

Ψηφιακές Επικοινωνίες (ΕΠ04)

Εισαγωγή

Βασικές Πληροφορίες

- Τίτλος Μαθήματος: Ψηφιακές Επικοινωνίες (ΕΠ04)
- Διδάσκων: Δρ. Νίκος Πάσσας, passas@di.uoa.gr
- Βοηθός: Χρήστος Μηλαροκώστας, chmil@di.uoa.gr
- Διαλέξεις: Δευτέρα 09:00 – 12:00 / Αίθουσα Β'
- Κατεύθυνση Β, Ειδίκευση Ε5
- Προ-απαιτούμενα: Συστήματα Επικοινωνιών (Κ21)

Eclass - Delos

- Eclass: <https://eclass.uoa.gr/courses/D63/>

The screenshot shows the Eclass interface for the course 'Ψηφιακές Επικοινωνίες' (Digital Communications). The user is logged in as 'npassas'. The course is taught by 'Νίκος Πασσάς'. The course description is 'Ψηφιακές Επικοινωνίες: Θεωρία και Εφαρμογές' by Bernard Sklar and Fred Harris. The course is part of the EP04 program. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Ανακοινώσεις', 'Έγγραφα', 'Ερωτηματολόγια', 'Μηνύματα', 'Ομάδες Χρηστών', 'Παρουσιολόγιο', and 'Σύνδεσμοι'. A calendar on the right shows the course dates for February 2025, with the 23rd highlighted. A legend at the bottom right indicates the status of the course: Προθεσμία (red dot), Γεγονός μαθήματος (blue dot), Γεγονός συστήματος (green dot), and Προσωπικό γεγονός (purple dot).

open eclass Αρχική Χαρτοφυλάκιο Μαθήματα Συχνές ερωτήσεις Αναζήτηση... npassas

Χαρτοφυλάκιο > Ψηφιακές Επικοινωνίες

Ψηφιακές Επικοινωνίες
ΕΠ04 - Νίκος Πασσάς

Διαχείριση Μαθήματος

Περιγραφή Μαθήματος

Ψηφιακές Επικοινωνίες
Θεωρία και Εφαρμογές
Bernard Sklar και fred harris
Επιστημονική Επιμέλεια

- Το ΕΠ04 αποτελεί φυσική συνέχεια του Κ21 (Συστήματα επικοινωνιών)
- Εμπλουτίζει τις γνώσεις των φοιτητών στα συστήματα επικοινωνιών
- Εστιάζει αποκλειστικά στα ψηφιακά συστήματα
- Αποτελείται από δύο μέρη
- Μέρος Α: Θεμέλια Ψηφιακών Συστημάτων
- Ψηφιακή διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση

Ημερολόγιο
Φεβρουάριος 2025

Δευ...	Τρι...	Τετ...	Πέμ...	Παρ...	Σάβ...	Κυρ...
27	28	29	30	31	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	1	2

● Προθεσμία ● Γεγονός μαθήματος
● Γεγονός συστήματος
● Προσωπικό γεγονός

- Delos: Ζωντανή μετάδοση και καταγραφή

Στόχοι Μαθήματος

- Το συγκεκριμένο μάθημα αποτελεί φυσική συνέχεια του K21 (Συστήματα επικοινωνιών)
 - Εμπλουτίζει τις γνώσεις των φοιτητών στα συστήματα επικοινωνιών
 - Εστιάζει αποκλειστικά στα ψηφιακά συστήματα
- Αποτελείται από δύο μέρη
 - Μέρος Α: Θεμέλια Ψηφιακών Συστημάτων
 - Ψηφιακή διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση
 - Ανάλυση ζεύξης
 - Πολυπλεξία και πολλαπλή πρόσβαση
 - Διαλείψεις
 - Μέρος Β: Σύγχρονα Θέματα Ψηφιακών Συστημάτων
 - OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)
 - MIMO (Multiple input / multiple output)

Πλάνο Διαλέξεων

E01	Εισαγωγή – Βασικές έννοιες
E02	Κεφάλαιο 04 – Διαμόρφωση & Αποδιαμόρφωση Ζώνης Διέλευσης
E03	Κεφάλαιο 04 – Διαμόρφωση & Αποδιαμόρφωση Ζώνης Διέλευσης
E04	Κεφάλαιο 05 – Ανάλυση Ζεύξης
E05	Κεφάλαιο 05 – Ανάλυση Ζεύξης, Περιγραφή Εργασίας
E06	Κεφάλαιο 11 – Πολυπλεξία και πολλαπλή πρόσβαση
E07	Κεφάλαιο 11 – Πολυπλεξία και πολλαπλή πρόσβαση
Πάσχα	
E08	Κεφάλαιο 14 – Κανάλια Διαλείψεων
E09	Κεφάλαιο 15 – Τα Βασικά Στοιχεία του OFDM
E10	Κεφάλαιο 15 – Τα Βασικά Στοιχεία του OFDM
E11	Κεφάλαιο 16 – Η Μαγεία των MIMO
E12	Κεφάλαιο 16 – Η Μαγεία των MIMO
E13	Παρουσιάσεις

Βαθμολόγηση

$$TB = 0.7 \cdot \Gamma + 0.30 \cdot E$$

TB: Τελική Βαθμολογία

Γ: Γραπτό

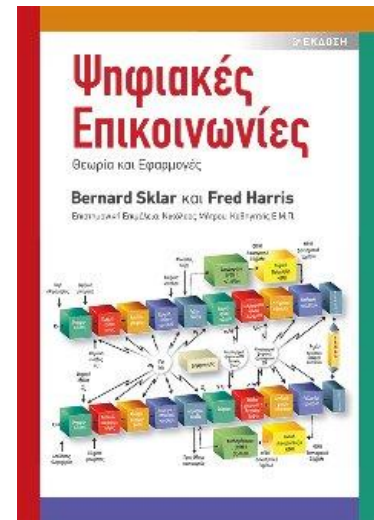
E: Εργασία

[Για προβιβάσιμο βαθμό, αρκεί $TB \geq 5$]

Βιβλιογραφία

- *Ψηφιακές Επικοινωνίες: Θεωρία και Εφαρμογές*, Sklar B., Harris F.
- *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*, Καραγιαννίδης Γ., Παππή Κ.
- *Συστήματα Τηλεπικοινωνιών*, Proakis J., Salehi M.
- *Principles of Communication Engineering*, Wozencraft J. M., Jacobs I. M.,

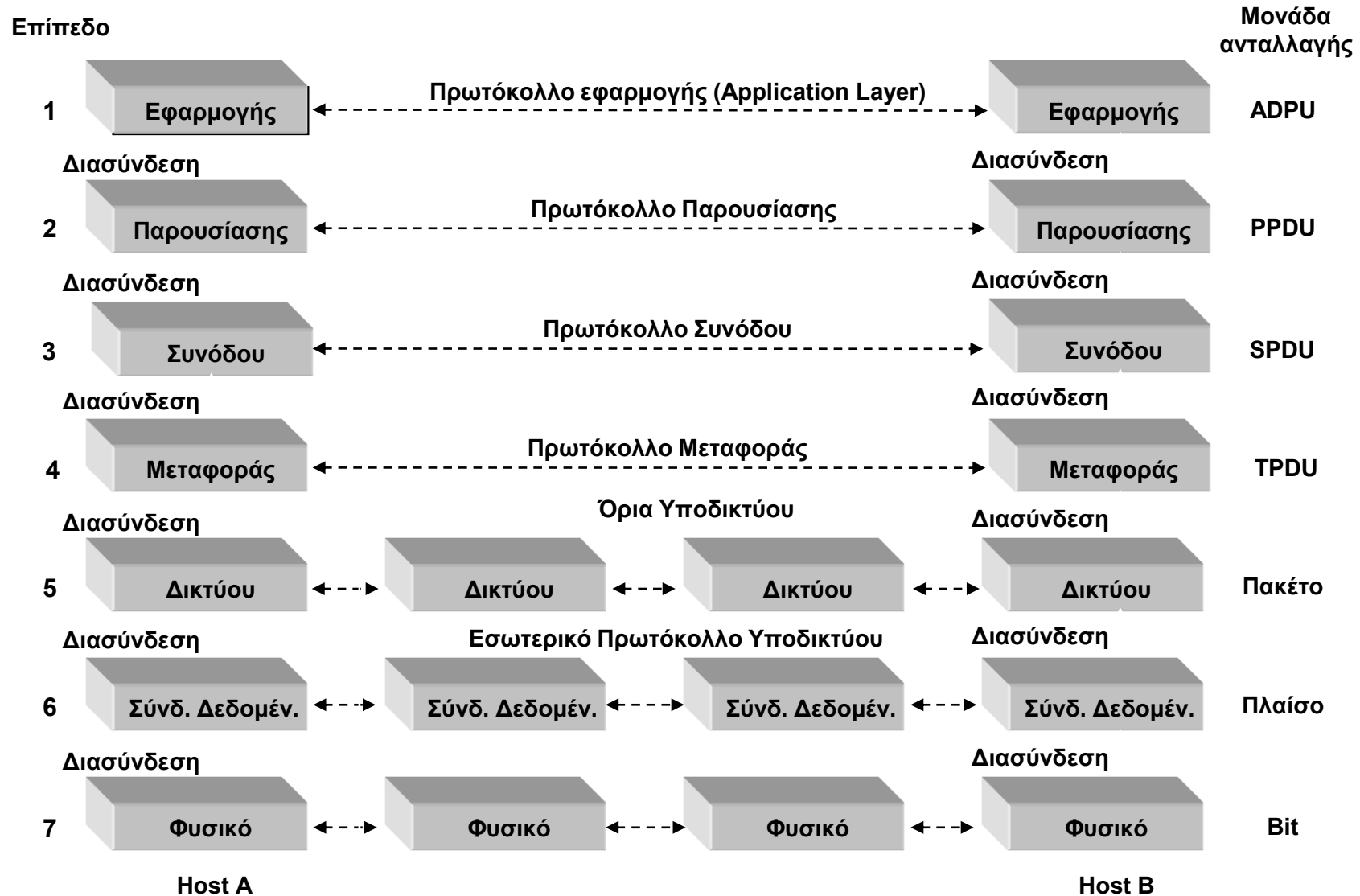
[Τα βιβλία στα Ελληνικά είναι διαθέσιμα στη Βιβλιοθήκη ΣΘΕ]



Γιατί Ψηφιακά;

- Υποστήριξη περισσότερων χρηστών
- Ευελιξία για επικοινωνίες που υποστηρίζουν φωνή και δεδομένα
- Αύξηση χωρητικότητας μέσω κωδικοποιητών χαμηλού ρυθμού
- Μειωμένη ισχύς μετάδοσης
- Υποστήριξη ιδιωτικότητας μέσω κρυπτογράφησης
- Μειωμένη πολυπλοκότητα συστήματος

