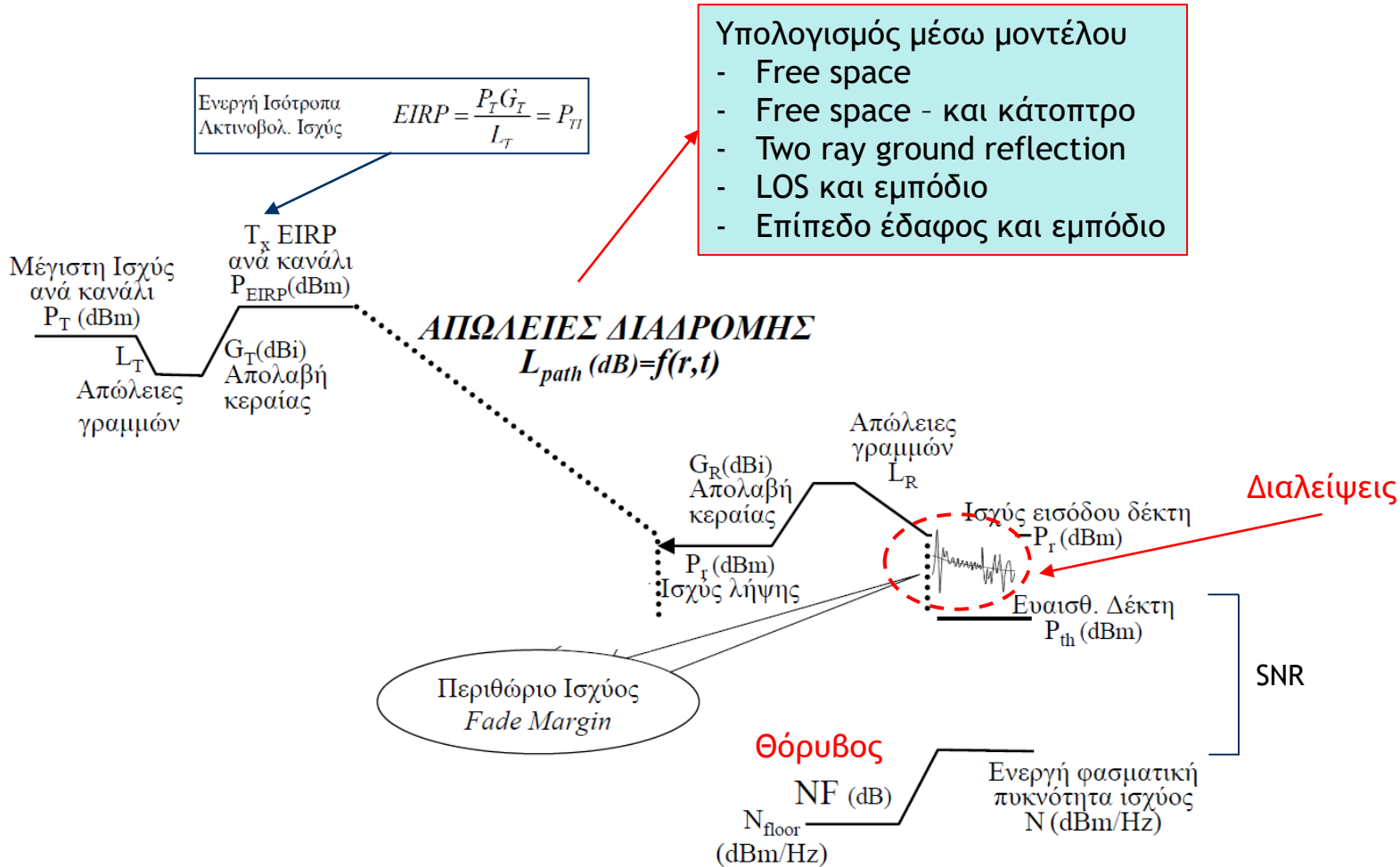


# Το φαινόμενο των διαλείψεων

- Ακίνητος δέκτης (και εμπόδια) και αδιαμόρφωτο φέρον
- Πολυδιαδρομική συνιστώσα (ή πολυδιόδευση)
  - Διαδοχικές εκδοχές του σήματος οι οποίες λαμβάνονται στο δέκτη από πολλαπλούς μηχανισμούς διάδοσης
  - Διαφορετική χρονική καθυστέρηση
    - Διαφορά διαδρομής
  - Ολίσθηση φάσης
    - Διαφορετικό ηλεκτρικό μονοπάτι
- Υπέρθεση συνιστωσών οδηγεί σε αθροιστική ή αφαιρετική συμβολή των συνιστωσών ανάλογα με τις σχετικές φάσεις τους

# Ισοζύγιο Ζεύξης (Link budget)



Θόρυβος δέκτη: Noise floor (αναπόφευκτο) + Noise figure (κατασκευαστικό)

# Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Απόσταση  $d_0$  στο μακρινό πεδίο της κεραίας του πομπού και μικρότερη από κάθε πιθανή χρησιμοποιούμενη απόσταση

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2, d > d_0 > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Εκτός περιοχής Fresnel,  $D$  ύψος κεραίας

$$P_r(d)[dB] = P_r(d_0)[dB] + 10 \log \left( \frac{d_0}{d} \right)^2$$

Μπορούσαμε να αναλύσουμε παραπάνω

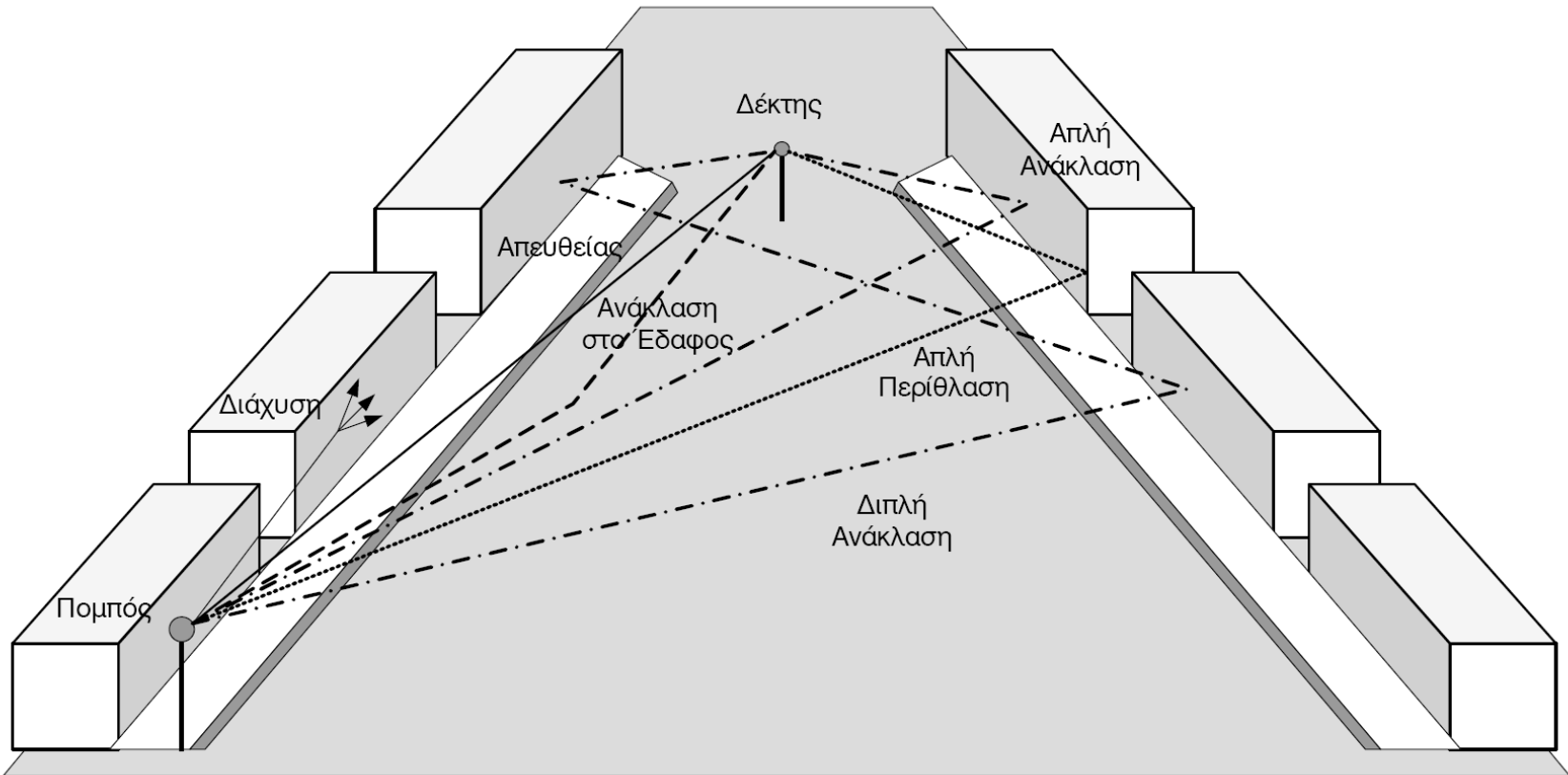
- $d_0$  1km για μακροκυψελωτά, 100m για μικροκυψελωτά και 1m για τικοκυψελωτά εσωτερικού χώρου

