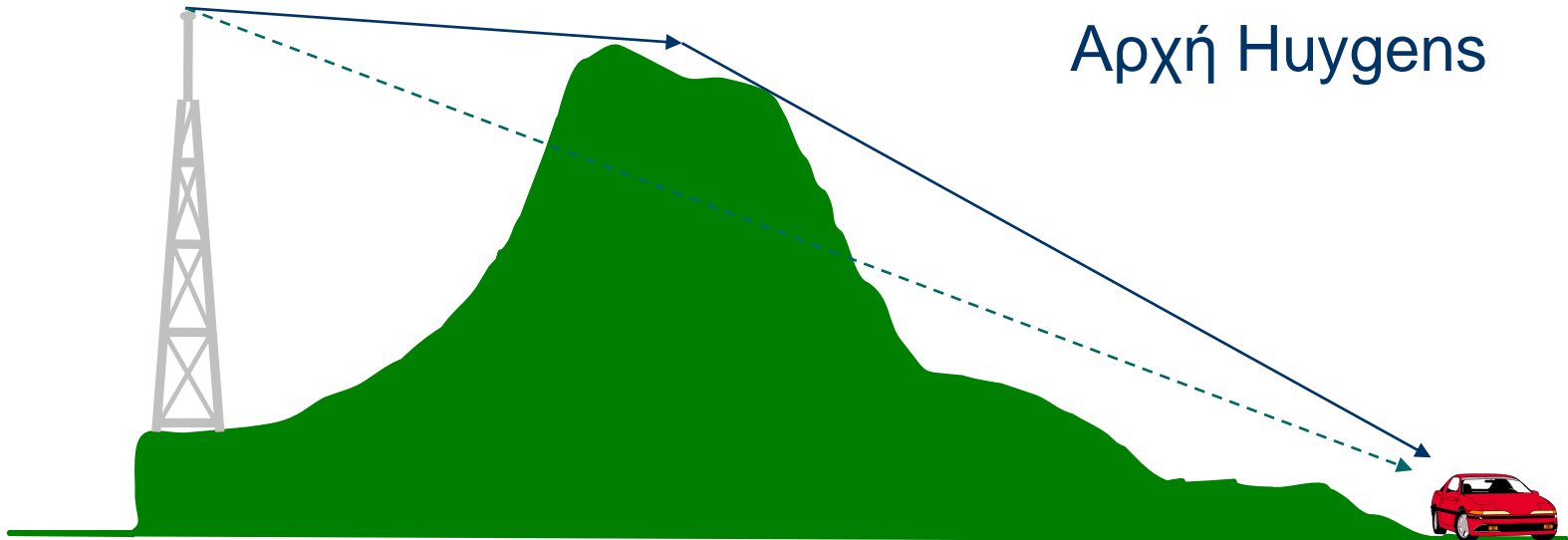
- Οι **χαμηλές συχνότητες** υφίστανται εντονότερη περίθλαση απ' ότι οι πιο υψηλές
 - παράδειγμα από ακουστικές συχνότητες
- Χωρίς την περίθλαση, τα κύματα δεν θα διαδίδονταν πίσω από εμπόδια



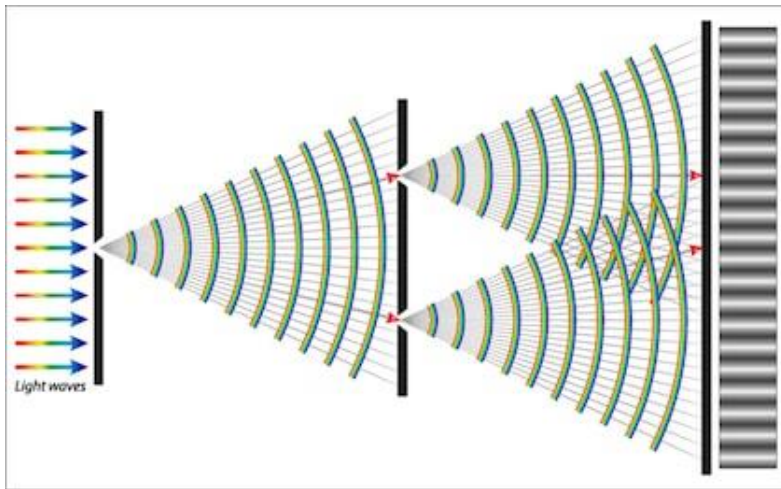
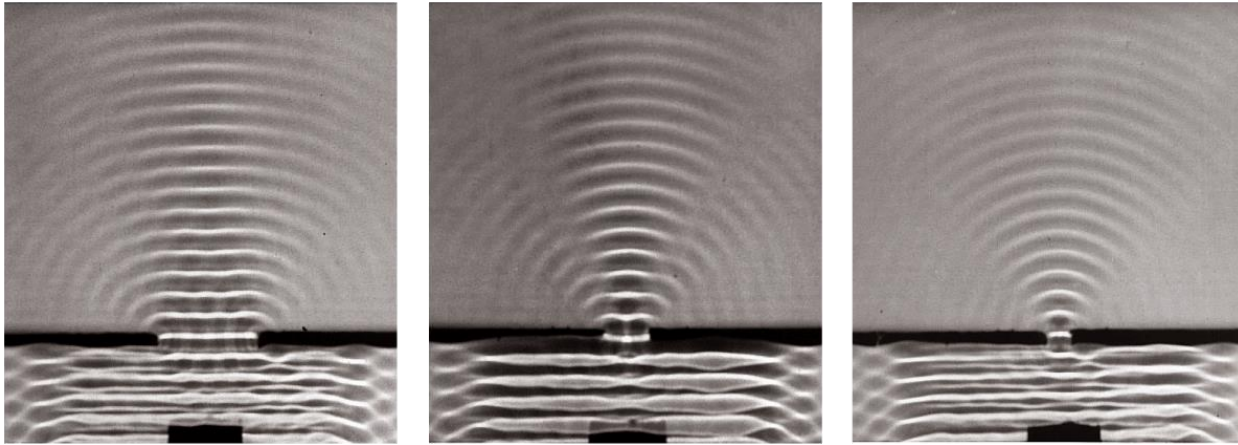
Διάδοση χωρίς οπτική επαφή Out-of-Sight

Απώλειες λόγω περίθλασης

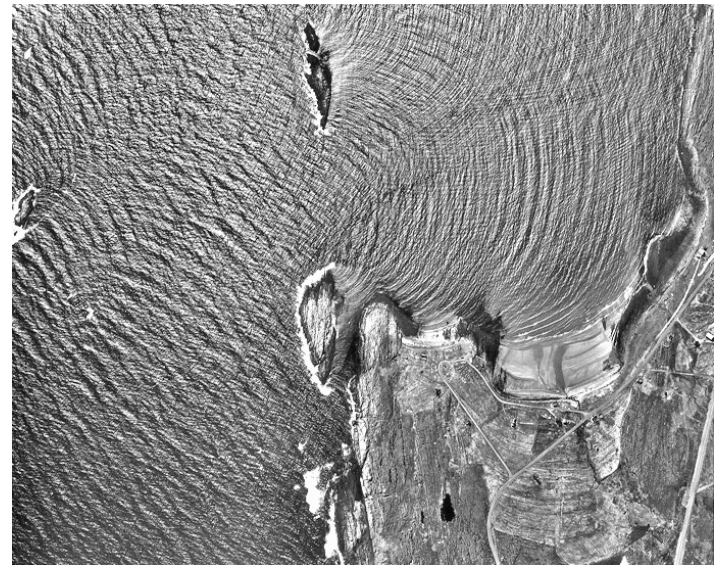
Αρχή Huygens



Παραδείγματα περίθλασης

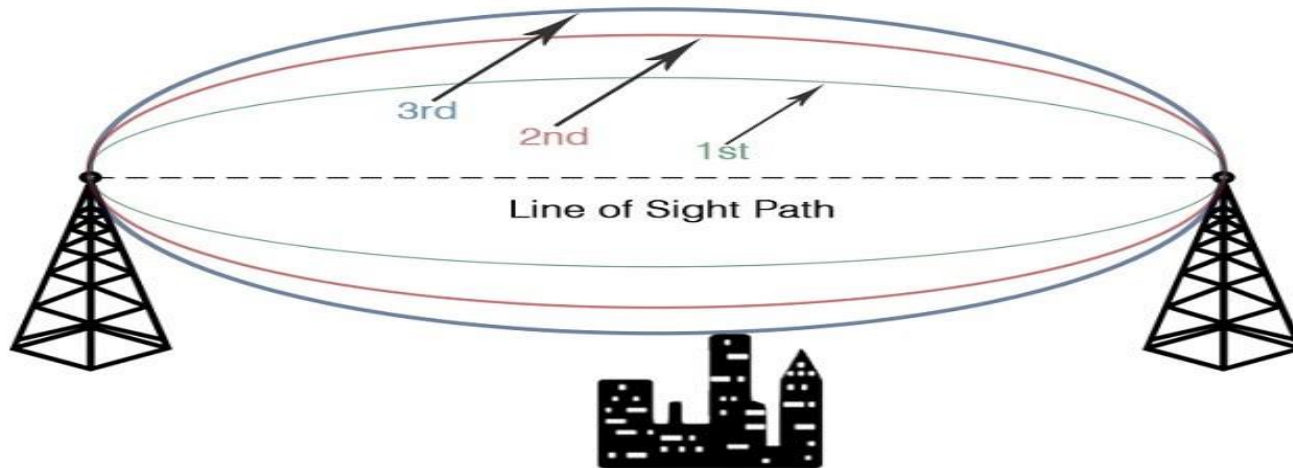
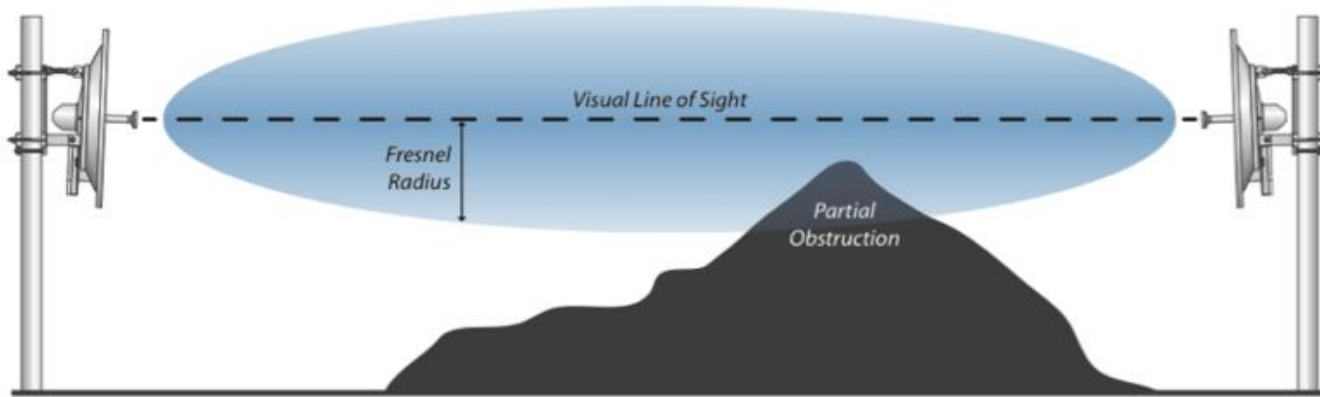


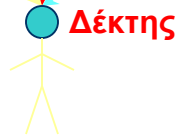
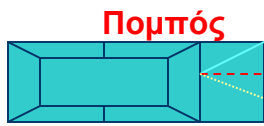
shutterstock.com • 543329314



Απευθείας Διάδοση Line-of-Sight

Πως κρίνουμε την απευθείας διάδοση (Fresnel Zone)





R: Ανάκλαση
D: Διάθλαση
S: Περίθλαση



Οδός

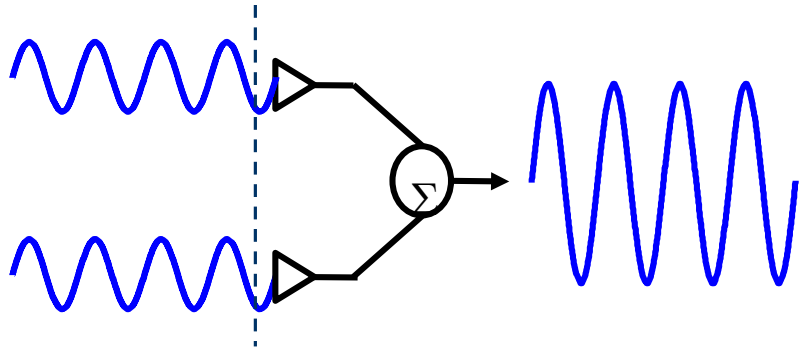
Γεωγραφικό διάγραμμα ισχύος



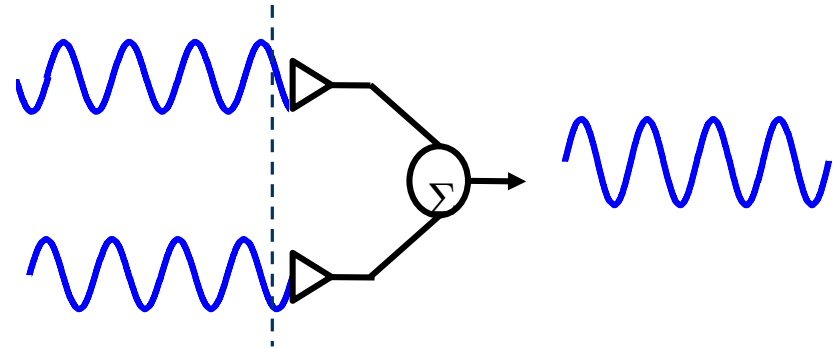
Παρεμβολή

- Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων κυμάτων, στον ίδιο χώρο και χρόνο.
- Όταν δύο ή περισσότερα κύματα της ίδιας συχνότητας συνδυάζονται, δημιουργείται η υπέρθεση (**superposition**)
- Το στιγμιαίο πλάτος του αθροιστικού σήματος είναι απλά το άθροισμα (θετικό ή αρνητικό) όλων των επιμέρους στιγμιαίων πλατών.