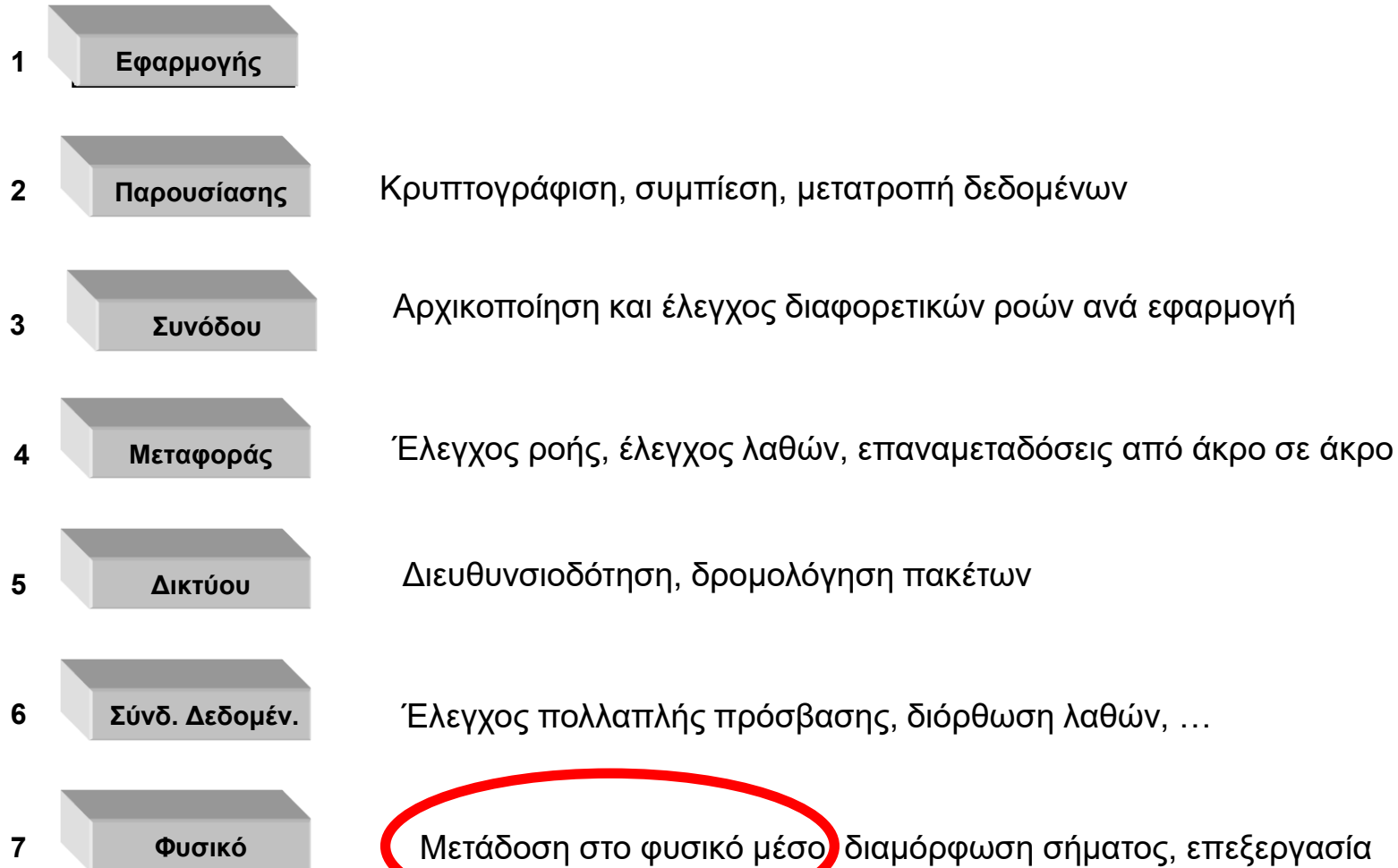
Το μοντέλο αναφοράς OSI*



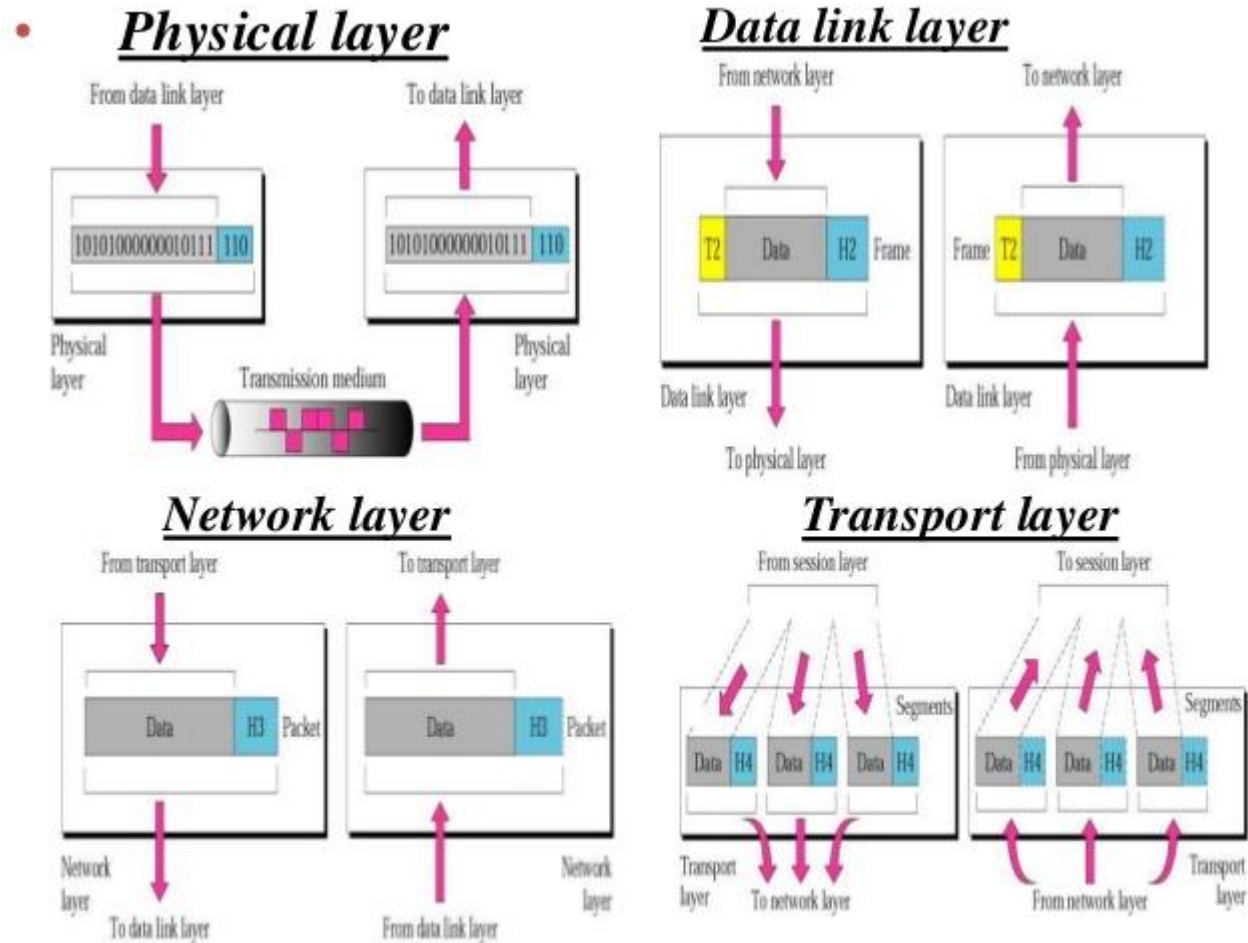
*Open Systems Interconnection

Το μοντέλο αναφοράς OSI*

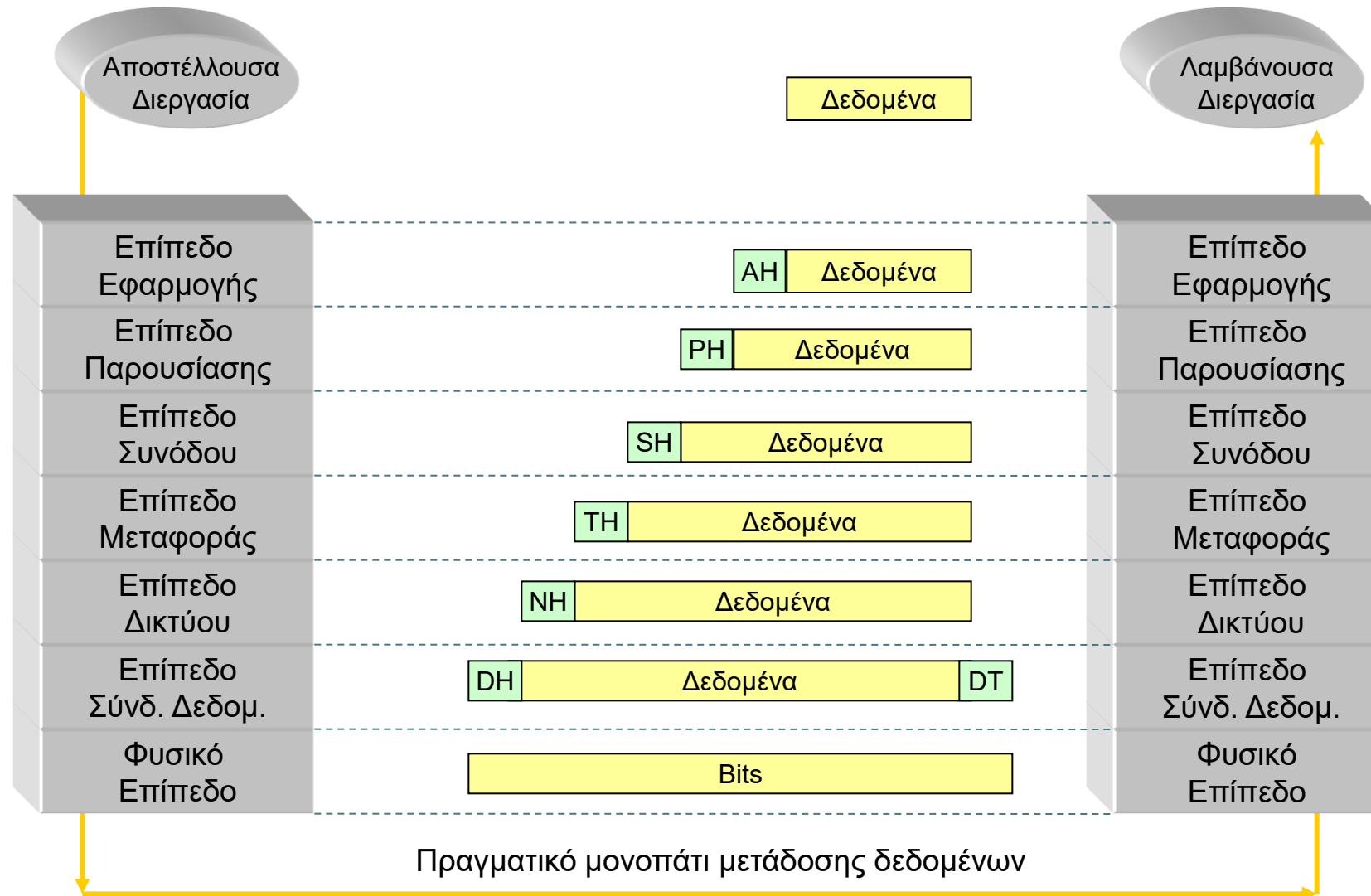
Επίπεδο



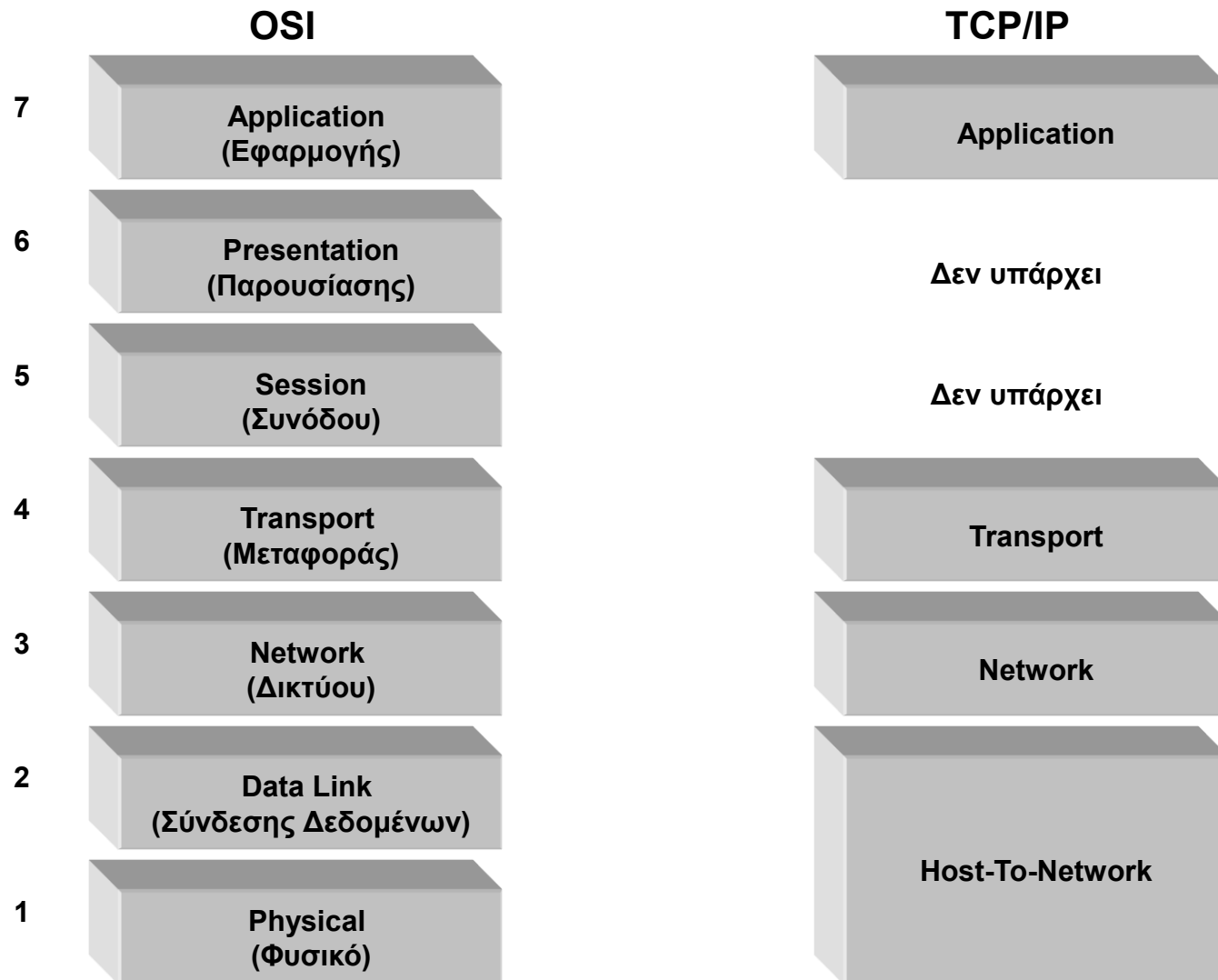
Μετάδοση πληροφορίας



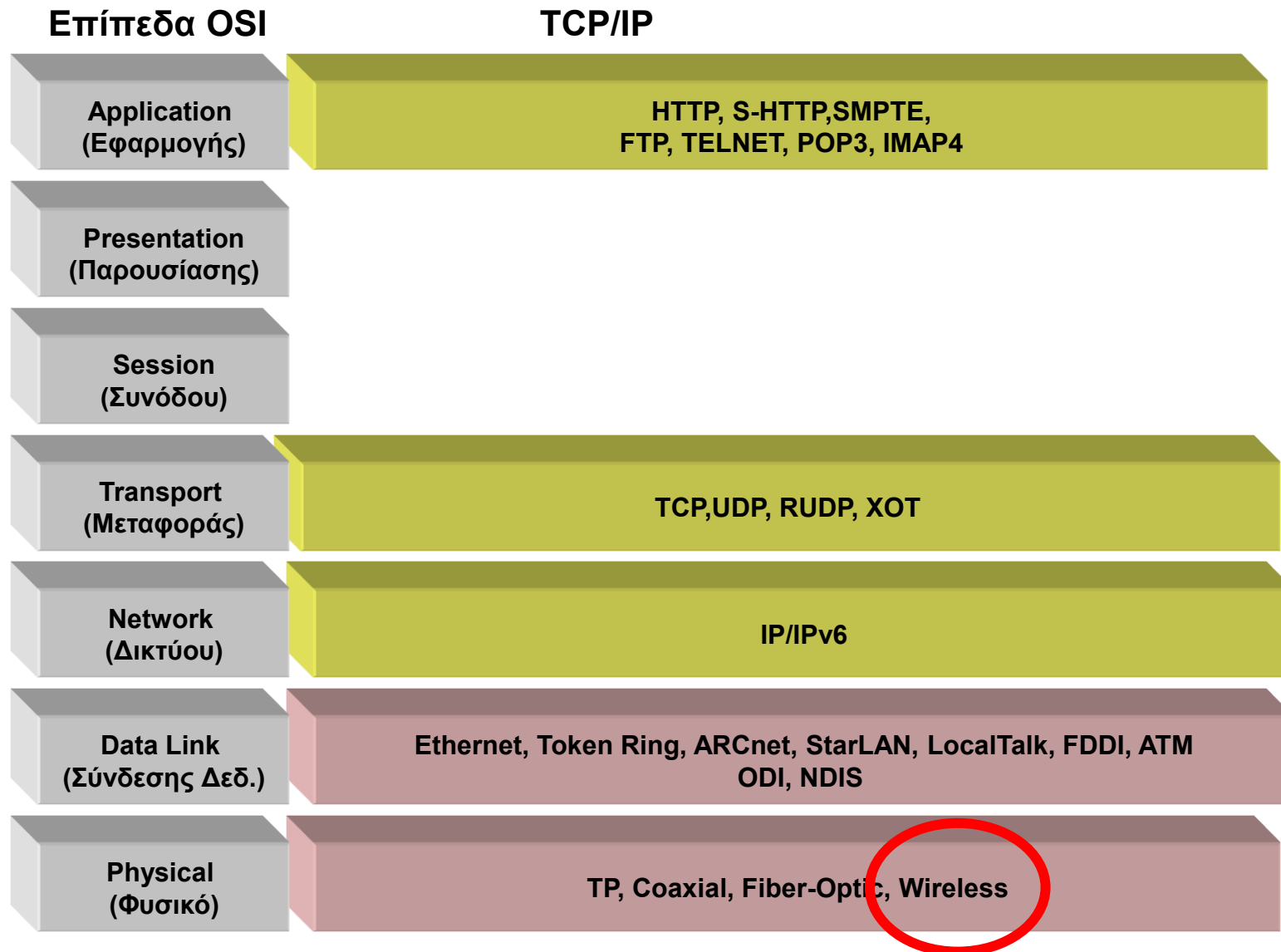
Μετάδοση Δεδομένων στο Μοντέλο OSI

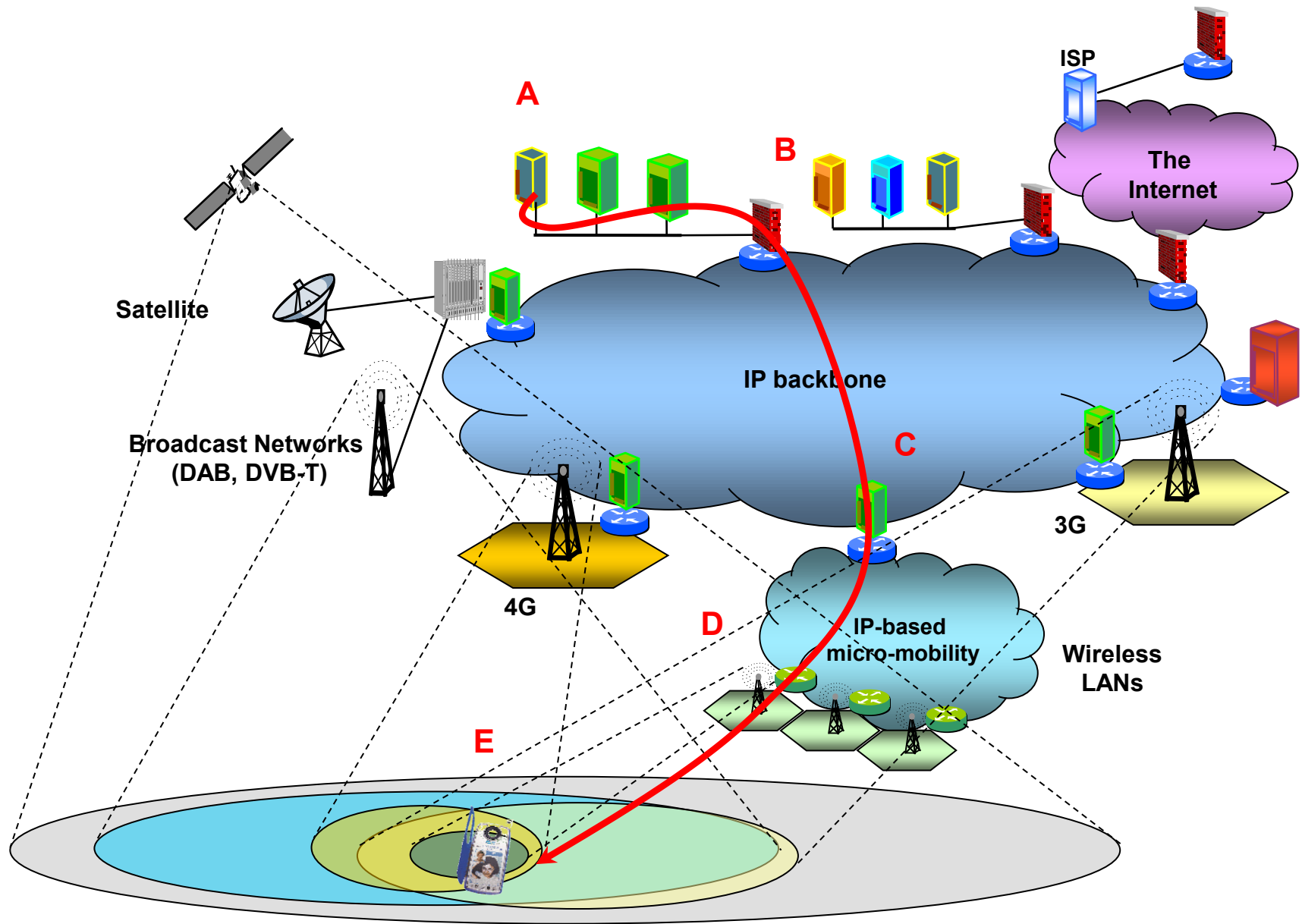


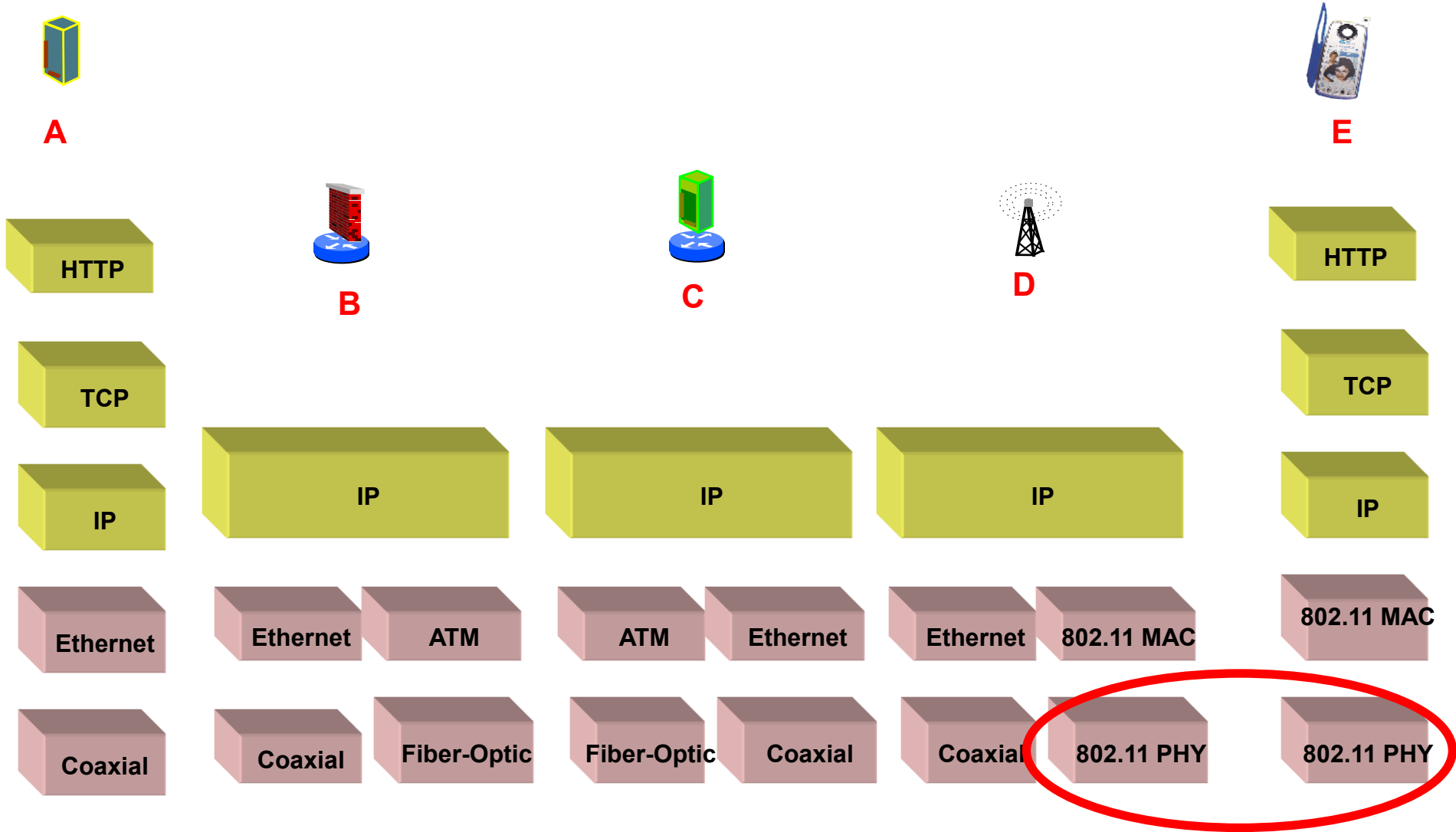
Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP



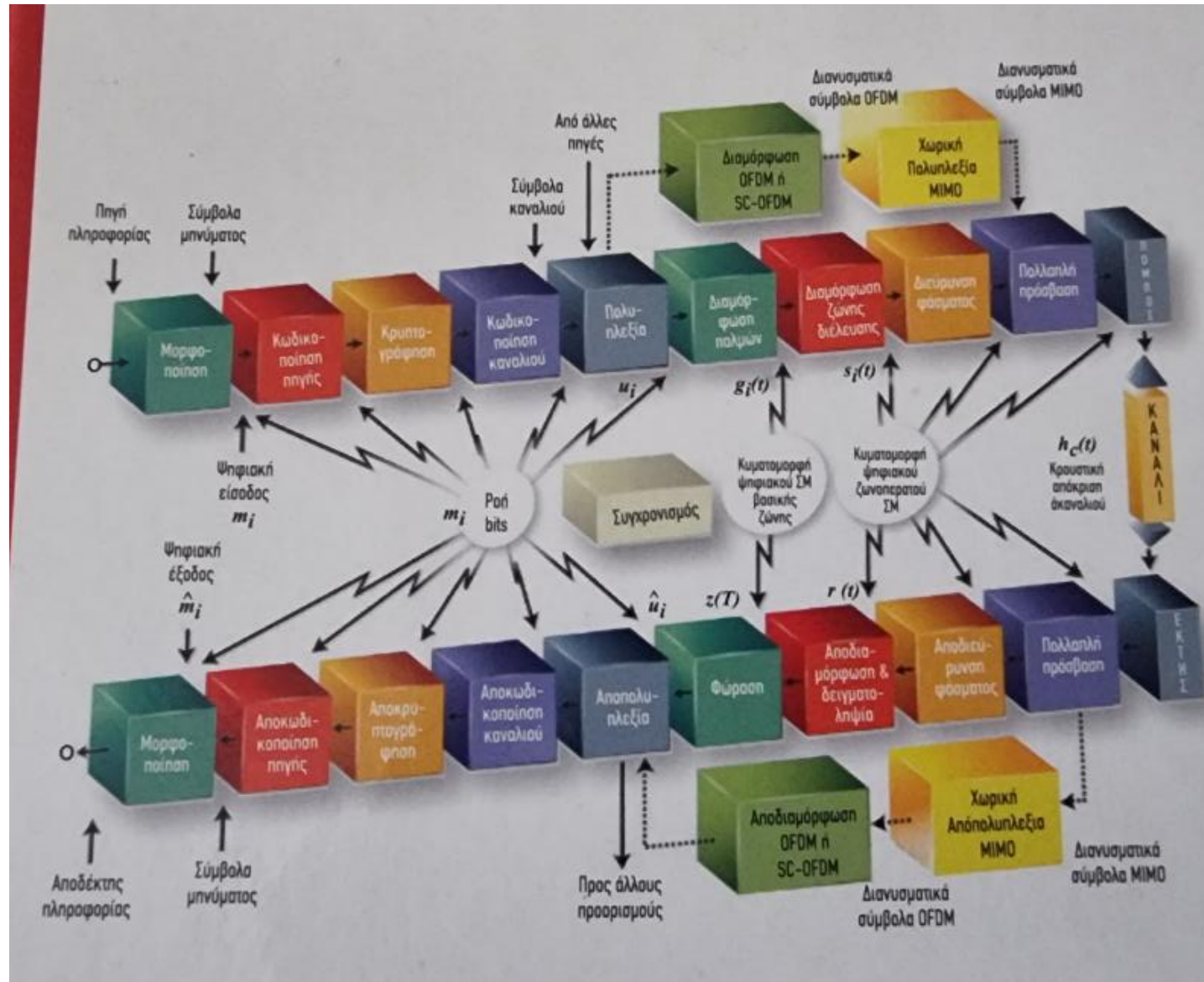
Τα πρωτόκολλα στο μοντέλο OSI







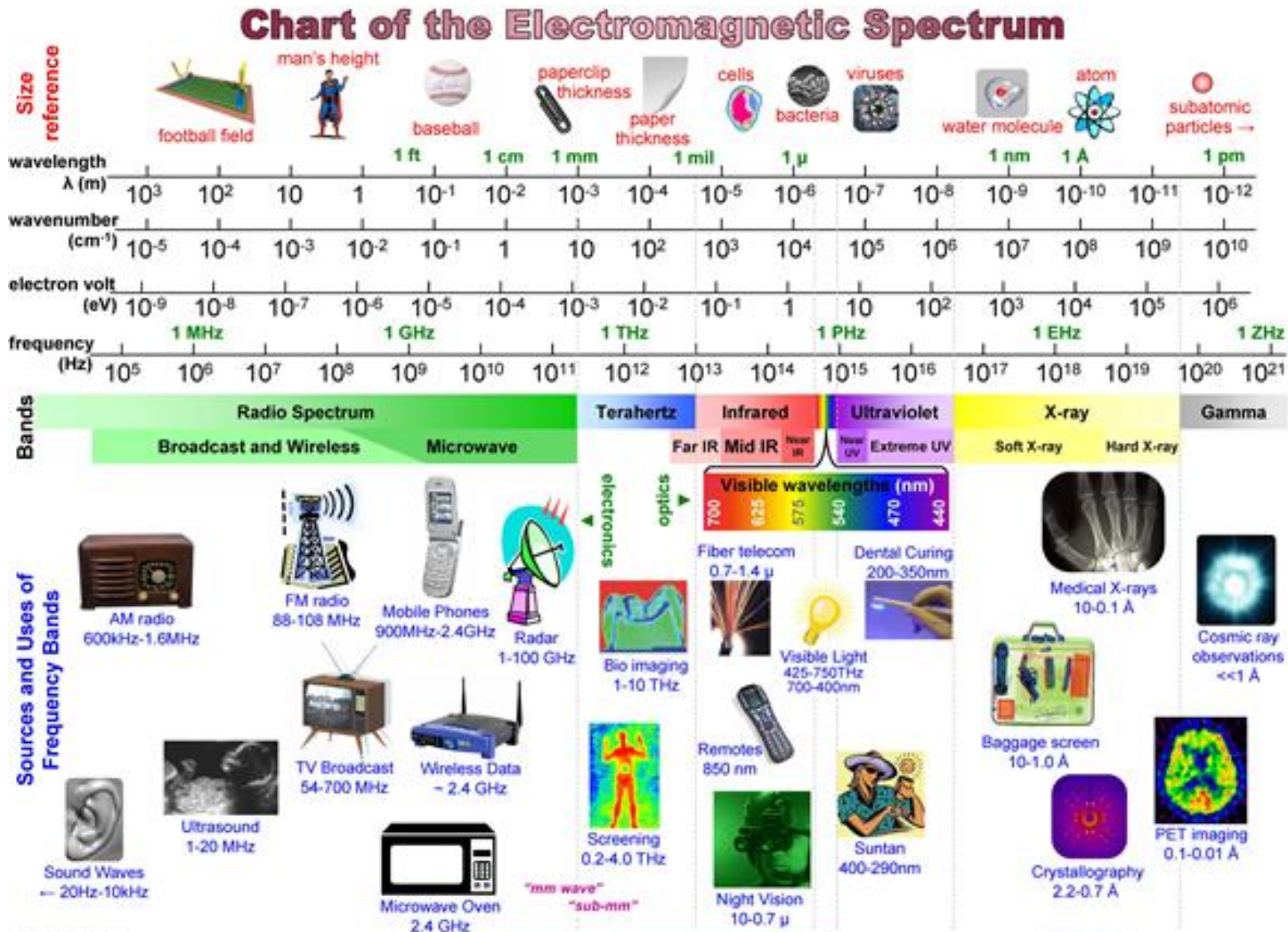
Φάσεις Ψηφιακής Μετάδοσης



Κεφ 4

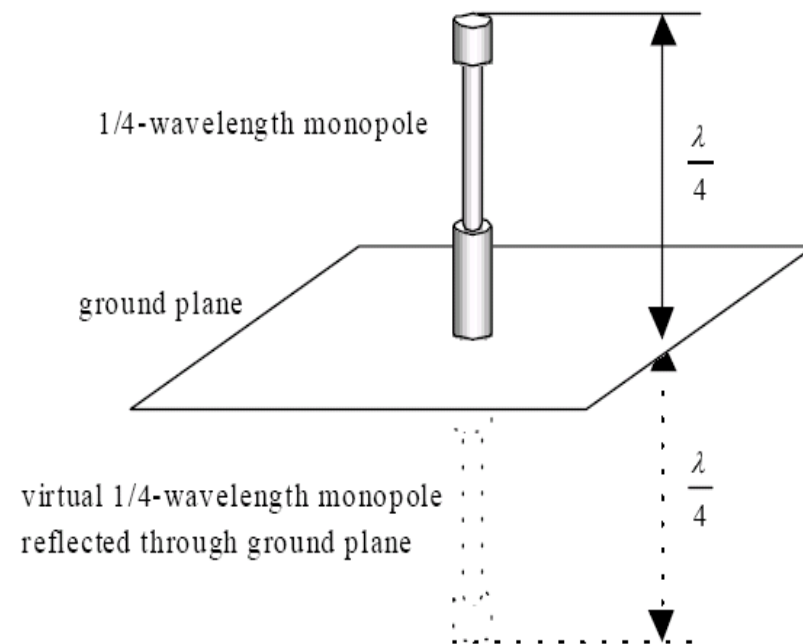
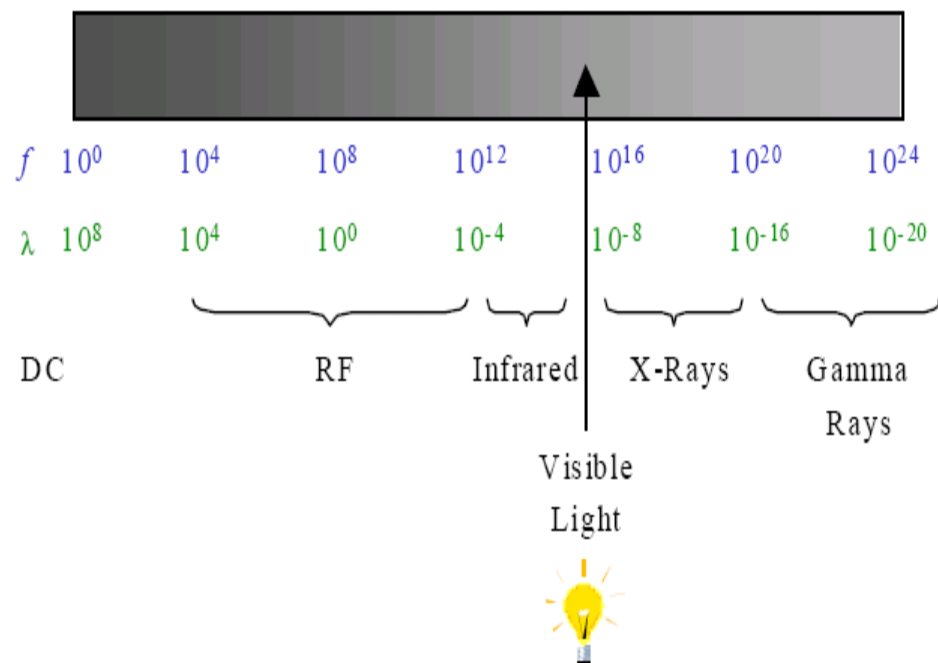
Διαμόρφωση/Αποδιαμόρφωση

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



$$\lambda = 3 \times 10^8 / \text{freq} = 1 / (\text{wn} \times 100) = 1.24 \times 10^{-6} / \text{eV}$$

Η/Μ φάσμα - Κεραίες



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

Ζώνες συχνοτήτων

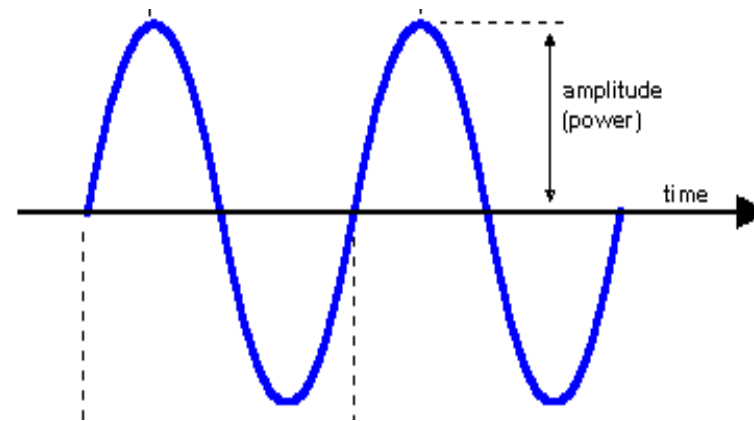
Name	Abbreviation Frequency	Frequency	Wave length
Very low	VLF	3 to 30 kHz	100 to 10km
Low	LF	30 to 300 kHz	10 to 1km
Medium	MF	300 to 3000 kHz	1km to 100 m
High	HF	3 to 30 MHz	100 to 10m
Very high	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1cm
Ultrahigh	UHF	300 to 3000 MHz	1m to 10cm
Super high	SHF	3 to 30 GHz	10 to 1cm
Extremely high	EHF	30 to 300 GHz	10 to 1mm

Χαρακτηριστικά κύματος

1. Πλάτος
2. Μήκος
3. Συχνότητα
4. Ταχύτητα

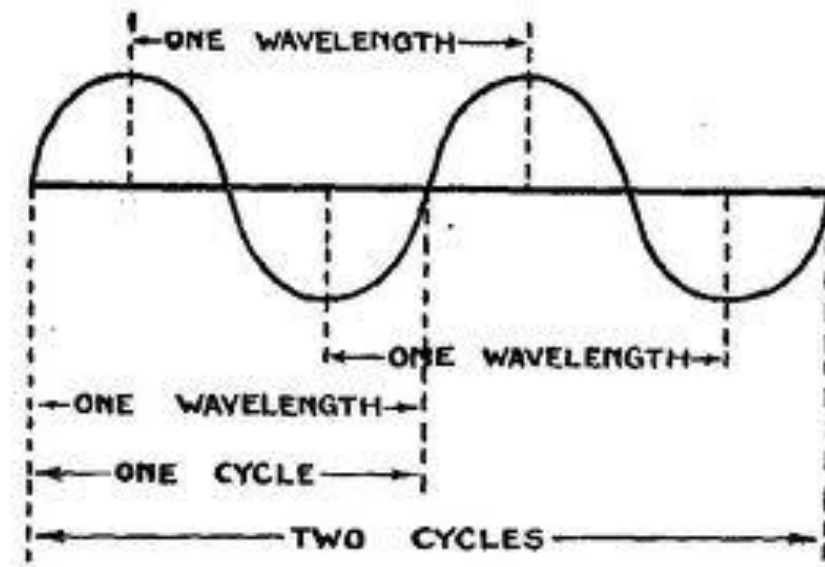
Πλάτος

- Πόσο ψηλά φτάνει το σήμα από το σημείο ακινησίας
- Ονομάζεται και ένταση του σήματος
- Το υψηλότερο σημείο ονομάζεται κορυφή και το χαμηλότερο κοίλο
- Ένδειξη ισχύος του σήματος
- Δεν επηρεάζει την ταχύτητα
- Η **ενέργεια** του κύματος είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους του



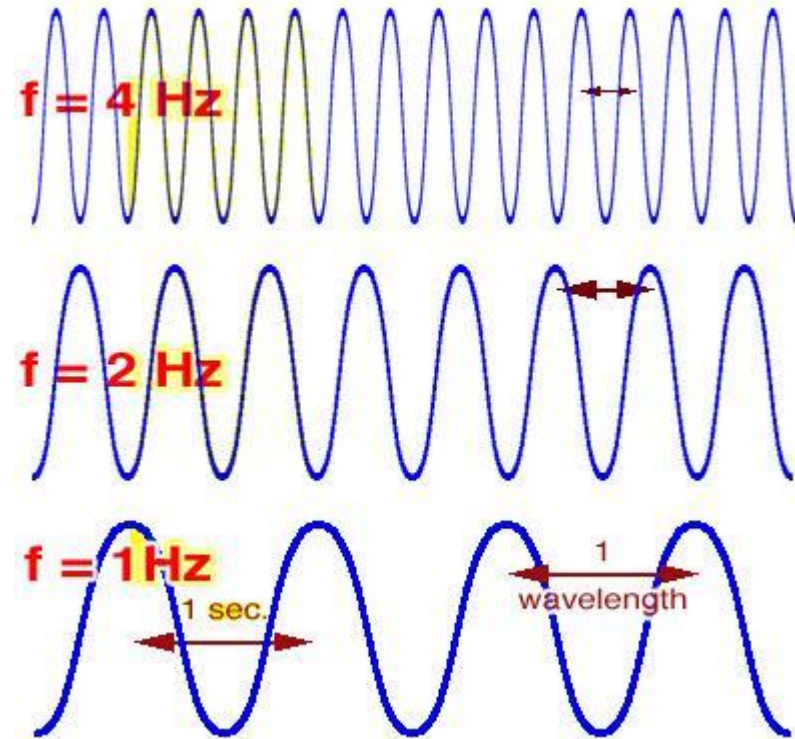
Μήκος κύματος λ

- Απόσταση μεταξύ δύο επαναλαμβανόμενων σημείων (κυρίως κορυφών)
- Αναφέρεται και ως κύκλος ή ταλάντωση

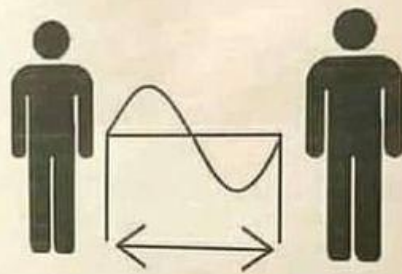


Συχνότητα **f**

- Ίση με τον αριθμό των κύκλων (ταλαντώσεων, μηκών κύματος) ανά δευτερόλεπτο
- Μετριέται σε **Hertz (Hz)**, ή κύκλοι/δευτ.
- Η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος
$$f = v / \lambda$$
- Η συχνότητα είναι ανάλογη της ενέργειας που μεταφέρεται



Social Distancing



Keep one Wavelength
Apart at 164 MHz

Ταχύτητα V

- Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το σήμα
- **Εξαρτάται από το μέσο**
 - Τα μηχανικά κύματα ταξιδεύουν ταχύτερα σε συμπαγείς επιφάνειες
 - Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν ταχύτερα σε μη συμπαγείς επιφάνειες
- Ταχύτητα = μήκος κύματος x συχνότητα

$$v = \lambda f$$

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.

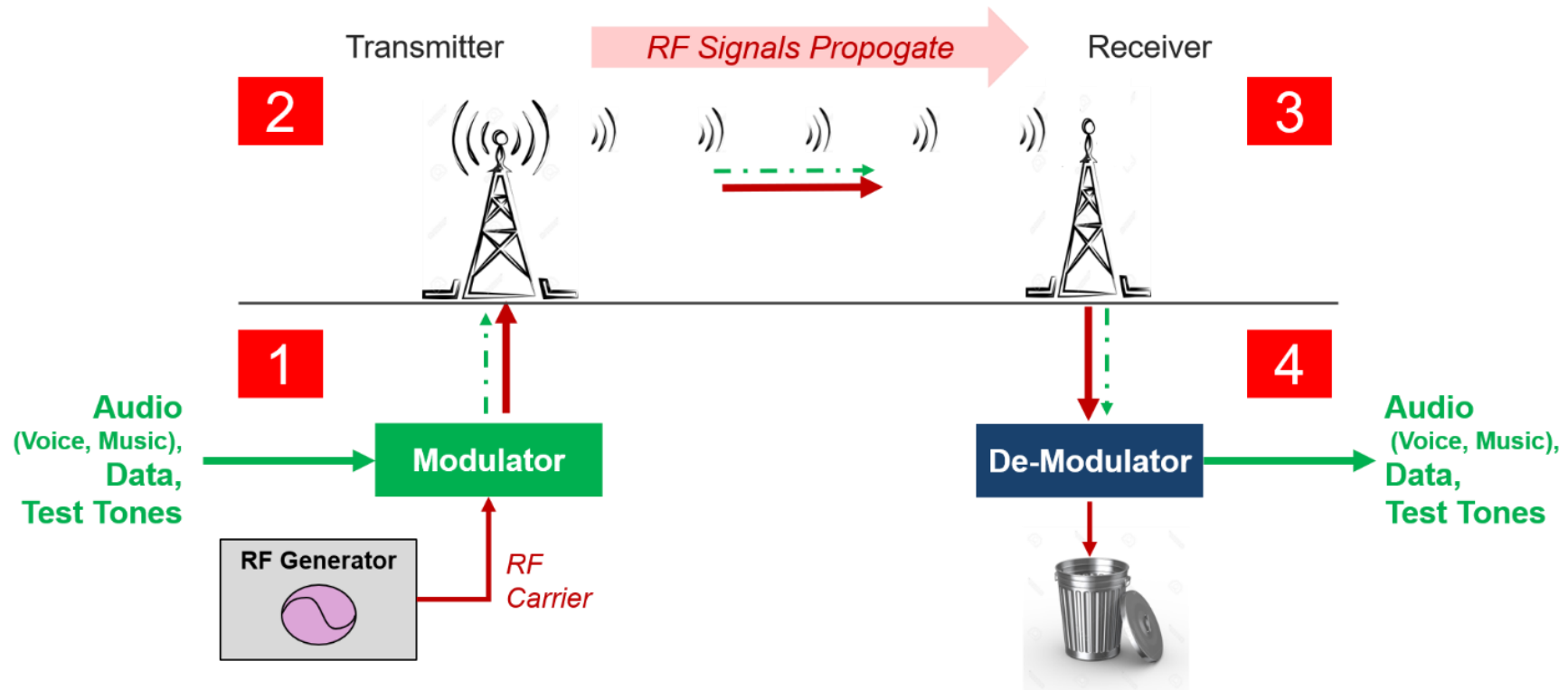
Τι επιτυγχάνουμε με τη διαμόρφωση

- 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)

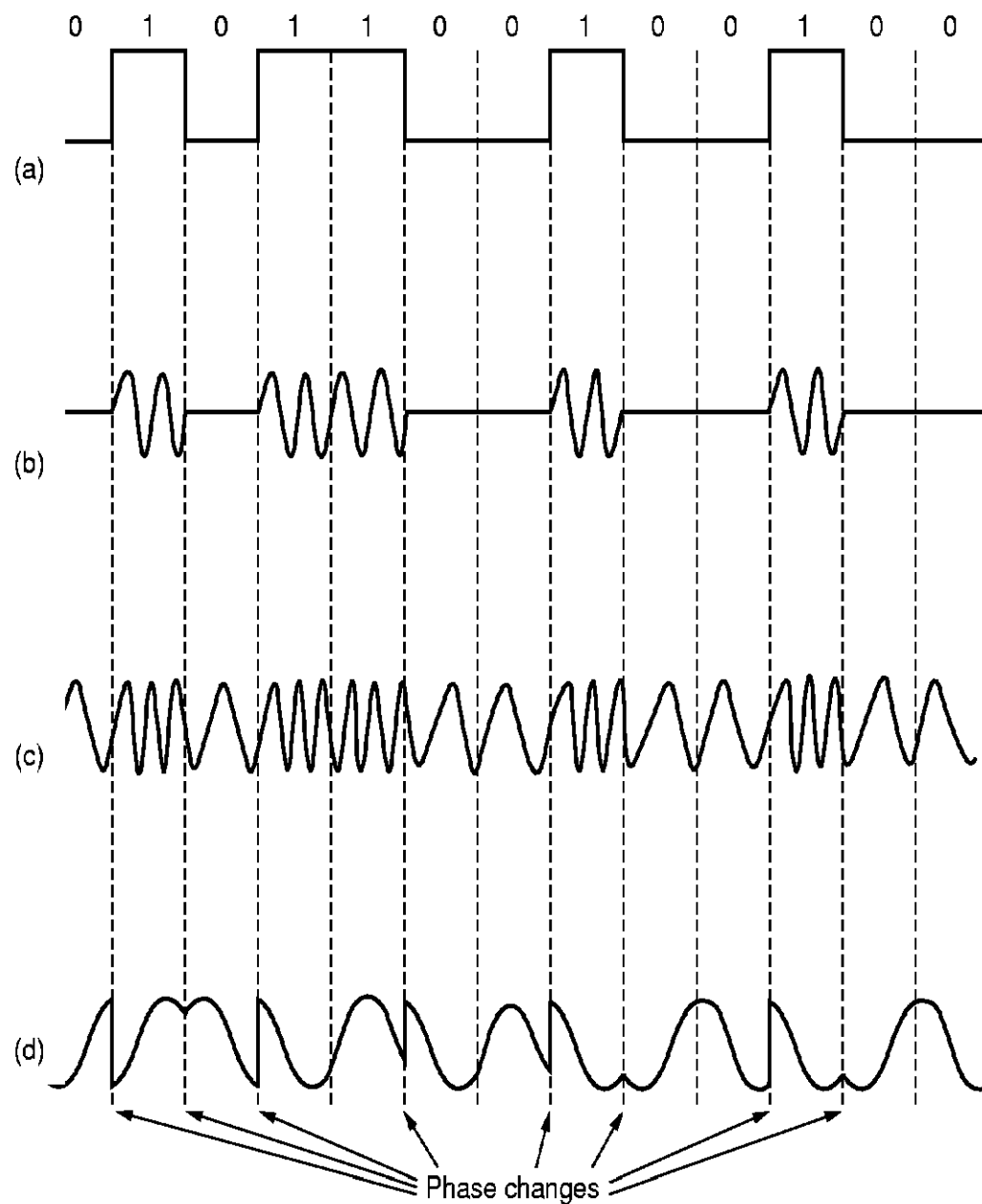
c) διαμόρφωση συχνότητας (FM)

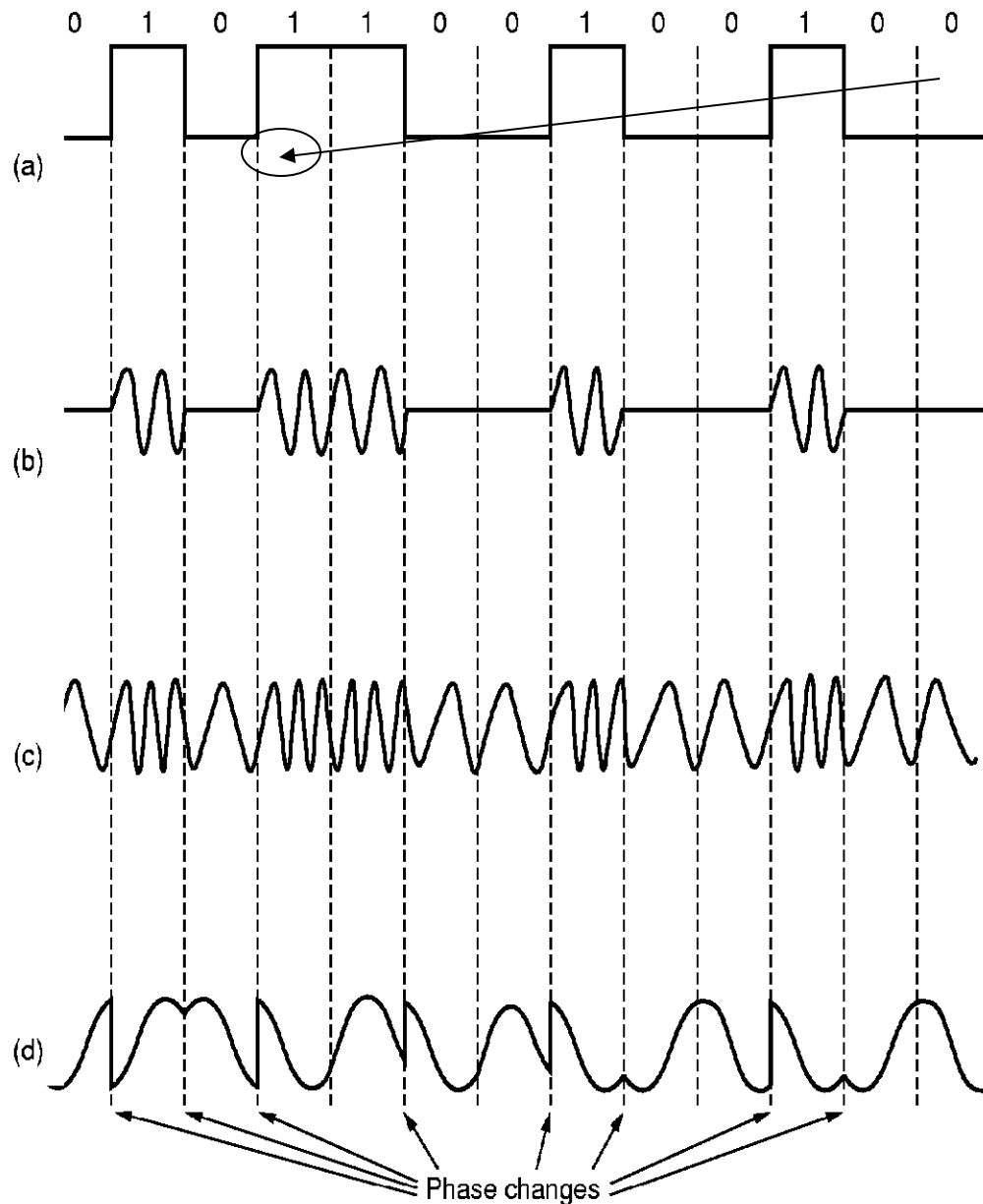
FSK (frequency shift keying)
τεχνική για ψηφιακά σήματα

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 :

