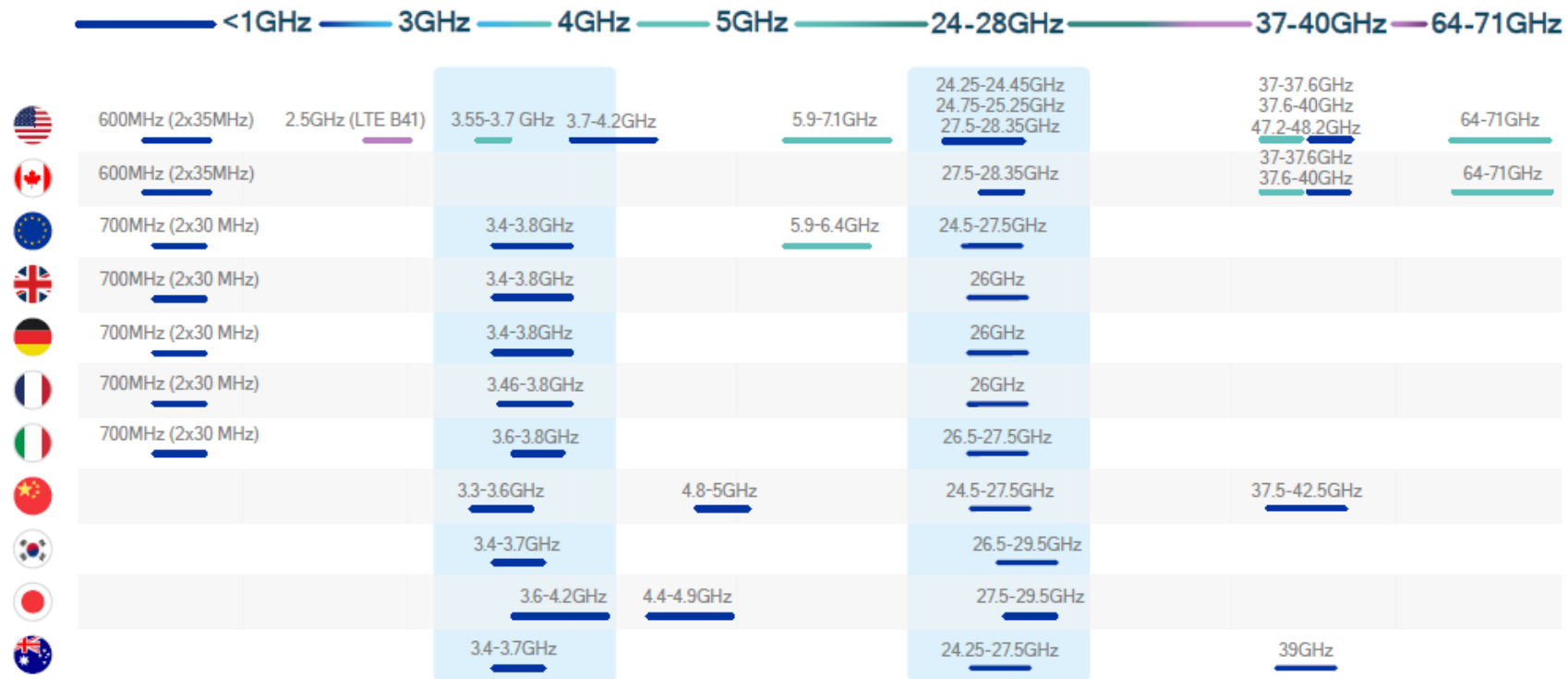


Ψηφιακές Επικοινωνίες

**Κεφ 5: Ανάλυση Ζεύξης
(Συνέχεια)**

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



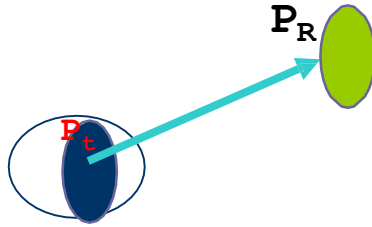
Global snapshot of 5G spectrum

Around the world, these bands have been allocated or targeted

New 5G band

- ▬ Licensed
- ▬ Unlicensed/shared
- ▬ Existing band

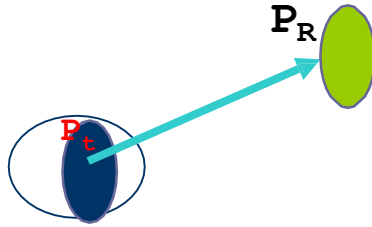
Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



Οι κεραιές είναι ιστροπικές. Ποια είναι η λαμβανομένη ισχύς P_R (σε dBm) σε απόσταση **100m** από την κεραιά εκπομπής? Ποια είναι η P_R στα **10Km**?

$P_t=50 \text{ W} = 47 \text{ dBm}$ $f=900\text{MHz}$ (Αν έχουμε $f=1000\text{MHz}$?)

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



Οι κεραίες είναι ιστροπικές. Ποια είναι η λαμβανομένη ισχύς P_R (σε dBm) σε απόσταση **100m** από την κεραία εκπομπής? Ποια είναι η P_R στα **10Km**?

$P_T = 50 \text{ W} = 47 \text{ dBm}$ $f = 900 \text{ MHz}$ (Αν έχουμε $f = 1000 \text{ MHz}$?)

$$(P_R)_{dB} - (P_T)_{dB} = (G_T)_{dB} + (G_R)_{dB} - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f)$$

$$= 0 + 0 - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} 900) \quad \rightarrow 59$$