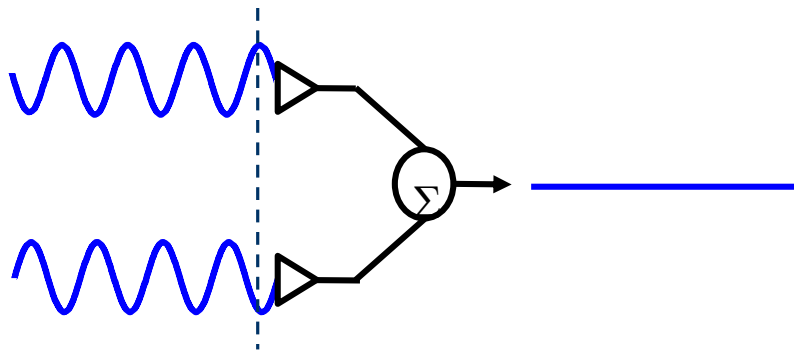
Θετική και αρνητική παρεμβολή



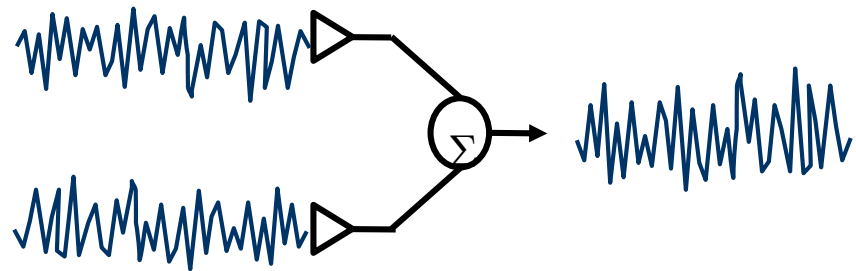
Θετική
(σε φάση)



Μερικώς θετική
(ελαφρά εκτός φάσης)



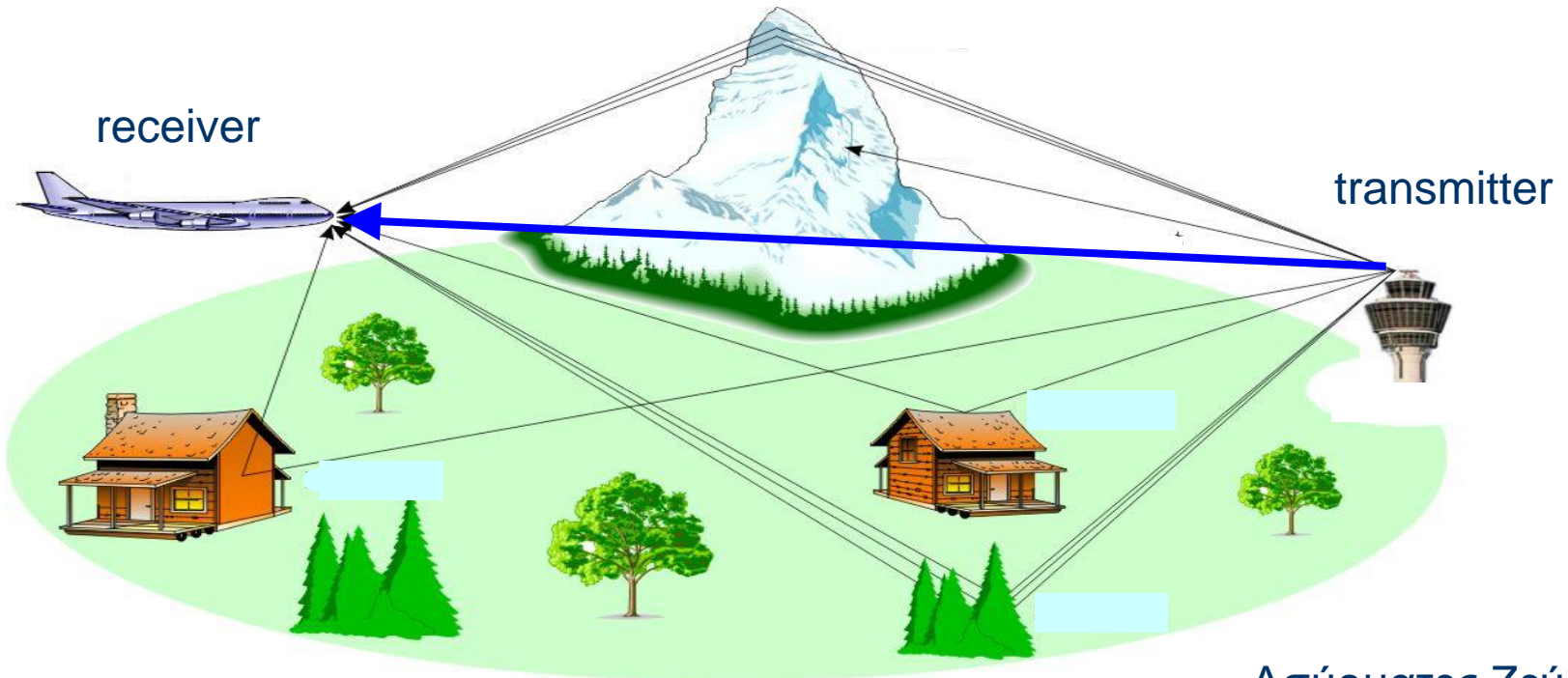
Αρνητική
(180° εκτός φάσης)



Μη συνεκτικά σήματα
(θόρυβος)

Υψηλός αριθμός λαθών

- Εξασθένηση
- Πολλαπλές διαδρομές
 - Αντανάκλαση σε εμπόδια
 - Πολλαπλά μονοπάτια
 - Παρεμβολές
 - Σύγχυση του δέκτη

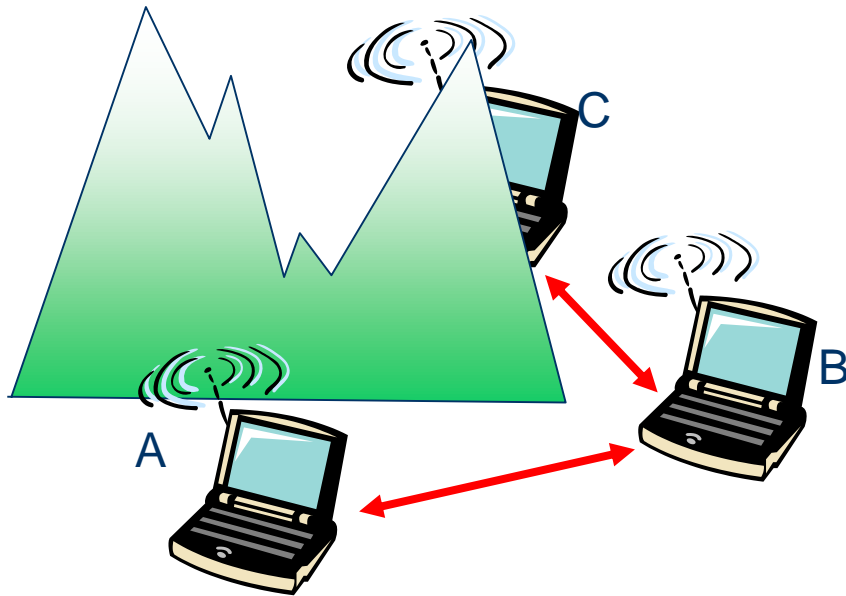


Πως χειριζόμαστε τα λάθη

- Σταθερά vs. κινητά
 - Σταθερά: Λάθη εξαιτίας συμφόρησης
 - Ασύρματα: περισσότερα και με διαφορετικά αίτια
- Τι (μπορούμε να / δεν πρέπει να) κάνουμε
 - Αύξηση της ισχύος μετάδοσης
 - Περισσότερη κατανάλωση ενέργειας (κακό για τη μπαταρία)
 - Δημιουργεί παρεμβολές σε άλλους δέκτες
 - Έλεγχος και διόρθωση λαθών
 - Πιο ισχυροί κώδικες (επεξεργασία, κατανάλωση καναλιού)
 - Επαναμεταδόσεις (κατανάλωση καναλιού)

Περιορισμοί στη μετάδοση

- Σταθερά δίκτυα: Όλοι οι κόμβοι ακούνε τις μεταδόσεις
- Ασύρματα: Κρυμμένα τερματικά