$$P_r = P_t - PL$$

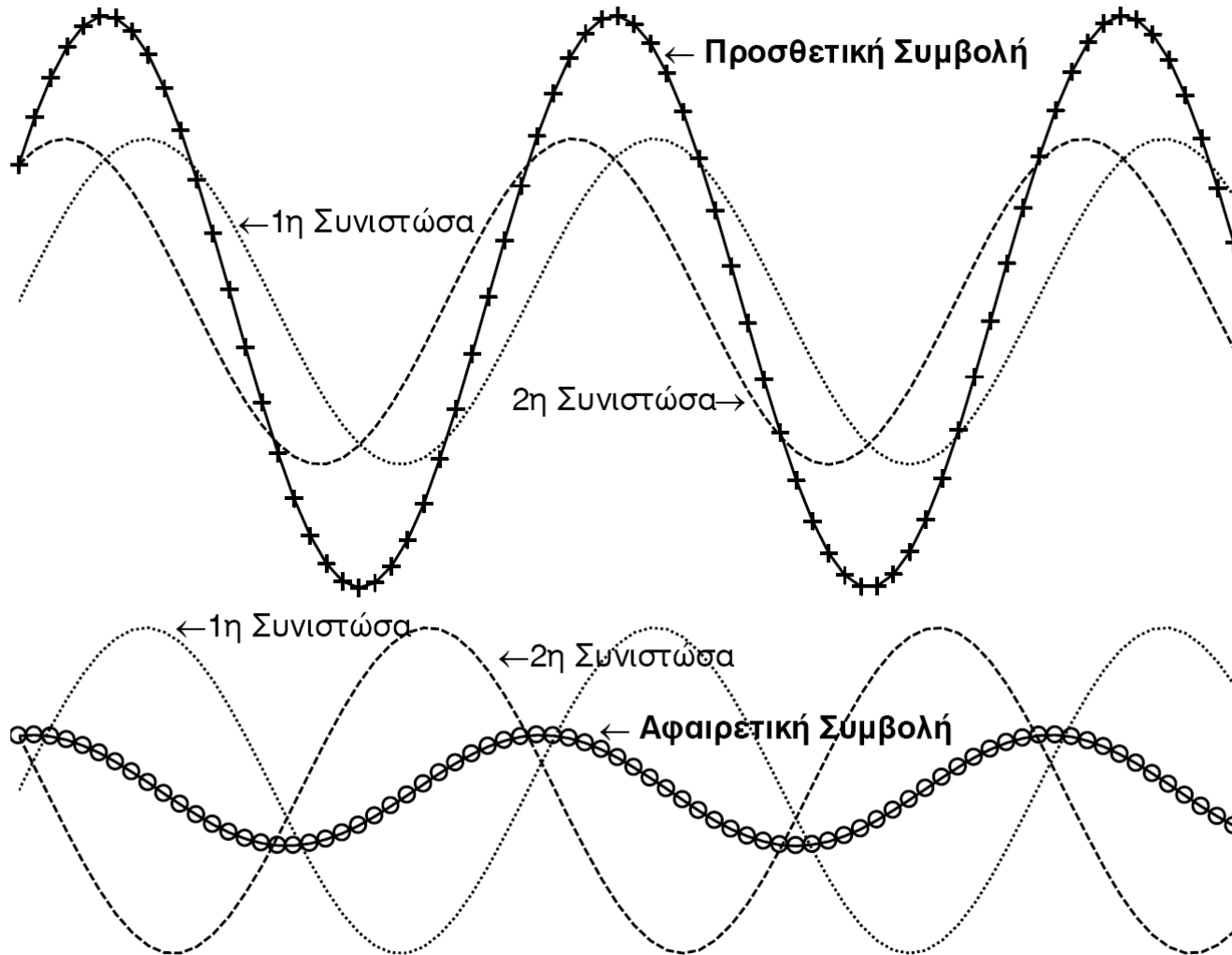


$$PL(d)(dB) = PL(d_0)(dB) + 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^2$$

# Περιβάλλον διάδοσης

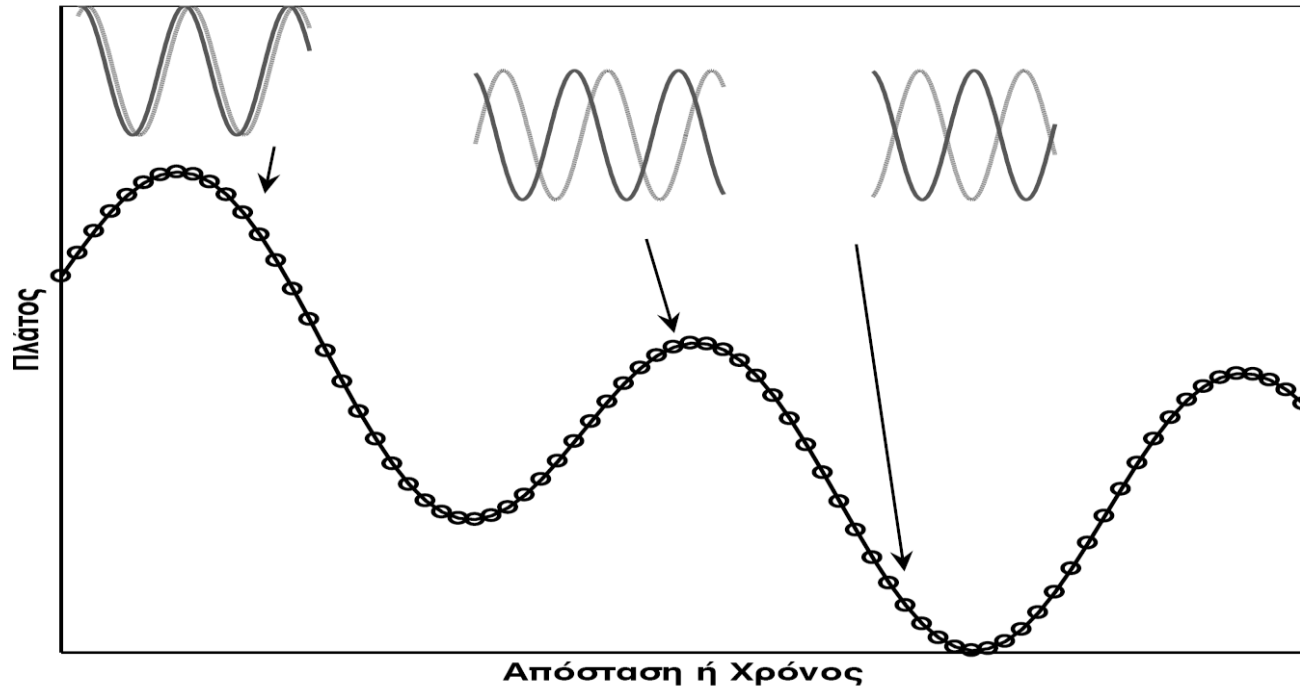


# Συμβολή κυμάτων



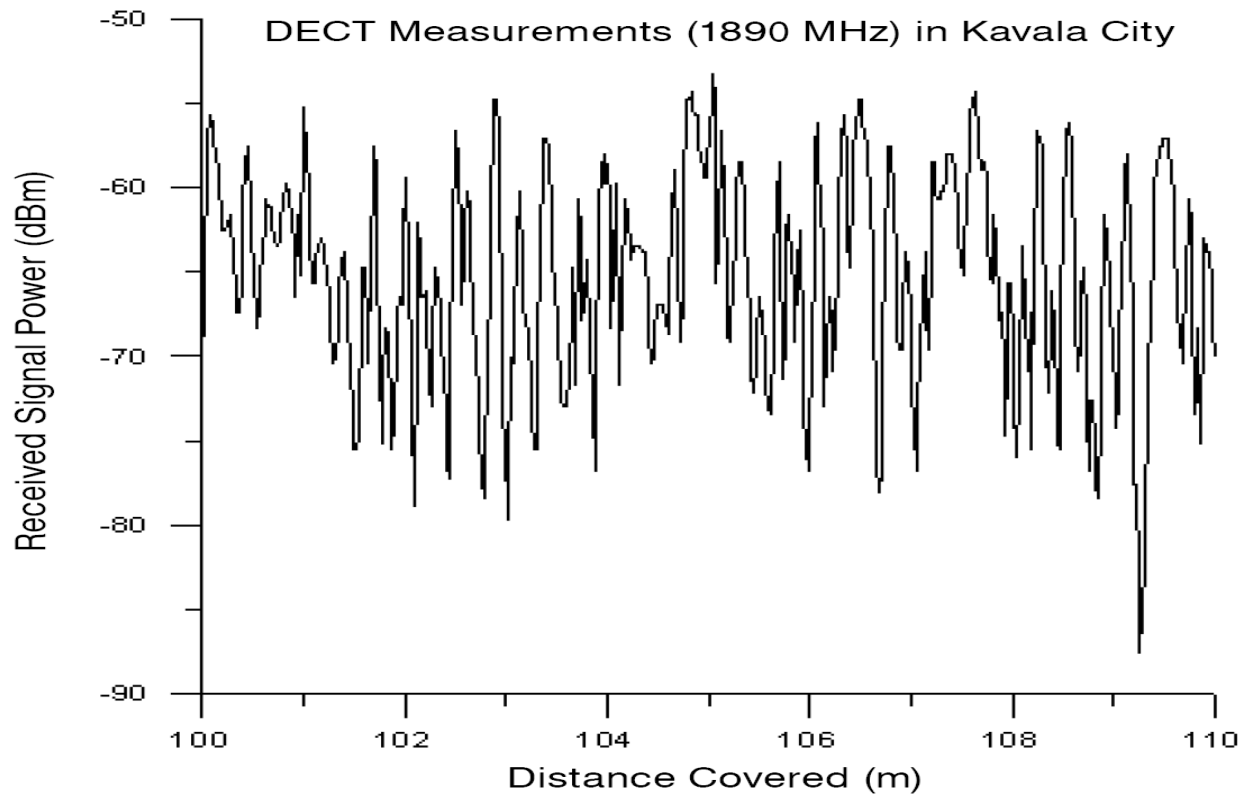
# Κινητός δέκτης – Δύο συνιστώσες

- Δυναμικό περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης
  - Συνεχής αλλαγές του ηλεκτρικού μήκους μονοπατιού και σχετικές ολισθήσεις φάσης συναρτήσει της θέσης

