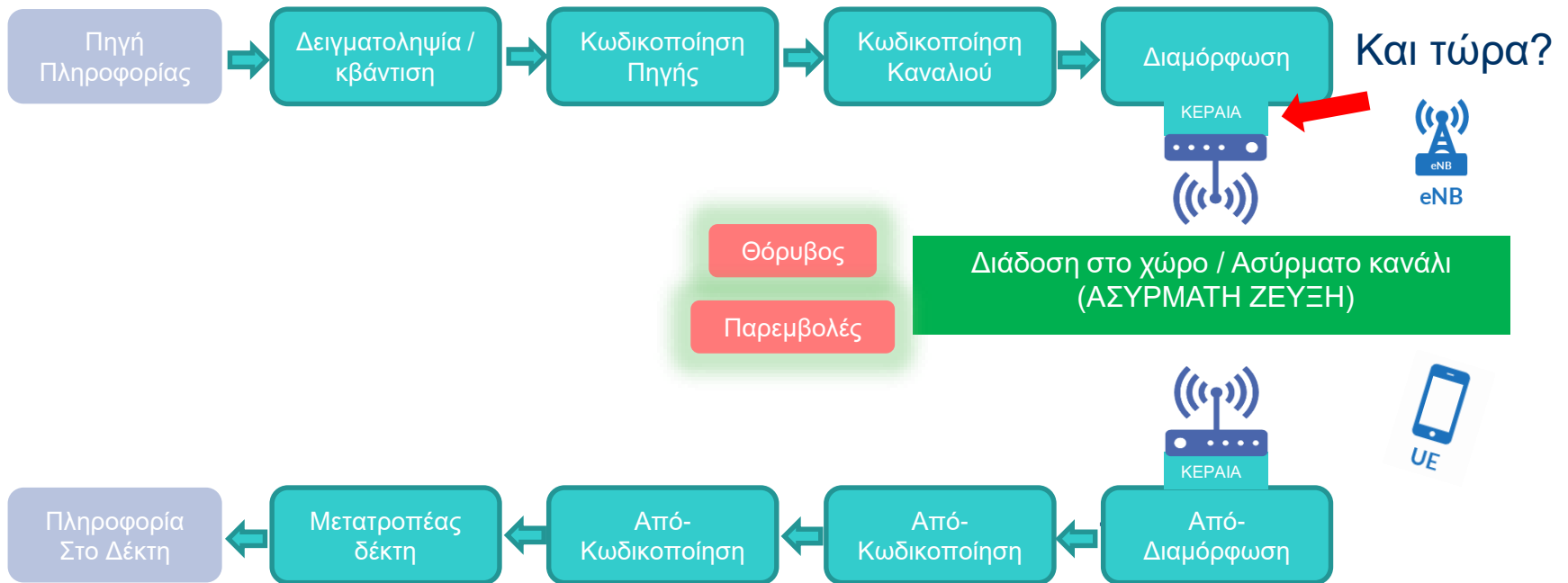


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού



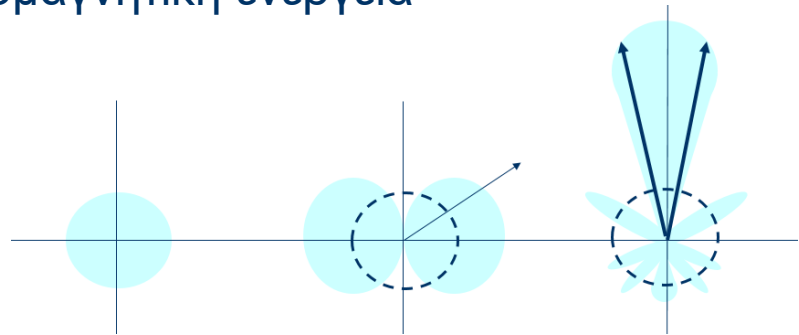
Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

- Κεραίες
 - Η κεραία είναι ένας ηλεκτρικός αγωγός (ή σύστημα αγωγών) που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα και αντίστροφα
- Μια κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπομπή και λήψη
 - εκπέμπει ή/και συλλέγει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια

➤ Κάθε κεραία χαρακτηρίζεται από:

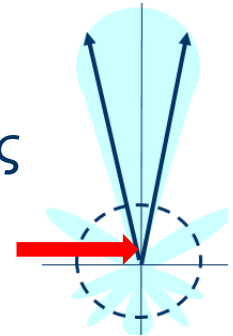
- το διάγραμμα ακτινοβολίας
- την κατευθυντικότητα της
- το κέρδος της (απολαβή με βάση της ενεργό περιοχής της)



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

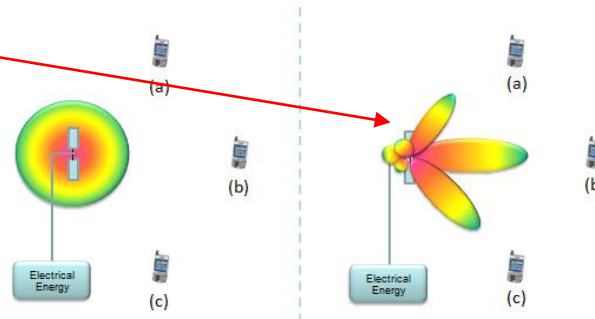
- Ισοτροπική κεραία: εκπέμπει την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις
 - διάγραμμα ακτινοβολίας: μοναδιαίος κύκλος
- Το συνηθέστερο μέτρο της κατευθυντικότητας μιας κεραίας είναι το εύρος δέσμης ημίσειας ισχύος
- Εύρος Δέσμης Ημίσειας ισχύος:
 - η γωνία μεταξύ δύο κατευθύνσεων στις οποίες η εκπεμπόμενη ισχύς είναι η μισή της μέγιστης ισχύος



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

- Κάθε τύπος κεραιάς έχει εφαρμογές σε διαφορετικούς τύπους δικτύων (?)
 - Κεραία κινητού τηλεφώνου, σταθμού βάσης?
 - Κεραία για point to point ζεύξη?
- Sectorization
- MIMO
- Beamforming(!)



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

- **Κέρδος (ή απολαβή) κεραίας G :** Ο λόγος της ισχύος που μια κεραία παράγει/λαμβάνει ως προς την ισχύ που παράγει/λαμβάνει μια ισοτροπική κεραία αν η εισερχόμενη ισχύς είναι ίδια

$$G = \frac{P^{ant}}{P_{iso}^{ant}}$$

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{\text{ένταση ακτινοβολίας}}{\text{ισχύς εισόδου}} = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

- **Ένταση ακτινοβολίας:** σε συγκεκριμένη κατεύθυνση ορίζεται ως «η ισχύς που ακτινοβολείται από μια κεραία ανά μονάδα στερεάς γωνίας» προς την κατεύθυνση αυτή.

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

- **Κέρδος (ή απολαβή) κεραίας G :** Ο λόγος της ισχύος που μια κεραία παράγει/λαμβάνει ως προς την ισχύ που παράγει/λαμβάνει μια ισοτροπική κεραία αν η εισερχόμενη ισχύς είναι ίδια

$$G = \frac{P^{ant}}{P_{iso}^{ant}} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

Ενεργός περιοχή ισότροπης $\lambda^2/4\pi$

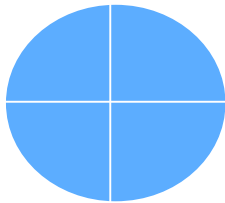
$c = \lambda * f$ Εξίσωση κυματικής

- f : συχνότητα εκπεμπόμενου η/μ κύματος
- λ : μήκος εκπεμπόμενου η/μ κύματος
- c : ταχύτητα φωτός (3×10^8 m/s)
- A_e : ενεργός περιοχή κεραίας λήψης - ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που λαμβάνει μια κεραία προς την πυκνότητα ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που προσπίπτει σε αυτή.