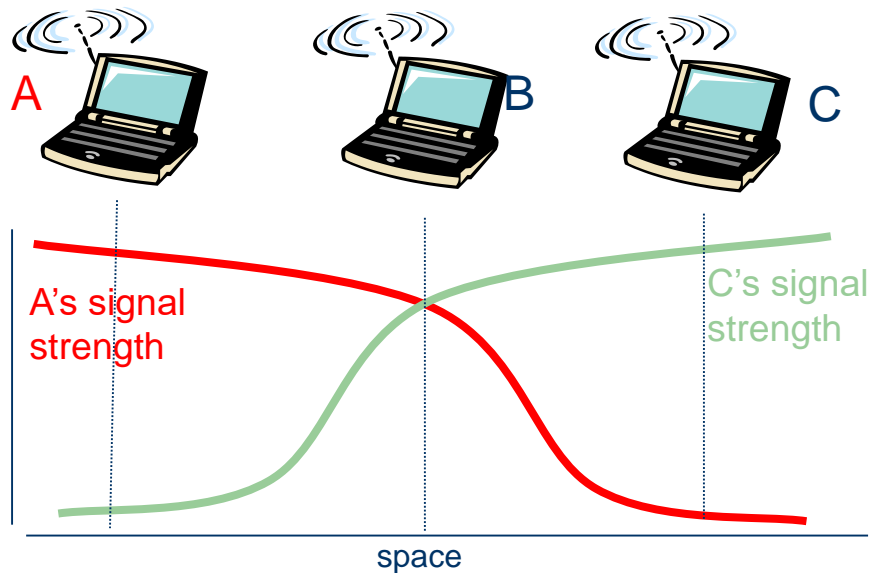


- A και B ακούνε
- B και C ακούνε
- Αλλά, ο A και ο C δεν ακούνε

Άρα, οι A και C μπορεί να δημιουργήσουν παρεμβολή στο B

Περιορισμοί στη μετάδοση

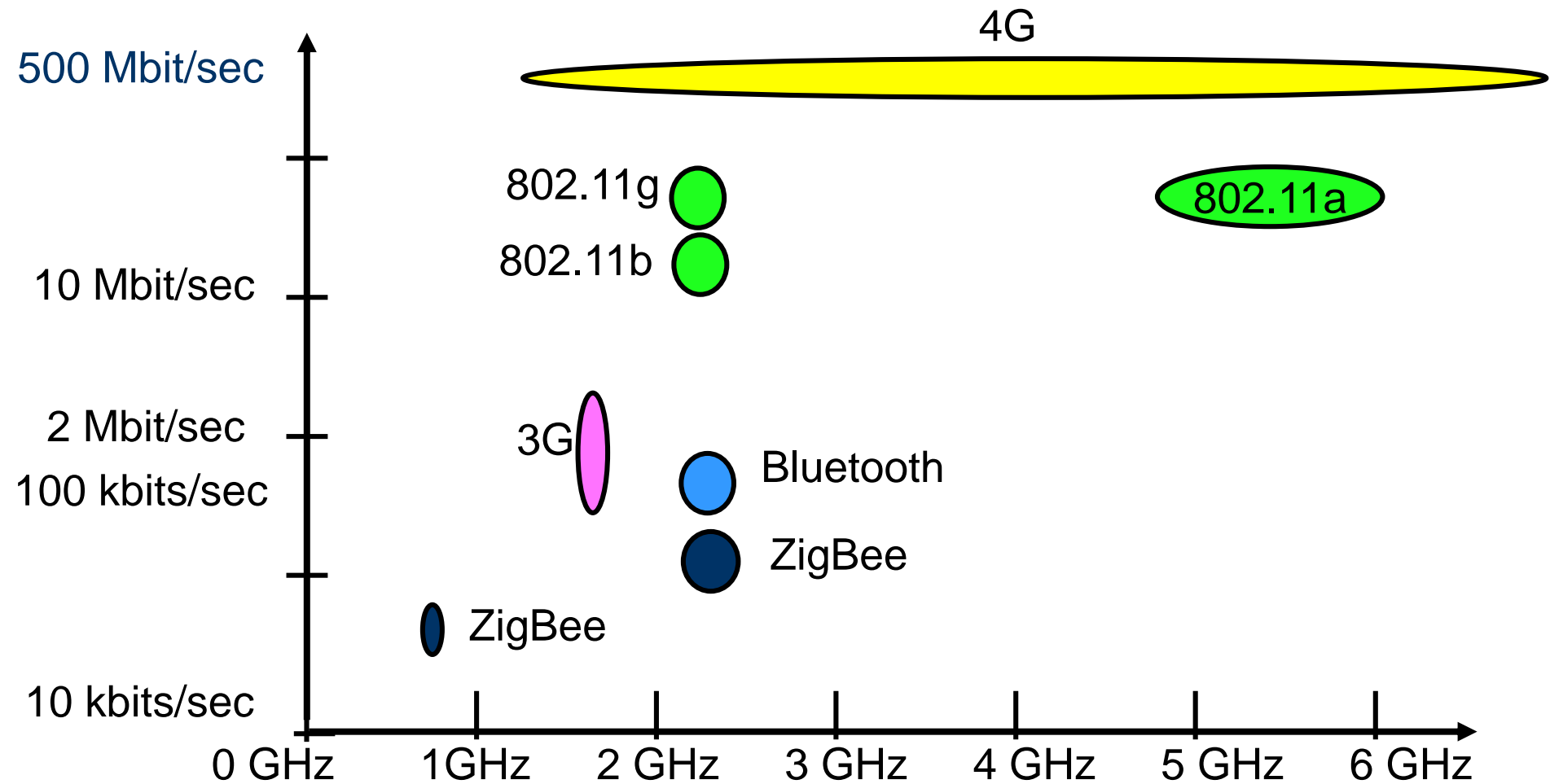
- Σταθερά δίκτυα: Όλοι οι κόμβοι ακούνε τις μεταδόσεις
- Ασύρματα: Εξασθένηση σήματος



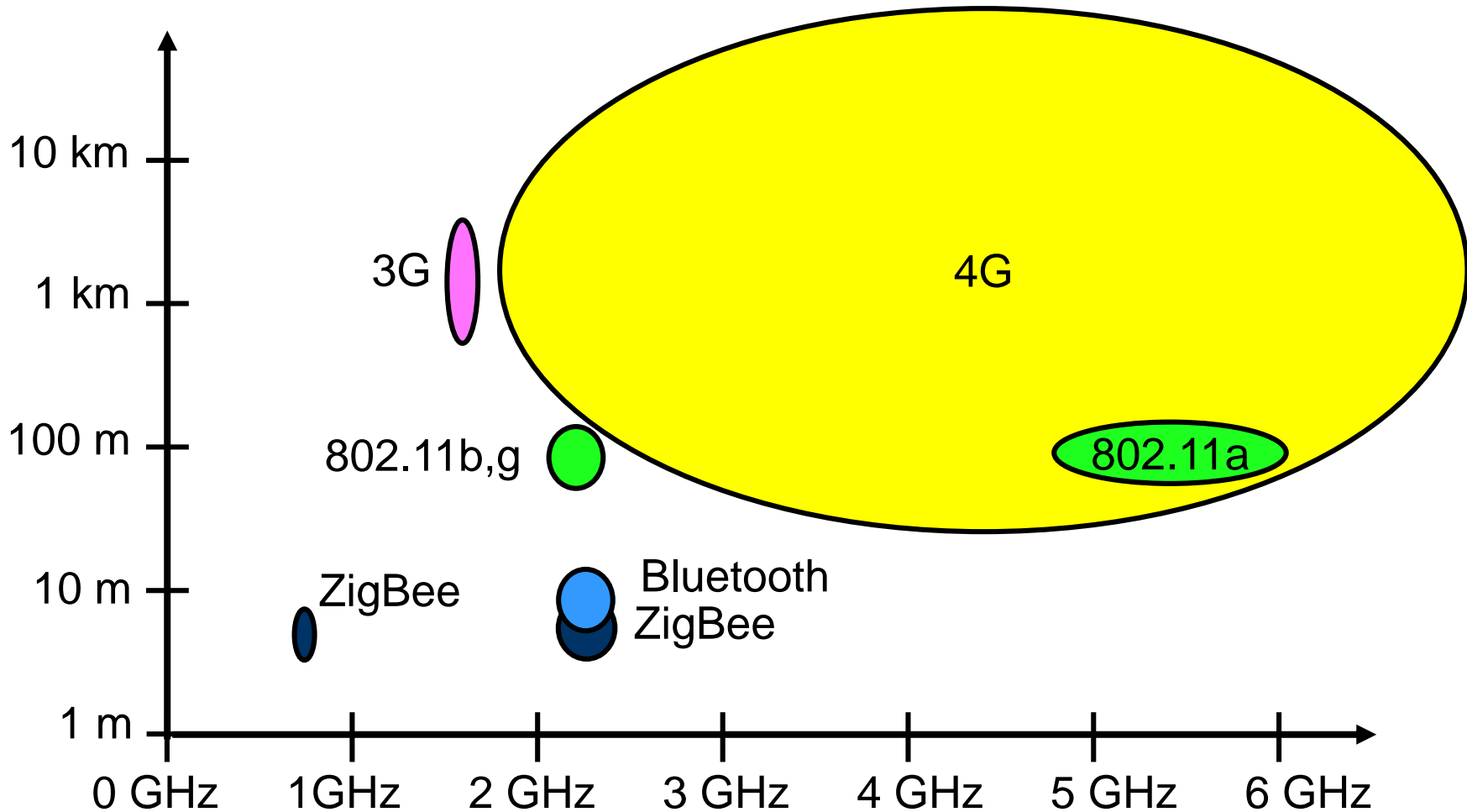
- A και B ακούνε
- B και C ακούνε
- Αλλά, ο A και ο C δεν ακούνε

Άρα, οι A και C μπορεί να δημιουργήσουν παρεμβολή στο B

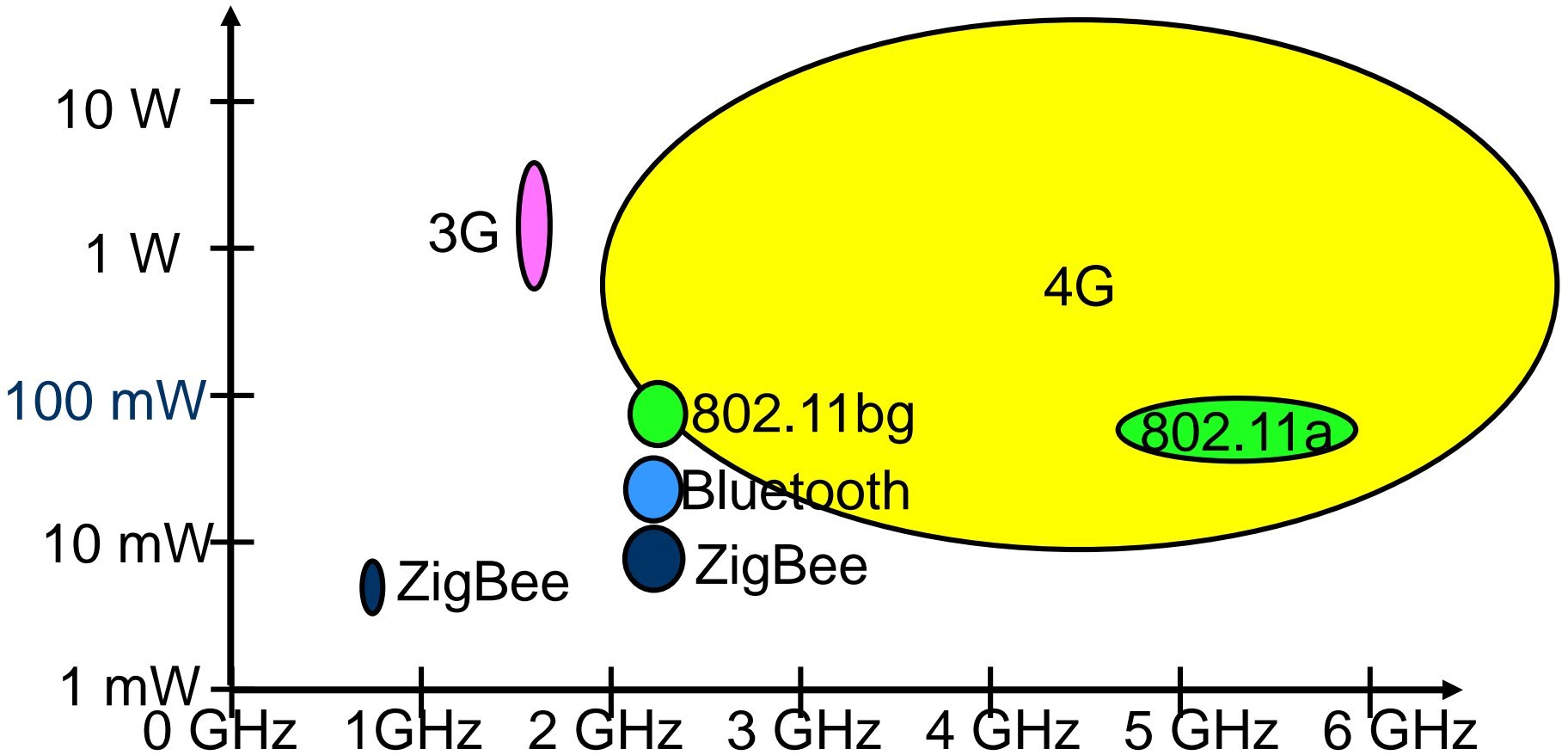
Ρυθμοί μετάδοσης



Κάλυψη



Ισχύς μετάδοσης



Γενικές αρχές για τη διάδοση

Βασικές απαιτήσεις για αξιόπιστη επικοινωνία

- Κατανομή της μέσης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε συγκεκριμένη περιοχή.
- Επαρκής ισχύς, όχι παρεμβολές.
- Ενδιαφέρει όχι μόνο η μέση ισχύς αλλά και η στατιστική συμπεριφορά της ισχύος, λόγω της κίνησης του τερματικού.
- Ενδιαφέρει επίσης η ποιότητα του σήματος, ώστε να μην εμφανίζονται σφάλματα.

Γενικές αρχές για τη διάδοση

- Απαιτείται να υπάρχει επαρκής γνώση για τη συμπεριφορά του διαύλου (διαμόρφωση, κωδικοποίηση).

Μοντέλα για τη μελέτη των ραδιοδιαύλων

- **Παραμετρικά στατιστικά:** απλά στη χρήση τους, αλλά σχετικά χονδρικά.
- **Ντετερμινιστικά:** ειδικά για κάθε περιβάλλον, παρέχουν καλύτερη ακρίβεια.

Γενικές αρχές για τη διάδοση

Καθώς το κινητό τερματικό κινείται σε μια περιοχή, οι μηχανισμοί διάδοσης επιδρούν κάθε στιγμή στο λαμβανόμενο σήμα κατά διαφορετικούς τρόπους.