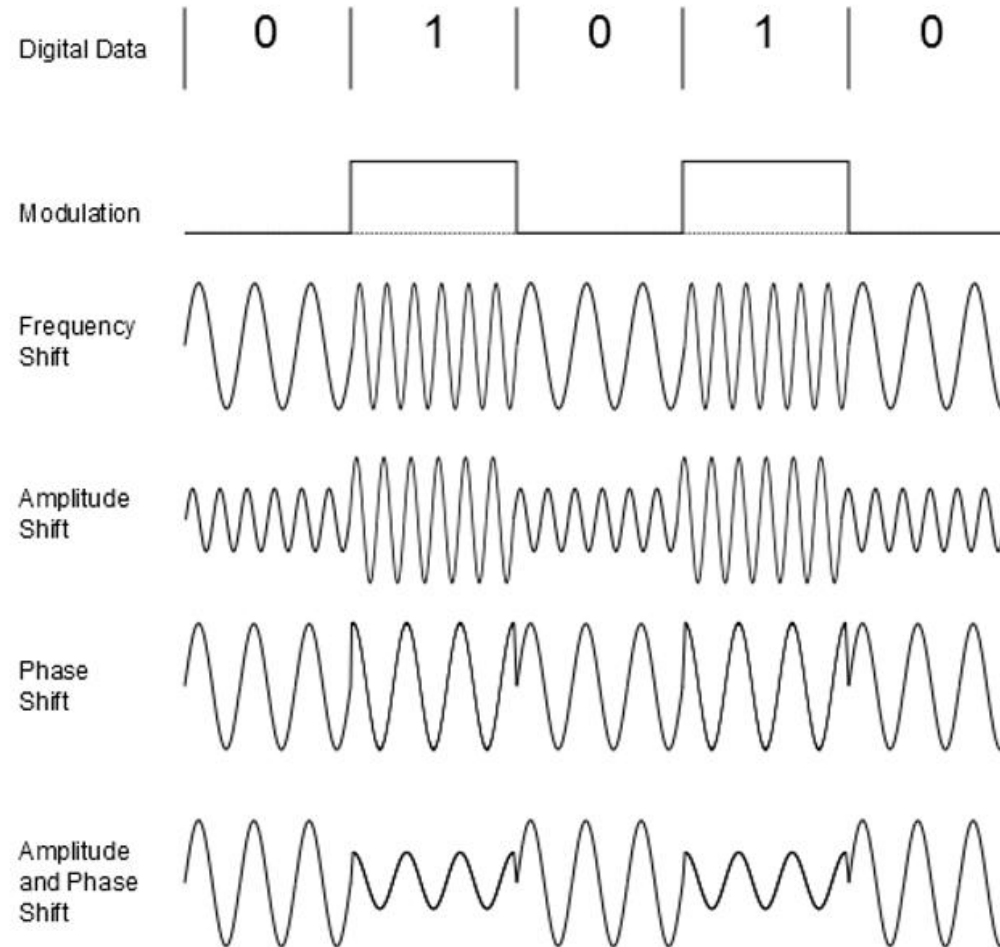
1 symbol = 1 bit (0/1) = voltage/no voltage

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

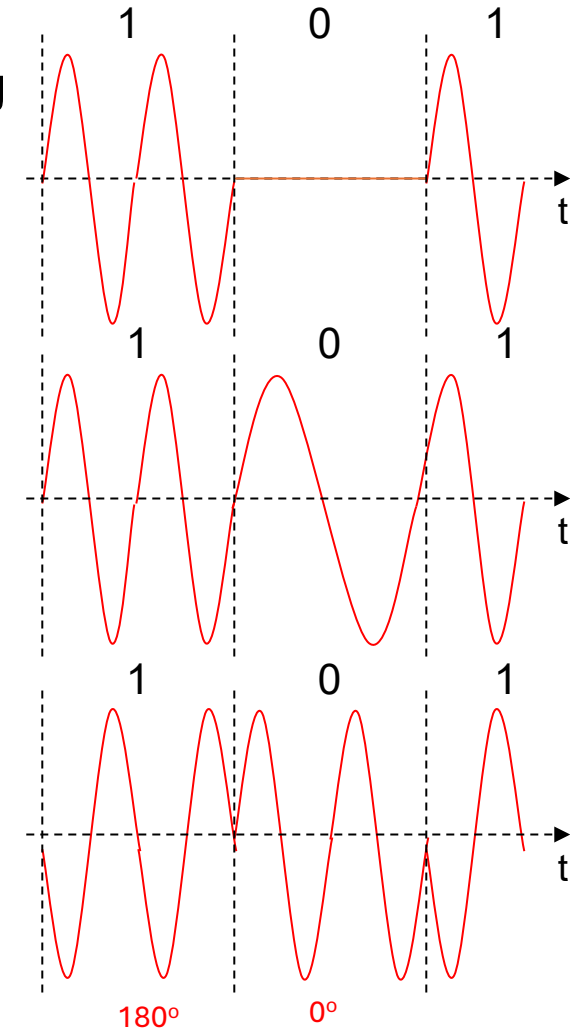
Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.

Είδη διαμόρφωσης



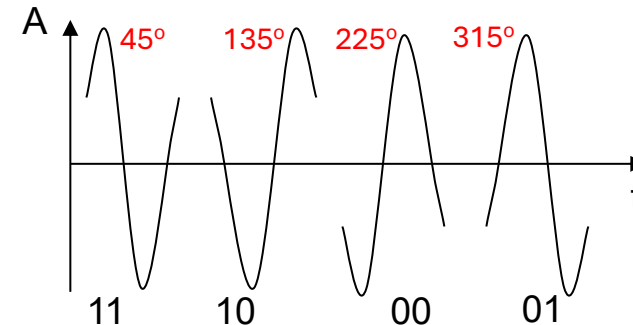
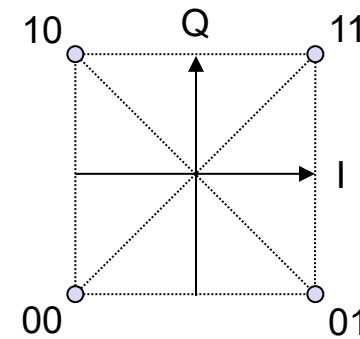
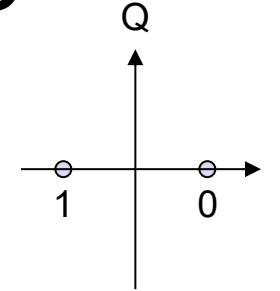
Ψηφιακή Διαμόρφωση

- 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



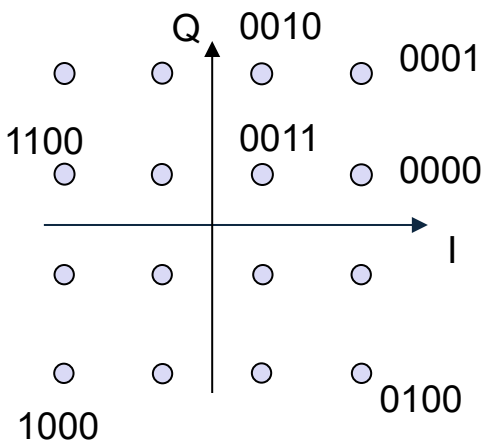
Advanced Phase Shift Keying

- 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



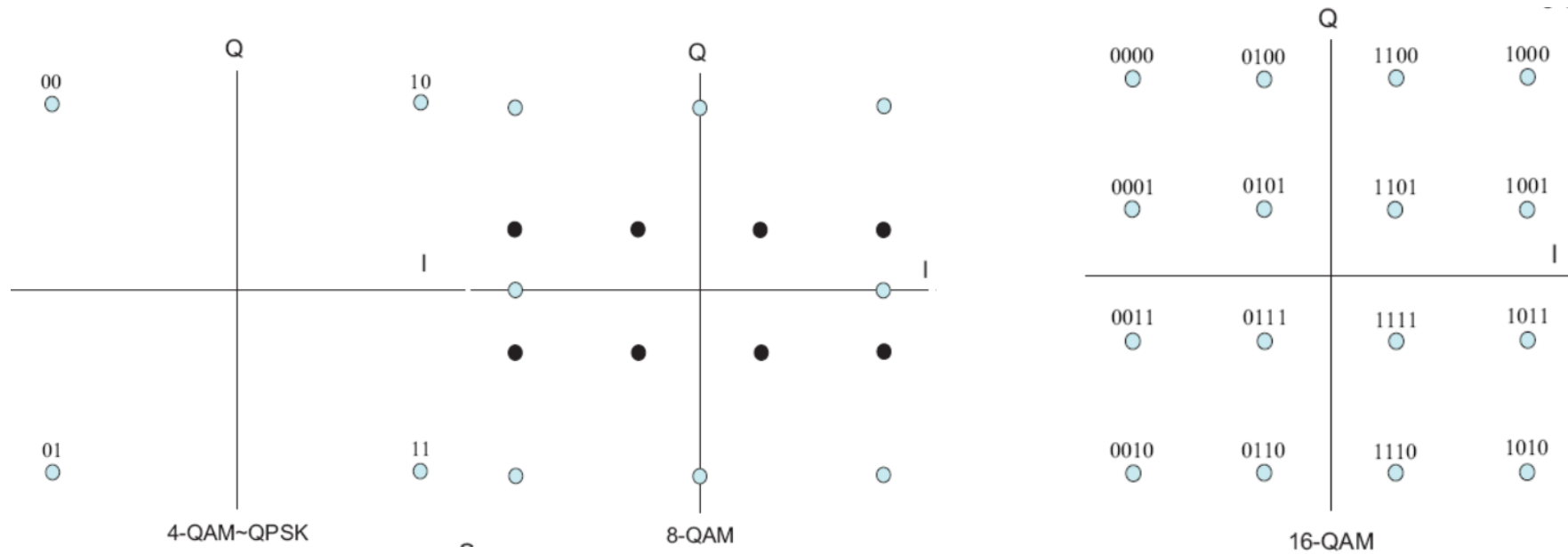
Quadrature Amplitude Modulation

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



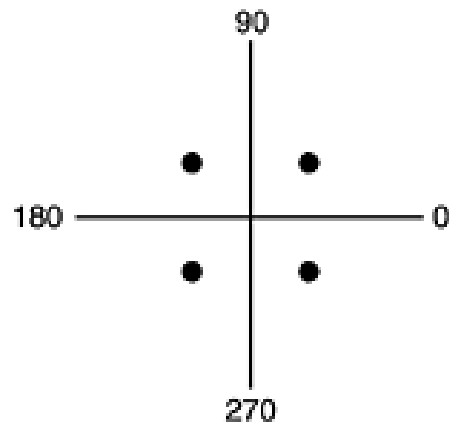
• Example: 16-QAM (4 bits = 1 symbol)

Quadrature Amplitude Modulation

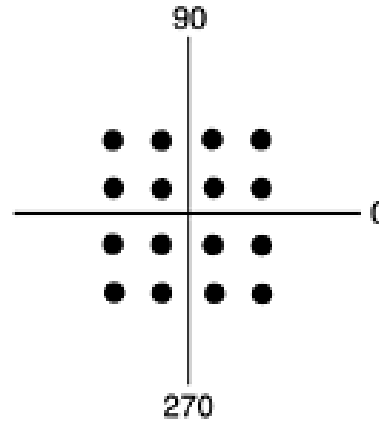


Πολλαπλές διομορφώσεις

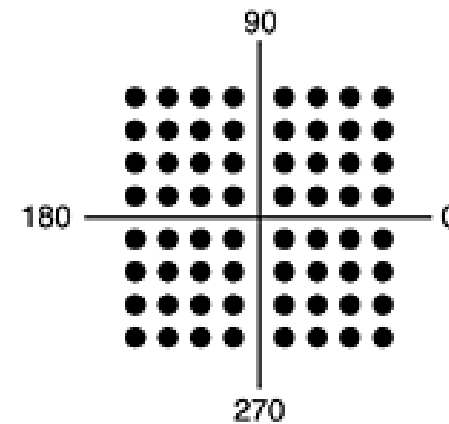
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol



QPSK

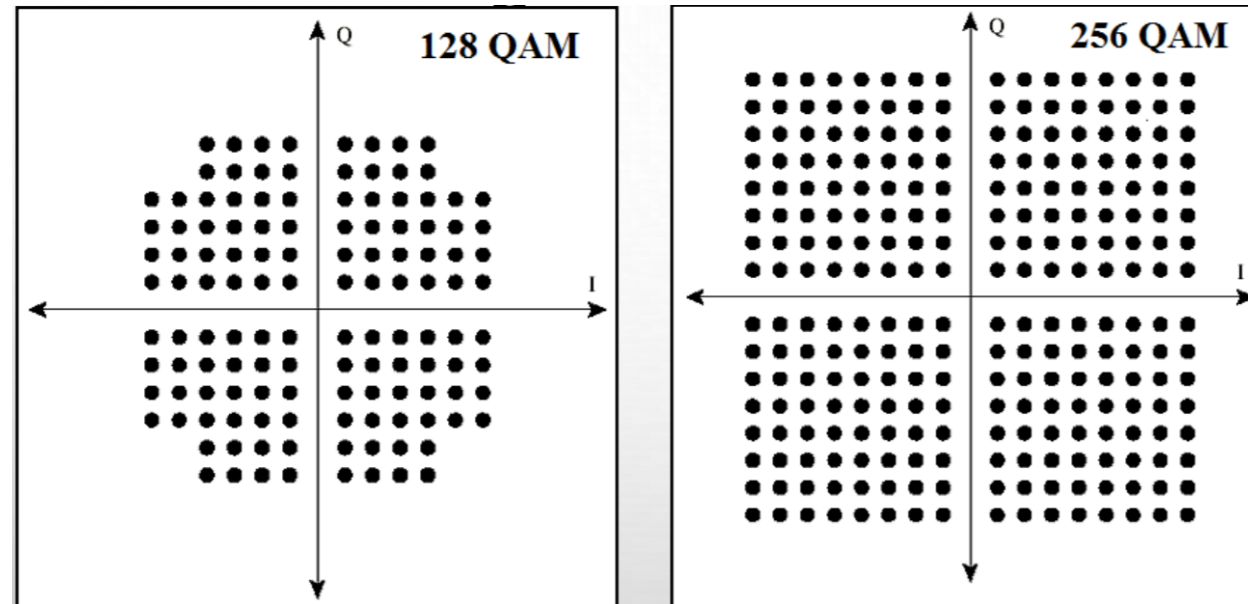
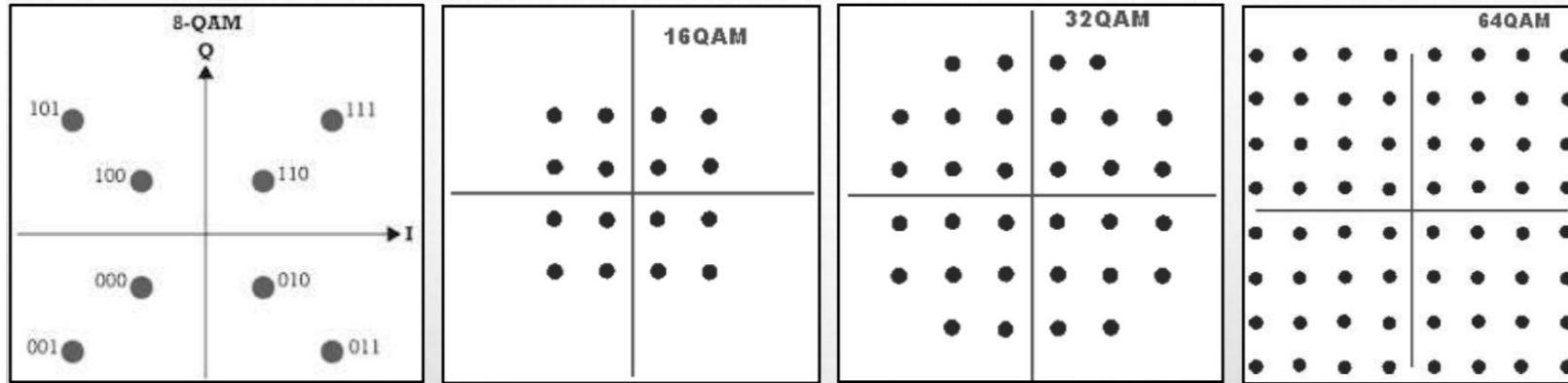