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

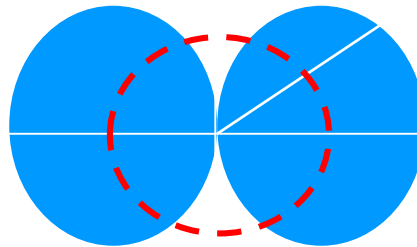
Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

Κέρδος κεραίας $G = \frac{P_{directional}}{P_{isotropic}}$



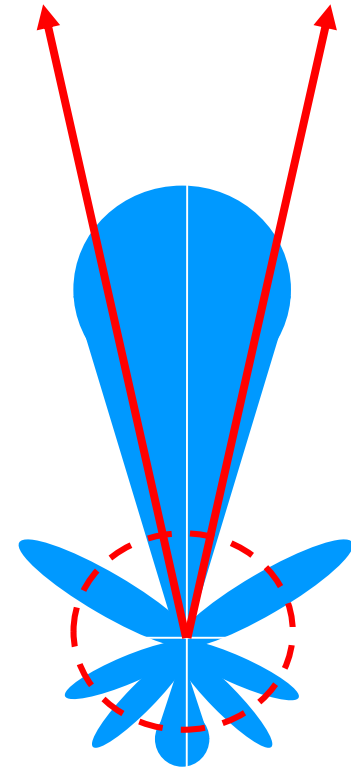
Isotropic
Ισοτροπική

0 dB_i



Dipole
Διπολική

2.2 dB_i



High gain Directional
Κατευθυντική υψηλου
κερδους

14 dB_i

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

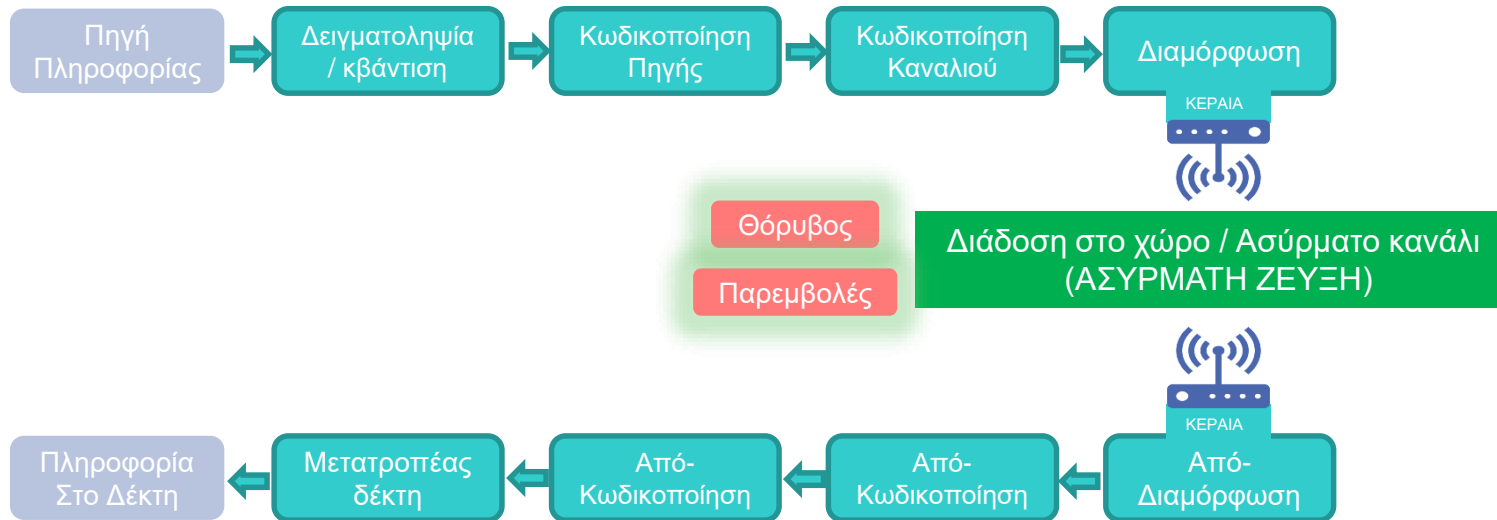
Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού

- Η ενεργός περιοχή (A_e) εξαρτάται από το είδος της κεραίας

Type of Antenna	Effective Area A_e (m ²)	Power Gain (relative to isotropic)
Isotropic	$\lambda^2/4\pi$	1
Infinitesimal dipole or loop	$1.5 \lambda^2/4\pi$	1.5
Half-wave dipole	$1.64 \lambda^2/4\pi$	1.64
Horn, mouth area A	$0.81 A$	$10 A/\lambda^2$
Parabolic, face area A	$0.56 A$	$7 A/\lambda^2$
Turnstile (two crossed, perpendicular dipoles)	$1.15 \lambda^2/4\pi$	1.15

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

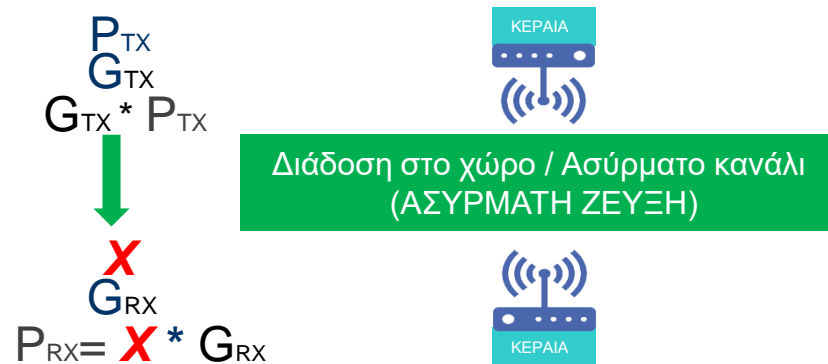
Μοντέλο συστήματος ραδιοπομπού



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

- Ο πομπός έχει σήμα ισχύος P_{TX}
- Η κεραία εκπομπής ενισχύει το σήμα με G_{TX} και εκπέμπει με $G_{TX} * P_{TX}$
- Η κεραία λήψης ενισχύει το λαμβανόμενο σήμα X κατά G_{RX}

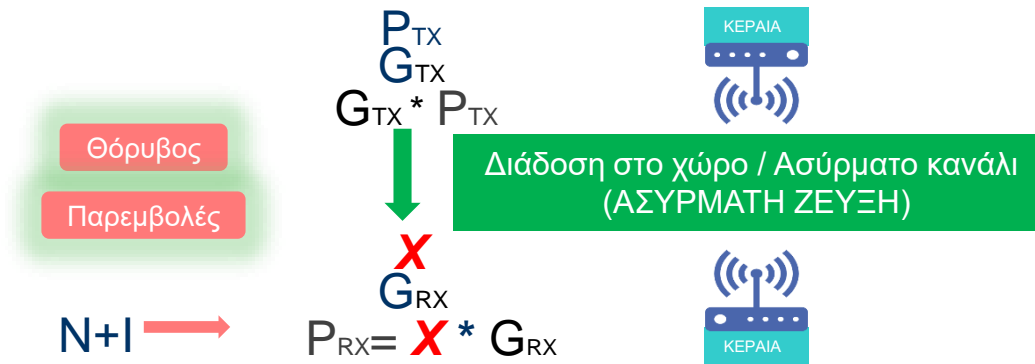


- Ο Δέκτης λαμβάνει $P_{RX} = X * G_{RX}$
- Κάθε Δέκτης έχει κατώφλι ισχύος P_{Th}
- **Εφικτή Ζεύξη:** $P_{RX} \geq P_{Th}$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

- Θόρυβος N και παρεμβολές I , φτάνουν επίσης στον δέκτη



Ποιότητα Ζεύξης: $SINR = P_{RX} / (N+I)$

Αν δεν έχουμε παρεμβολές $SNR = P_{RX} / N$

Εφικτή επικοινωνία: $SINR \geq SINR_{Threshold}$ ← **Ανάλογο της υπηρεσίας που θέλουμε**