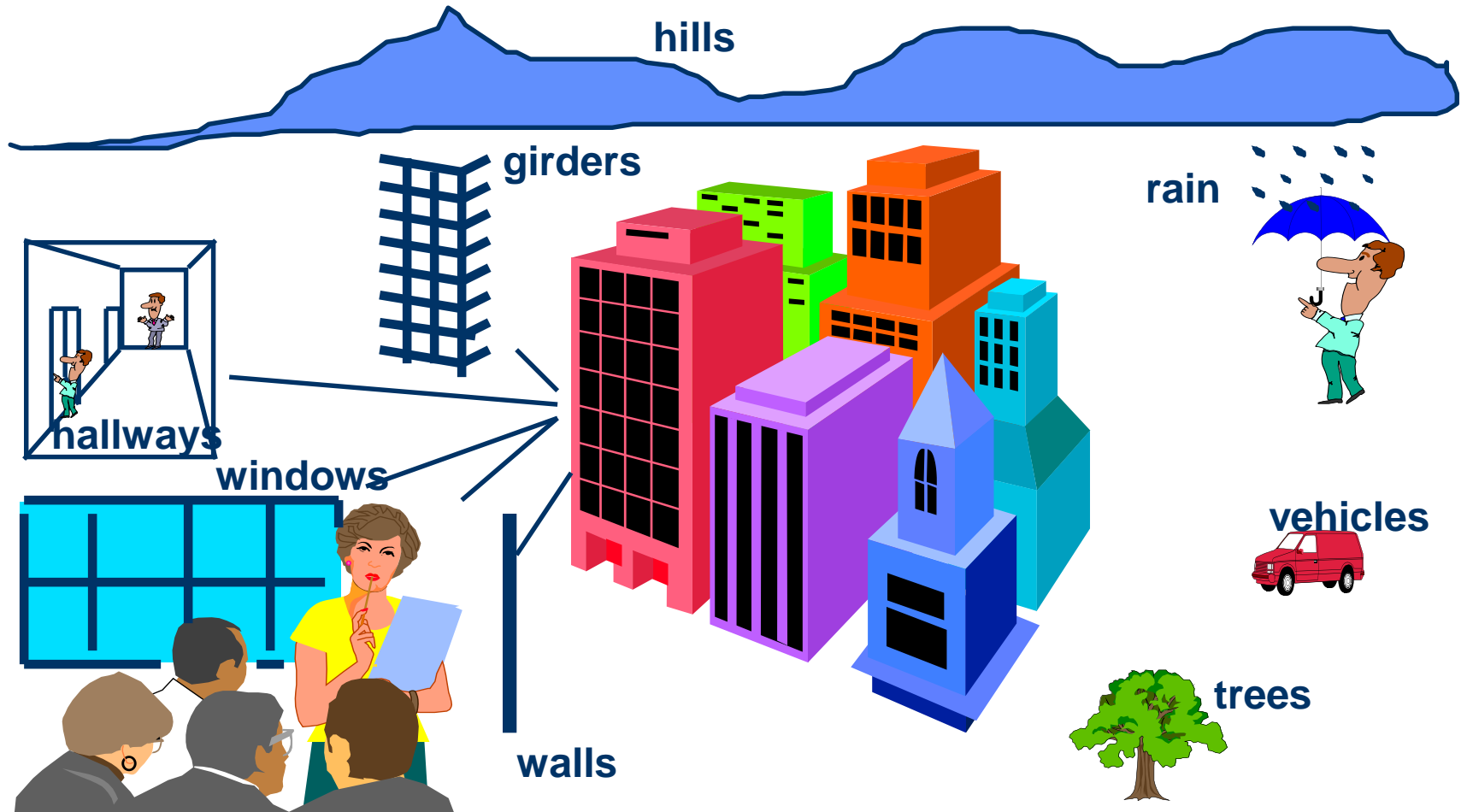
Ακόμη και αν το κινητό τερματικό διανύει μικρές αποστάσεις, η λαμβανόμενη στιγμιαία ισχύς μεταβάλλεται απότομα και εμφανίζονται βραχύχρονες διαλείψεις.

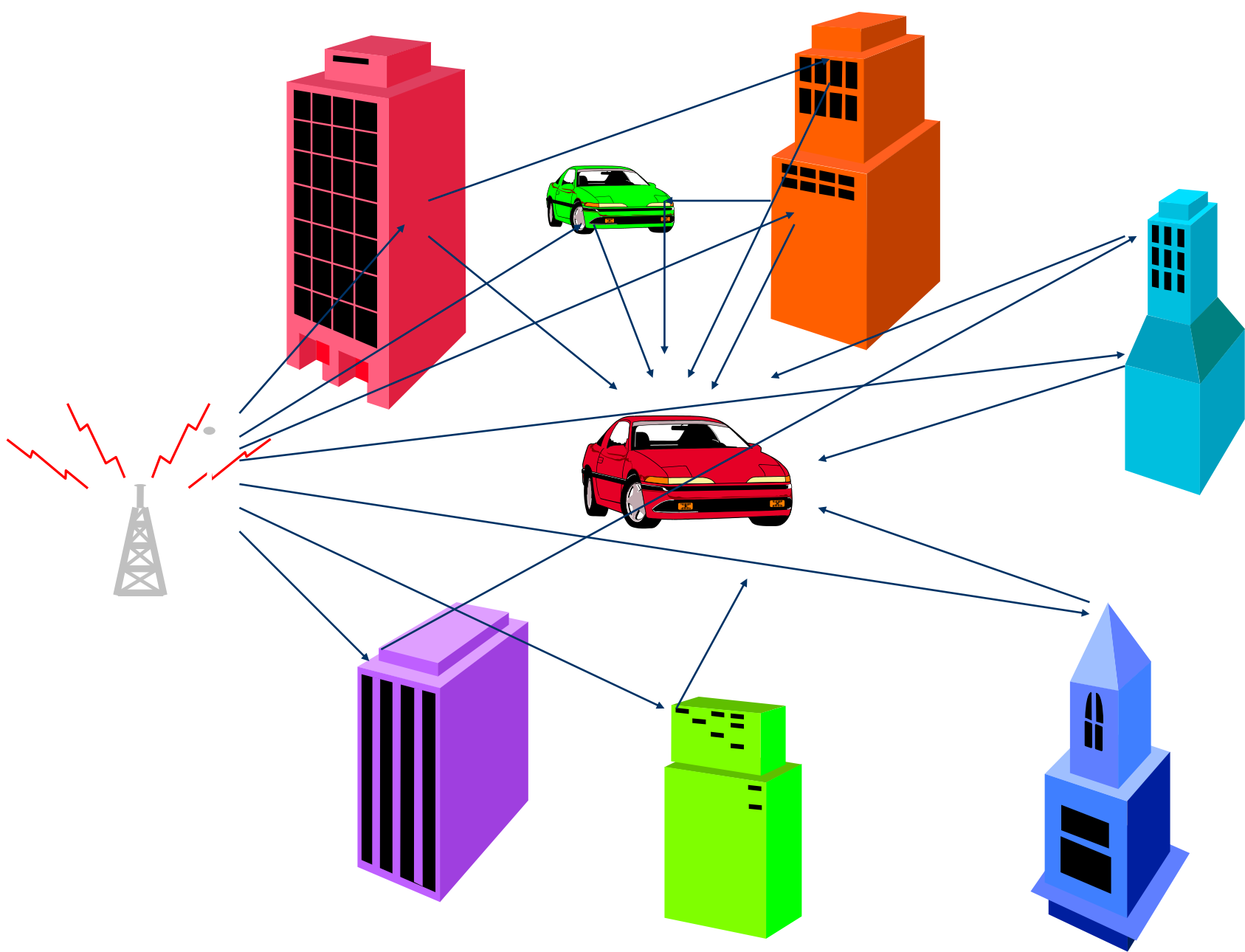
Γενικές αρχές για τη διάδοση

Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών χαρακτηρίζεται από τρία επιμέρους φαινόμενα:

- *Απώλειες διαδρομής (path loss) - εξασθένιση*
- *Σκίαση (shadowing) – περίθλαση/διάθλαση*
- *Διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών (multipath fading) – ανάκλαση/σκέδαση*

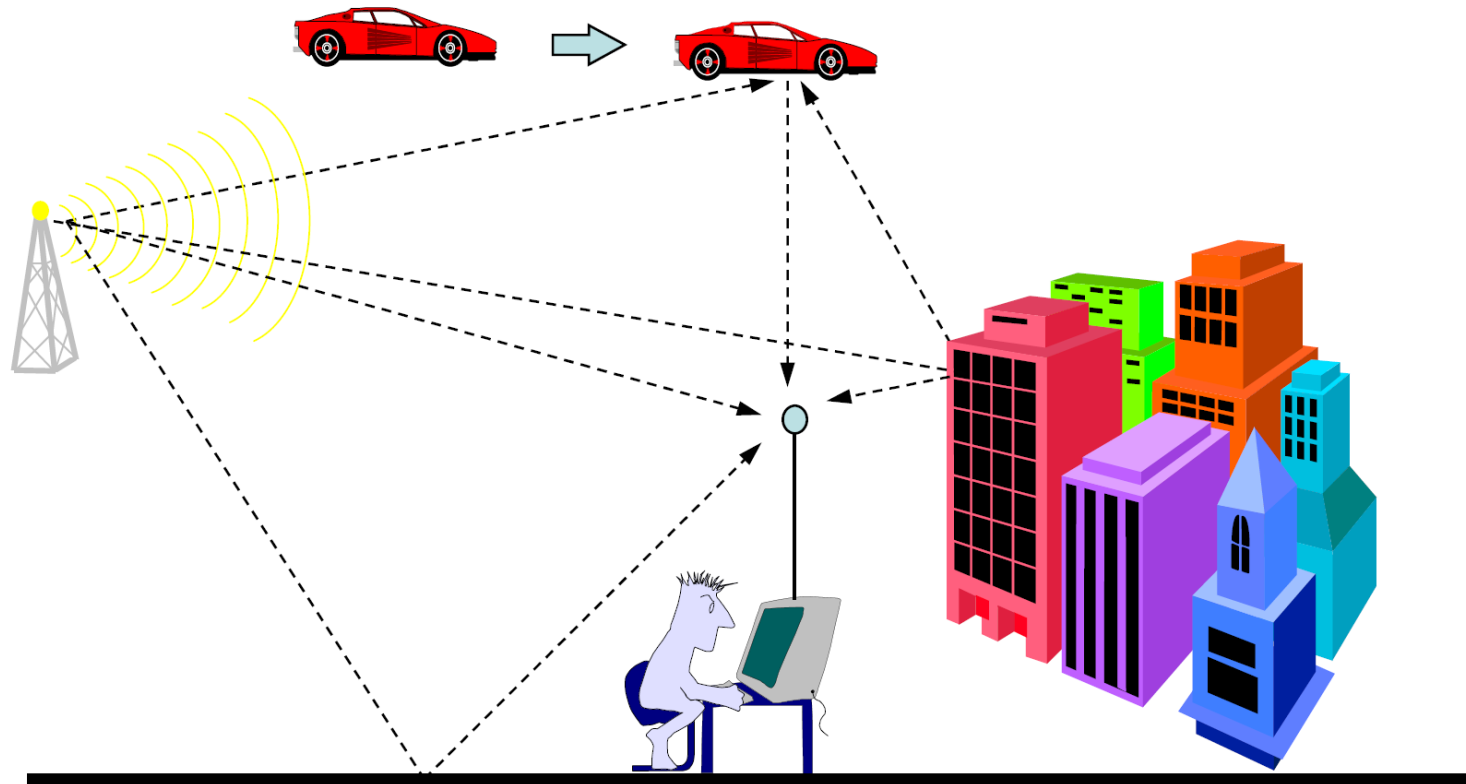
Παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση των Η/Μ κυμάτων