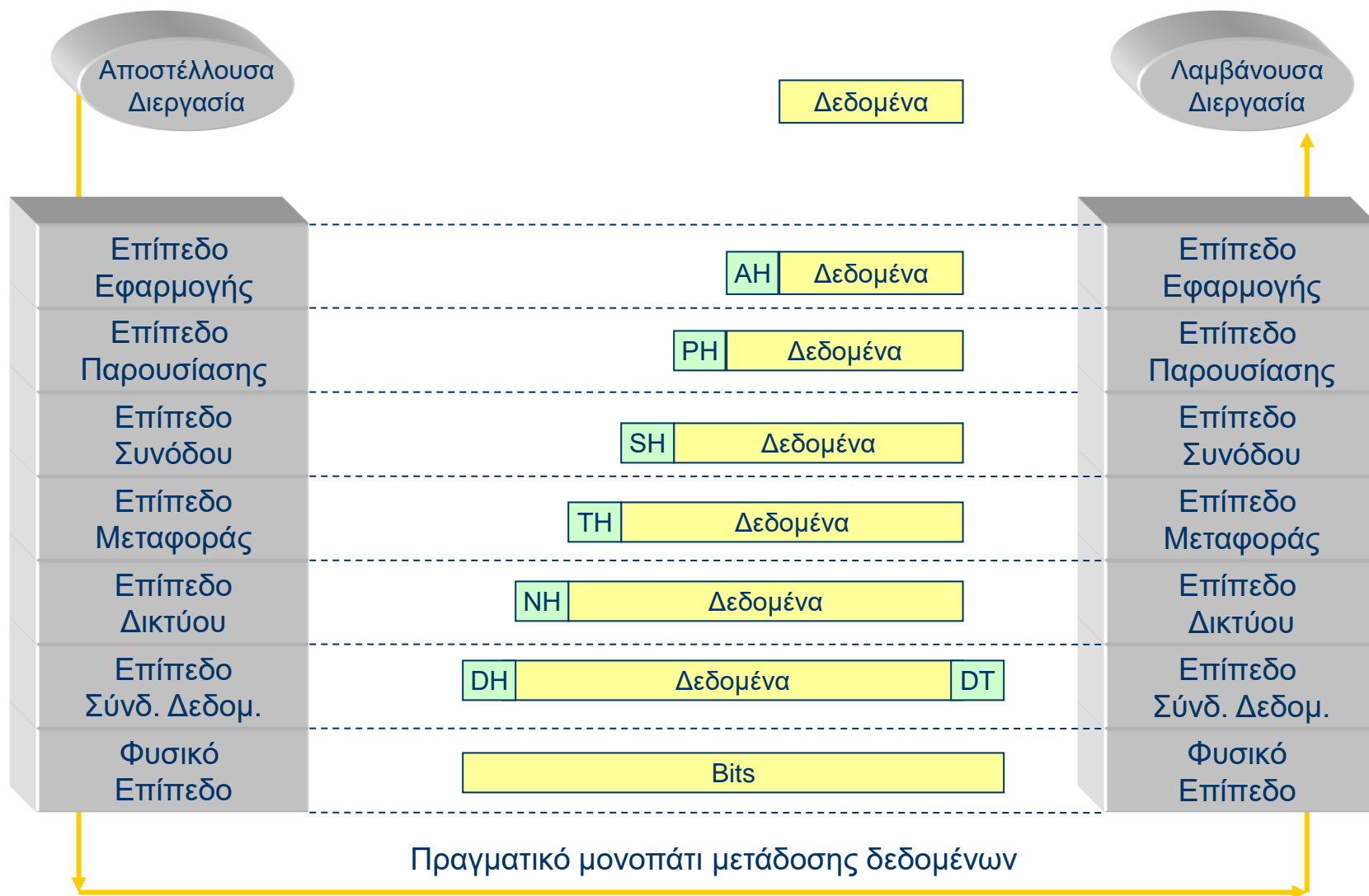


# Κινητός δέκτης – Πραγματικότητα

- Περισσότερες και ποικιλόμορφες συνιστώσες
  - Πιο περίπλοκη περιβάλλουσα στο δέκτη
  - Ο δέκτης κινείται στο χώρο των διαλείψεων

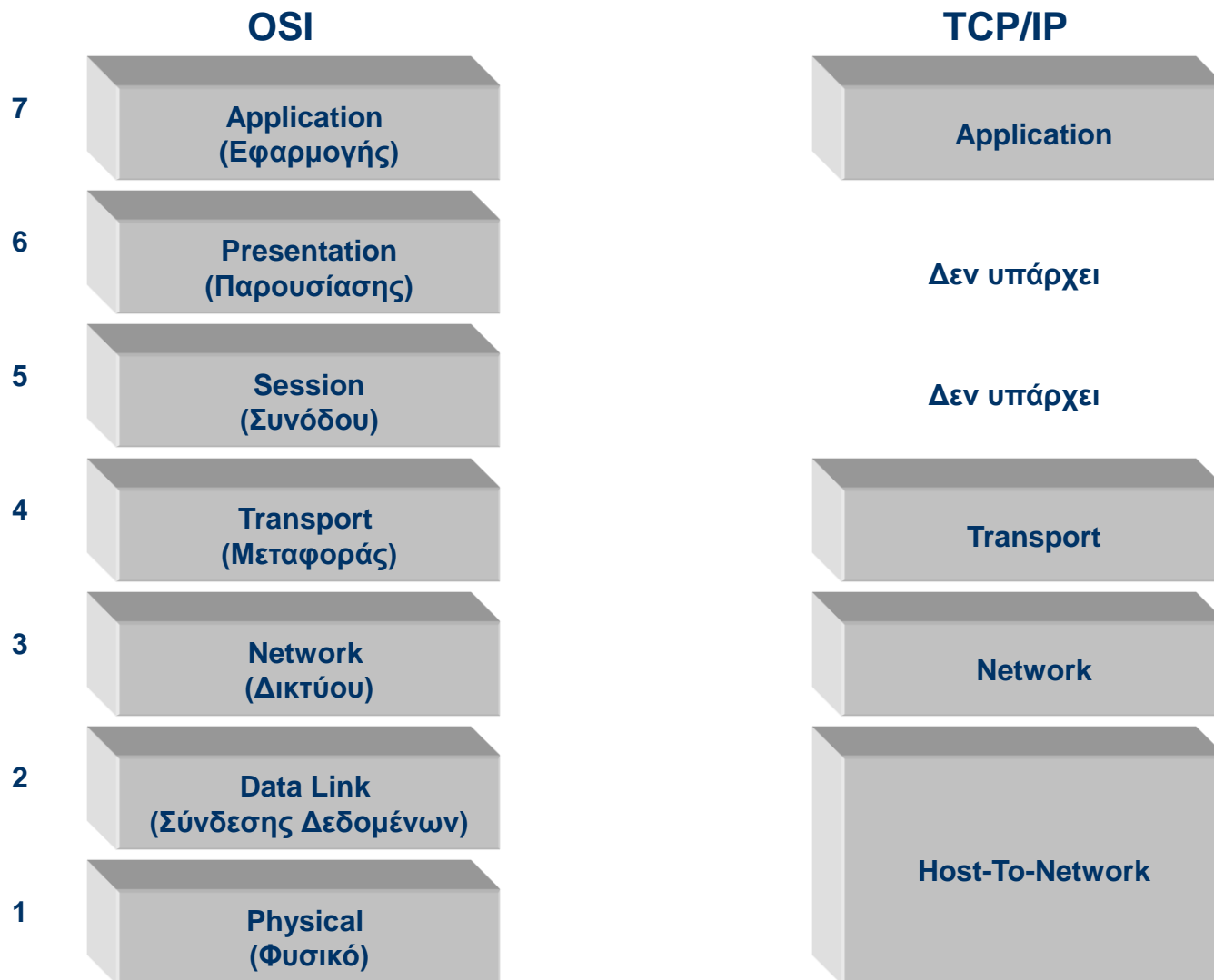


# Μετάδοση Δεδομένων στο Μοντέλο OSI





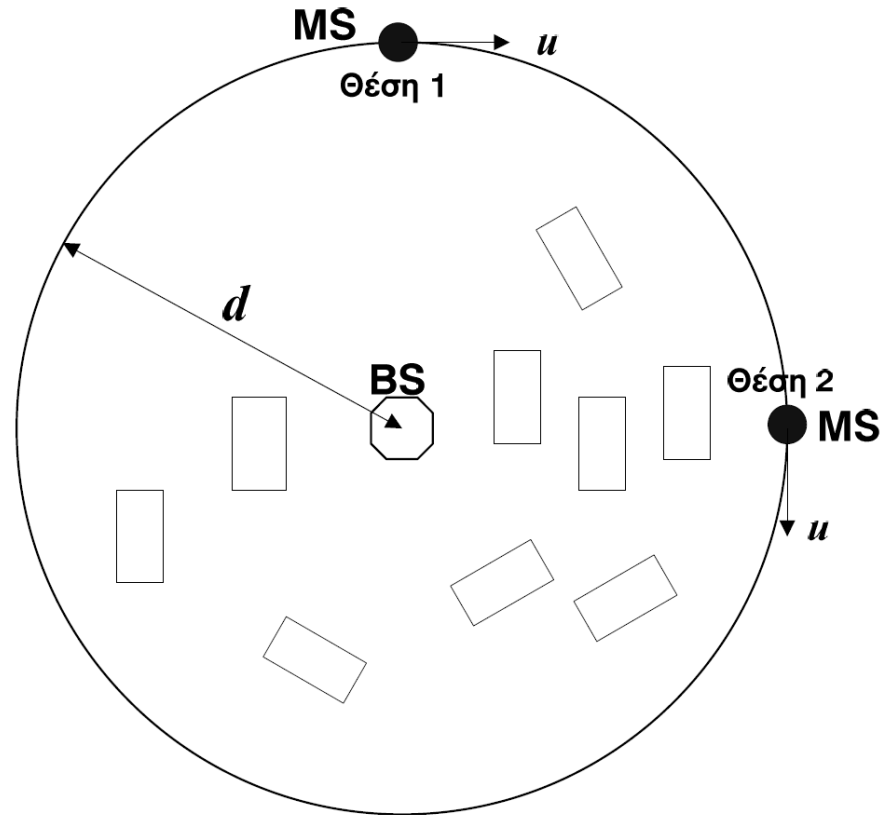
# Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP



# Είδη διαλείψεων

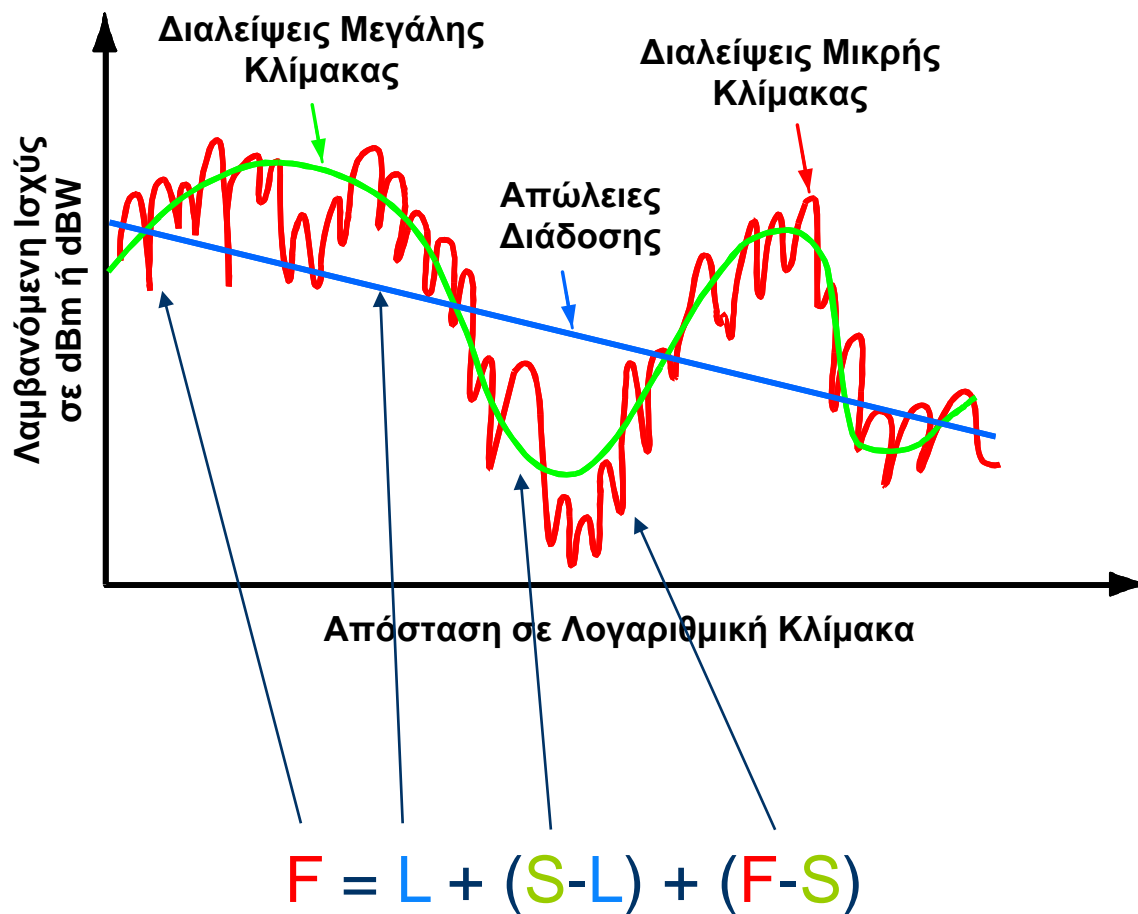
- Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading)
  - Απώλειες Διάδοσης
    - Μεταβολή της μέσης εξασθένισης με την απόσταση
  - Σκίαση (μεγάλα εμπόδια)
    - Τυχαία μεταβολή της εξασθένισης γύρω από τη μέση τιμή για δεδομένη απόσταση
- Διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading)
  - Μεταβολή των χαρακτηριστικών του σήματος (πλάτος, φάση, κλπ) για μετατοπίσεις του κινητού σταθμού  $\lambda/2$
  - Λόγω χρονικής διασποράς από πολυδιόδευση
  - Λόγω μετατόπισης δέκτη και σκεδαστών

# Φαινόμενο σκίασης



Επιπλέον εμπόδια από αυτά που θεωρούνται στα εμπειρικά μοντέλα

# Στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσει της απόστασης



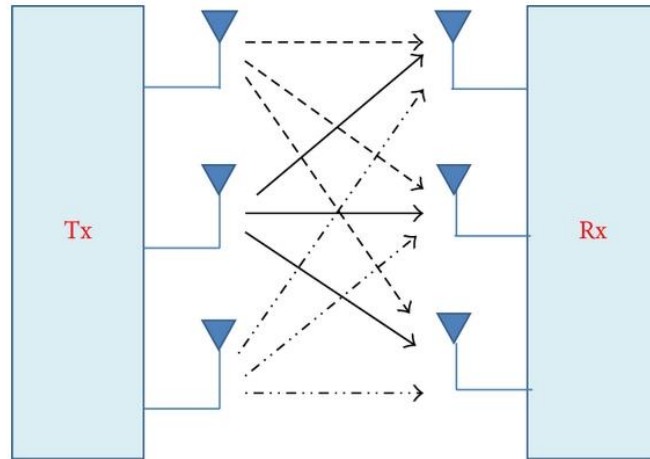
# Αντιμετώπιση διαλείψεων

- Στιγμαία λαμβανόμενη ισχύς σε περιβάλλον πολυδιόδευσης κύματος
  - Δύναται να μειωθεί κατά δεκάδες dB (συνήθως μέχρι 30 dB) σε σχέση με τη μέση τιμή που προβλέπει το μοντέλο απωλειών
- Ισχυρές διαλείψεις
  - Όταν η τιμή της στιγμιαίας ισχύος πέφτει κάτω από το ελάχιστο απαιτούμενο κατώφλι επικοινωνίας στο δέκτη (πχ ευαισθησία δέκτη ή ποιότητα σήματος)
- Αντιμετώπιση
  - Χρήση περιθωρίου ισχύος αρκετών dB (link/fading margin) κατά τον σχεδιασμό της ζεύξης
    - Προσοχή στην σπατάλη πόρων σε μακροπρόθεσμη βάση
    - Αύξηση της αλληλοπαρεμβολής

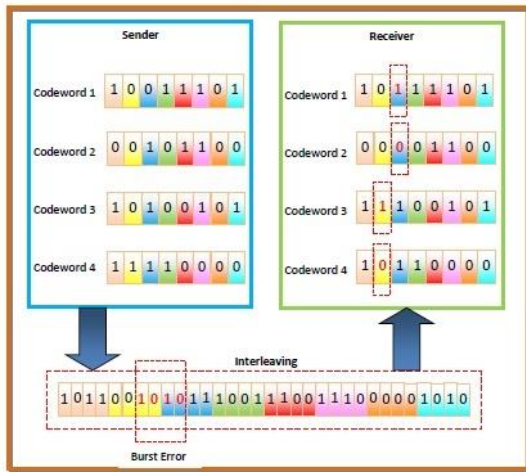
# Αντιμετώπιση διαλείψεων

- Καθώς οι διαλείψεις εκτός link budget είναι συνήθως στιγμιαίες η χρήση μεγαλύτερης ισχύος είναι συνήθως σπατάλη
- Εκμετάλλευση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων
  - Μπορούν να διορθώσουν μικρό αριθμό εσφαλμένων bits
- Παράλληλη χρήση άλλων τεχνικών
  - Διαφορικής λήψης (spatial diversity - MIMO)
  - Κωδικοποίησης με διεμπλοκή (interleaving – διασπορά λαθών)
  - Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (adaptive modulation and coding)