$$\leftarrow -20 \text{ (για } d = 0.1 \text{ Km)}$$

$$\rightarrow 20 \text{ (για } d = 10 \text{ Km)}$$

$$(P_R)_{dB} - (P_T)_{dB} = -71.5 \text{ dB}$$

$$(P_R)_{dB} - (P_T)_{dB} = -111.5 \text{ dB}$$

$$(P_R)_{dBm} = 47 \text{ dBm} - 71.5 \text{ dB} = -24.5 \text{ dBm}$$

$$(P_R)_{dBm} = 47 \text{ dBm} - 111.5 \text{ dB} = -64.5 \text{ dBm}$$

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

Προσοχή
σε dBm

Εμβέλεια συστήματος

Σταθμός Βάσης (ΣΒ) κινητής τηλεφωνίας εκπέμπει ραδιοκύματα συχνότητας 1800 MHz με ισχύ $P_{BS} = 1 \text{ W}$ και λαμβάνει με δέκτη που έχει ευαισθησία $P_{thBS} = -110 \text{ dBm}$. Οι κεραιές του έχουν απολαβή ισχύος $G_{BS} = 10 \text{ dBi}$. Οι κινητοί σταθμοί (ΚΣ) έχουν ισχύ εκπομπής $P_{MS} = 0,2 \text{ W}$, ευαισθησία $P_{thMS} = -104 \text{ dBm}$ και απολαβή ισχύος $G_{MS} = 0 \text{ dBi}$. Αν υποθεθεί ότι οι συνθήκες μετάδοσης προσομοιάζουν σε αυτές του ελευθέρου διαστήματος, να εκτιμηθούν α) οι μέγιστες αποδεκτές απώλειες και η εμβέλεια του συστήματος σε κάθε κατεύθυνση.

$$L_{down} = P_{1dB} + G_{1dB} + G_{2dB} - P_{2dB}$$

$$L_{up} = P_{1dB} + G_{1dB} + G_{2dB} - P_{2thdB}$$

$$L_{down} = 10 \log 10^3 + 10 + 0 - (-104) = 144 \text{ dB} \quad \text{ΣΒ προς ΚΣ (κατερχόμενη ζεύξη)}$$