QAM-16

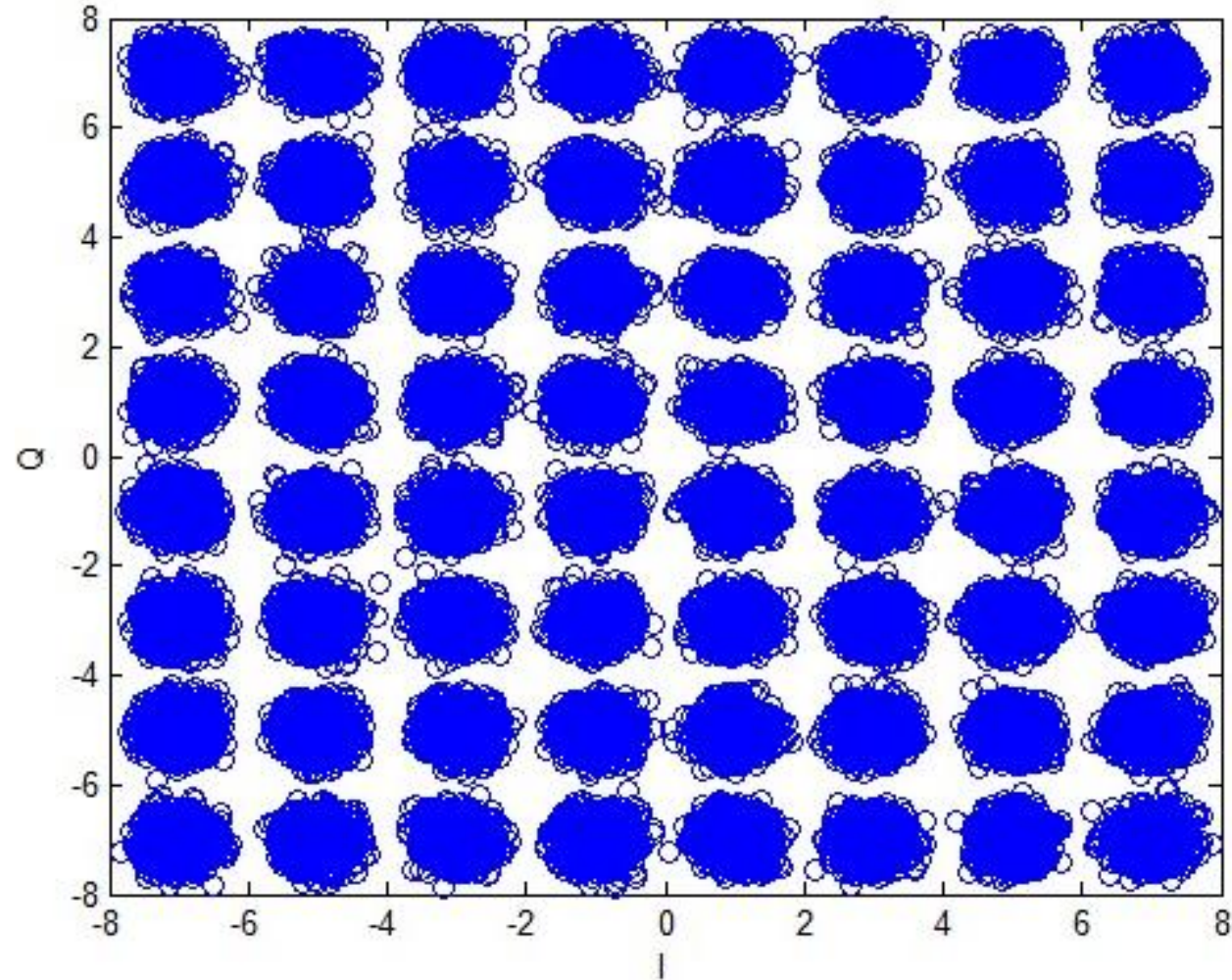


QAM-64

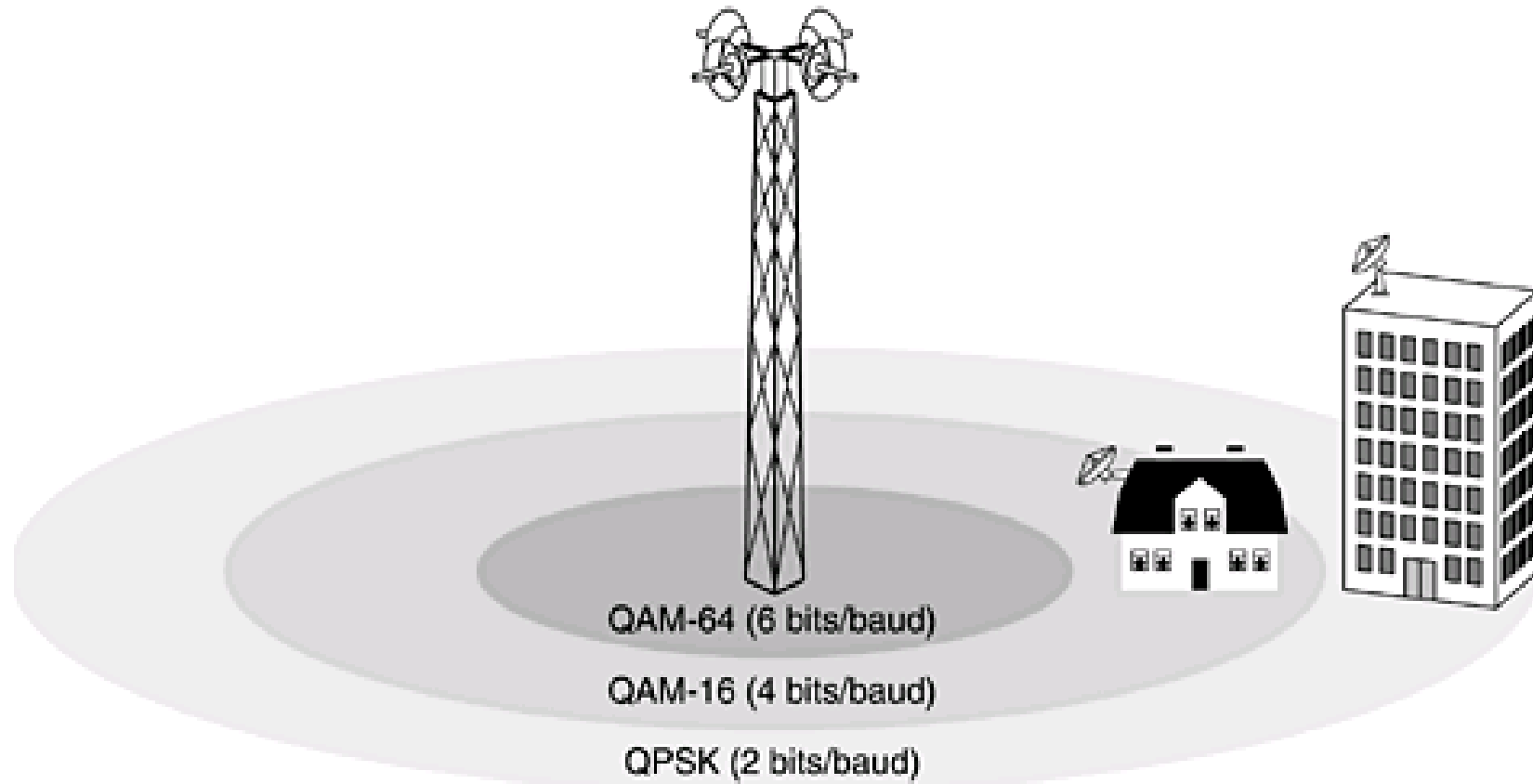
Πολλαπλές διομορφώσεις



Πολλαπλές διαμορφώσεις



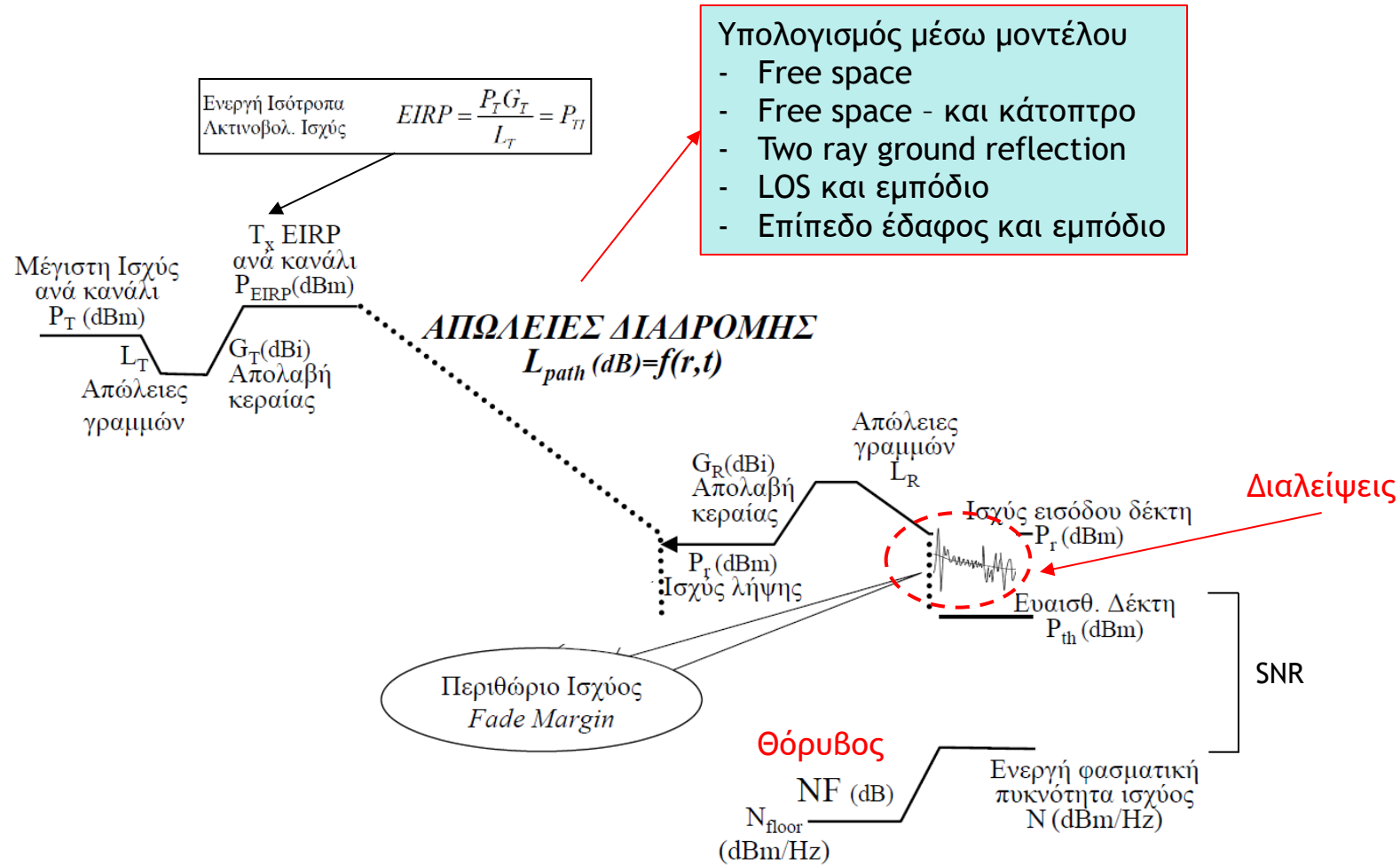
Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση



Κεφ 5

Ανάλυση Ζεύξης

Ισοζύγιο Ζεύξης (Link budget)



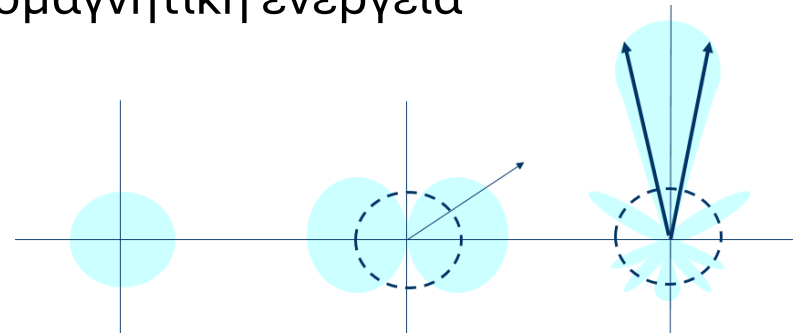
Θόρυβος δέκτη: Noise floor (αναπόφευκτο) + Noise figure (κατασκευαστικό)

Ισοζύγιο Ζεύξης – Κεραίες

- 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

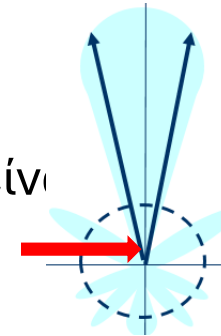
- Κάθε κεραία χαρακτηρίζεται από:

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



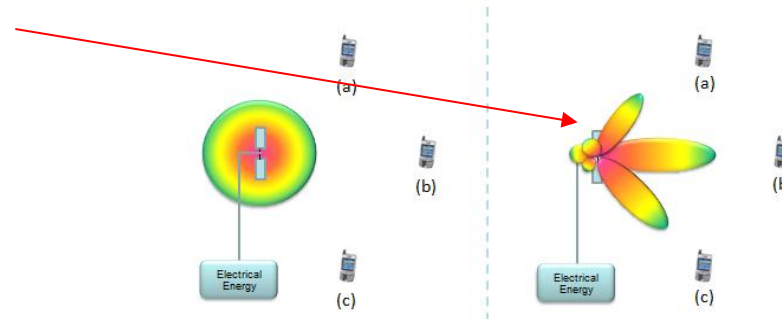
Ισοζύγιο Ζεύξης – Κεραίες

- 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



Ισοζύγιο Ζεύξης – Κεραίες

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



Point-to-point
(BS-to-core)

Κεφ 11

Πολυπλεξία και Πολλαπλή Πρόσβαση

Κανάλια Πολλαπλής Πρόσβασης

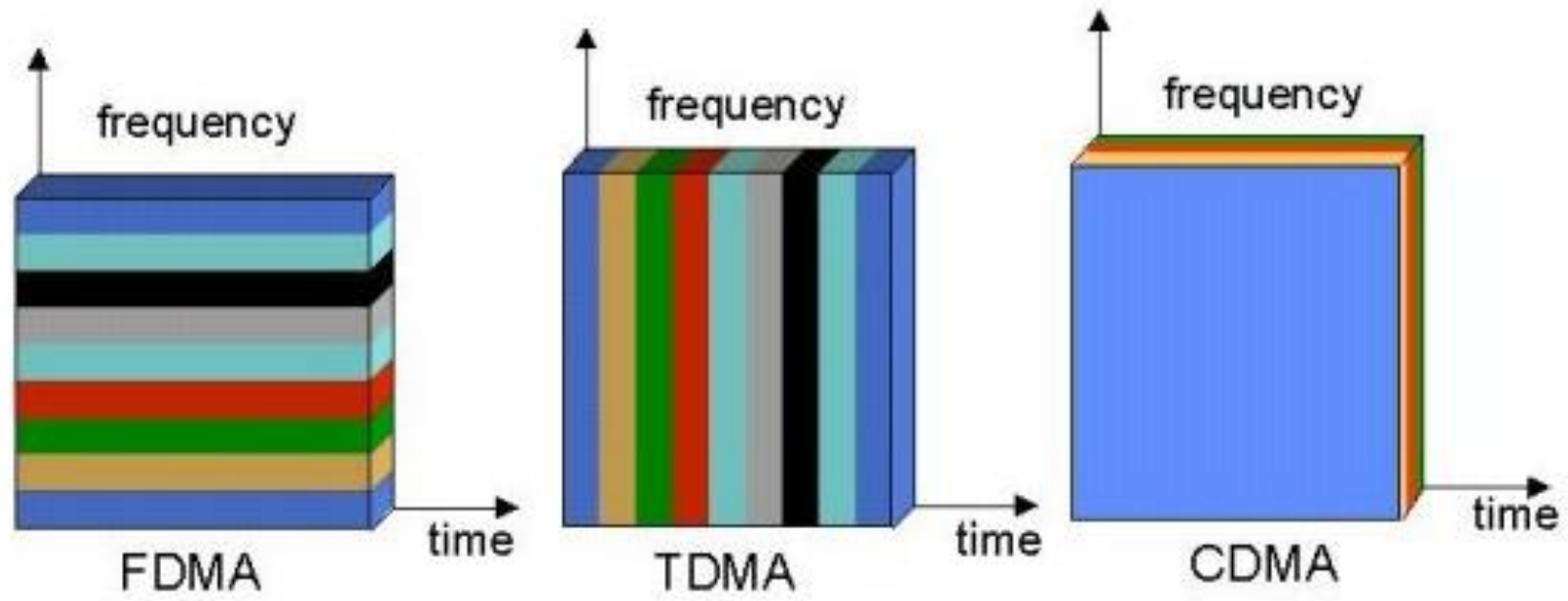
- N ανεξάρτητοι σταθμοί
 - ◆ Υπόθεση για πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό
 - ◆ Αφίξεις Poisson
 - ◆ Σταθερό μέγεθος πακέτου
- Ένα κοινό κανάλι
- Πιθανότητα συγκρούσεων
 - Ανίχνευση καναλιού
 - Αναγνώριση σύγκρουσης
- Χρονικές υποθέσεις
 - ◆ Μη συνεχής χρόνος / Σύγχρονη μετάδοση
 - ◆ Συνεχής χρόνος / Ασύγχρονη μετάδοση

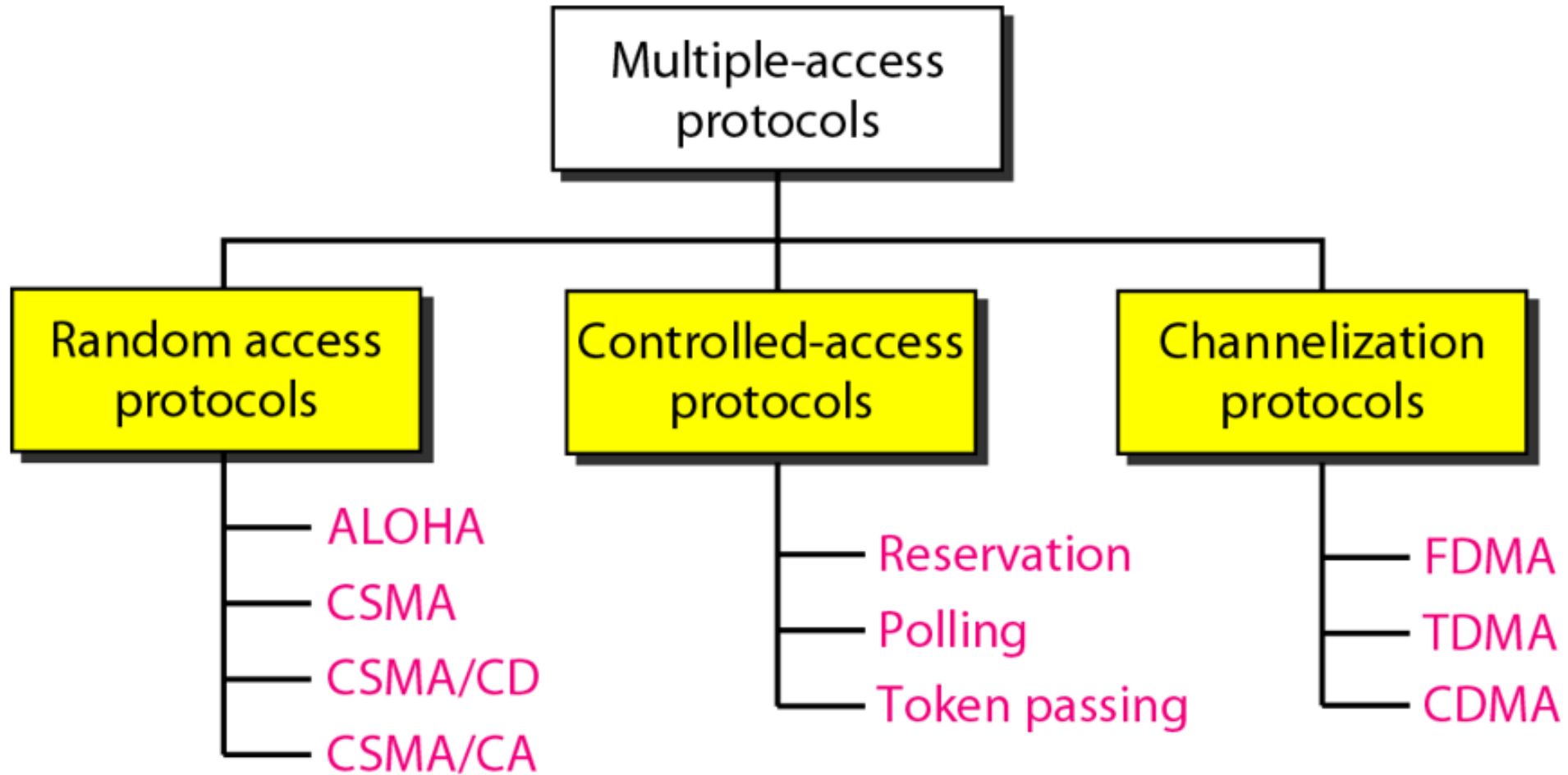
Τεχνικές πολυπλεξίας

- **Οι τεχνικές πολυπλεξίας χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται έναν κοινό πόρο μετάδοσης.**
Η κοινή χρήση ενός πόρου απαιτεί έναν μηχανισμό πρόσβασης που θα ελέγχει τον μηχανισμό πολυπλεξίας.
- Είναι επιθυμητό να επιτρέπεται η ταυτόχρονη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δύο χρηστών που συμμετέχουν σε μια σύνδεση. Αυτό ονομάζεται **διπλεξία (duplexing)**.
- Υπάρχουν δύο τύποι διπλεξίας:
- **Διαίρεση συχνότητας (FDD - Frequency Division Duplexing):** Σε αυτή την περίπτωση, δύο διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων εκχωρούνται σε μια σύνδεση, ένα για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης.
- **Διαίρεση χρόνου (TDD - Time Division Duplexing):** Δύο χρονοθυρίδες (time slots), τοποθετημένες κοντά χρονικά για να επιτευχθεί το αποτέλεσμα της διπλεξίας, εκχωρούνται σε μια σύνδεση, μία για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης.

Πολυπλεξία

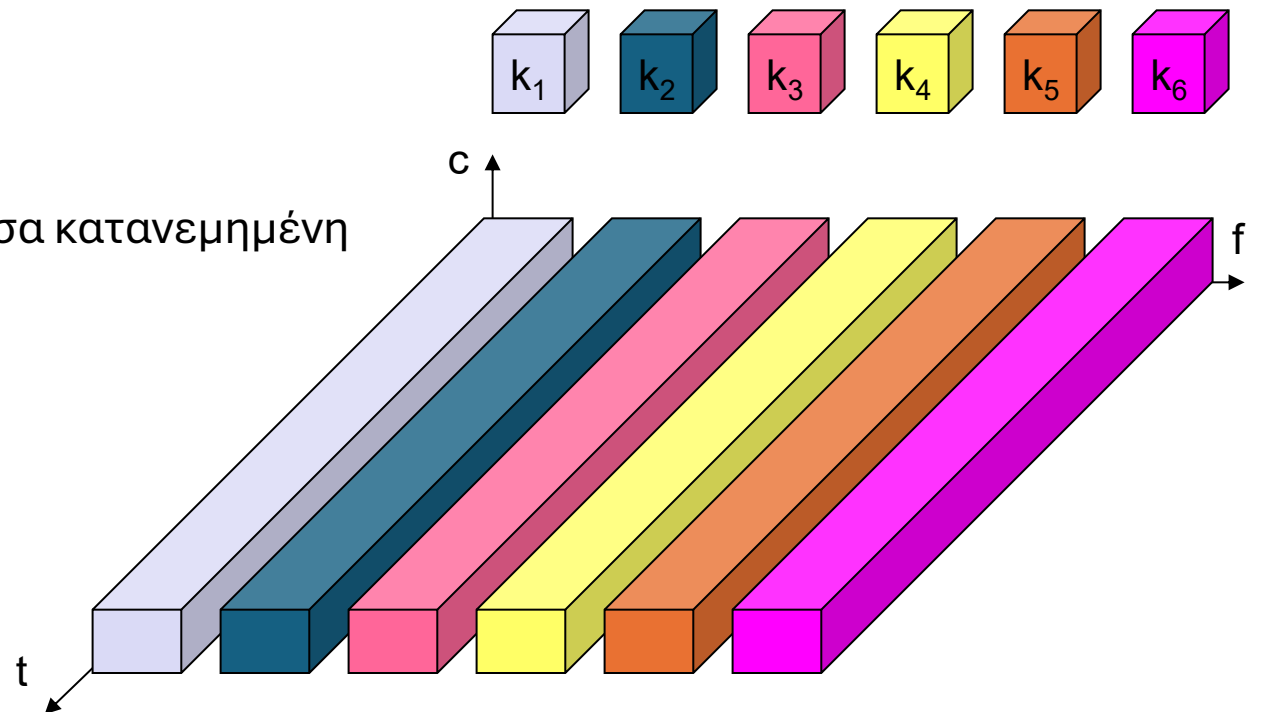
- Επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση από διαφορετικές πηγές στο ίδιο μέσο
- Τρία βασικά είδη
 - **TDM/TDMA** (Time Division Multiple Access)
 - **FDM/FDMA** (Frequency Division Multiple Access)
 - **CDMA** (Code Division Multiple Access)
 - Combinations of the above





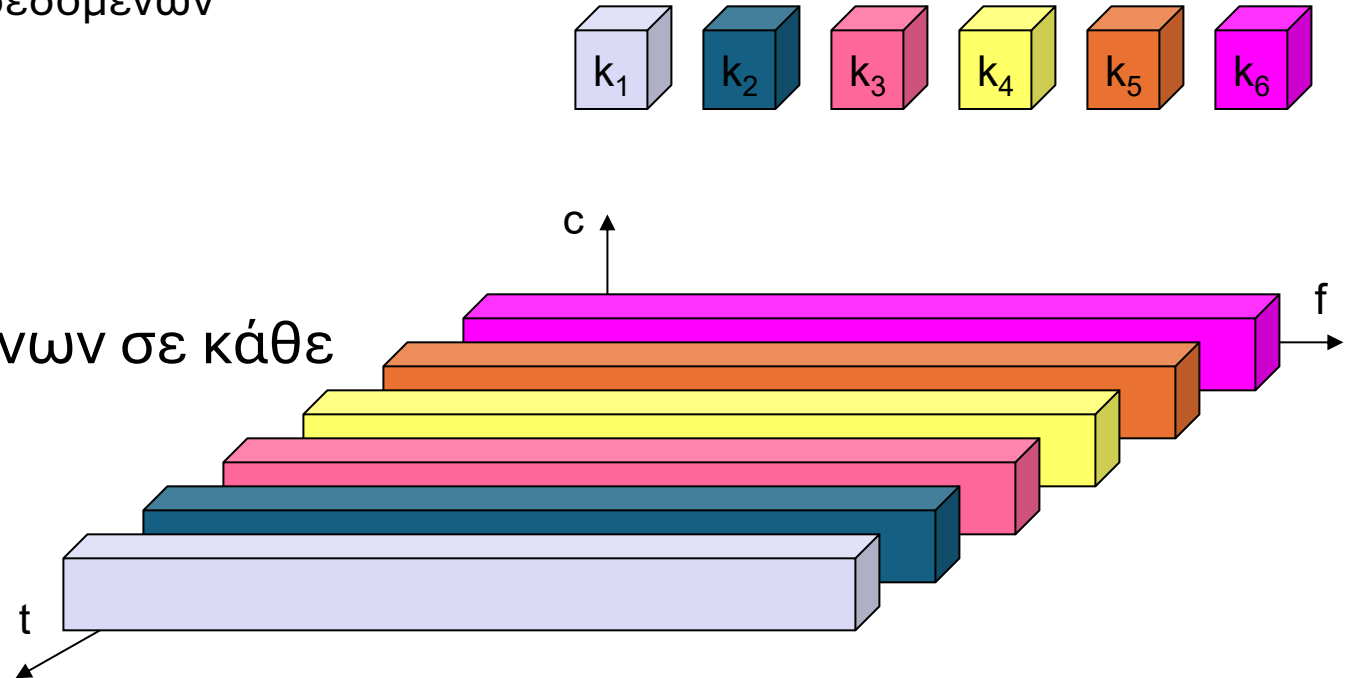
Frequency Division Multiplexing (FDM)