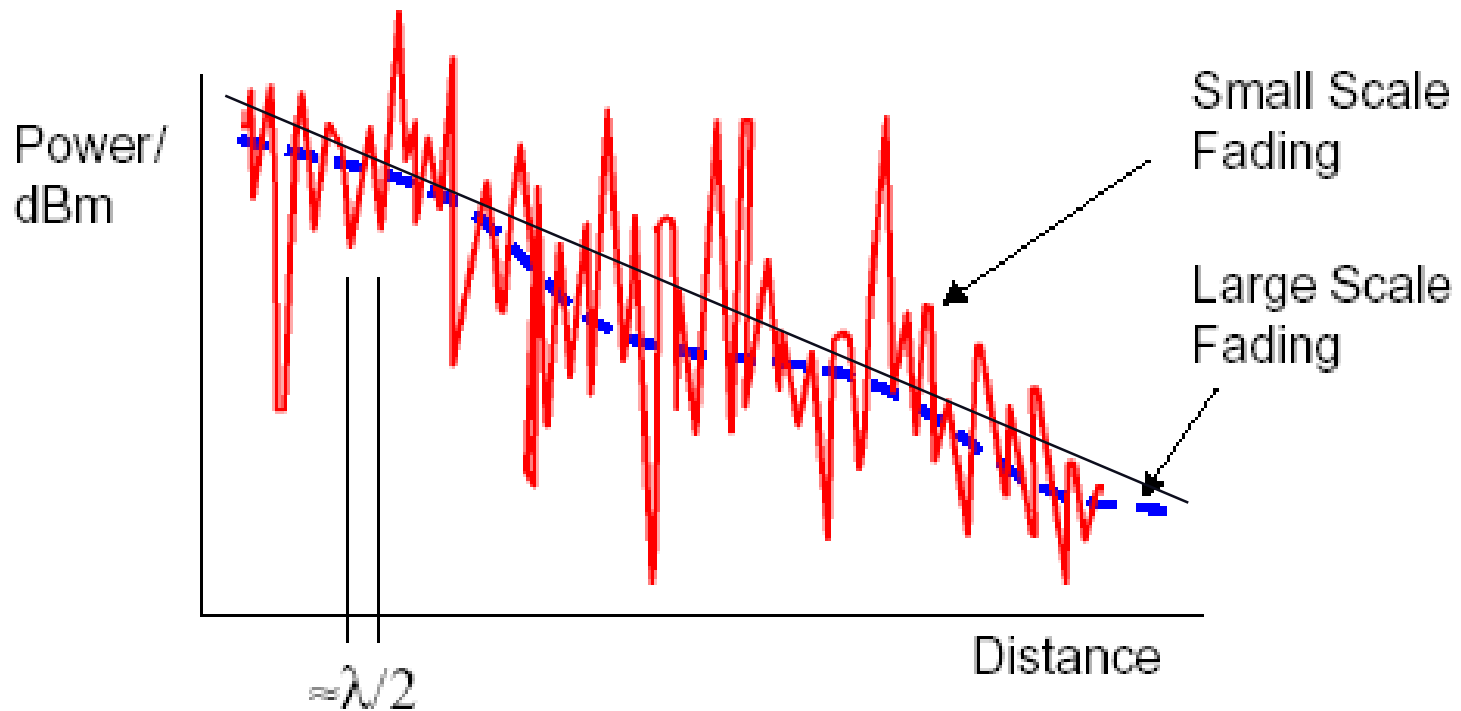




Ασύρματες Ζεύξεις

Μια από τις διαδρομές είναι μεταβαλλομενη

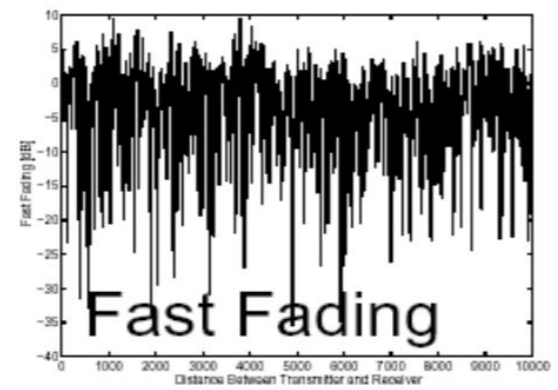
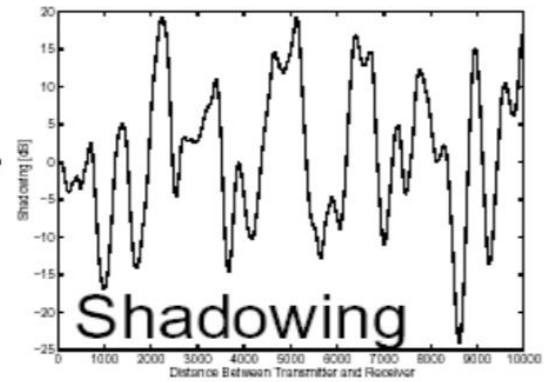
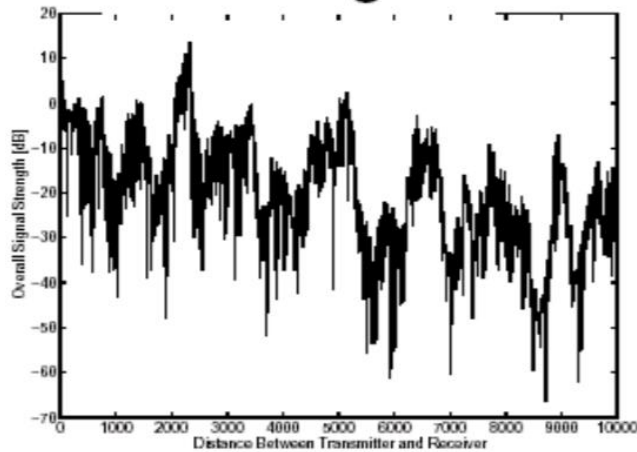




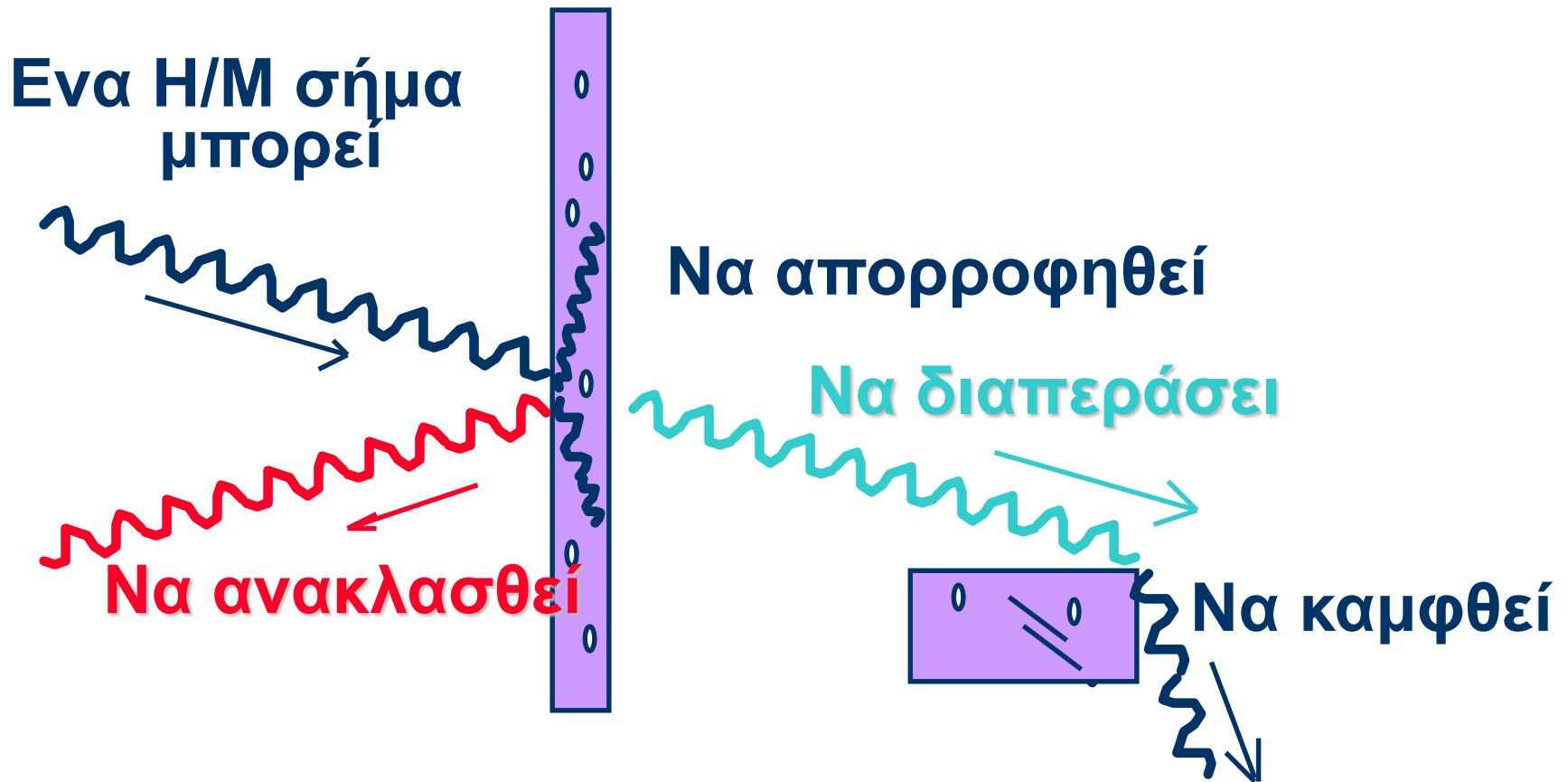
- A αποτελεσματα μεγαλης κλιμακας - Απωλειες διαδρομης
- B αποτελεσματα μεσαιας κλιμακας- σκιαση λογω εμποδιων
- C αποτελεσματα μικρης κλιμακας – ταχειες διακυμανσεις του πλατους του σηματος (small scale fading)

ΤΡΕΙΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Total Signal

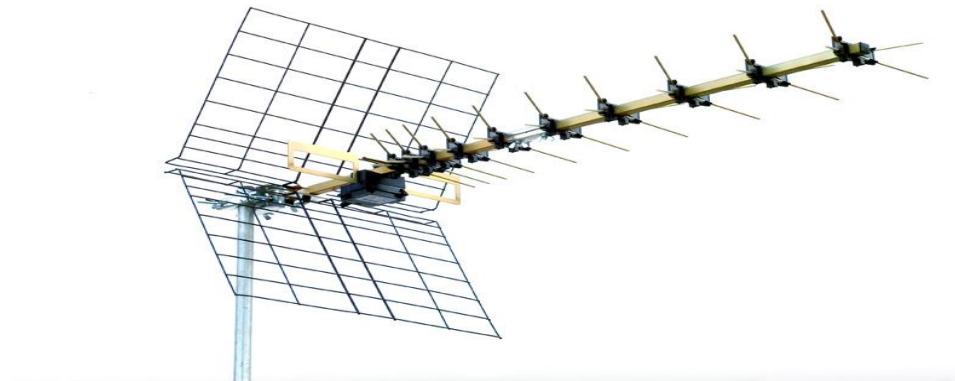


Διάδοση στην πράξη



Κεραία

- Κεραία είναι μια διάταξη, που χρησιμοποιείται για να εκπέμπει ή να δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ακριβέστερα η κεραία μετατρέπει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που οδεύει σε μια γραμμή μεταφοράς ή ένα κυματοδηγό σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο χώρο και αντίστροφα.



Είδη κεραιών

- **Δίπολα και παραλλαγές αυτών.** Πρόκειται για την μεγαλύτερη κατηγορία, ευρύτατα χρησιμοποιούμενη από 2 MHz έως 4 GHz.
- **Κατακόρυφες κεραιές Marconi.** Χρησιμοποιούνται από τις πολύ χαμηλές συχνότητες μέχρι τα 5 GHz. Δεν είναι αυτόνομες αλλά συνεργάζονται με κάποιο "έδαφος", που μπορεί να είναι το φυσικό έδαφος, μια αγώγιμη μεταλλική επιφάνεια ή μεταλλικοί αγωγοί.
- **Κεραιές βρόχου (loop)**
- **Διάφορες απεριοδικές κεραιές,** όπως ρομβικές, V, disccone και ελικοειδείς.
- **Χοανοειδείς κεραιές (horn),** συνεργάζονται καλύτερα με κυματοδηγούς και χρησιμοποιούνται σε συχνότητες άνω του 1 GHz.

Είδη κεραιών (κατευθυντικότητα)

- Τα είδη των κεραιών είναι τρία :
- α) κατευθυντικές κεραίες
- β) πανκατευθυντικές κεραίες
- γ) Ημικατευθυντικές κεραίες

Είδη κεραιών (κατευθυντικότητα)

Στην κατευθυντική κεραία το χαρακτηριστικό πρότυπο εκπομπής της είναι έντονα ενισχυμένο προς μια κατεύθυνση. Κεραίες αυτού του τύπου είναι τα πιάτα και η κεραία με πλέγμα (Grid).