Εμβέλεια μέσω του τύπου:

$$L = 22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

λύνοντας ως προς d

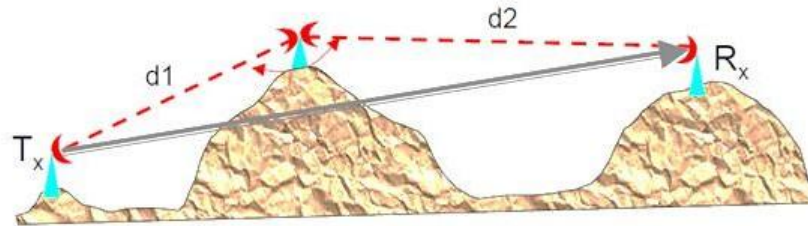
ανά κατεύθυνση

$$\text{Εμβέλεια } D = \min\{d_{down}, d_{up}\}$$

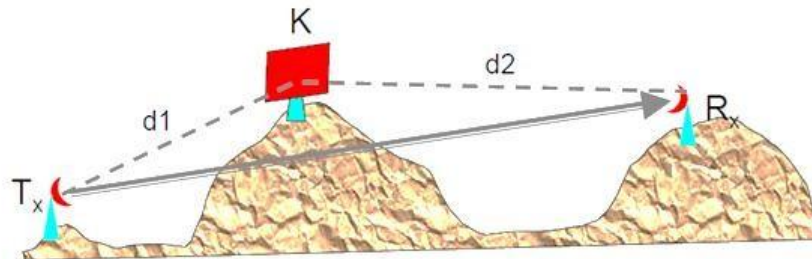
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες

Παραβολικές κεραιές Back2Back



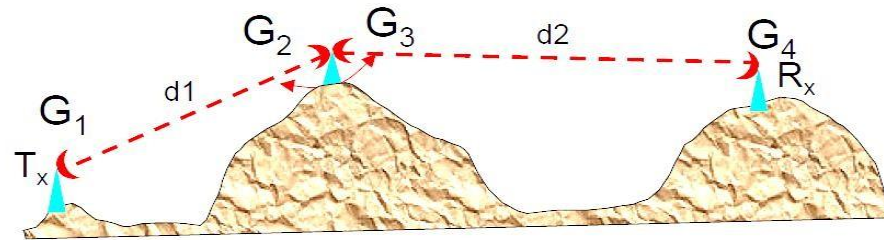
Παθητικά κάτοπτρα



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες (B2B)



$$P_{rx2} = P_{tx1} - (32.4 + 20 \log d_1 + 20 \log f) + G_1 + G_2$$

Στην έξοδο της κεραίας 2

Στην είσοδο της κεραίας 3

$$P_{rx4} = P_{rx2} - L_w - (32.4 + 20 \log d_2 + 20 \log f) + G_3 + G_4$$

Απώλειες καλωδίων



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

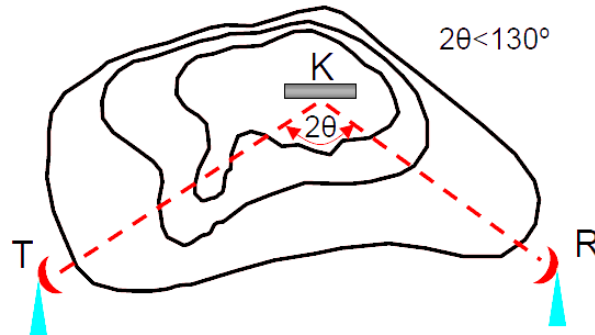
Απώλειες Ελευθέρου Χώρου – Αναμεταδότες

Παθητικοί αναμεταδότες (Κάτοπτρα)

$$\frac{1}{K} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot d}{4 \cdot A \cos \theta}$$

d: απόσταση κάτοπτρου-κεραίας
 A: επιφάνεια κατόπτρου σε m²
 A cos(θ): ενεργός επιφάνεια