- **Διαχωρισμός ολόκληρου του φάσματος σε μικρότερες ζώνες συχνοτήτων**
Ένα κανάλι λαμβάνει μια συγκεκριμένη ζώνη του φάσματος για όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- **Πλεονεκτήματα:**
 - Δεν απαιτείται δυναμικός συντονισμός
 - Λειτουργεί και για αναλογικά σήματα
 - Χαμηλότερο κόστος
- **Μειονεκτήματα:**
 - Σπατάλη εύρους ζώνης όταν η κυκλοφορία είναι άνισα κατανομημένη
 - Έλλειψη ευελιξίας



Time Division Multiplexing (TDM)

- Ένα κανάλι λαμβάνει ολόκληρο το φάσμα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
- Πλεονεκτήματα:
 - Μόνο ένας φορέας στο μέσο κάθε φορά
 - Υψηλή απόδοση – υποστηρίζει εκρήξεις δεδομένων
 - Ευέλικτο – πολλαπλές χρονοθυρίδες
- Μειονεκτήματα:
- Απαιτείται ακριβής συγχρονισμός
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων σε κάθε
 - Πομπό (Tx)
 - Δέκτη (Rx)



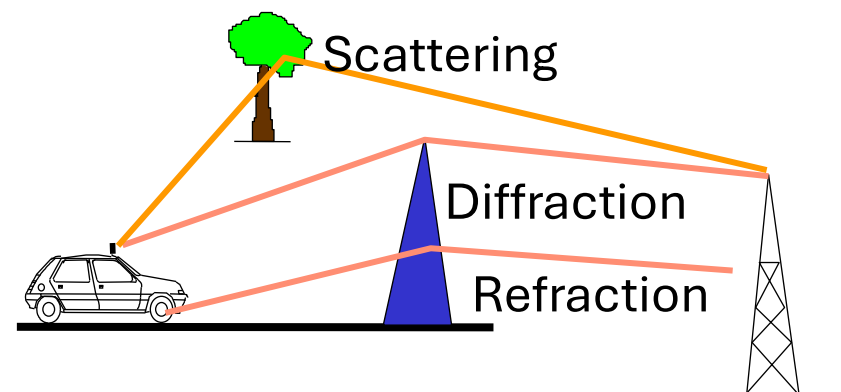
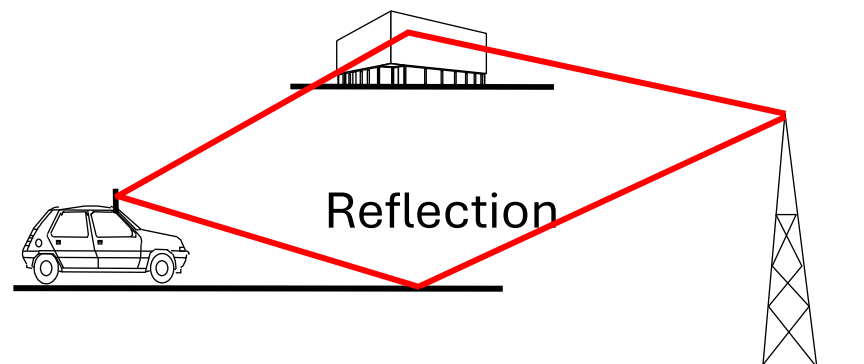
Κεφ 14

Κανάλια Διαλείψεων

Γενικές αρχές για τη διάδοση

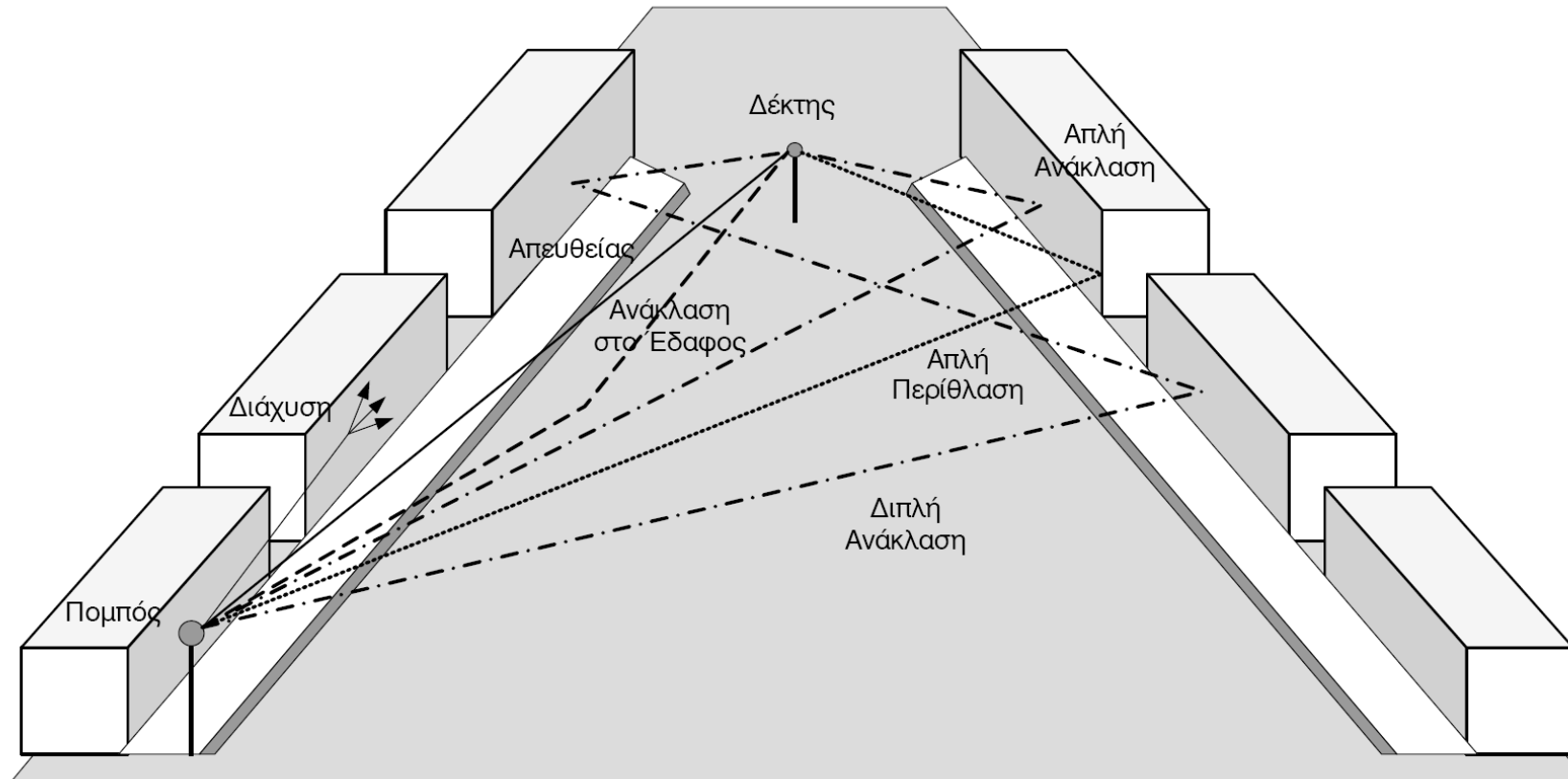
Οι μηχανισμοί που διέπουν τη διάδοση είναι πολύπλοκοι και ποικίλοι – τέσσερις είναι οι βασικοί:

- **Ανάκλαση (reflection):** διαστάσεις εμποδίων $\gg \lambda$ – διάδοση προς μια κατεύθυνση.
- **Διάθλαση (refraction):** συμπαγή εμπόδια στην πορεία του σήματος $\gg \lambda$.
- **Σκέδαση (scattering):** διαστάσεις εμποδίων $\leq \lambda$ – διάδοση σε διαφορετικές κατευθύνσεις.
- **Περίθλαση (diffraction):** παρεμβολή σώματος στη διαδρομή διάδοσης (δευτερογενή κύματα – αρχή Huygens).

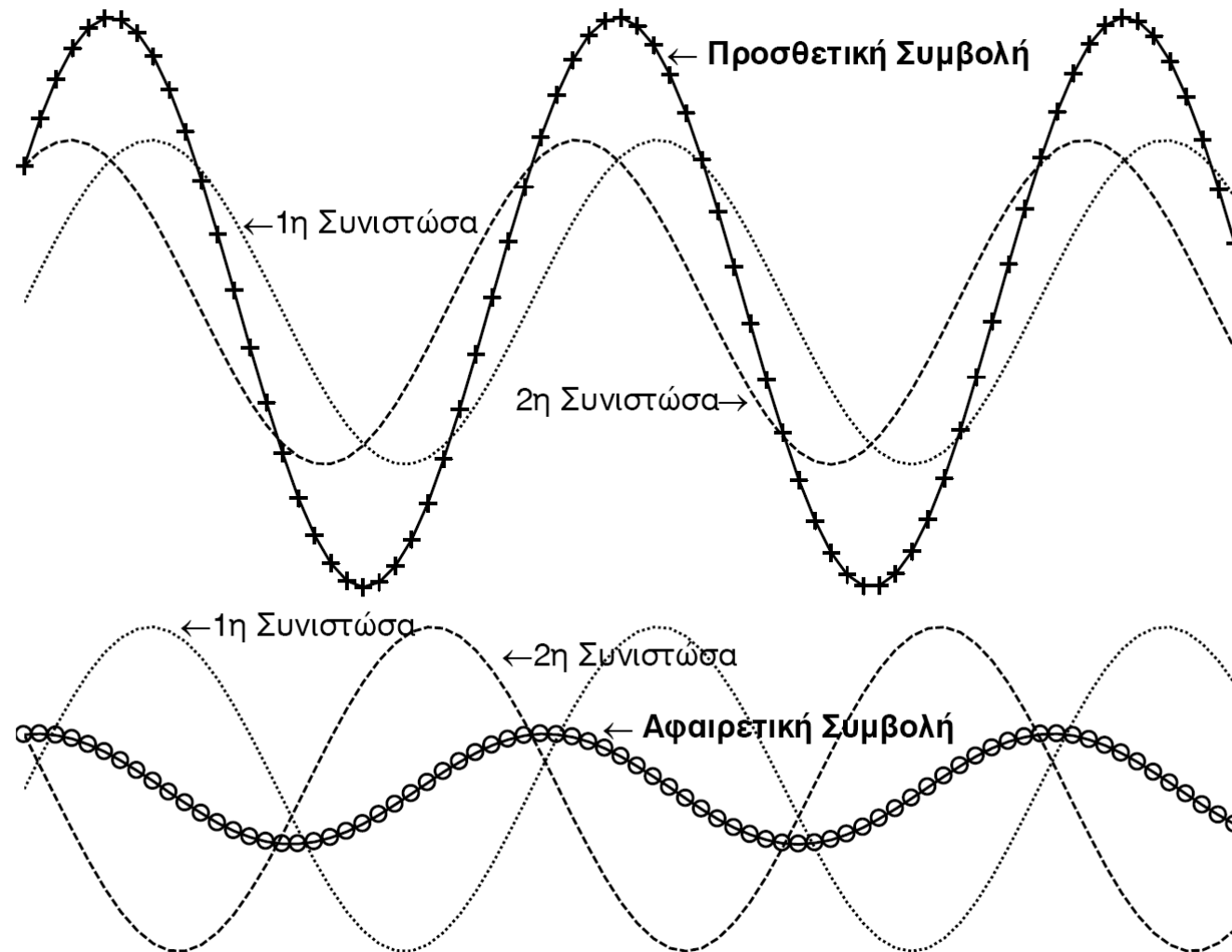


**** Μπορεί να δημιουργούν προβλήματα αλλά να δίνουν και λύσεις όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή ****

Περιβάλλον διάδοσης

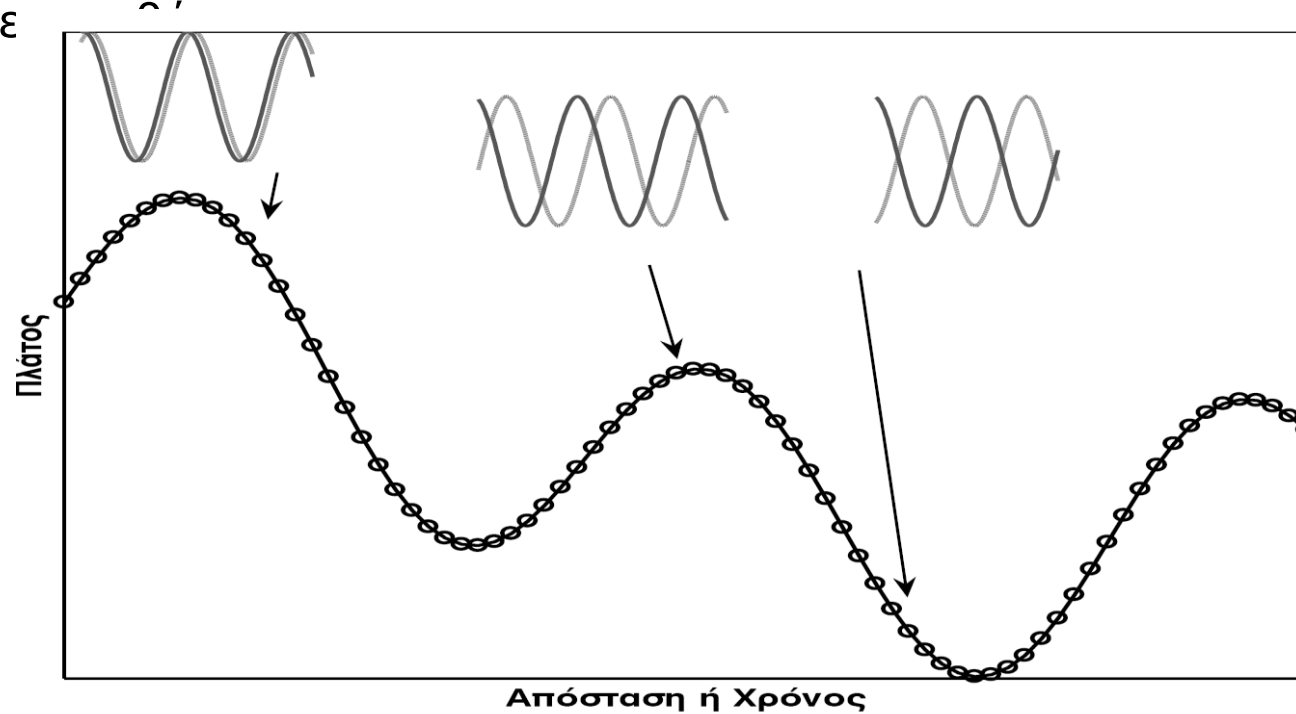


Συμβολή κυμάτων



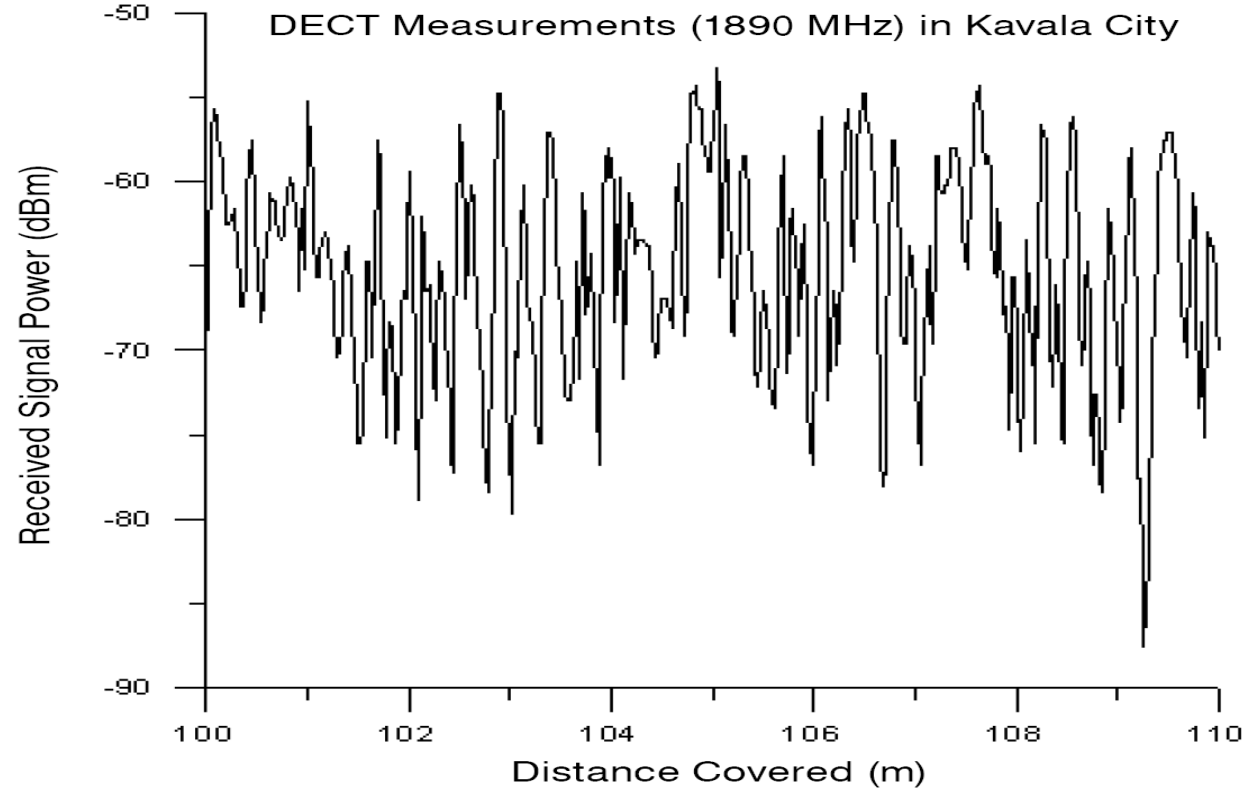
Κινητός δέκτης – Δύο συνιστώσες

- Δυναμικό περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης
 - Συνεχής αλλαγές του ηλεκτρικού μήκους μονοπατιού και σχετικές ολισθήσεις φάσης συναρτήσε



Κινητός δέκτης – Πραγματικότητα

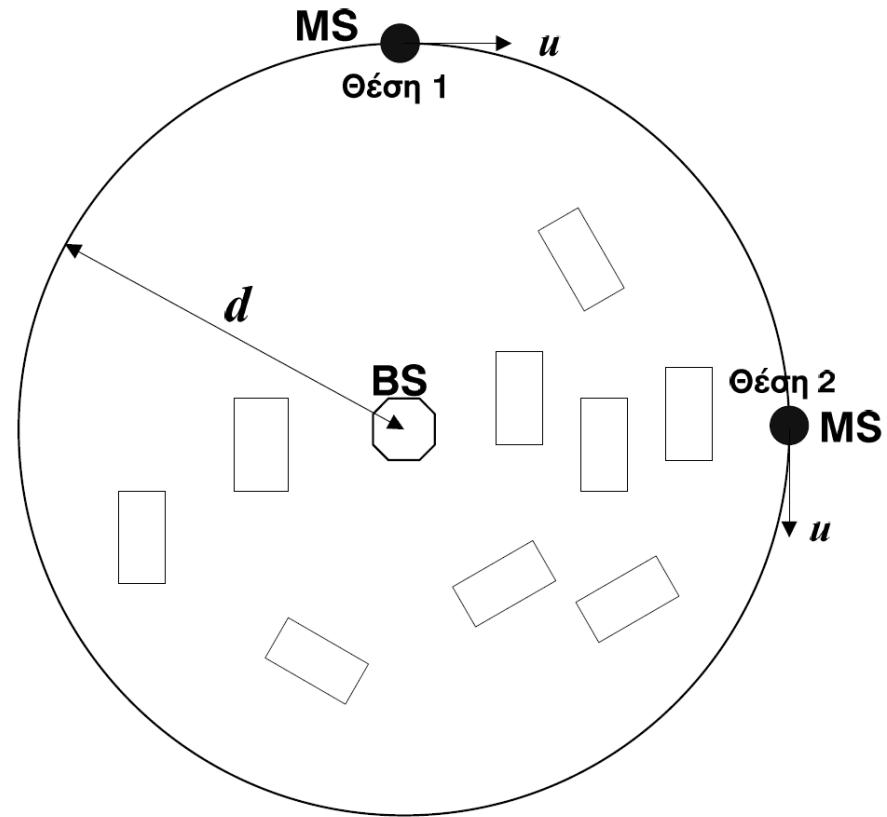
- Περισσότερες και ποικιλόμορφες συνιστώσες
 - Πιο περίπλοκη περιβάλλουσα στο δέκτη
 - Ο δέκτ



Είδη διαλείψεων

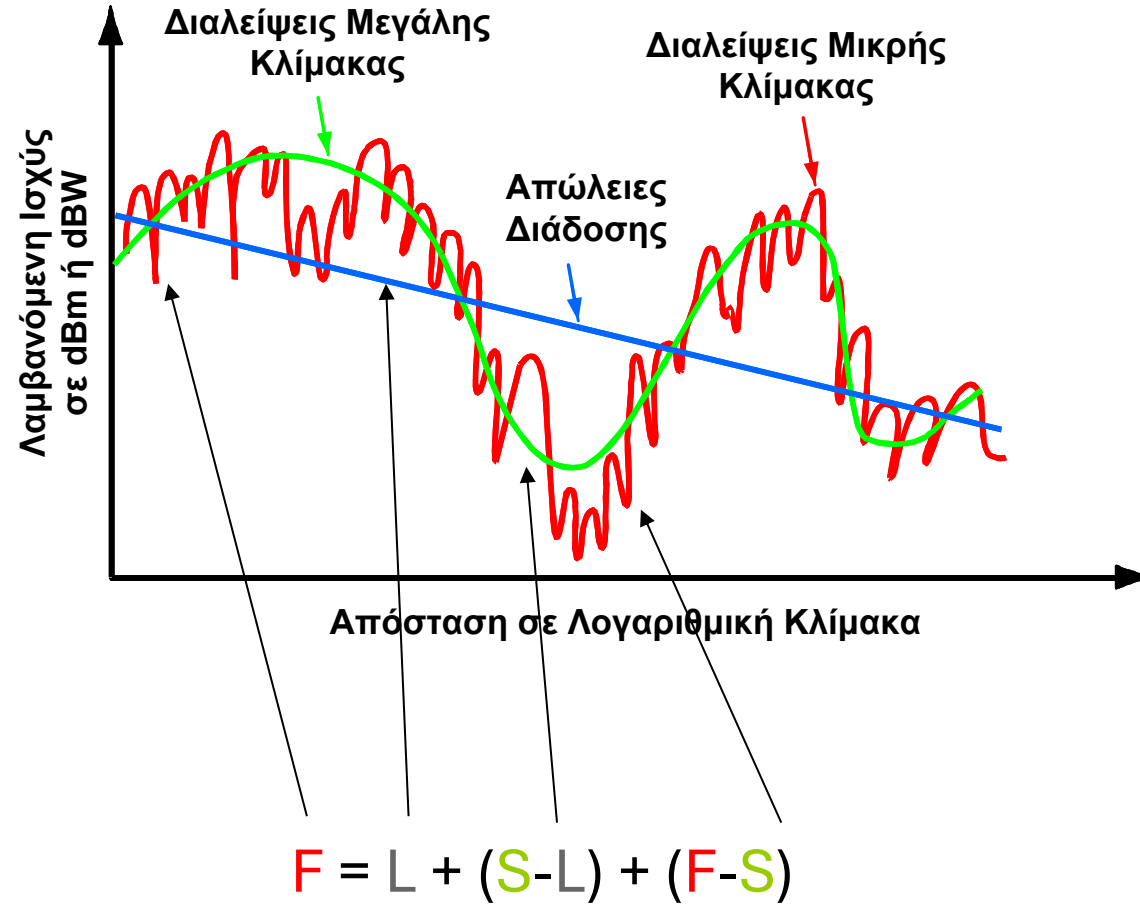
- Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading)
 - Απώλειες Διάδοσης
 - Μεταβολή της μέσης εξασθένισης με την απόσταση
 - Σκίαση (μεγάλα εμπόδια)
 - Τυχαία μεταβολή της εξασθένισης γύρω από τη μέση τιμή για δεδομένη απόσταση
- Διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading)
 - Μεταβολή των χαρακτηριστικών 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