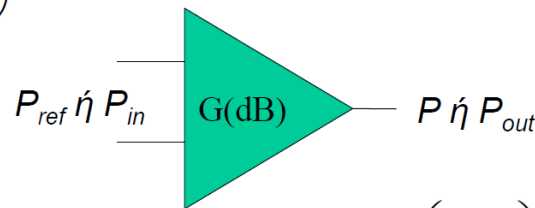
Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

- Decibel (Db) χρήση για αποφυγή πράξεων μεταξύ πολύ μεγάλων και πολύ μικρών αριθμών
- Τι σημαίνει ότι μία κεραία κάνει ενίσχυση $G=3$ dB, και τι το ότι έχει κέρδος 9 dBi
- Ευκολία κλίμακας - πράξεις

$$G(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{X}{X_{ref}}\right)$$

Π.χ. Ενισχυτής ή Φίλτρο
Κεραία ή Γραμμή κ.ά.



Απολαβή ή Ενίσχυση Ισχύος:

$$G(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

P/P_{ref}

1
* 2
/ 2
* 10
* 100
/ 10
/ 100

$G(dB)$

0 dB
+ 3 dB
- 3 dB
+ 10 dB
+ 20 dB
- 10 dB
- 20 dB

Παράδειγμα

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

→ Logarithm formulas

$$\log_a 1 = 0$$

$$\log_a a = 1$$

$$\log_a 0 = \begin{cases} -\infty & \text{if } a > 1 \\ +\infty & \text{if } a < 1 \end{cases}$$

$$\log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$$

$$\log_a (xy) = \log_a x + \log_a y$$

$$\log_a (x^n) = n \log_a x$$

$$\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log_a x$$

$$\log_a c = \frac{1}{\log_c a}$$

$$\log_a x = \frac{\log_c x}{\log_c a}$$

$$a^{\log_a x} = x$$

$$\log_e x = \ln x$$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

➤ Η μονάδα μέτρησης dB

Ισχύς (dB or dBW) = $10 * \log_{10}$ (Ισχύς σε Watts)

Ισχύς (dBm) = $10 * \log_{10}$ (Ισχύς σε milli (m)-Watts)

Ισχύς (dBμm) = $10 * \log_{10}$ (Ισχύς σε micro (μ)-Watts)

$P(\text{dBW}) = 10 \log(P_1/1 \text{ Watt})$

$P(\text{dBm}) = 10 \log(P_1/1 \text{ mWatt})$

0 dBW = 30 dBm = 1 Watt

Παράδειγμα:

1 Watt	⇒	0 dBW
2 Watt	⇒	0 + 3 dB = 3 dBW
20 Watt	⇒	10 + 3 dB = 13 dBW

dB Algebra

$$P_{\text{RX}} (\text{linear}) = P_{\text{TX}} (\text{linear}) * \text{Gain} (\text{linear}) / \text{Loss} (\text{linear})$$

$$P_{\text{RX}} (\text{dB}) = P_{\text{TX}} (\text{dB}) + \text{Gain} (\text{dB}) - \text{Loss} (\text{dB})$$

$$P_{\text{RX}} (\text{dBm}) = P_{\text{TX}} (\text{dBm}) + \text{Gain} (\text{dB}) - \text{Loss} (\text{dB})$$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Μετρικές και μονάδες μέτρησης

Η ισχύς ενός σήματος είναι 10 mW και η ισχύς του θορύβου 1 μ W;
Ποια είναι η τιμή του SNR and SNR_{dB} ?