Μακρινό πεδίο (Far field 1/K > 2.5)



$$G_{PR} = 10 \cdot \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \cos \theta \right)$$

ανά κατεύθυνση

$$G_{PR} = 20 \cdot \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \cos \theta \right)$$

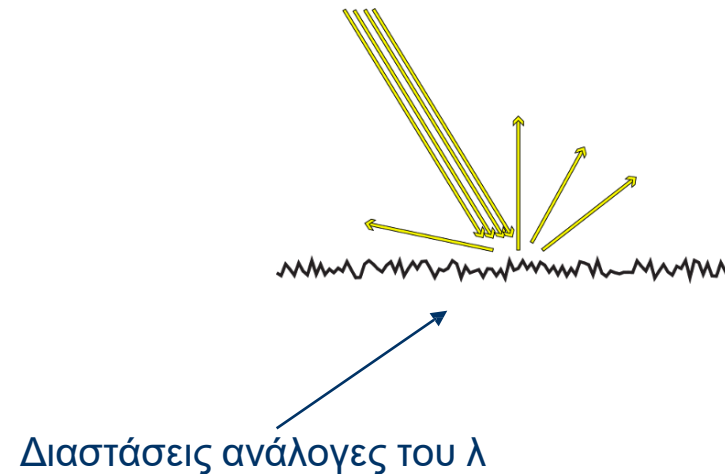
Για εκπομπή και λήψη μαζί

$$L = L_{TK} + L_{KR} - G_T - G_R - G_{PR}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

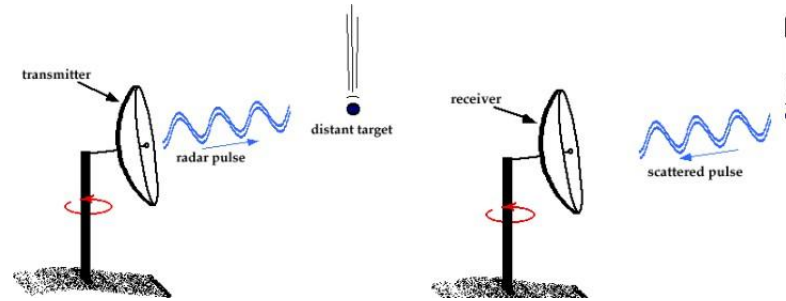
Απώλειες από σκέδαση

- Είναι το φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε αντικείμενα με ανώμαλες επιφάνειες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να διασκορπίζεται προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις, άσχετες μεταξύ τους.



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση



- Υπολογισμός λαμβανόμενης ισχύος από σκέδαση σε αντικείμενο

Η εξίσωση του Radar

$$P_{\Lambda} = P_E \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{64 \pi^3 R^4}$$