Κεφ 15

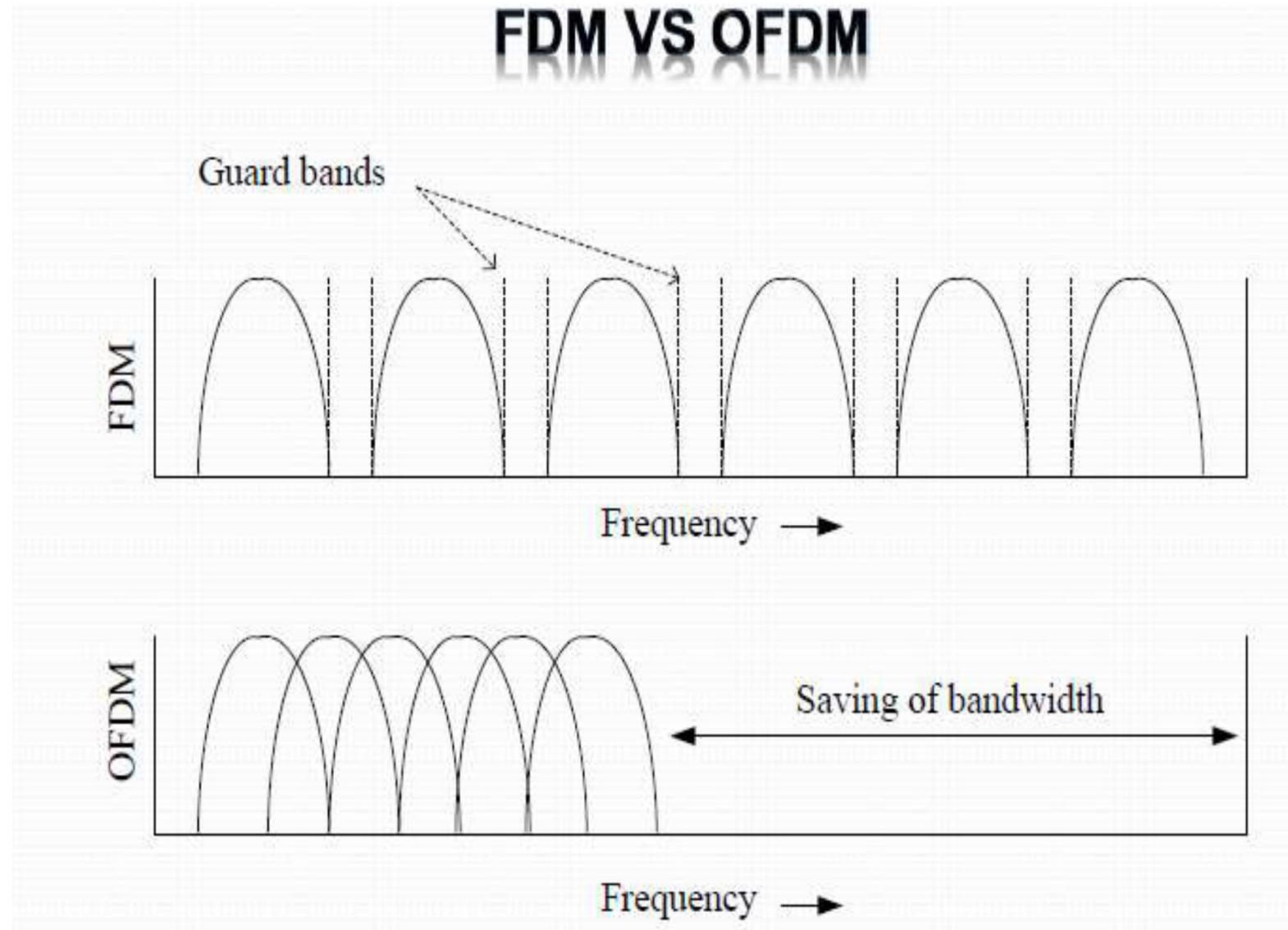
Ορθογωνική Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM)

Κεντρική Ιδέα

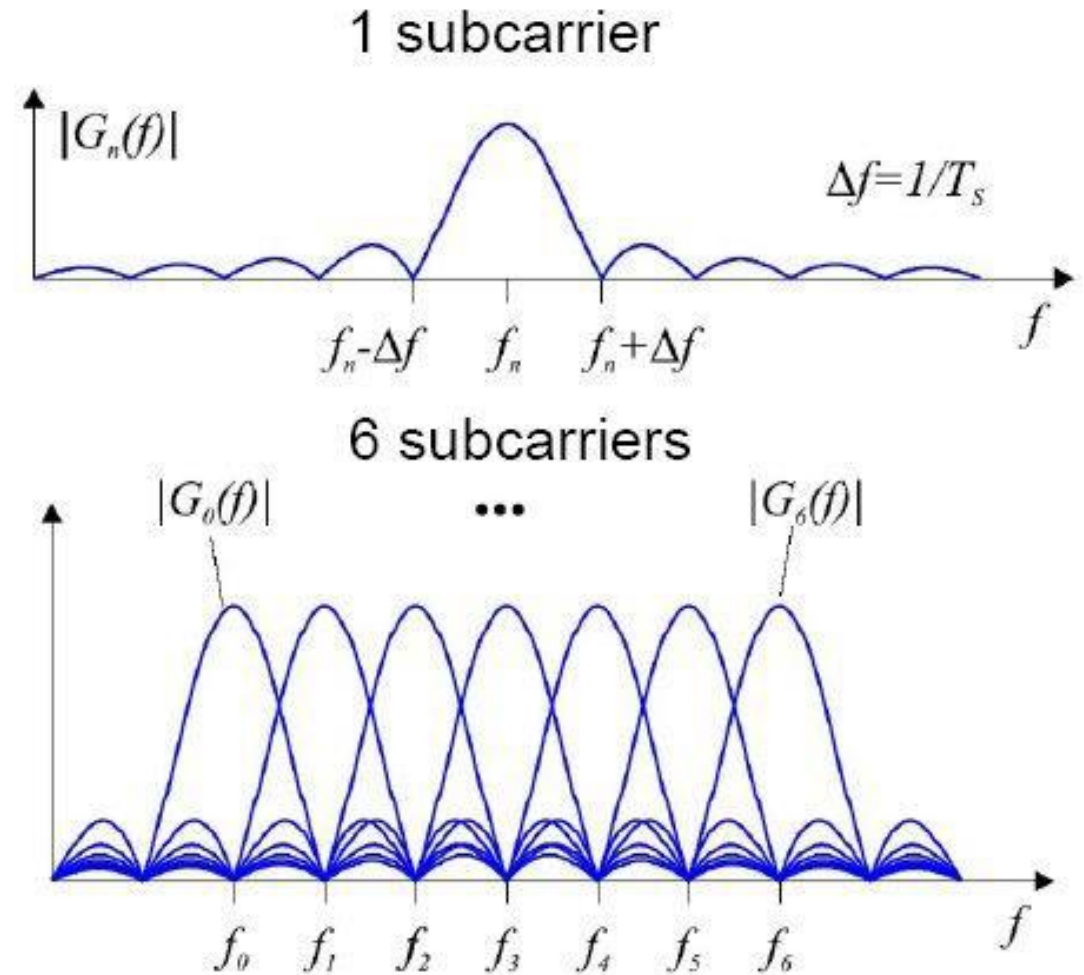
- OFDM: Orthogonal frequency-division multiplexing
- Συνδυασμός διαμόρφωσης και πολυπλεξίας
- Κατάτμηση ενός μεγάλου πακέτου-προς-μετάδοση σε μικρότερα πακέτα
 - Αντιμετωπίζεται το πρόβλημα Single Point of Failure – SPOF
 - Αντιμετωπίζεται το πρόβλημα περιορισμένου συνεχόμενου εύρους ζώνης, χωρίς διαλείψεις
- Τα μικρότερα πακέτα στέλνονται μέσω ζεύξεων μικρότερου ρυθμού δεδομένων

OFDM

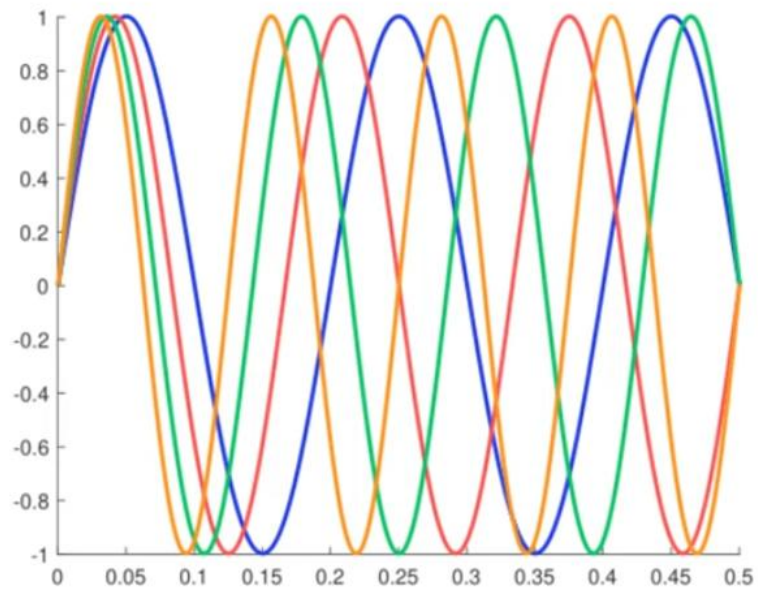
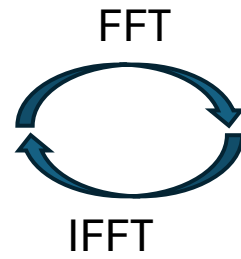


OFDM

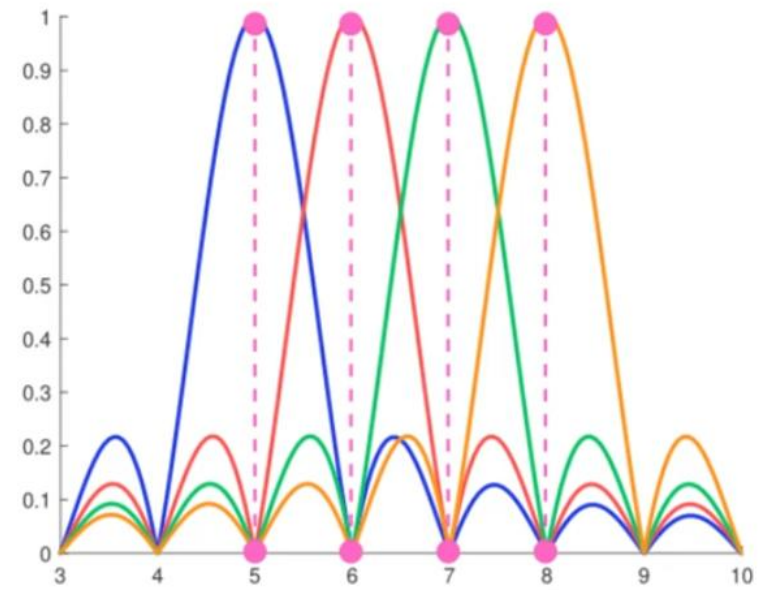
- Καλύτερη φασματική απόδοση
- Reduce ISI effect by multipath



OFDM



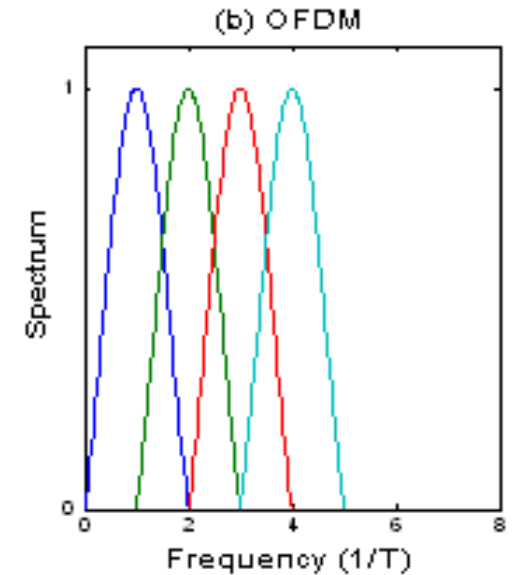
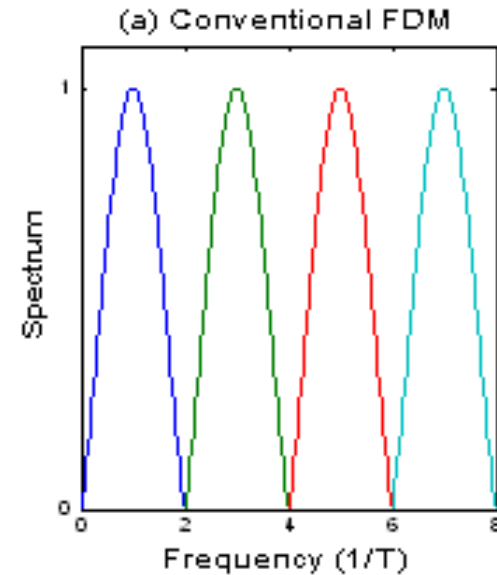
Time



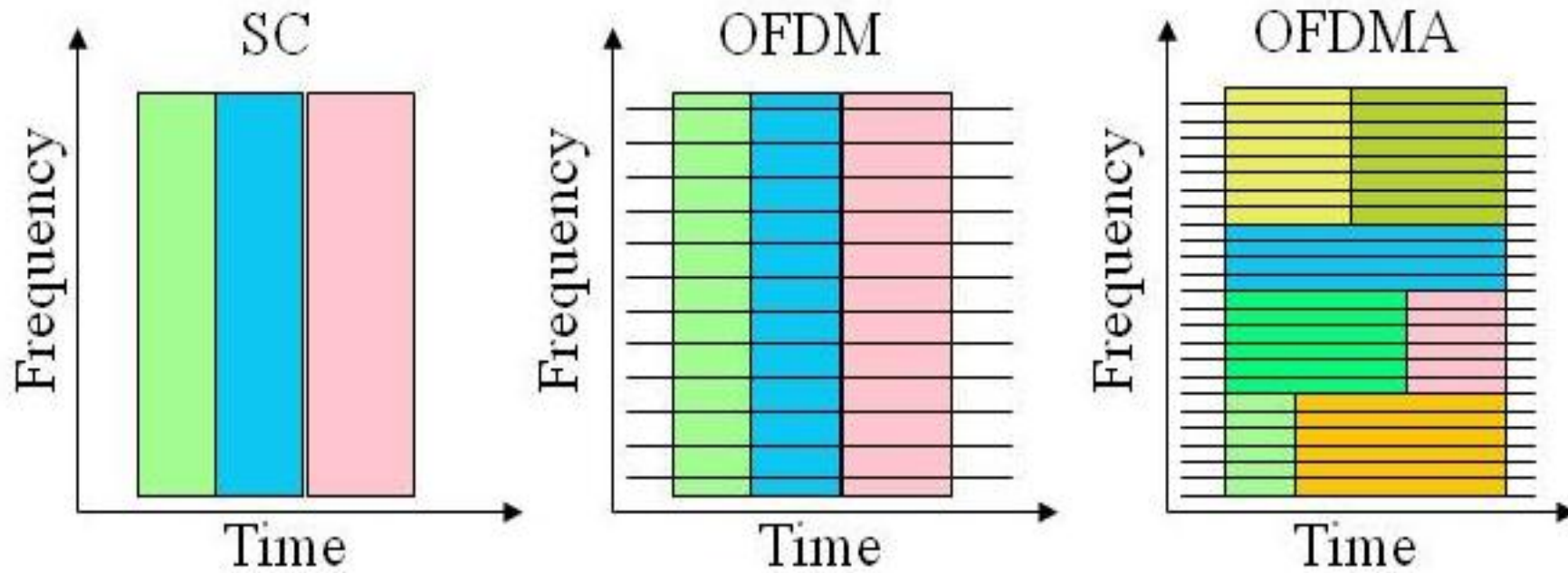
Frequency

OFDM συν και πλην

- Συν
 - Φασματική απόδοση
 - Ανθεκτικό στην ενδοκαναλική παρεμβολή
 - Μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση (περισσότερες υποφέρουσες)
- Πλην
 - Πιο ευαίσθητο σε διακυμάνσεις συχνότητας
 - Πιο απαιτητικό σε κατανάλωση ενέργειας



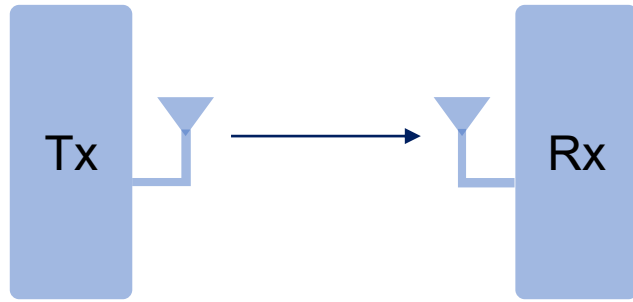
SC/OFDM/OFDMA



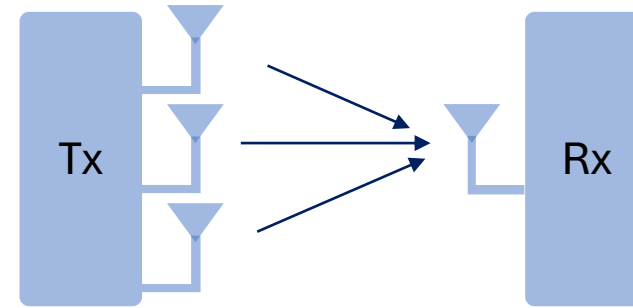
Κεφ 16

Πολλαπλές Κεραίες

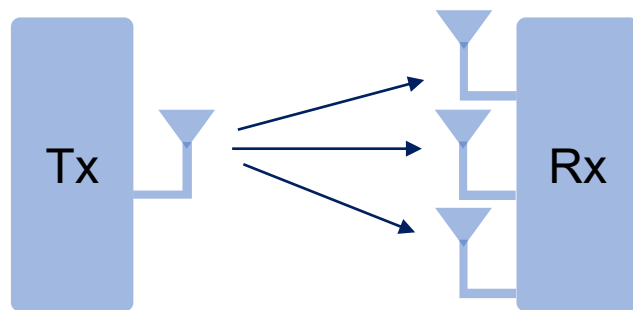
MIMO



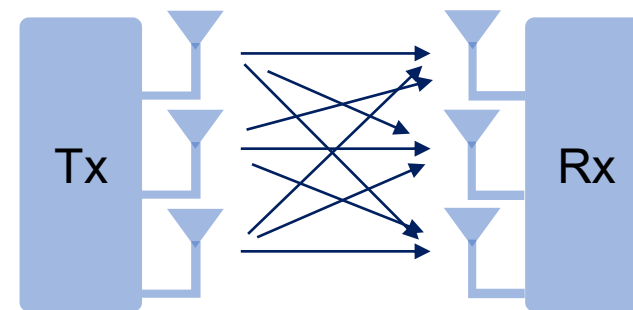
SISO (Single Input Single Output)



MISO (Multiple Input Single Output)

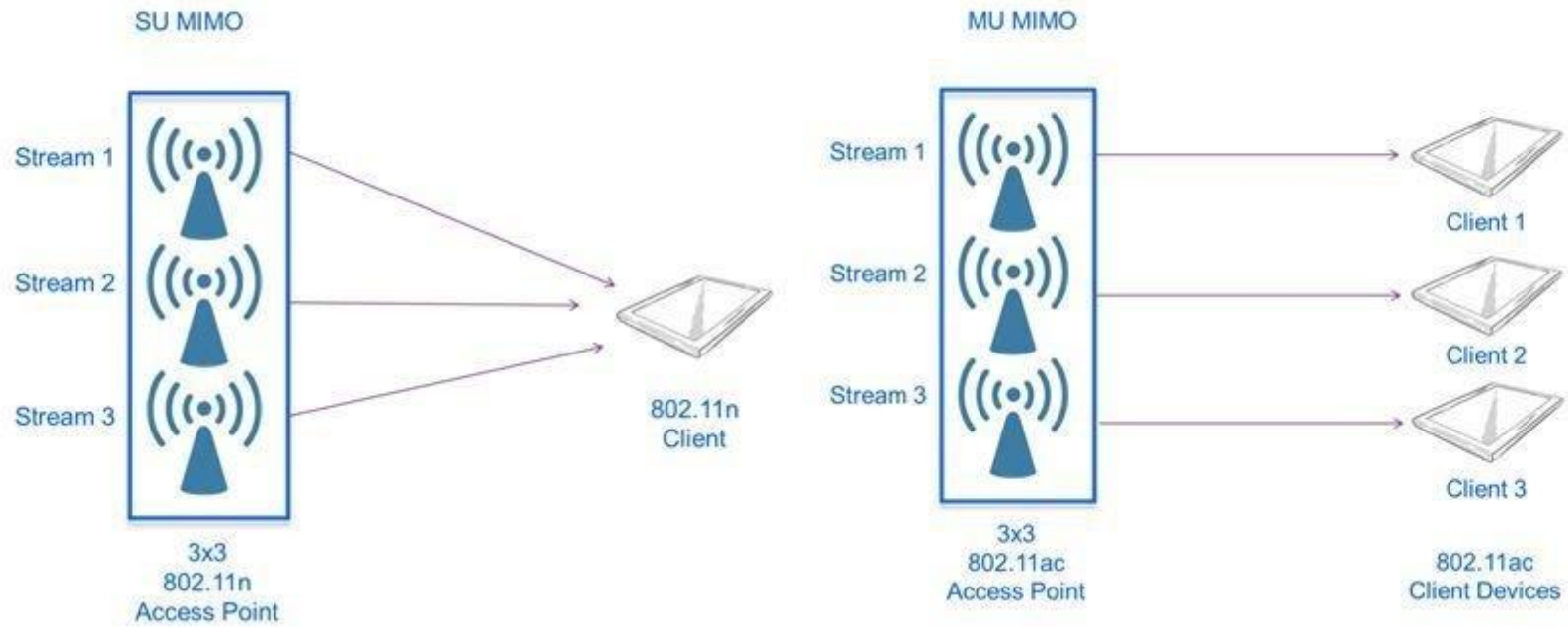


SIMO (Single Input Multiple Output)