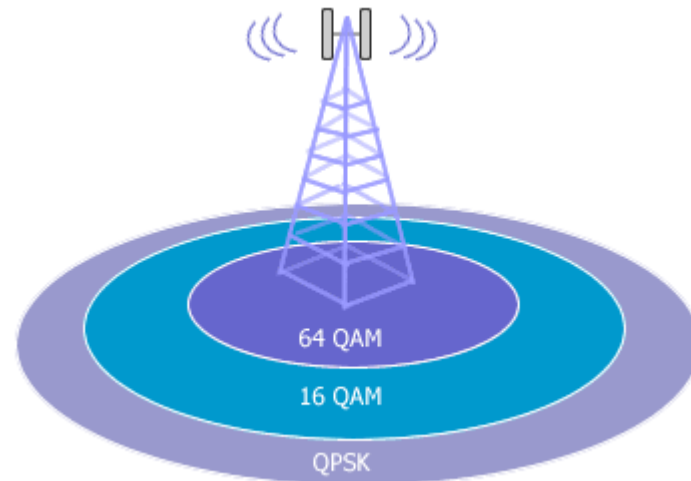
# Αντιμετώπιση διαλείψεων



spatial diversity



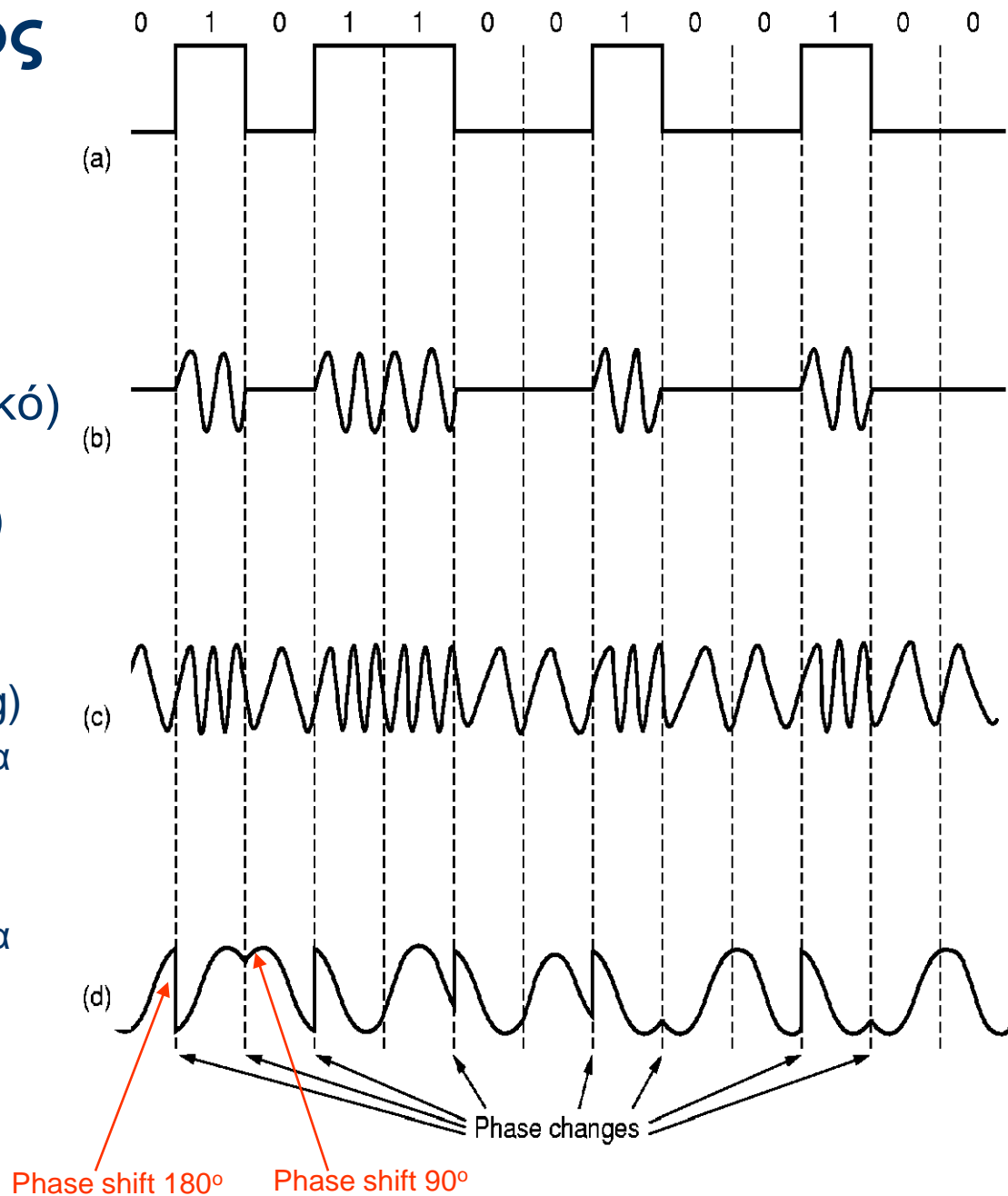
interleaving



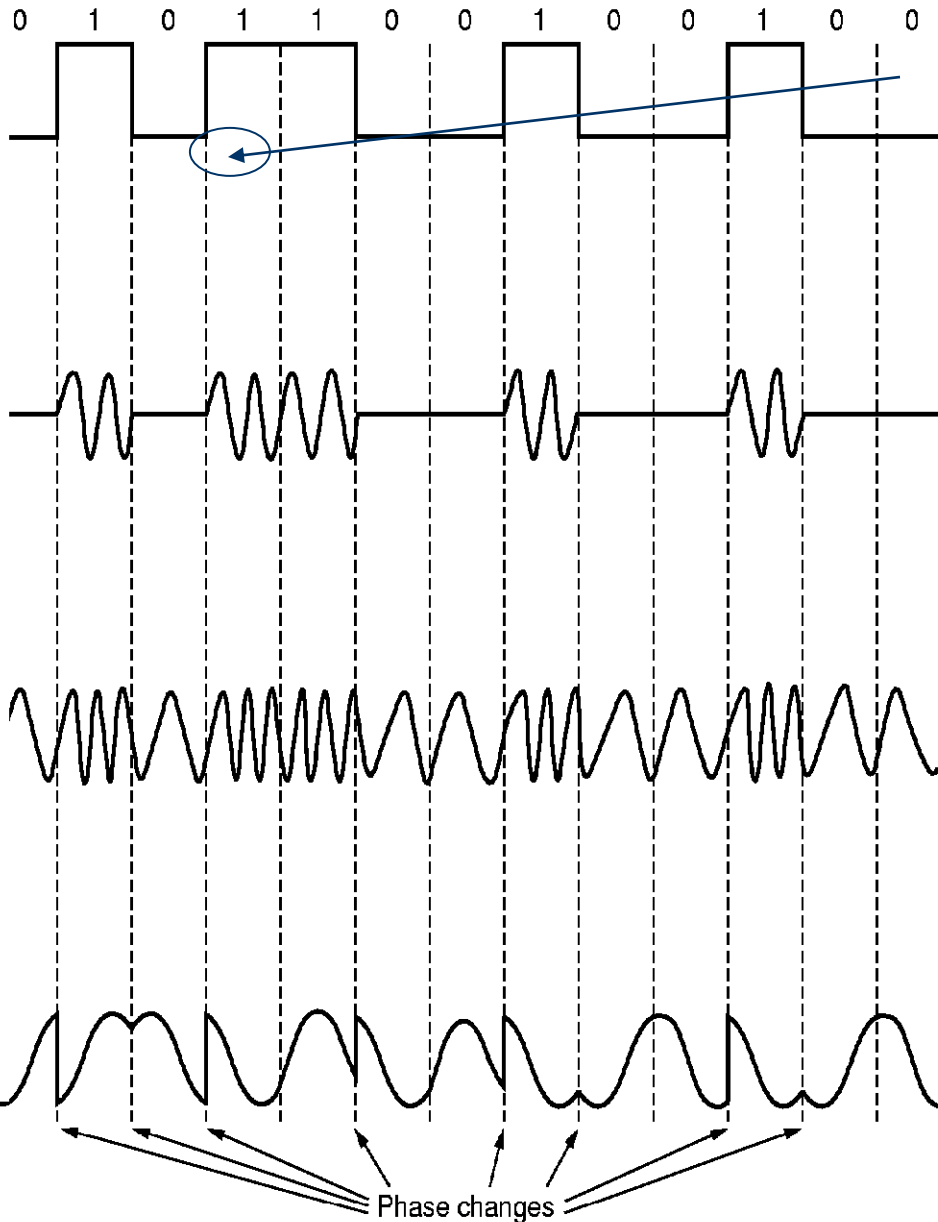
adaptive modulation and coding

# Διαμόρφωση Σήματος (Modulation)

1. μη διαμορφωμένο (ψηφιακό) σήμα
  2. διαμόρφωση εύρους (AM)
  3. διαμόρφωση συχνότητας (FM)  
FSK (frequency shift keying)  
τεχνική για ψηφιακά σήματα
  4. 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

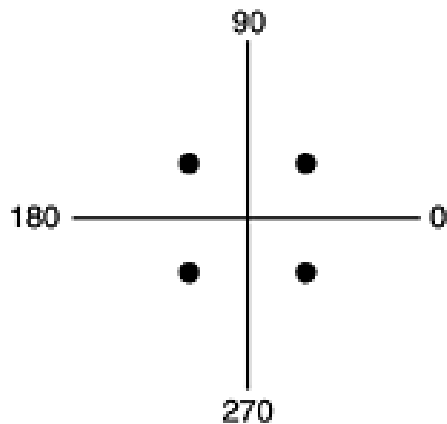
Για να αυξήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης δε μπορούμε να μειώνουμε το sample επ' άπειρον.

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

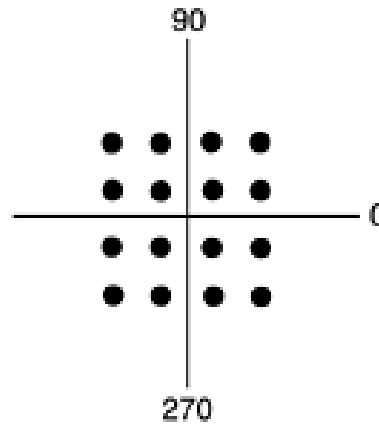
Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.

# Πολλαπλές Διαμορφώσεις

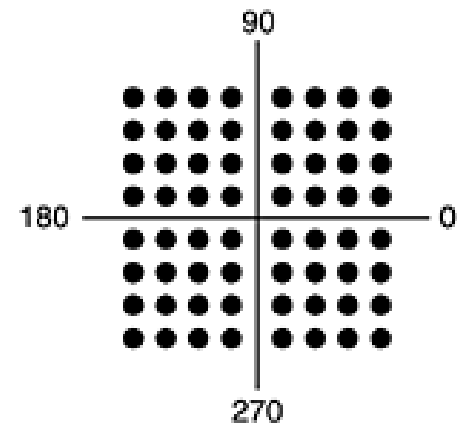
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol



QPSK

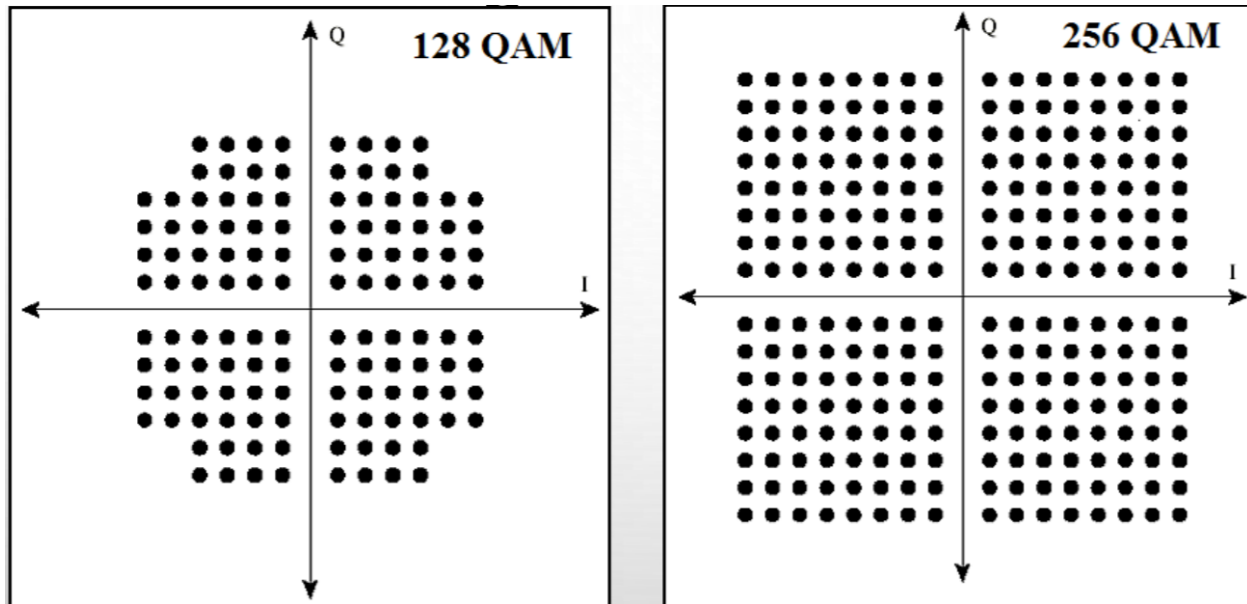
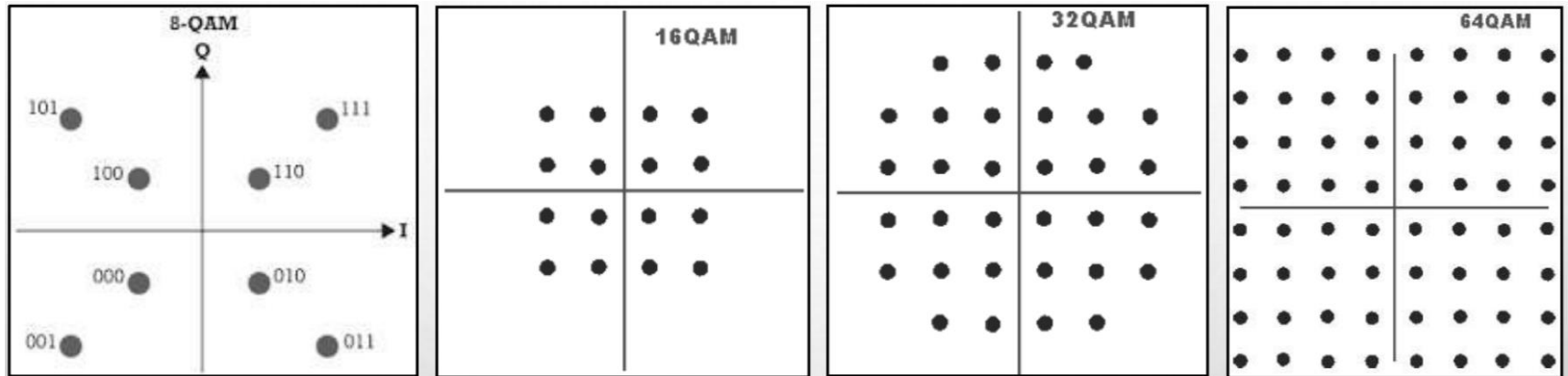


QAM-16

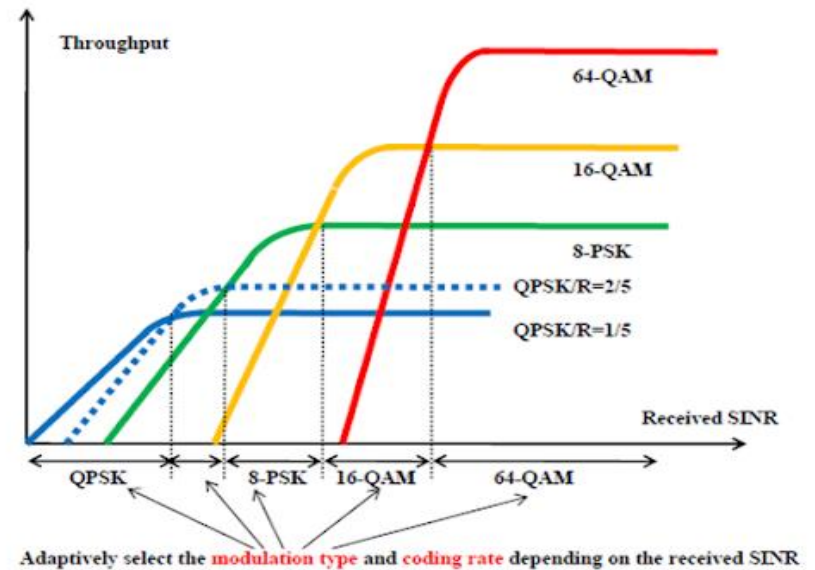
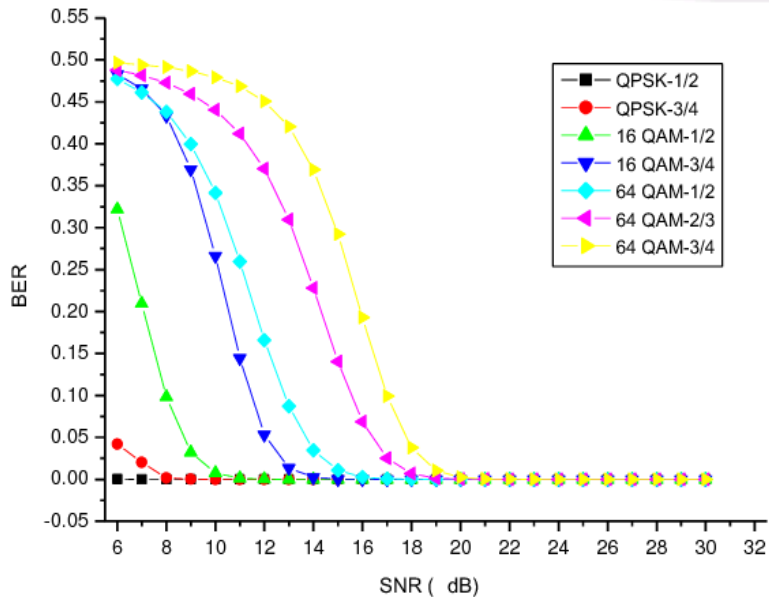
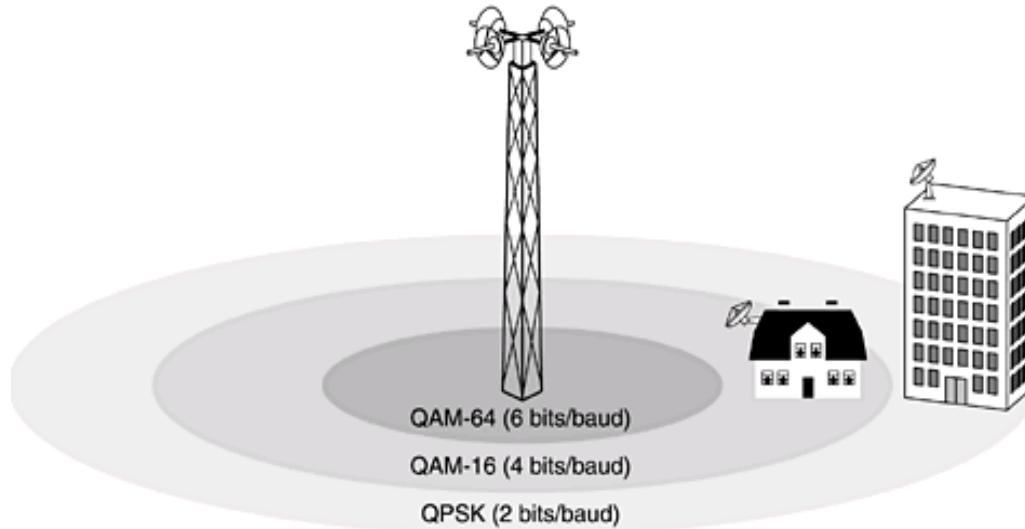


QAM-64

# Πολλαπλές Διαμορφώσεις



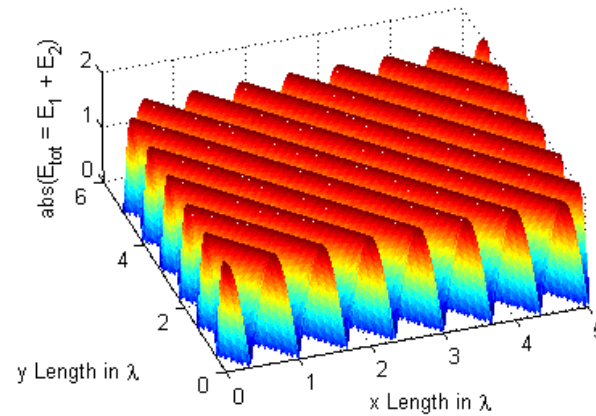
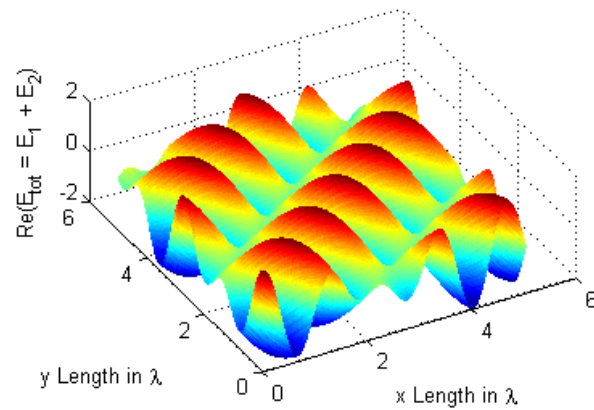
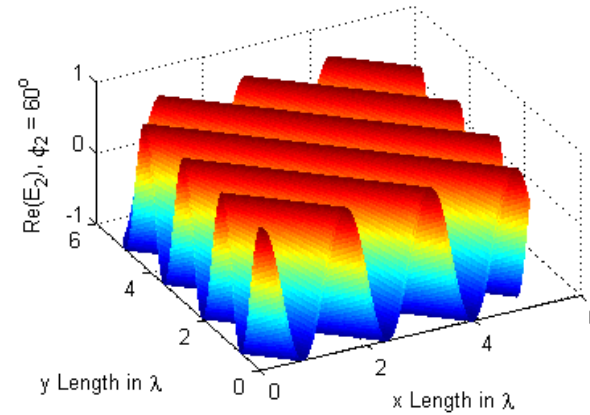
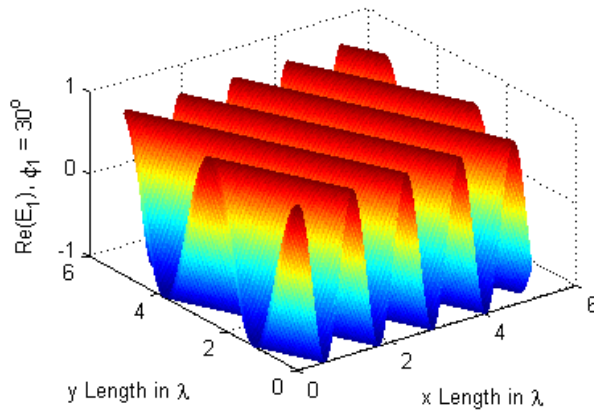
# Adaptive modulation