P_{Λ} είναι η λαμβανόμενη ισχύς

P_E είναι η εκπεμπόμενη ισχύς

G η απολαβή της κεραίας

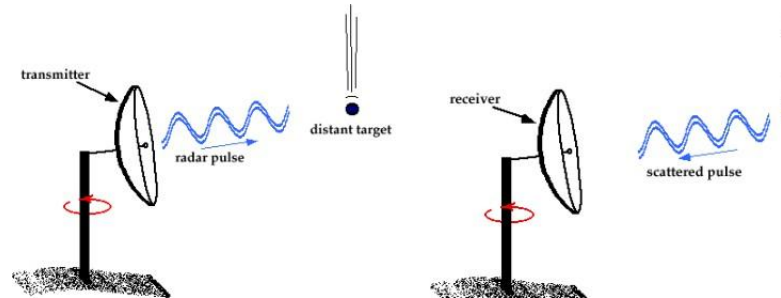
σ διατομή οπισθοσκέδασης

λ μήκος κύματος

R απόσταση

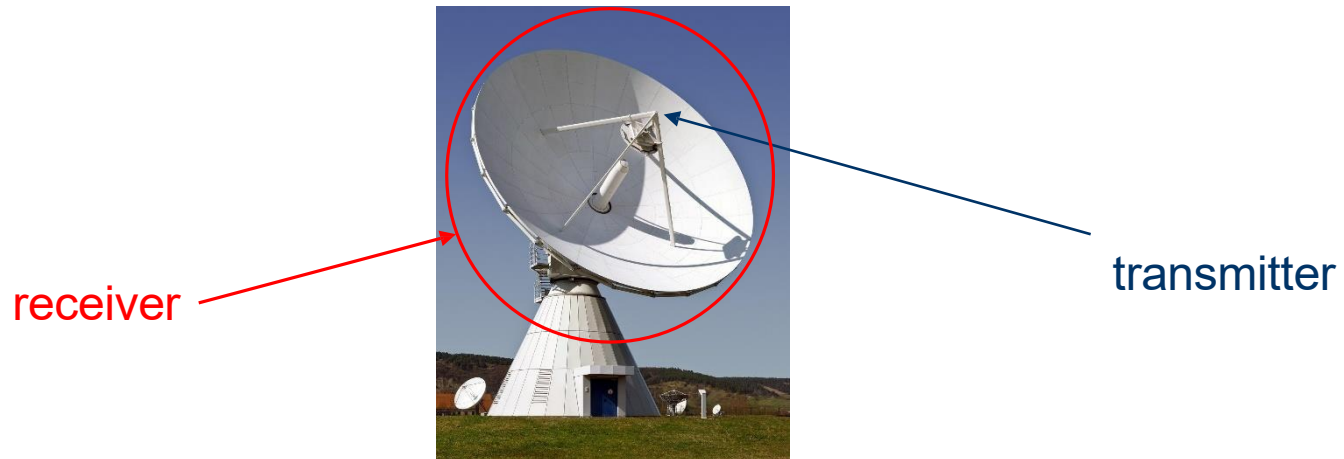
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση



► Διατομή οπισθοσκέδασης (backscattering cross section)

Ισοδύναμη επιφάνεια που θα χρειαζόταν από ένα ισότροπο σκεδαστή για να επιστρέψει στον δέκτη την ισχύ που πράγματι λαμβάνεται.

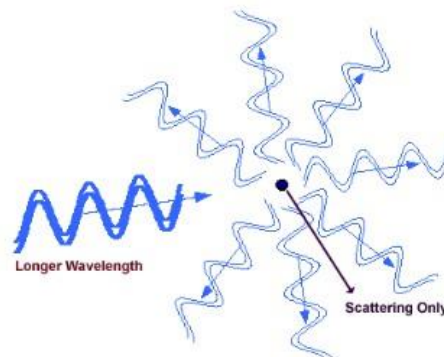
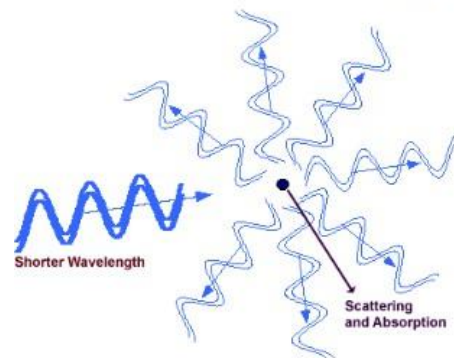


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση

Εξασθένηση λόγω βροχής

πιο έντονη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος



ατμοσφαιρικά αέρια
οι μικρές σταγόνες βροχής
τα σταγονίδια νεφών

→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης

μεγάλες σταγόνες βροχής
το χιόνι
το χαλάζι

→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης
και σκέδασης

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες από σκέδαση

Εξασθένηση λόγω βροχής

Για $\lambda < 10$ cm εξασθένηση από την βροχή και τα νέφη λαμβάνεται υπόψη, σημαντικότερη για $\lambda = 3-1$ cm.