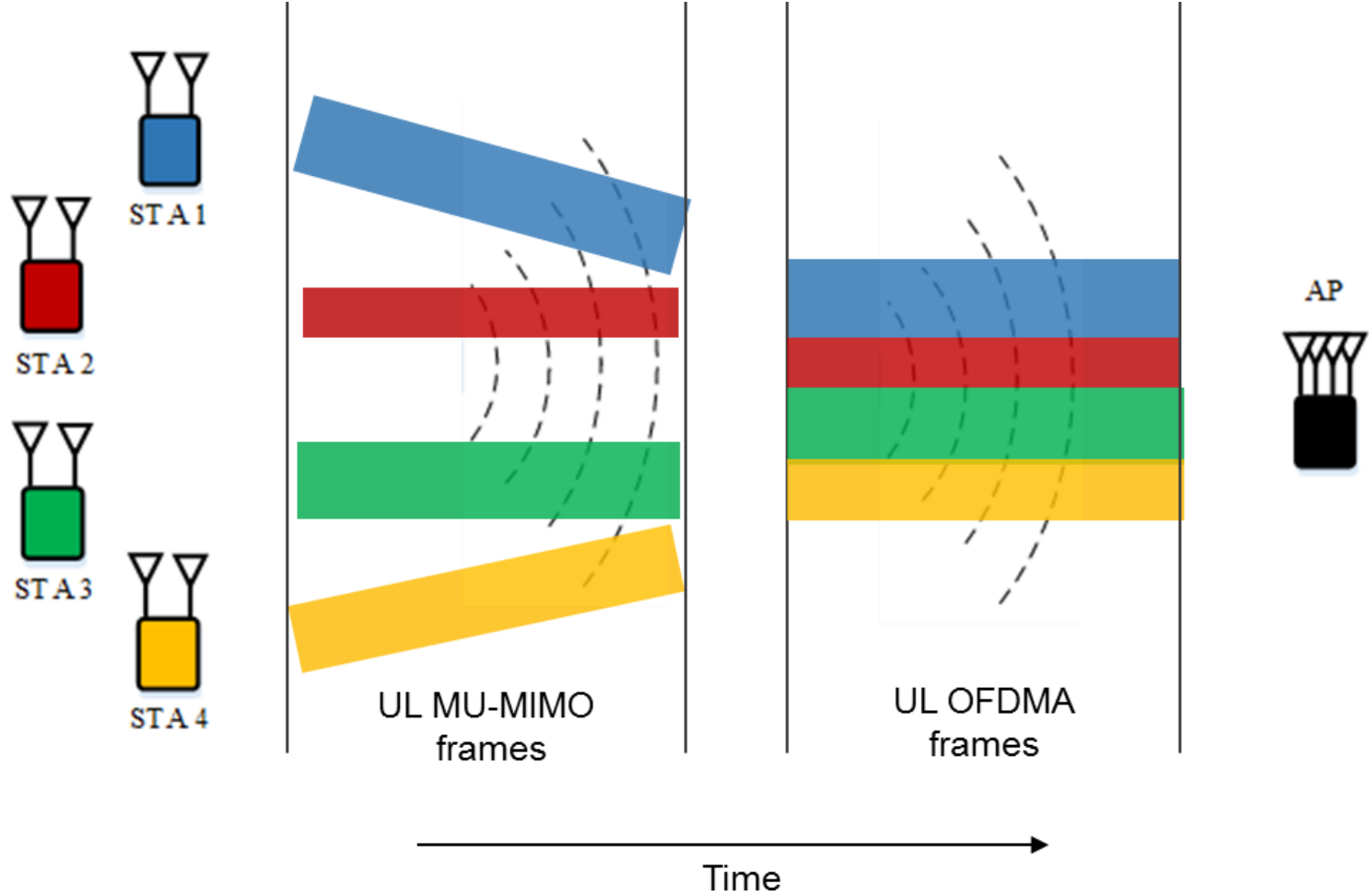


MIMO (Multiple Input Multiple Output)

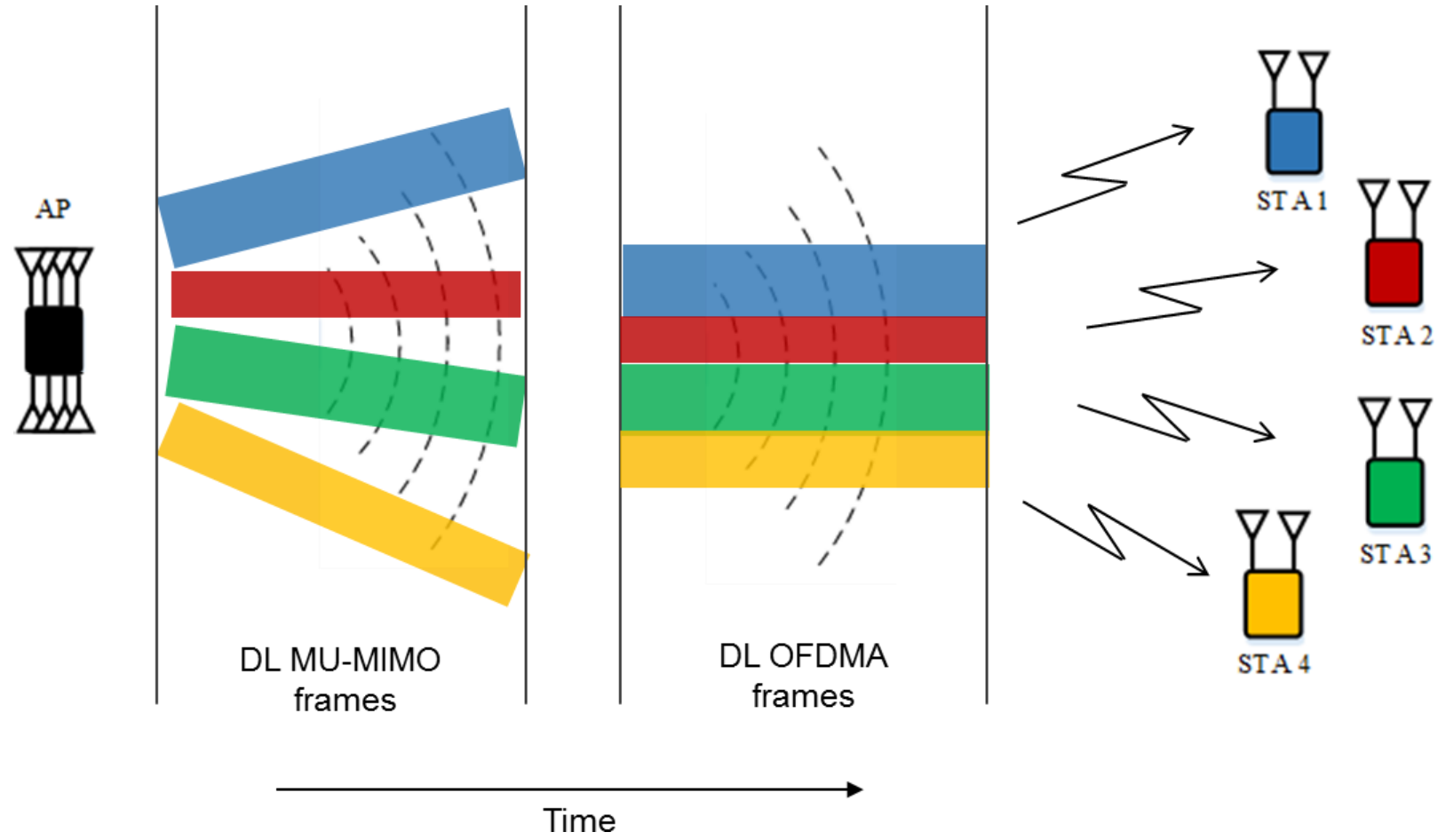
SU/MU-MIMO



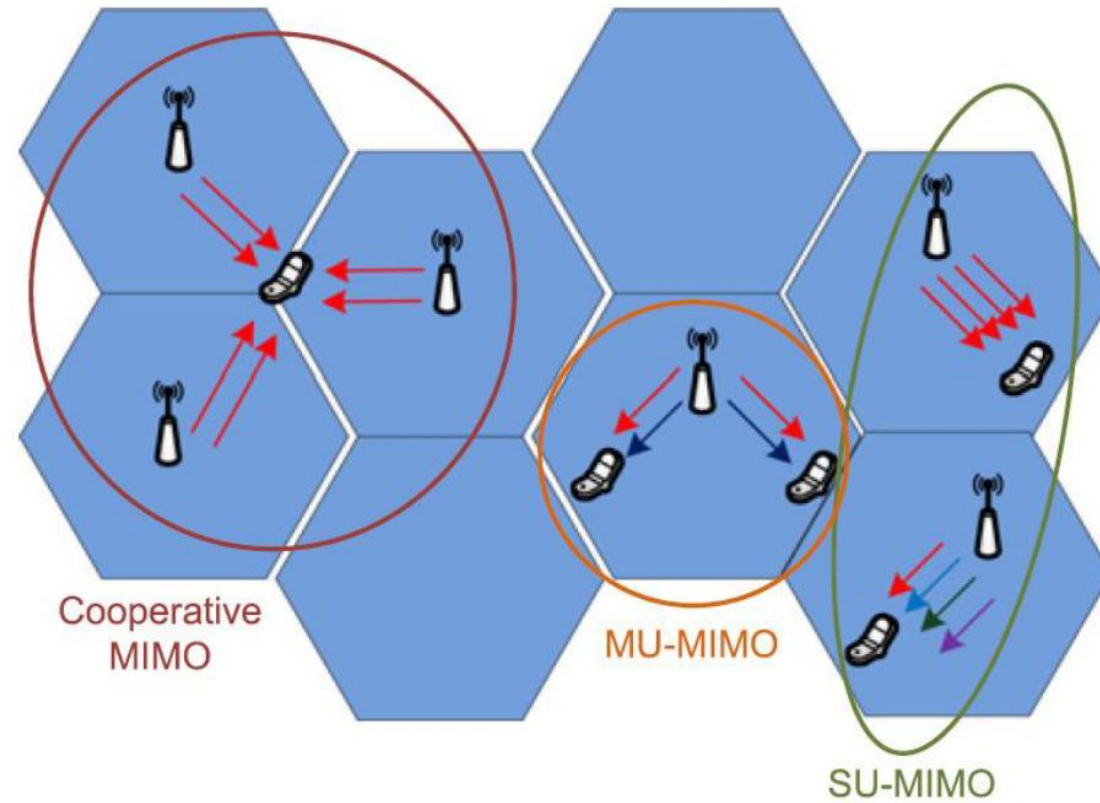
UL MU-MIMO



DL MU-MIMO

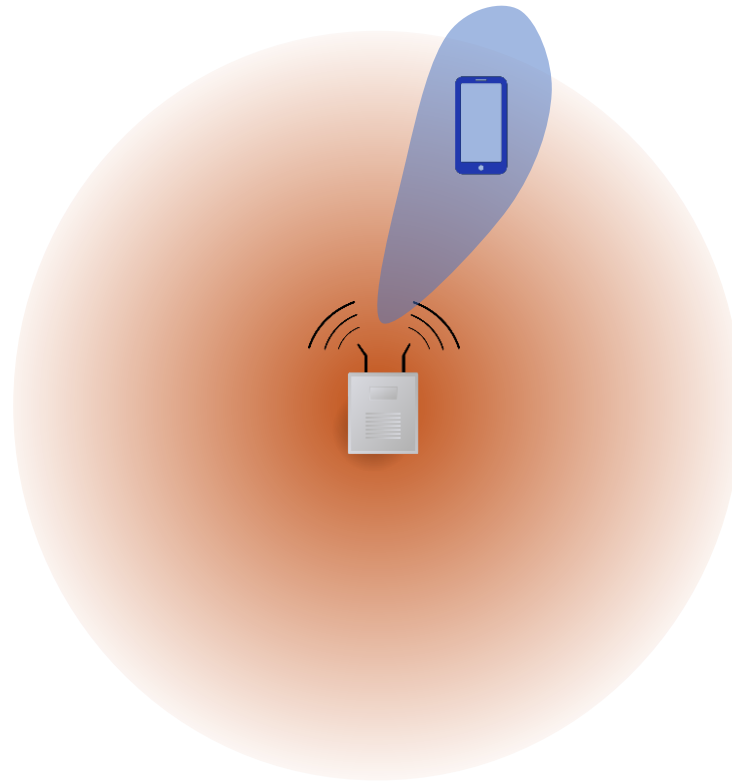


Σχήματα ΜΙΜΟ



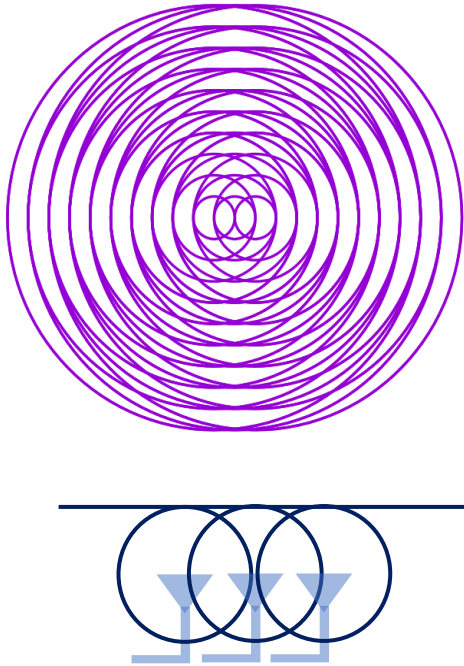
Beamforming

Χρήση πολλών πανκατευθυντικών κεραιών για υλοποίηση κατευθυντικότητας



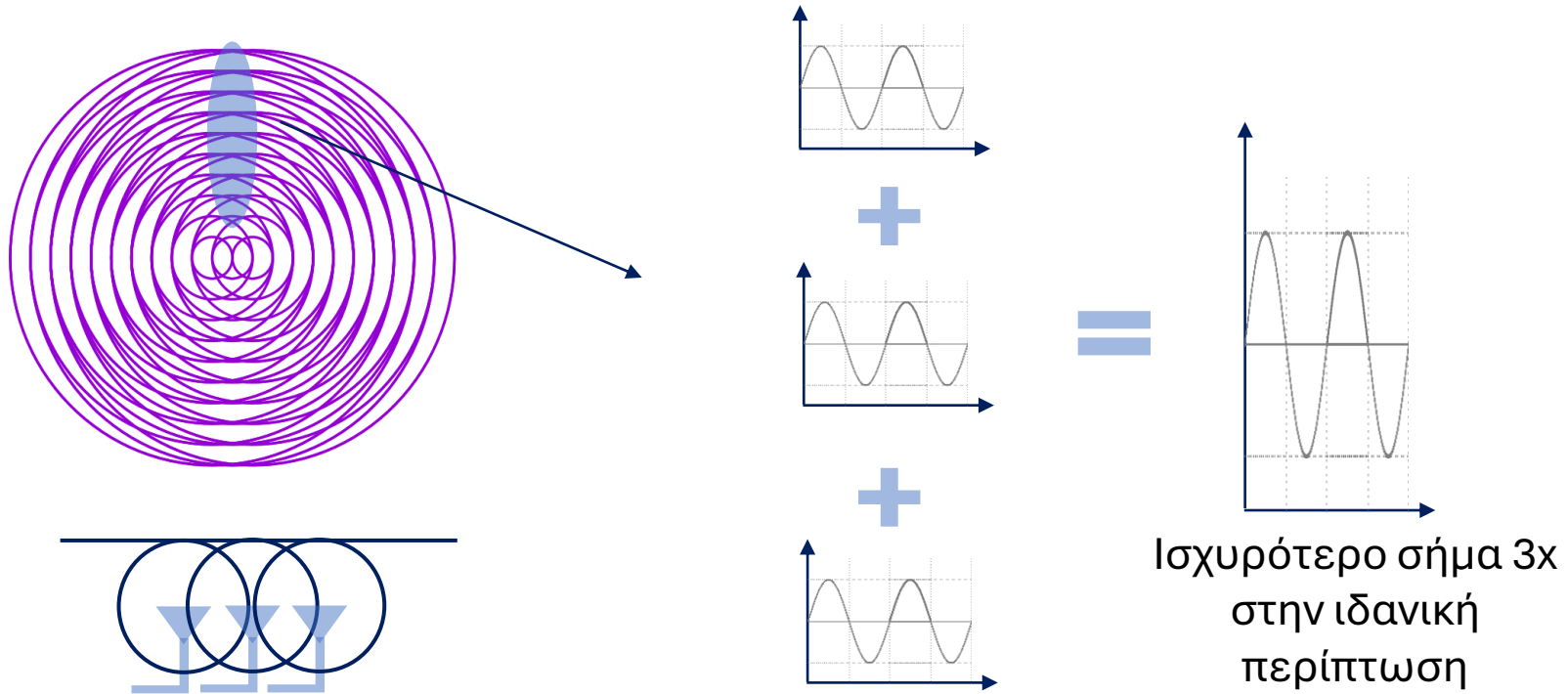
Beamforming

- Beamforming using multiple antenna



Beamforming

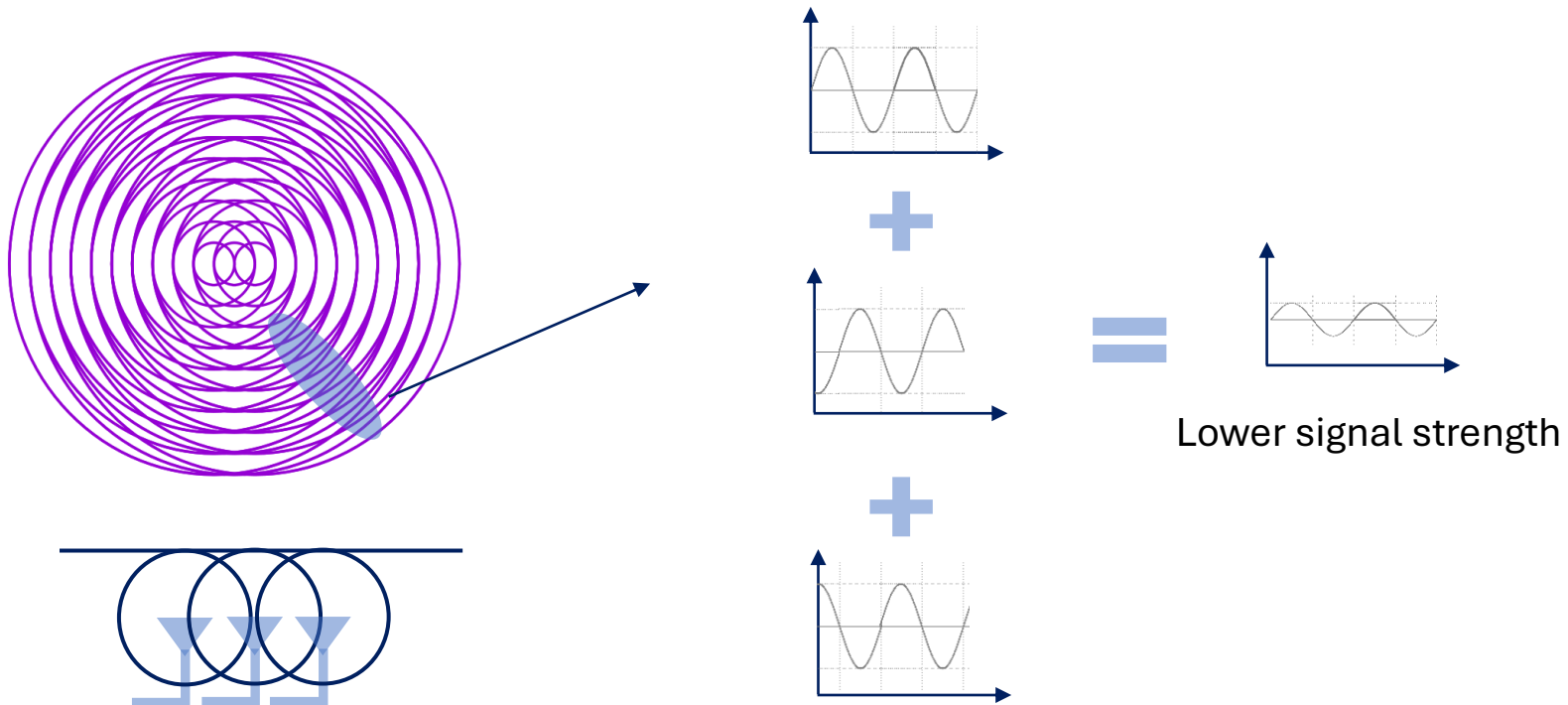
- Beamforming
 - Παραγωγική παρεμβολή
 - Όταν τα σήματα είναι σε φάση, το σήμα ενισχύεται



Beamforming

- Beamforming
 - Παραγωγική παρεμβολή
 - Όταν τα σήματα είναι εκτός φάσης, το σήμα αποδυναμώνεται

Πιο αποδοτικό σε υψηλές συχνότητες, γιατί?
Στα 5GHz 1wavelength = 6mm



Beamforming

- Beamforming
 - Αλλαγή φάσης για έλεγχο κατευθυντικότητας