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \text{SNR} = 10 \log_{10} 10000 = 40 \text{ dB}$$

- Συνήθεις τιμές του SNR :
 - Ήχος τηλεφωνικής ποιότητας: 26 dB (= 400 φορές)
 - Ήχος hi-fi: 60 dB (= 10⁶ φορές)
 - Τερματικό κινητής τηλεφωνίας: 14 - 18 dB (= 25 – 63 φορές)

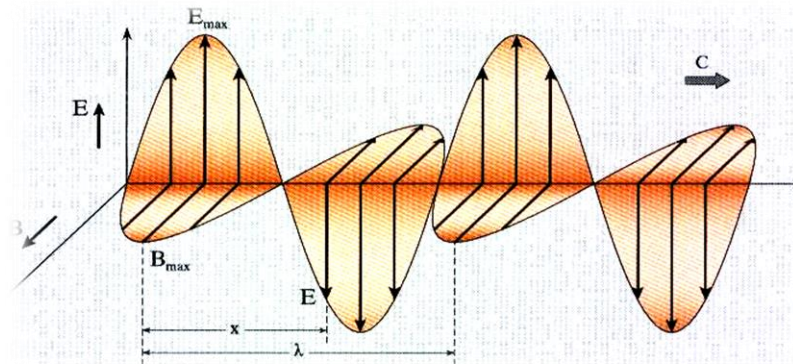
- Σταθμός Βάσης κινητής τηλεφωνίας
 - εκπέμπει ραδιοκύματα με ισχύ $P_{\text{BS}} = 1 \text{ W}$
 - λαμβάνει με δέκτη που έχει ευαισθησία $P_{\text{thBS}} = -110 \text{ dBm}$
 - Οι κεραιές του έχουν απολαβή ισχύος $G_{\text{BS}} = 10 \text{ dBi}$.

- Οι κινητοί σταθμοί έχουν
 - ισχύ εκπομπής $P_{\text{MS}} = 0,2 \text{ W}$,
 - ευαισθησία $P_{\text{thMS}} = -104 \text{ dBm}$
 - απολαβή ισχύος $G_{\text{MS}} = 0 \text{ dBi}$.

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

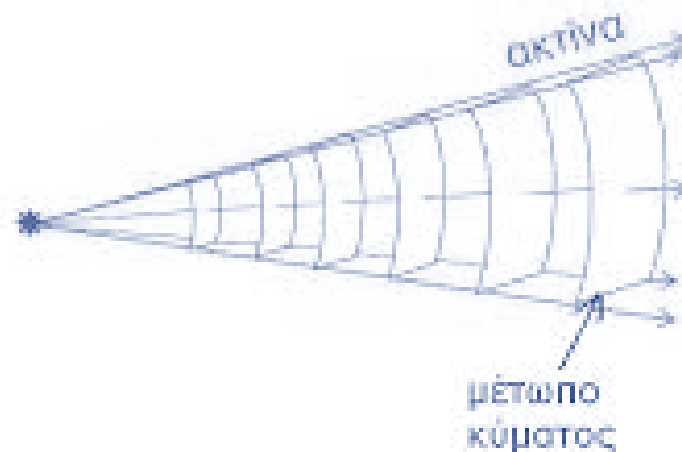
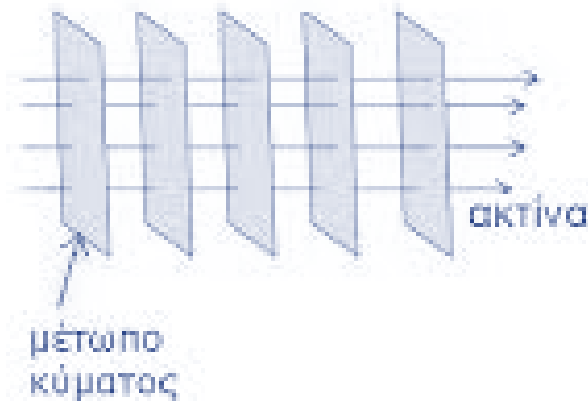
- Η/Μ κύμα: Είναι η ταυτόχρονη διάδοση στο χώρο ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου με την ταχύτητα του φωτός.
- Η αιτία δημιουργίας ενός Η/Μ κύματος είναι η μεταβαλλόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.
 - Γιατί μια κεραία εκπέμπει Η/Μ κύμα (?)
- Τα Η/Μ κύματα διαδίδονται στον **Ελεύθερο χώρο** (?) με ταχύτητα $c=3 \cdot 10^8$ m/s. Σε κάθε άλλο μέσο διαδίδονται με ταχύτητα μικρότερη αυτής.