Εξασθένηση ($\lambda = 3$ cm) = 6 x εξασθένηση ($\lambda = 5$ cm)
= 40 x εξασθένηση ($\lambda = 10$ cm)

Ρυθμός Εξασθένησης Kr (dB/km)	Μήκος κύματος λ (cm)
$0.000343 R^{0.97}$	10
$0.0018R^{1.05}$	5
$0.01R^{1.21}$	3.2

R ρυθμός
βροχόπτωσης

Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

- **Θόρυβος:** οποιοδήποτε σήμα που δεν ανήκει στο σήμα που μεταφέρει την πληροφορία
- Ο θόρυβος είναι συνήθως:
 - Στοχαστικός (Gaussian)
 - λευκός: έχει την ίδια ισχύ σε όλες τις συχνότητες
 - προσθετικός: δρα προσθετικά στο μεταδιδόμενο σήμα
- Το επίπεδο θορύβου (ισχύς) εκφράζεται σε σχέση με το μεταδιδόμενο σήμα από το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο (S/N ή SNR) ή σηματοθορυβική σχέση



Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

- Υπάρχουν πολλά είδη θορύβου ανάλογα με τα αίτια δημιουργίας του
 - θόρυβος από παρεμβολές
 - θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης
 - θόρυβος από εξωτερικές πηγές
 - **θερμικός θόρυβος (Noise floor)**
- **Θόρυβος από παρεμβολές**
 - δημιουργείται από την επίδραση του σήματος ενός χρήστη στο σήμα κάποιου άλλου
 - εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται από κοινού το κανάλι (μηχανισμός πρόσβασης)
- **Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης**
 - δημιουργείται λόγω ατέλειας των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων
- **Θόρυβος από εξωτερικές πηγές**
 - πολλές συσκευές λόγω κατασκευαστικών ατελειών παράγουν εκπομπές σε διάφορες συχνότητες
 - συχνή είναι η δημιουργία παλμών θορύβου (κρουστικός θόρυβος)
 - μεγάλη ισχύς σε μικρή διάρκεια

Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

- **Θερμικός θόρυβος: $N_o = k \cdot T$**

- k – σταθερά του Boltzmann,
- T – θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin
- **Εύρος φάσματος - Bandwidth**

- προκαλείται στον πομπό και στο δέκτη
- αιτία: θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων
- εξαρτάται από τη θερμοκρασία
- δεν μπορεί να εξαλειφθεί

- **Noise Figure (NF σε dB)** αποτελεί τον θόρυβο που δημιουργεί ηλεκτρονική διάταξη του δέκτη, και προστίθεται στο Noise Floor

Σε θερμοκρασία δωματίου, 100kHz

$$N_o = -174 \text{ dBm} / \text{Hz}$$

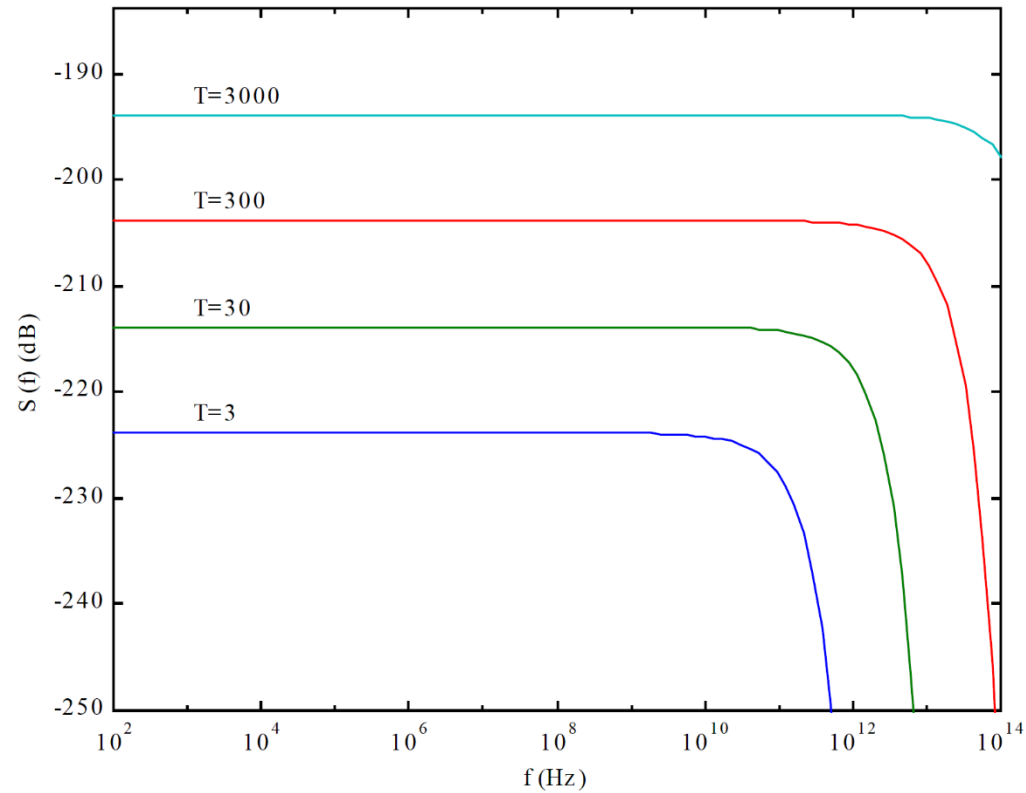


$$N = -174 + 10 \log(B_{\text{Hz}})$$



Noise Floor (dBm)

Ισοζύγιο Ζεύξης – Θερμικός θόρυβος



Power Spectral Density of Thermal Noise

$$S(f) = \frac{hf}{\exp\left\{\frac{hf}{kT}\right\} - 1}$$

$$h = 6.6254 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

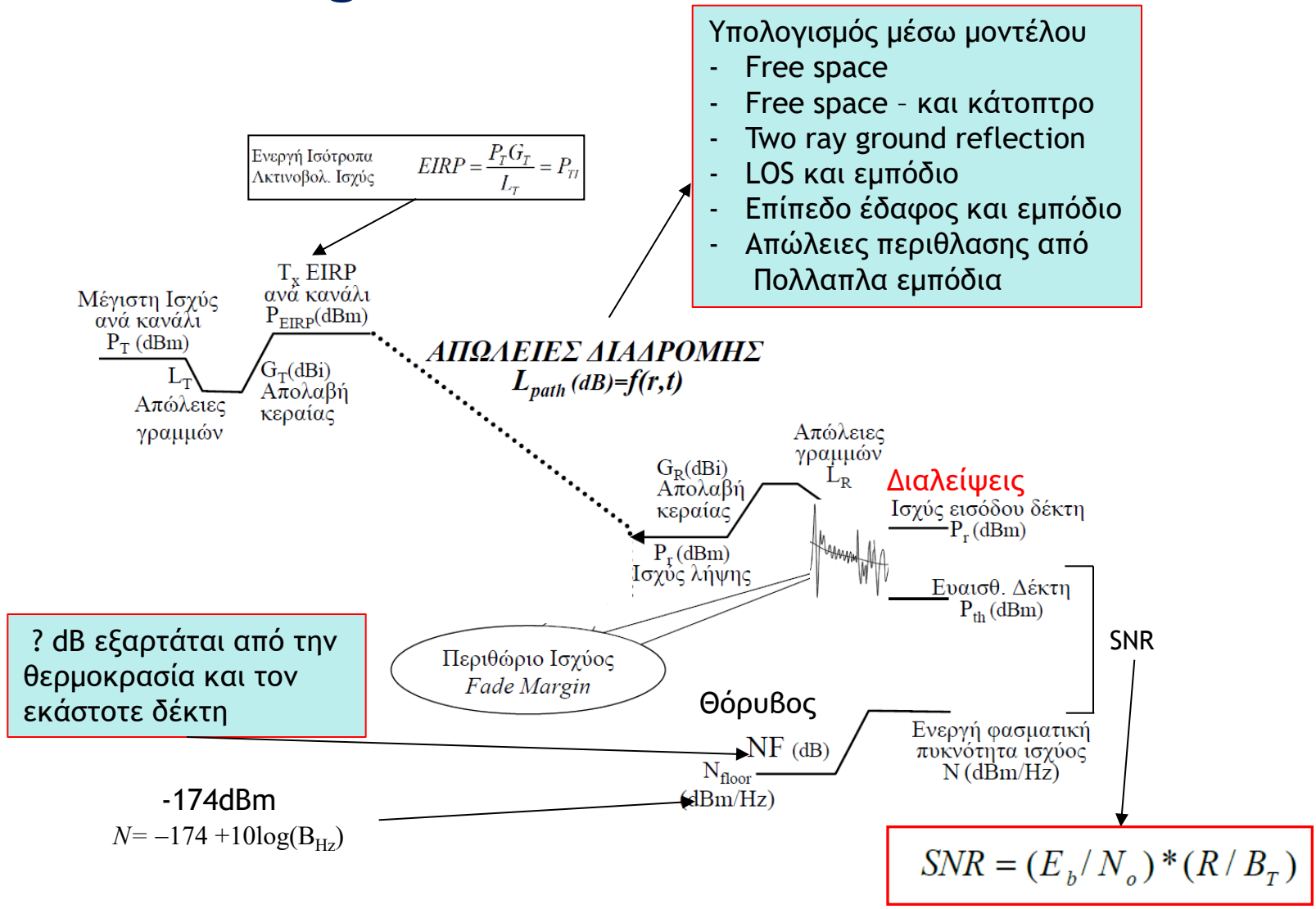
$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} / \text{K}$$

for $hf \ll kT$

$$S(f) \approx kT$$

$$N_0 = kT_{eq}$$

Link budget



Παράδειγμα

- Σε ζεύξη με πανκατευθυντικές κεραίες, σε απόσταση $d=1\text{km}$ και $f=1\text{GHz}$
- Δέκτης σε θερμοκρασία δωματίου ($N_0=-174\text{dBm/Hz}$), Noise Figure=15dB,
- Απώλειες Path loss ελευθέρου χώρου, $32.4+20\log(d)+20\log(f)$ ($d(\text{km}) f(\text{MHz})$)
- Επιθυμούμε $E_b/N_0=13\text{ dB}$, $R=40\text{kbps}$, $B=80\text{kHz}$
- Ποια η ελάχιστη ισχύ εκπομπής?

➤ Λύση

- $L = 32.4 + 20\log 1 + 20\log 10^3 = 92.4\text{dB}$
- $E_b/N_0 = 13\text{ dB} \rightarrow E_b/N_0 = 20$
- $E_b/N_0 * (R/B) = 20 * (40/80) = 10 \rightarrow \text{SNR} = 10\text{ dB}$
- NoiseFloor = $-174 + 10\log(B_{\text{Hz}}) = -174 + 10\log(80 * 10^3)$
 $= -174 + 10\log(2^3) + 10\log(10^3) = -174 + 3 * 3 + 3 * 10 = -174 + 9 + 30 = -135$
- NoiseFloor + NF + SNR + FM = $P_{\text{tr}} + G_{\text{tr}} + G_r - L \dots$ (λύνω ως προς P_{tr})
- $P_{\text{tr}} = \text{NoiseFloor} + \text{NF} + \text{SNR} + \text{FM} - G_{\text{tr}} - G_r + L$
- $P_{\text{tr}} = -135 + 15 + 10 + 0 + 0 + 0 + 92.4 = -17.6\text{dBm}$