Είδη κεραιών (κατευθυντικότητα)

Μια πανκατευθυντική κεραία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις. Τέτοια κεραία είναι η ομοιοκατευθυντική κεραία (omni)

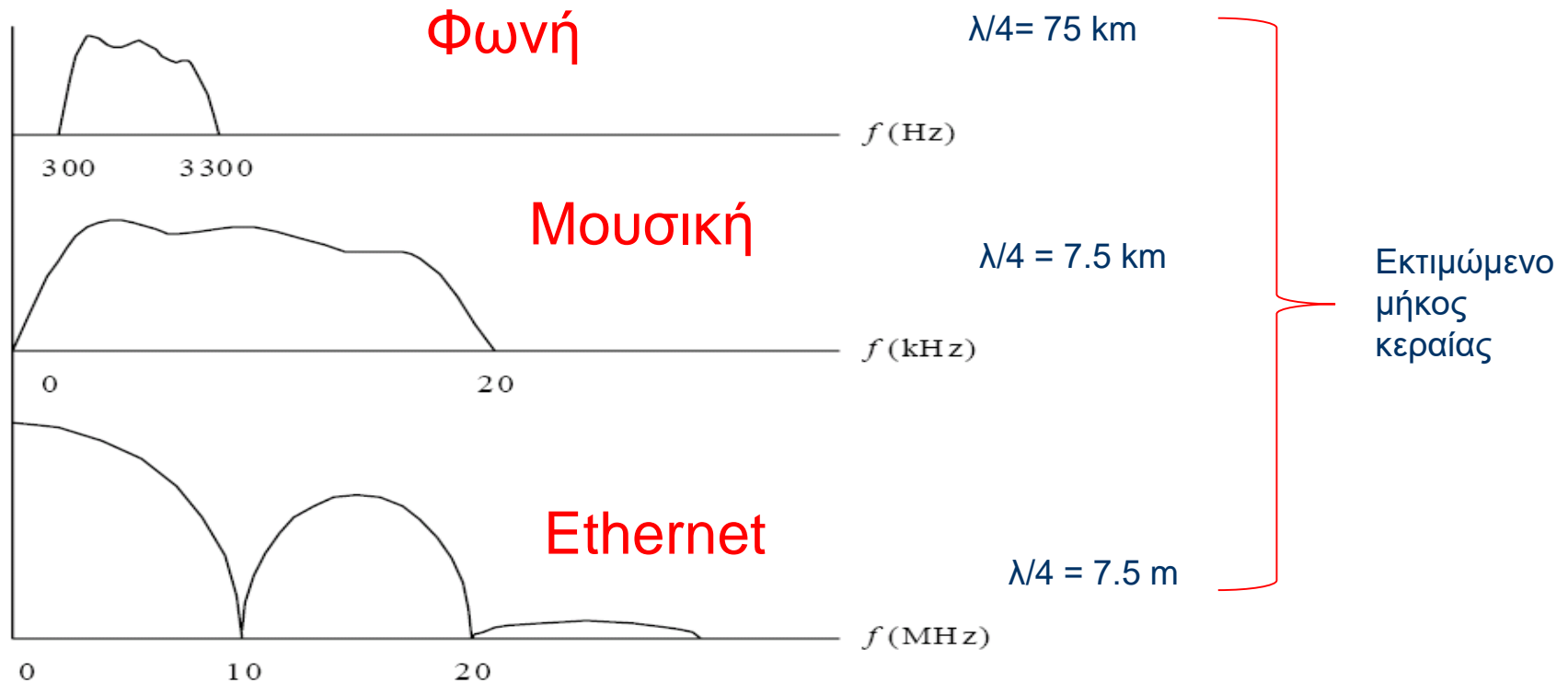


Είδη κεραιών (κατευθυντικότητα)

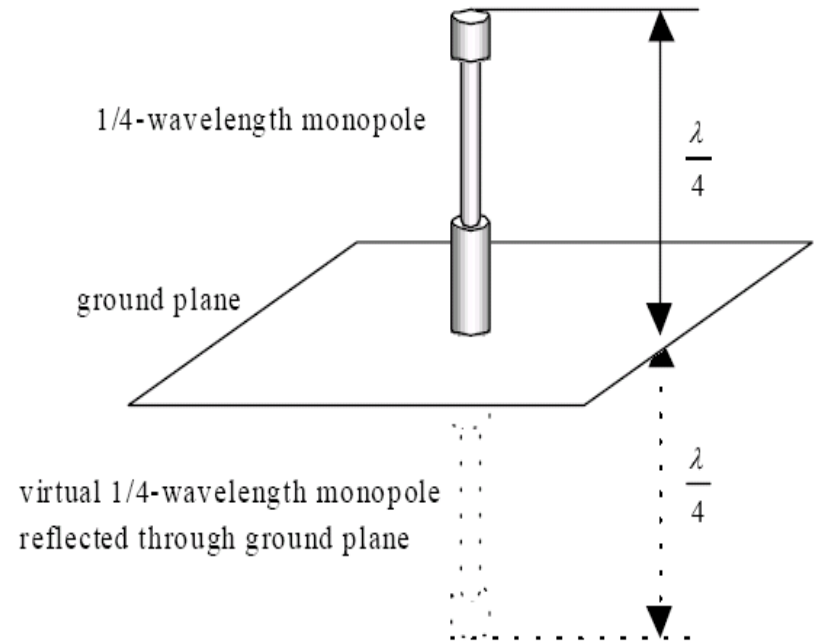
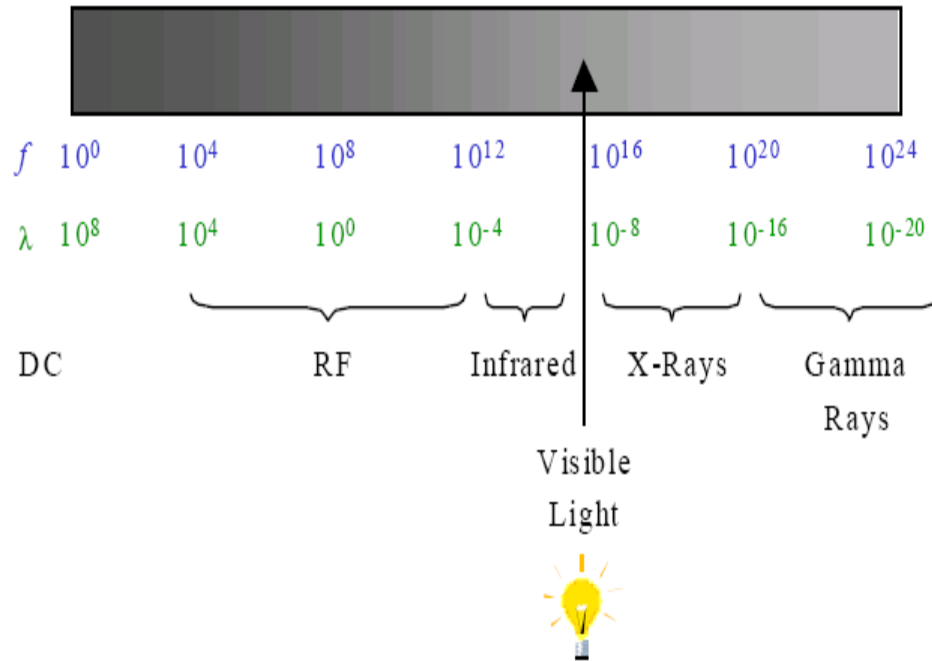
Η ημικατευθυντικές κεραίες είναι μια ενδιάμεση κατηγορία των προηγούμενων. Αυτή η κατηγορία κεραιών εκπέμπει με γωνία οριζόντιας κάλυψης από 50 έως 180 μοίρες. Τέτοιου τύπου κεραίες είναι οι τομεακές (sectored).



Φάσματα μερικών κοινών σημάτων



Η/Μ φάσμα - Κεραίες



$$\lambda = c/f \quad \text{όπου } c = 300.000 \text{ km/sec}$$

Παρατηρήσεις για τις κεραίες

- Προφανώς, τα προηγούμενα σήματα δεν μπορούν να εφαρμοσθούν κατευθείαν σε κεραία – το απαιτούμενο μήκος είναι **τεράστιο**.
- Για να υπερνικήσουμε αυτόν τον περιορισμό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σήμα πληροφορίας $m(t)$ για να **διαμορφώσουμε** ένα φέρον υψηλότερης συχνότητας f_c (RF), έτσι ώστε οι απαιτούμενες διαστάσεις τις κεραίας ($\lambda/4$) **να είναι λογικές**.
- Την λειτουργία αυτή την εκτελεί ο **διαμορφωτής**.

Η διαδικασία της διαμόρφωσης

- **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ** = Η **μεταβολή**, σύμφωνα με το **σήμα πληροφορίας**, των **παραμέτρων** ενός **φέροντος κύματος** (carrier wave) που είναι κατάλληλο για την μετάδοση μέσα από το δεδομένο κανάλι.
- **ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ** είναι η αντιστροφή διαδικασία για ανάκτηση του **σήματος πληροφορίας**.
- Το είδος της διαμόρφωσης καθορίζει:
 - Την αντοχή στο θόρυβο και την **παραμόρφωση** του καναλιού.
 - Την **πιστότητα** αναπαραγωγής του αρχικού σήματος πληροφορίας.
 - Το **εύρος** του απαιτούμενου για την μετάδοση φάσματος.
 - Την **πολυπλοκότητα** των συστημάτων εκπομπής και λήψης.

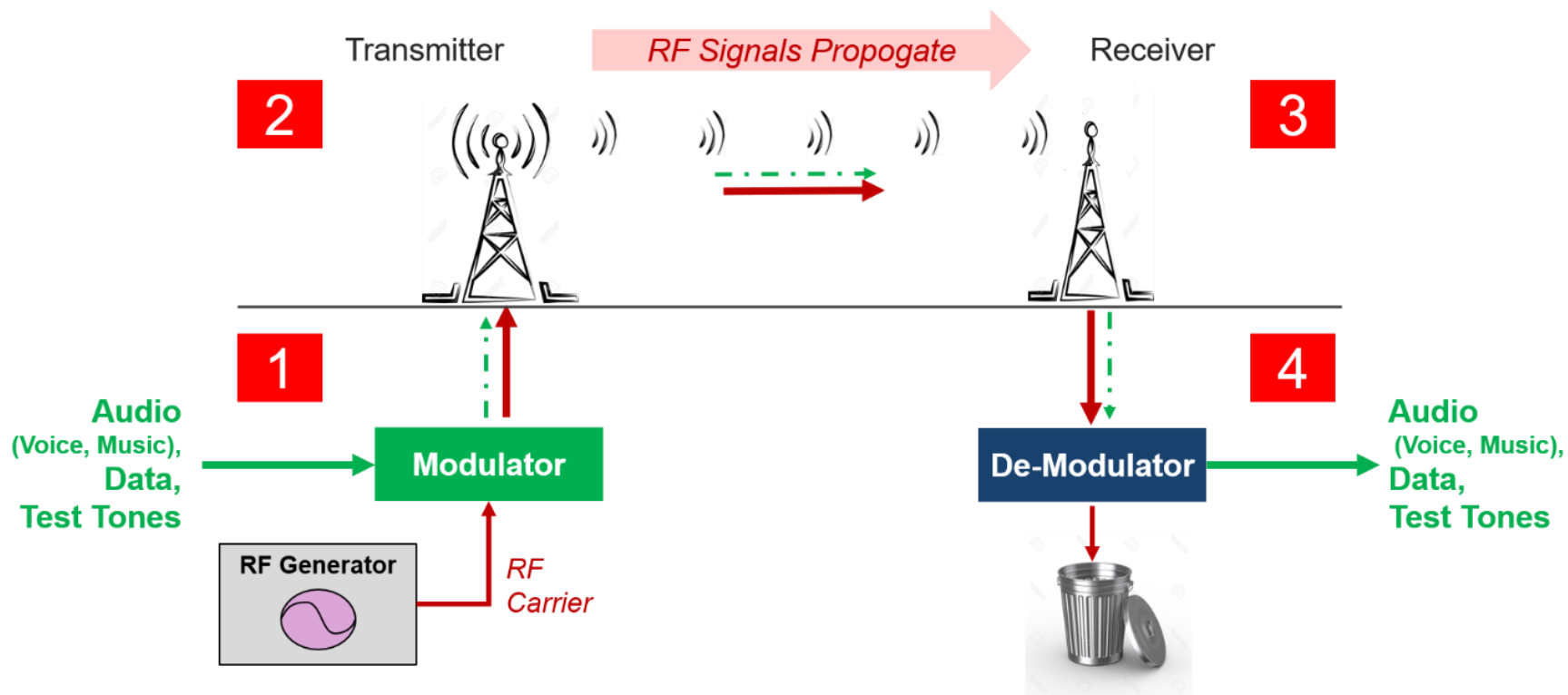
Τι επιτυγχάνουμε με τη διαμόρφωση

- Τη μετάδοση **πολλών σημάτων** στον ίδιο χώρο με χρήση διαφορετικών φερόντων.
- Την ελάττωση των **απαιτήσεων** στα χαρακτηριστικά των συστημάτων εκπομπής.
- Τη **χρησιμοποίηση** περιοχών του φάσματος με καλύτερες συνθήκες μετάδοσης.