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

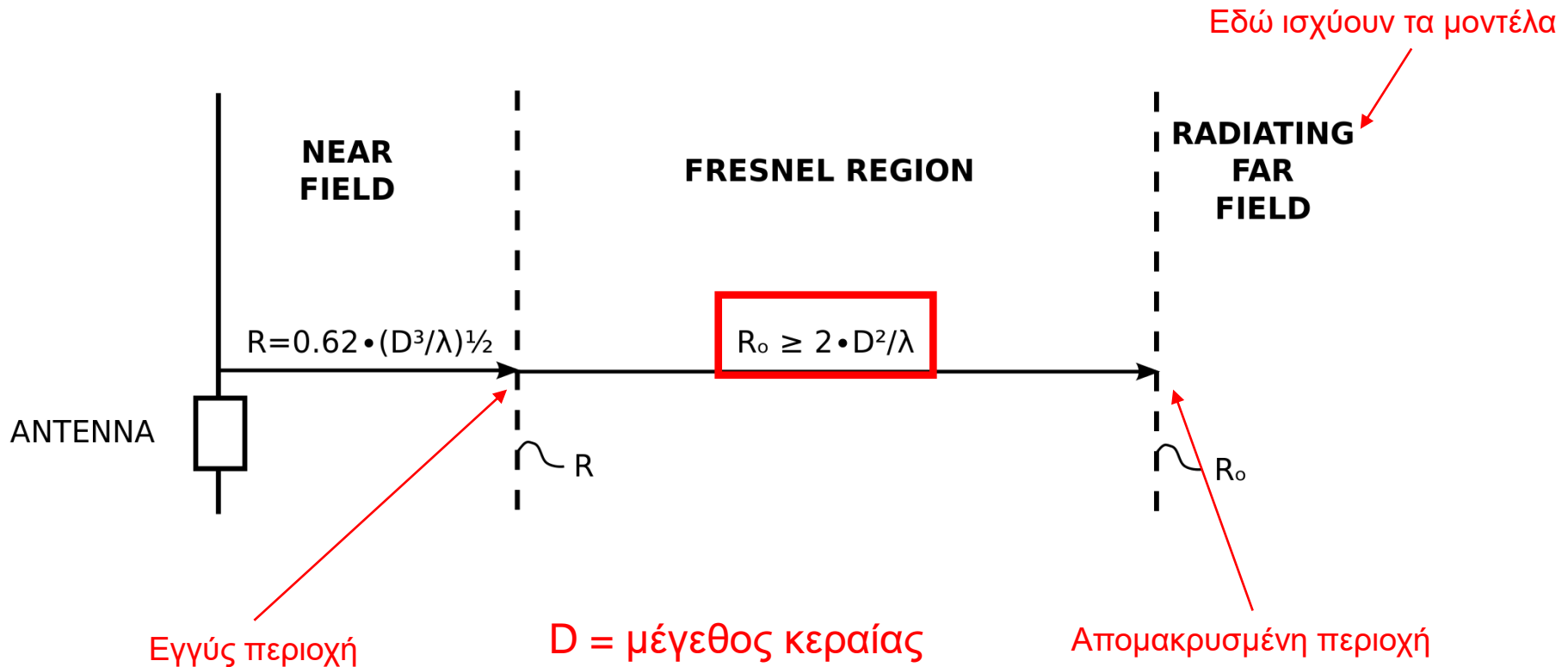
- Μέτωπο κύματος: ορίζεται από τα σημεία που έχουν την ίδια φάση