# Διαλείψεις μικρής κλίμακας

- Έστω δυο διαφορετικά επίπεδα κύματα με διαφορετική φάση αλλά ίδιο πλάτος
- Απουσία κίνησης των σκεδαστών διαμορφώνεται στάσιμο κύμα σε συνάρτηση με την απόσταση
- Η λαμβανόμενη ισχύς θα κυμαίνεται από 0 έως 2 ανάλογα με τη θέση του δέκτη
- Η κίνηση του δέκτη προκαλεί διαλείψεις στο δέκτη ακόμα και σε αυτό το σενάριο
- Υπολογισμοί και εκφράσεις σελ. 145 στο βιβλίο

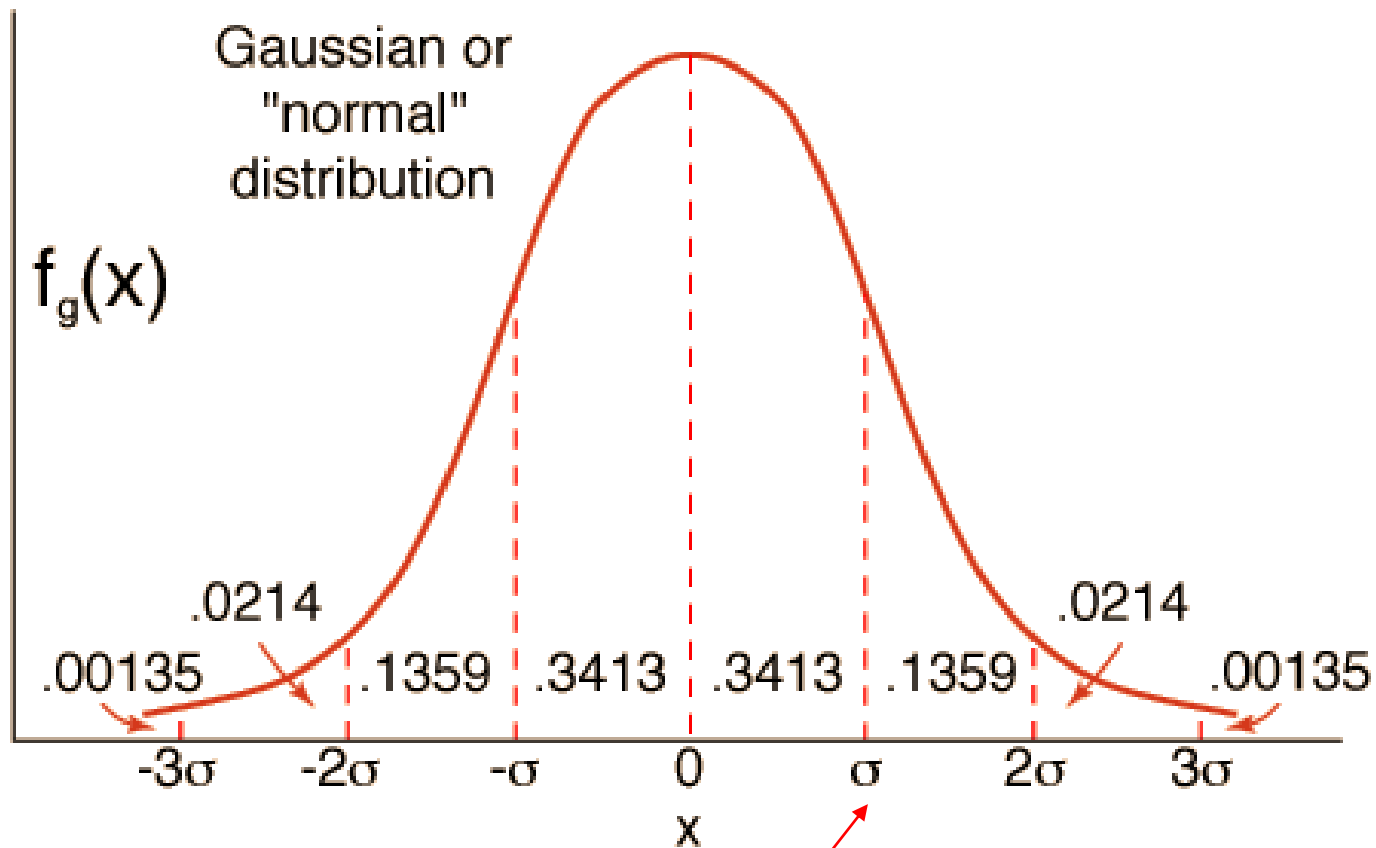
# Διαλείψεις μικρής κλίμακας



# Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας

- Τα μοντέλα απωλειών διάδοσης αναφέρονται σε μέσες τιμές χωρίς να λαμβάνουν υπόψη διαφορετικές περιπτώσεις για την ίδια απόσταση
- Σκίαση
  - Δεν είναι συνήθως απότομη ή απόλυτη
  - Τυχαία μεταβλητή που εξαρτάται από το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των σκεδαστών
  - Μεταβάλλει την μέση τιμή απωλειών στα μοντέλα απωλειών
- Μετρήσεις δείχνουν ότι η λαμβανόμενη ισχύς σε dB ακολουθεί κανονική κατανομή
  - Λογαριθμοκανονική κατανομή
  - Μέση τιμή εξαρτάται από το συντελεστή απωλειών
  - Τυπική απόκλιση από το περιβάλλον

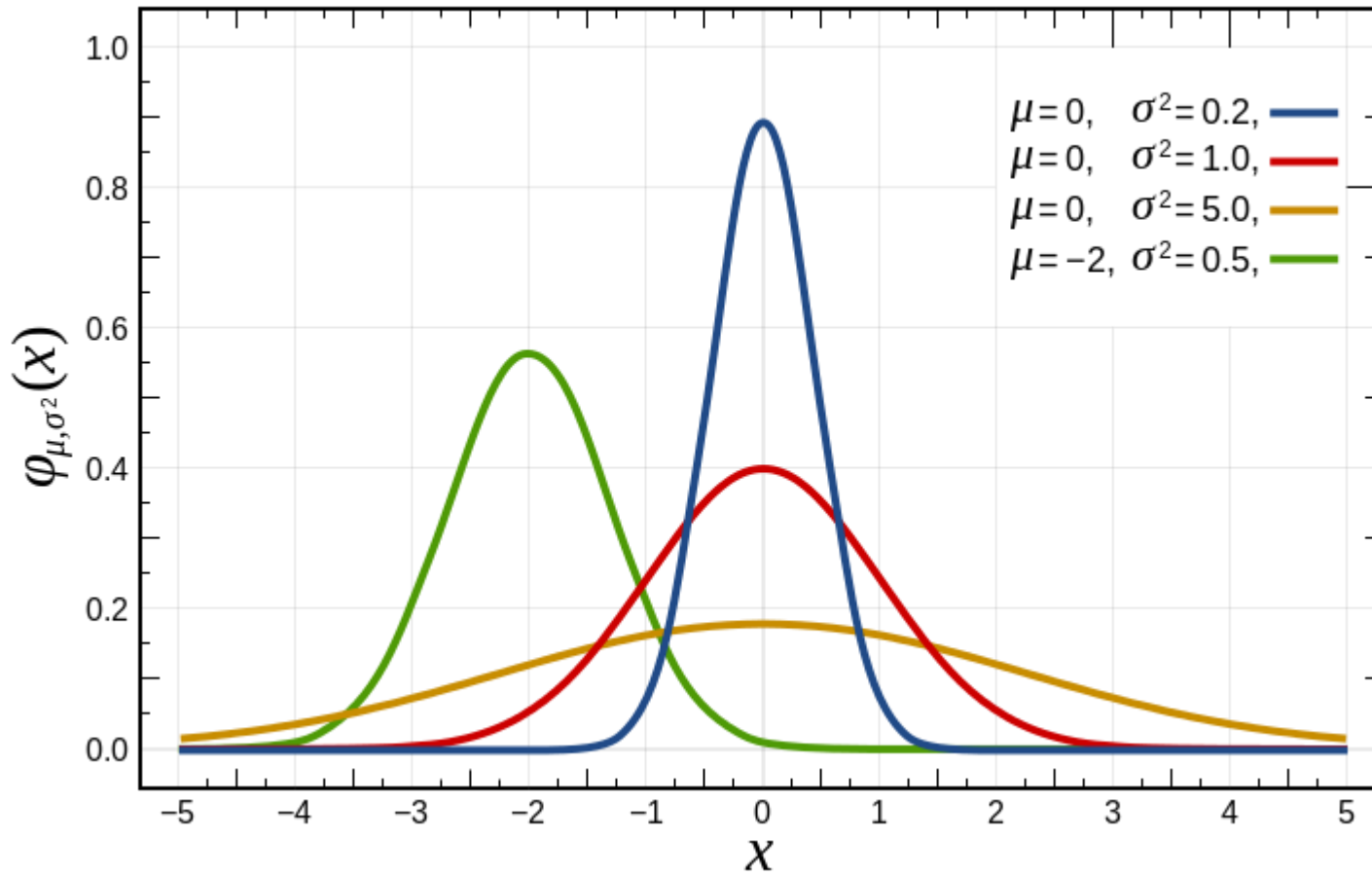
# Κανονική κατανομή (Normal or Gaussian distribution)



τυπική απόκλιση



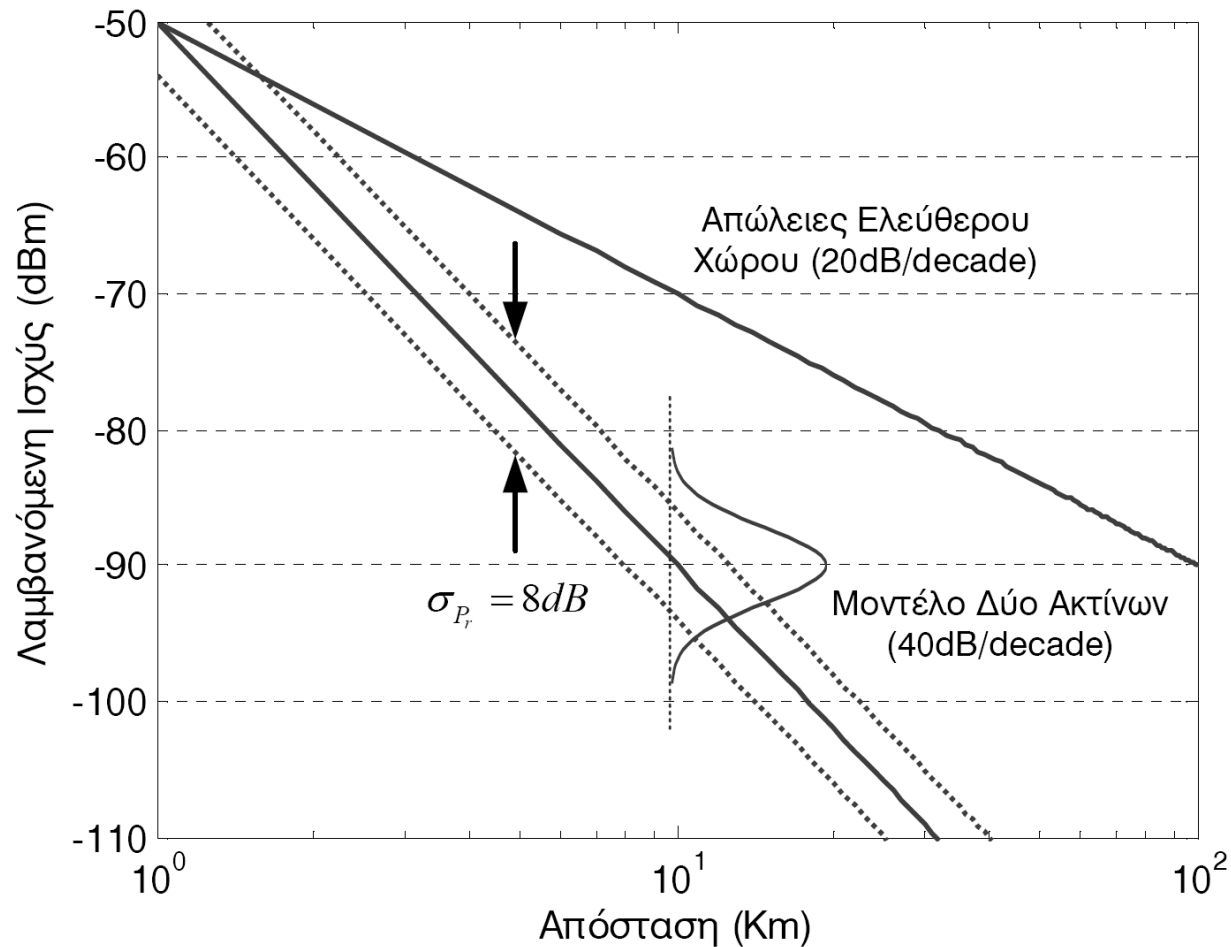
# Κανονική κατανομή



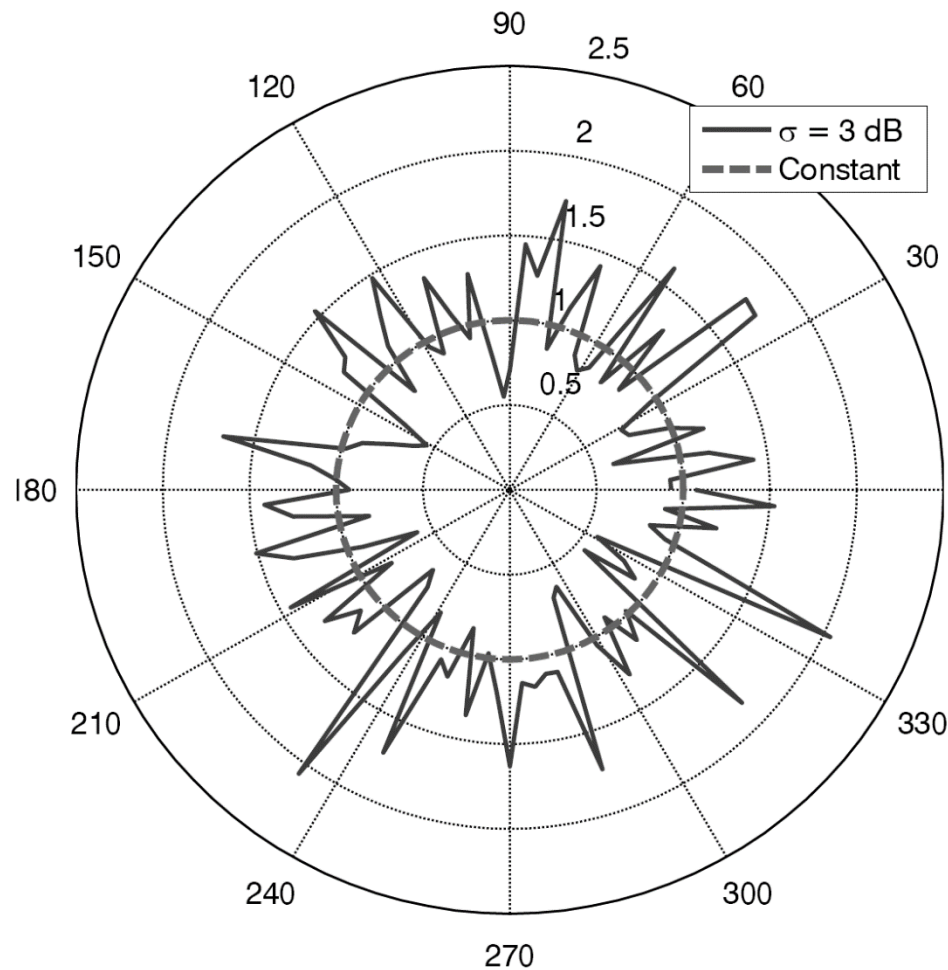
# Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας

- $P_r(d) = \overline{\text{Pr}(d)} + \varepsilon_0$  (dB)
  - $\overline{\text{Pr}(d)}$  μέση λαμβανόμενη ισχύς σε απόσταση  $d$ 
    - Υπολογισμός βάση μοντέλων απωλειών διάδοσης
  - $\varepsilon_0$  τυχαία μεταβλητή με κανονική κατανομή, μηδενική μέση τιμή και απόκλιση  $\sigma_{P_r}$  όλα σε dB
- Μοντέλο απλής κλίσης
  - $P_r(d) = \overline{\text{Pr}(d_0)} - 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + \varepsilon_0$  (dB)
- Όμοιοι υπολογισμοί για PL(d)
- Η μεταβλητή  $\varepsilon_0$  αναπαριστά πόσο απέχει η πραγματική ισχύς λήψης από την αναμενόμενη μέση
  - Όσο πιο ακριβές το μοντέλο απωλειών τόσο μικρότερη η τυπική απόκλιση. Τυπική τιμή  $8 \pm 4$  dB, δεν εξαρτάται από την απόσταση  $d$  (ομοιογένεια στον χώρο)

# Λογαριθμοκανονική κατανομή (Log-Normal distribution)



# Παράδειγμα ακτίνας κάλυψης με Log-Normal large scale fading



# Φυσική εξήγηση λογαριθμοκανονικής κατανομής διαλείψεων μεγάλης κλίμακας

- Ας θεωρήσουμε ότι το μονοπάτι διάδοσης μπορεί να σπάσει σε  $W$  επιμέρους τμήματα, το καθένα με ξεχωριστό συντελεστή εξασθένισης  $A_i$ ,  $i=1, \dots, W$ 
  - Το πολλαπλασιαστικό φαινόμενο της εξασθένισης σε λογαριθμική κλίμακα μετατρέπεται σε αθροιστικό
  - Όσο το  $W$  μεγαλώνει και τείνει στο άπειρο λόγω Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος (CLT) το λαμβανόμενο σήμα ακολουθεί κανονική κατανομή
  - Η λαμβανόμενη ισχύς ακολουθεί κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Rayleigh
- **CLT:** when independent random variables are added, their sum tends toward a normal distribution even if the original variables themselves are not normally distributed

# Φυσική εξήγηση λογαριθμοκανονικής κατανομής διαλείψεων μεγάλης κλίμακας