Διαμόρφωση Σήματος

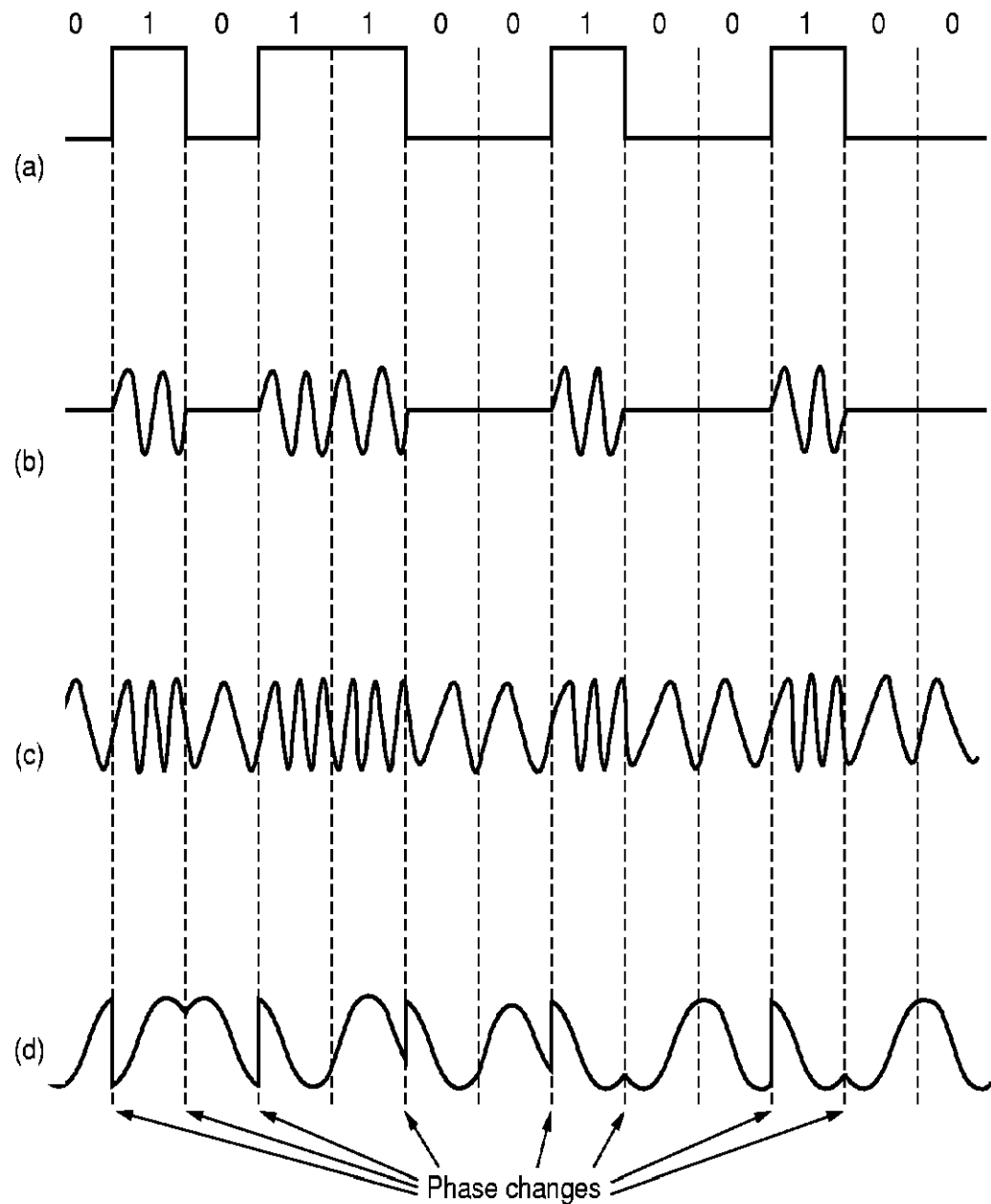
- **Baseband:** Μετάδοση αδιαμόρφωτου σήματος
 - Μεγάλο εύρος σχετικά χαμηλών συχνοτήτων
 - Μεγάλη εξασθένιση και περιορισμένη μετάδοση
 - Καλό μόνο για μικρές αποστάσεις και χαμηλές ταχύτητες
- **Διαμόρφωση:** η ελεγχόμενη αλλαγή ενός παράγοντα του φέροντος σήματος (carrier) με βάση την πληροφορία που επιθυμούμε να μεταδώσουμε
 - Εύρος
 - Συχνότητα
 - Φάση
- **Modem:** Συσκευή διαμόρφωσης/αποδιαμόρφωσης (modulator/demodulator)

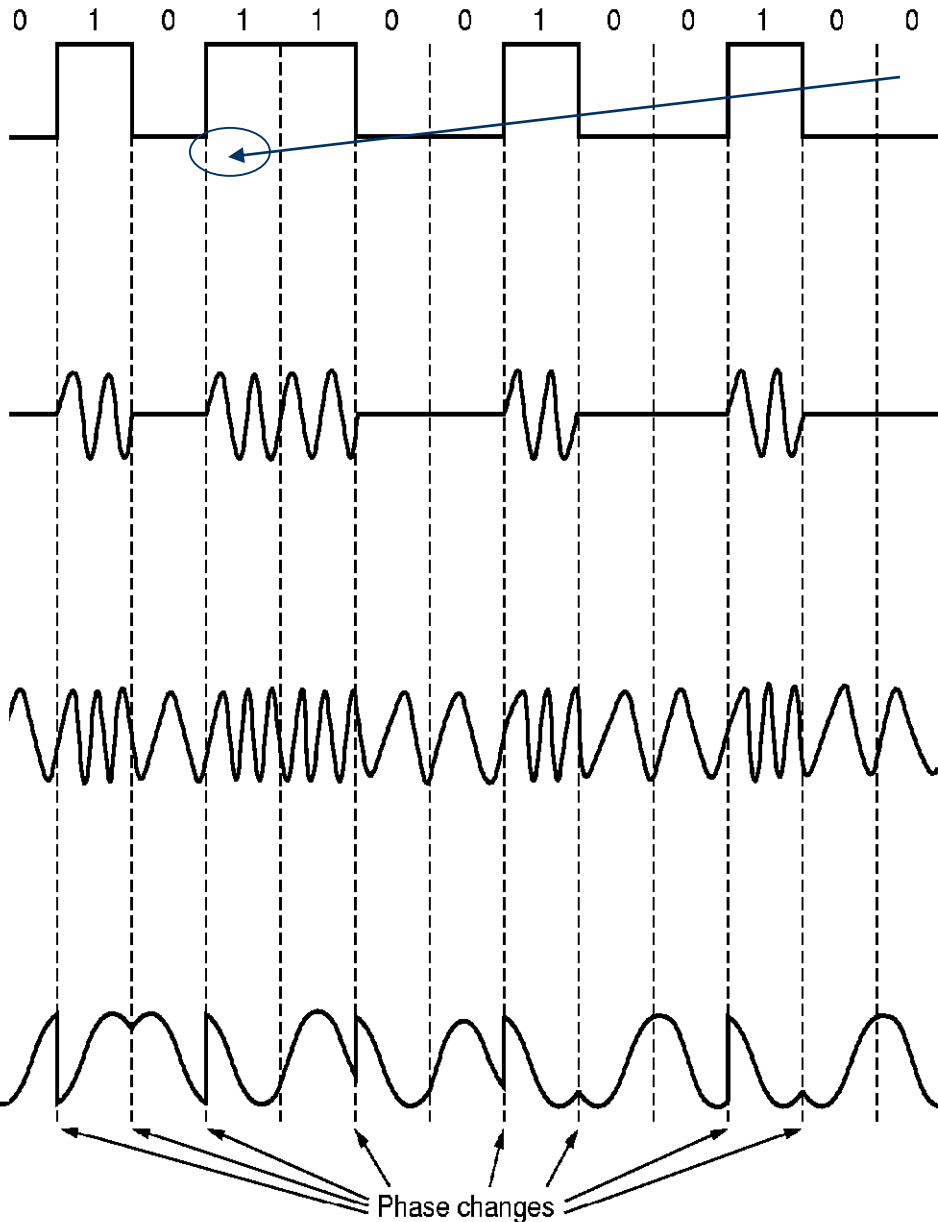
Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση



Διαμόρφωση Σήματος (Modulation)

- a) μη διαμορφωμένο (ψηφιακό) σήμα
 - b) διαμόρφωση εύρους (AM)
 - c) διαμόρφωση συχνότητας (FM)
FSK (frequency shift keying)
τεχνική για ψηφιακά σήματα
 - d) διαμόρφωση φάσης (PM)
PSK (phase shift keying)
τεχνική για ψηφιακά σήματα
- f : φέρουσα συχνότητα





Sample

Sample Rate=Samples/sec (Baud Rate)

Κατά τη διάρκεια ενός Sample στέλνεται ένα

“symbol”

Symbol=ελάχιστο τμήμα πληροφορίας

Στην απλούστερη περίπτωση AM με :

1 symbol = 1 bit (0/1) = voltage/no voltage

Για να αυξήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης δε

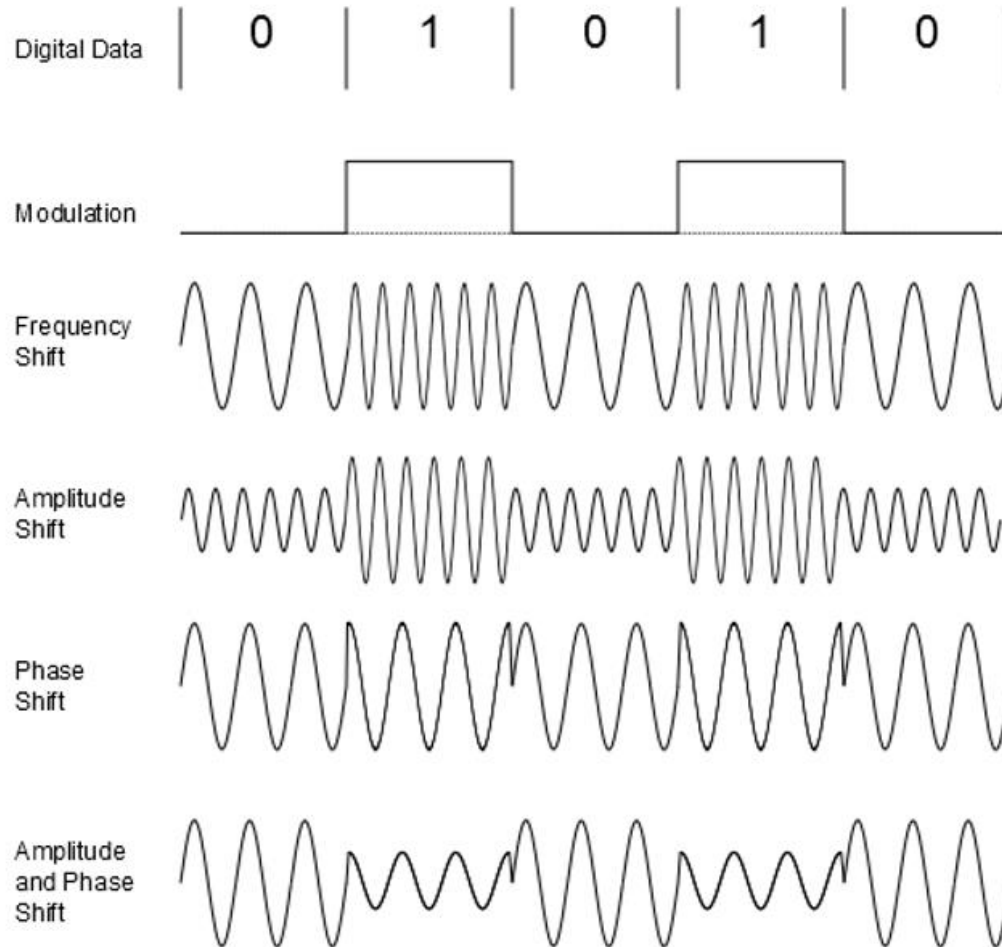
μπορούμε να μειώνουμε το sample επ' άπειρον.

Μπορούμε όμως να αυξάνουμε τον αριθμό των πιθανών symbols (επιπέδων έντασης μετάδοσης, δηλαδή εύρους σήματος) του AM

Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.

Ασύρματες Ζεύξεις

Είδη διαμόρφωσης



Ψηφιακή Διαμόρφωση

➤ Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων γνωστή και ως Shift Keying

➤ Amplitude Shift Keying (ASK):

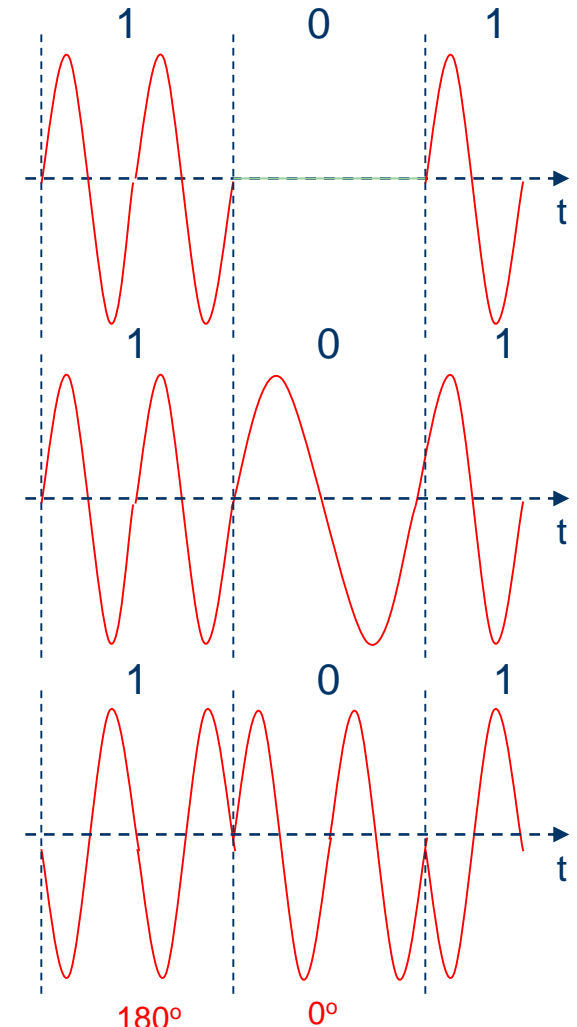
- Πολύ απλή
- Για απαιτήσεις μικρού ρυθμού
- Ευαίσθητη στην παρεμβολή

➤ Frequency Shift Keying (FSK):

- Χρειάζεται μεγαλύτερο εύρος φάσματος
- Ανθεκτική στην παρεμβολή

➤ Phase Shift Keying (PSK):

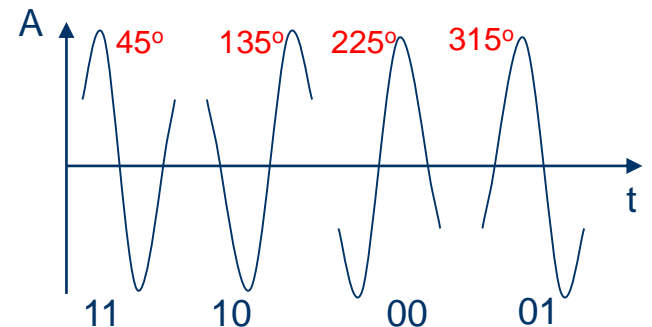
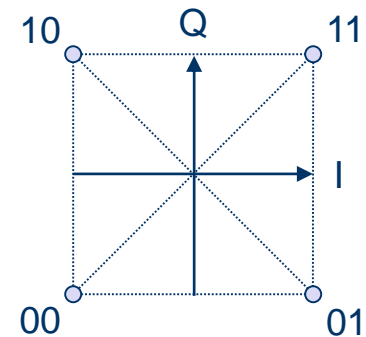
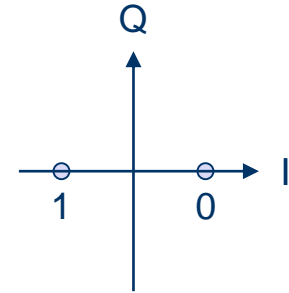
- Πολύπλοκη
- Πιο ακριβή



Ασύρματες Ζεύξεις

Advanced Phase Shift Keying

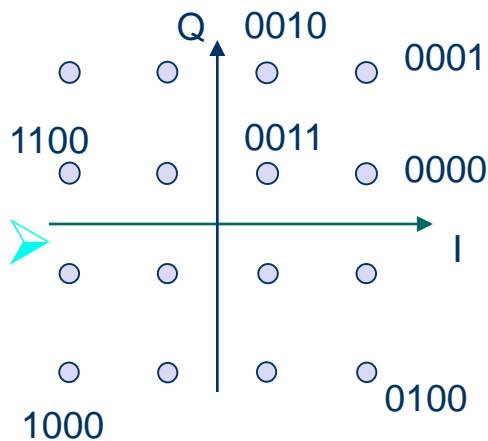
- BPSK (Binary Phase Shift Keying):
 - bit value 0: σήμα
 - bit value 1: ανεστραμμένο σήμα (180°)
 - Το απλούστερο PSK
 - Χαμηλή φασματική απόδοση
 - Ανθεκτικό (δορυφορικές)
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying):
 - 2 bits σε κάθε σύμβολο
 - Πιο περίπλοκο
 - Καλύτερη φασματική απόδοση



Ασύρματες Ζεύξεις

Quadrature Amplitude Modulation

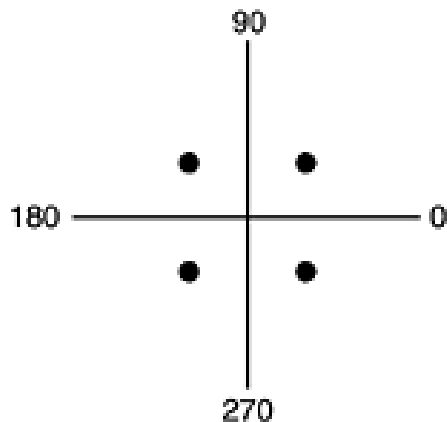
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM): συνδιασμός διαμόρφωσης εύρους και φάσης
- Κωδικοποίηση περισσότερων bits per symbol
- 2^n επίπεδα, $n=2$ ίδιο με το QPSK
- Ο ρυθμός αυξάνει όσο αυξάνει το n , αλλά περισσότερα λάθη σε σχέση με QPSK



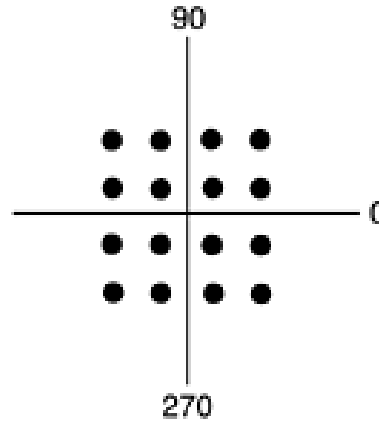
Example: 16-QAM (4 bits = 1 symbol)

Πολλαπλές διομορφώσεις

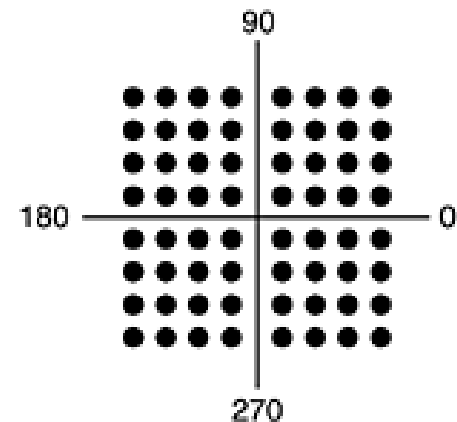
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol



QPSK

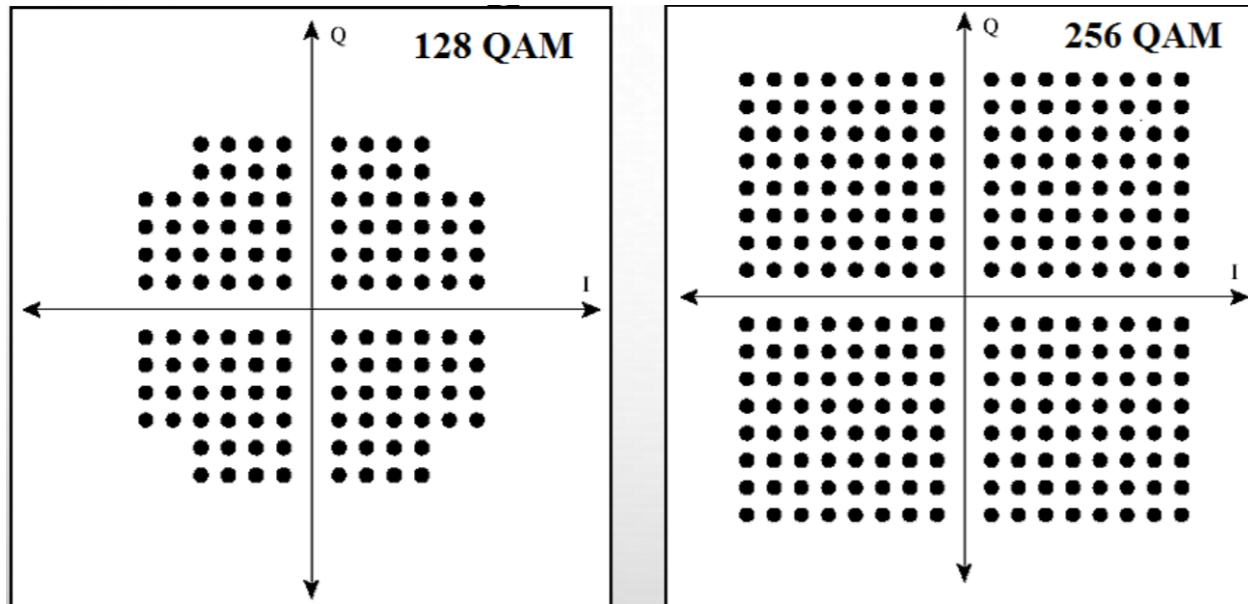
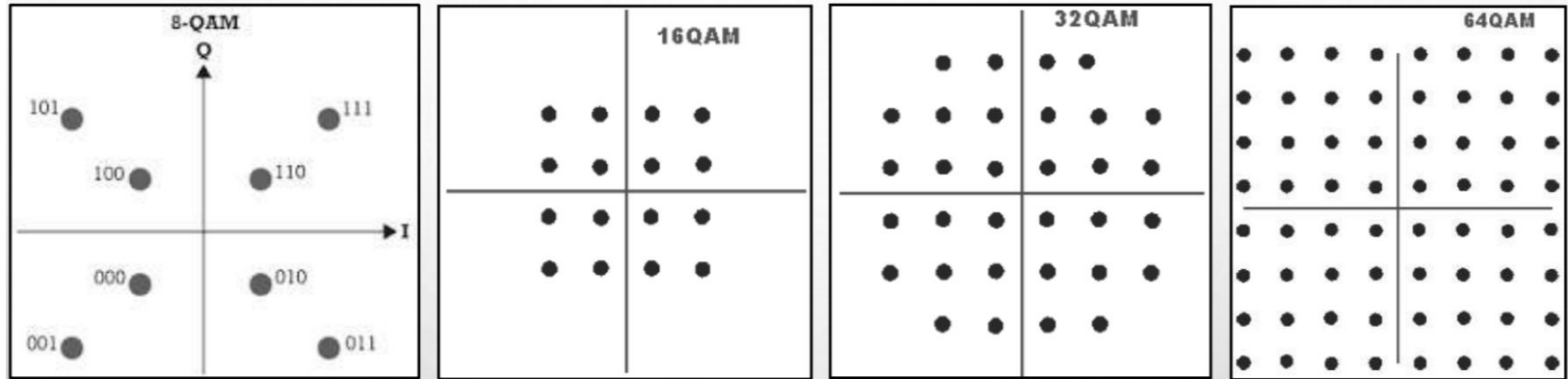


QAM-16



QAM-64

Πολλαπλές διομορφώσεις



Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση