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

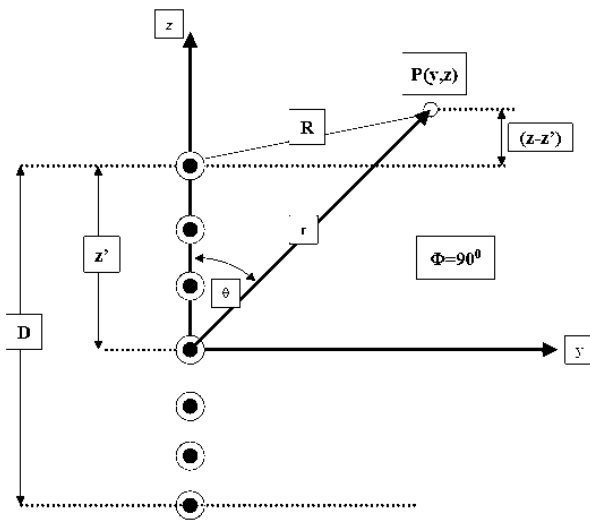
- Εγγύς και απομακρυσμένη περιοχή (πεδίο)
 - Η εκπομπή στην πράξη δεν είναι από σημειακή πηγή
 - Για να **μοιάζει με σημειακή** πρέπει να απομακρυνθώ στην απομακρυσμένη περιοχή



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Εγγύς και απομακρυσμένη περιοχή: ΑΠΟΔΕΙΞΗ



$$R = \sqrt{r^2 + [-2 \cdot (r \cdot \cos \theta) \cdot z' + (z')^2]}$$

$$\downarrow (a+b)^n = \binom{n}{0}a^n + \binom{n}{1}a^{n-1}b + \dots + \binom{n}{n-1}ab^{n-1}$$

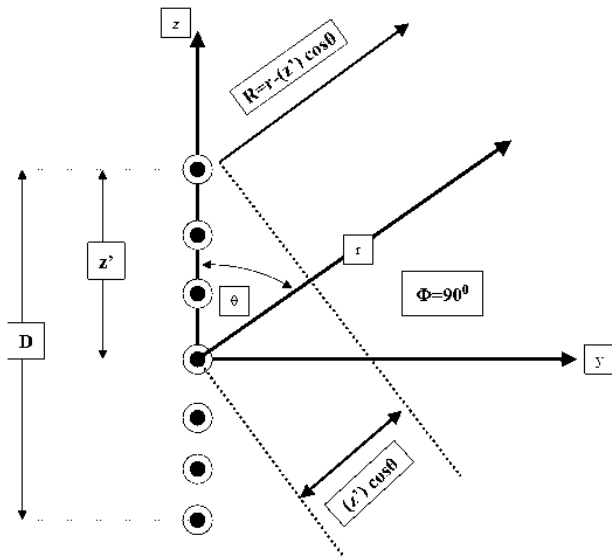
$$R = r - (z') \cdot \cos \theta + \frac{(z')^2 \cdot \sin^2 \theta}{2 \cdot r} + \dots$$

Περιοχή Fresnel $\leftarrow R_{FF} = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \rightarrow$ Περιοχή Fraunhofer

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Εγγύς και απομακρυσμένη περιοχή: ΑΠΟΔΕΙΞΗ



$$R = r - (z') \cdot \cos \theta + \frac{(z')^2 \cdot \sin^2 \theta}{2 \cdot r} + \dots$$

$\Theta = 90^\circ$

$\lambda/16$

Περιοχή Fresnel < $R_{FF} = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}$ > Περιοχή Fraunhofer

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Εγγύς και απομακρυσμένο πεδίο (*Η εκπομπή δεν είναι από σημειακή πηγή*)
 - Σε συνθήκες κοντινού πεδίου, αποθηκεύεται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας.
- Να υπολογισθεί η απόσταση του μακρινού πεδίου μιας κεραίας η οποία έχει διάμετρο $D = 3.6 \text{ m}$, και είναι σχεδιασμένη για να λειτουργήσει στην συχνότητα των 4 GHz.

$$R_{ff} \sim 345 \text{ m}$$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
 - $C = \lambda * f$ Εξίσωση κυματικής
 - Φως: 425-750 THz
- Υπενθύμιση : f (συχνότητα) = $1 / T$ (περίοδος)

<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>	<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microseconds (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz