



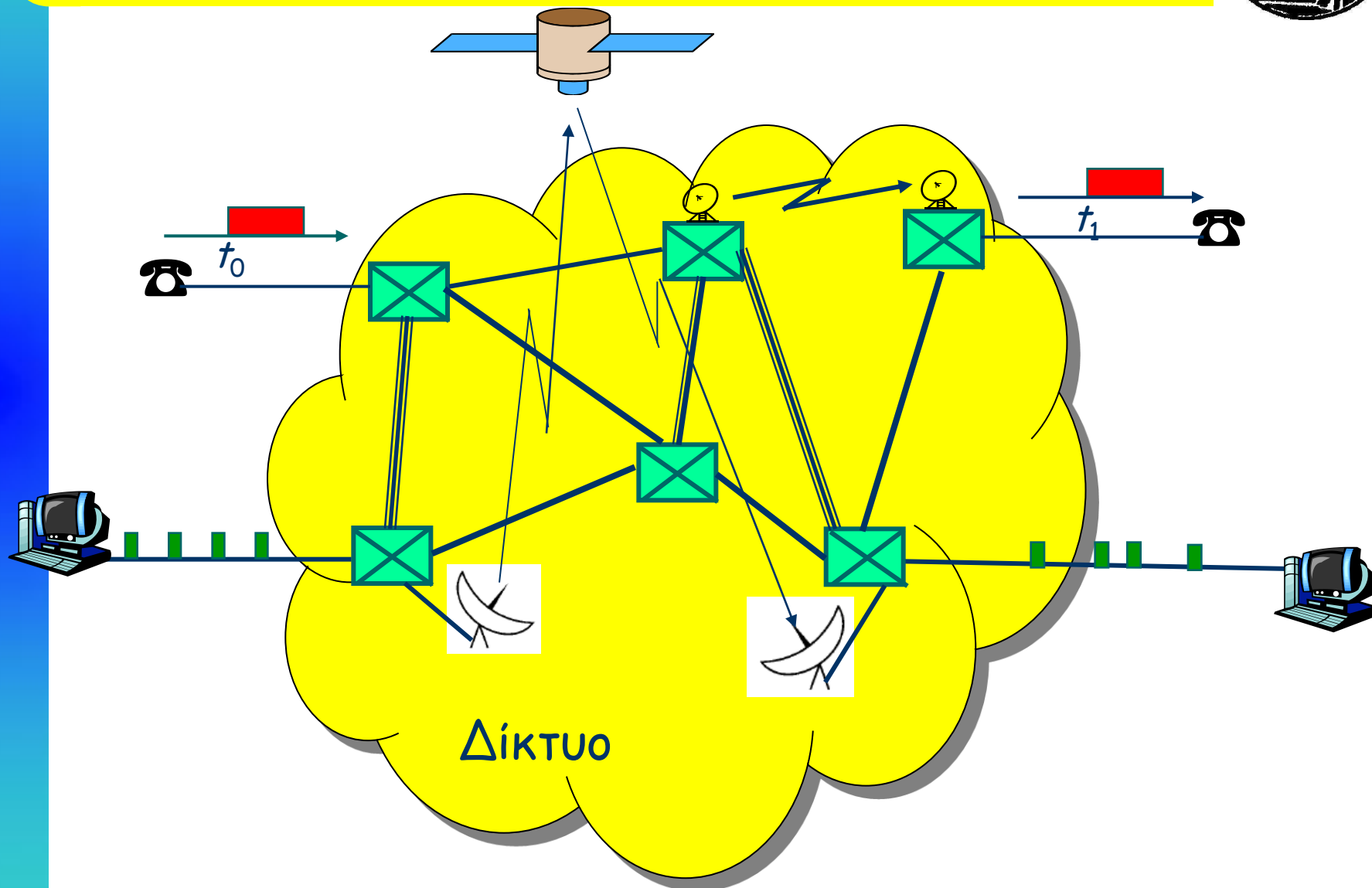
# ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Φυσικό στρώμα

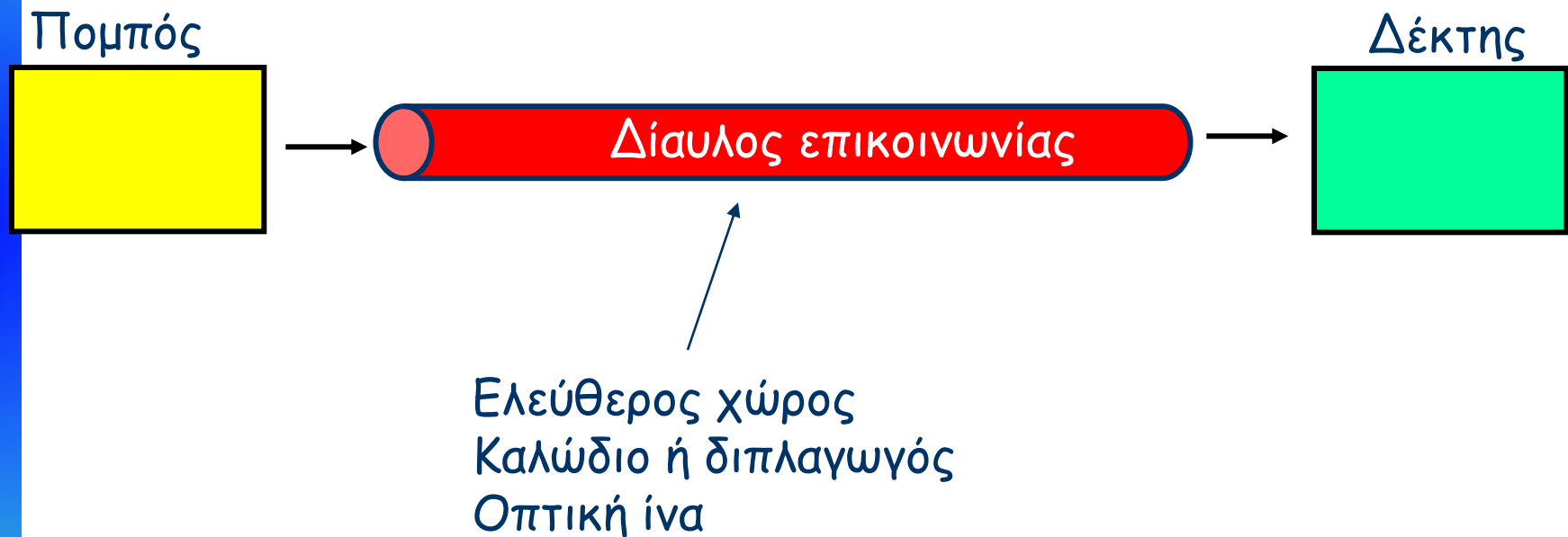


- Εισαγωγή στα συστήματα μετάδοσης
- Μετάδοση σημάτων (αναλογική, ψηφιακή)
- Περιορισμοί στη μετάδοση
- Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης
- Μετάδοση στη βασική ζώνη
- Ψηφιακή διαμόρφωση
- Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης
- Συγχρονισμός στην ψηφιακή μετάδοση

# Συστήματα μετάδοσης



# Συστήματα μετάδοσης

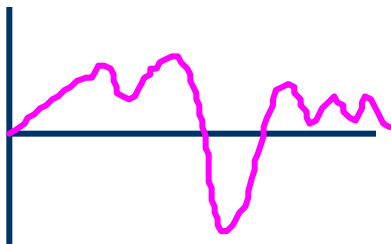


# Μετάδοση σημάτων

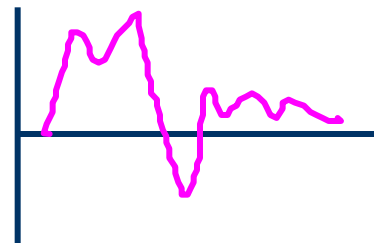


(α) **Αναλογική μετάδοση:** όλες οι λεπτομέρειες πρέπει να αναπαράγονται ακριβώς.

Εκπομπή

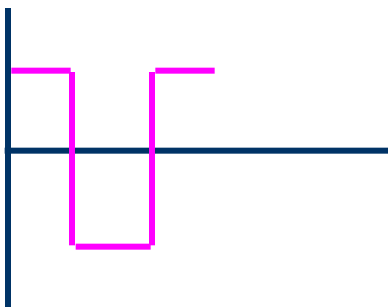


Λήψη

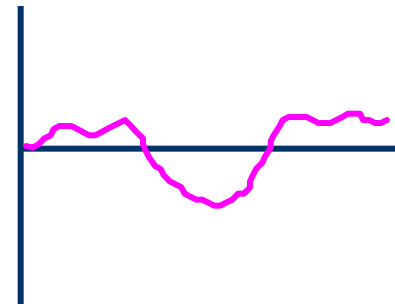


(β) **Ψηφιακή μετάδοση:** μόνο διακεκριμένες στάθμες πρέπει να αναπαράγονται.

Εκπομπή



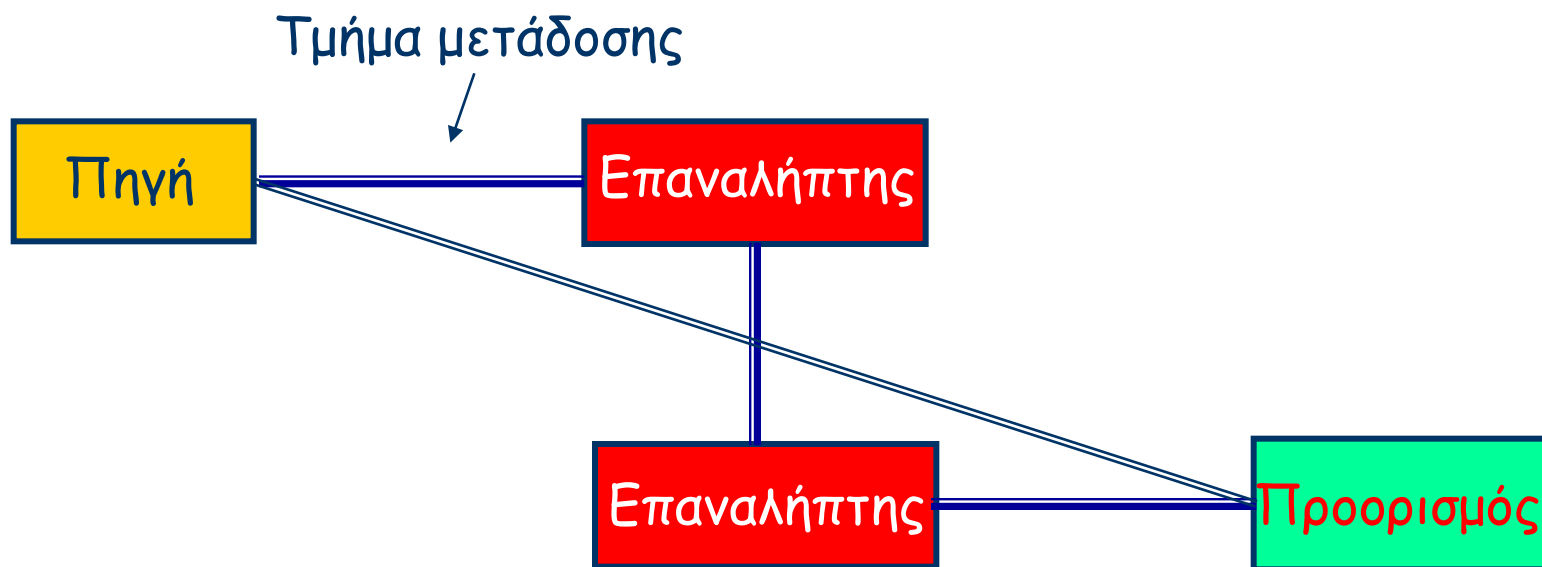
Λήψη



# Μετάδοση σημάτων



## Μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις

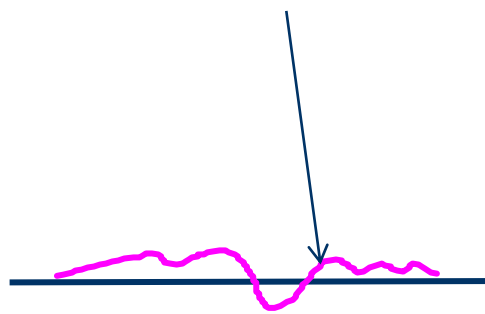


# Μετάδοση σημάτων



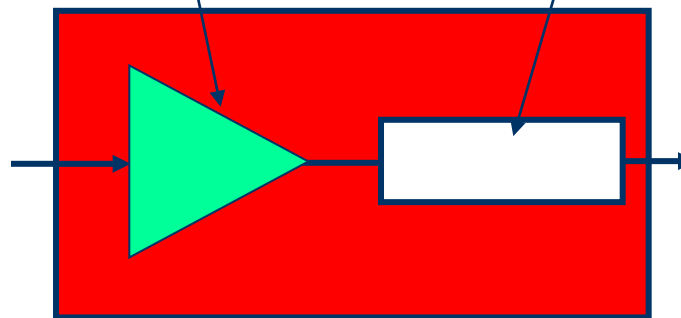
## Αναλογικός επαναλήπτης

Σήμα με εξασθένηση και  
παραμόρφωση  
+  
θόρυβος



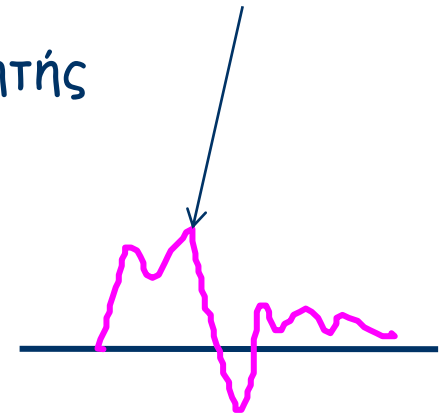
Ενισχυτής

Εξισορροπητής



Επαναλήπτης

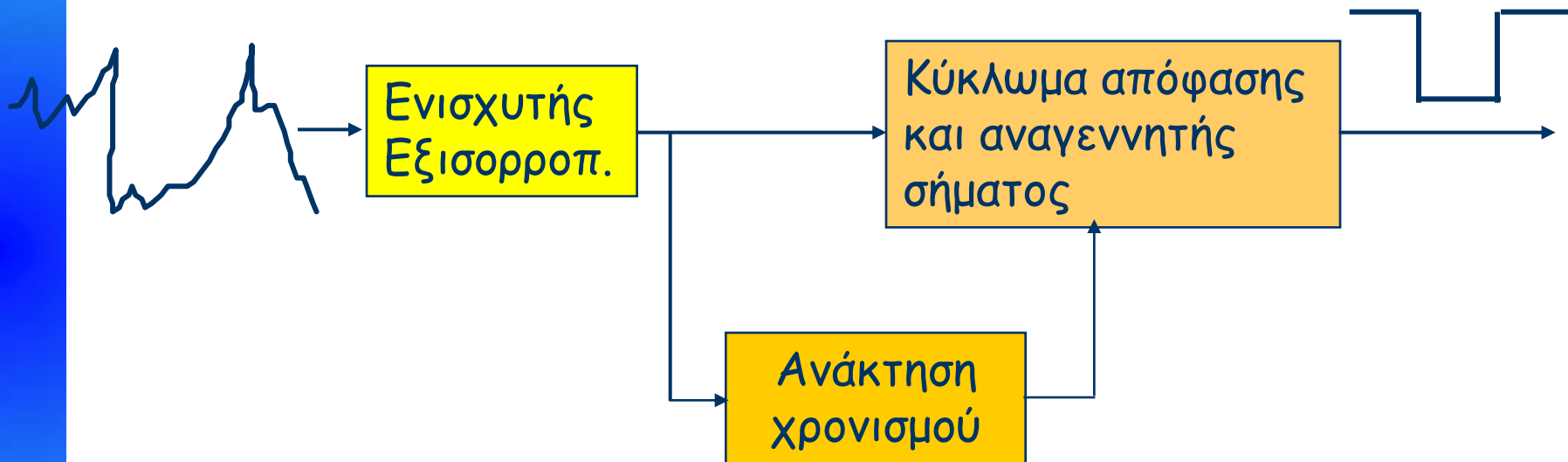
Ανακτώμενο σήμα  
+  
υπόλοιπο θορύβου



# Μετάδοση σημάτων

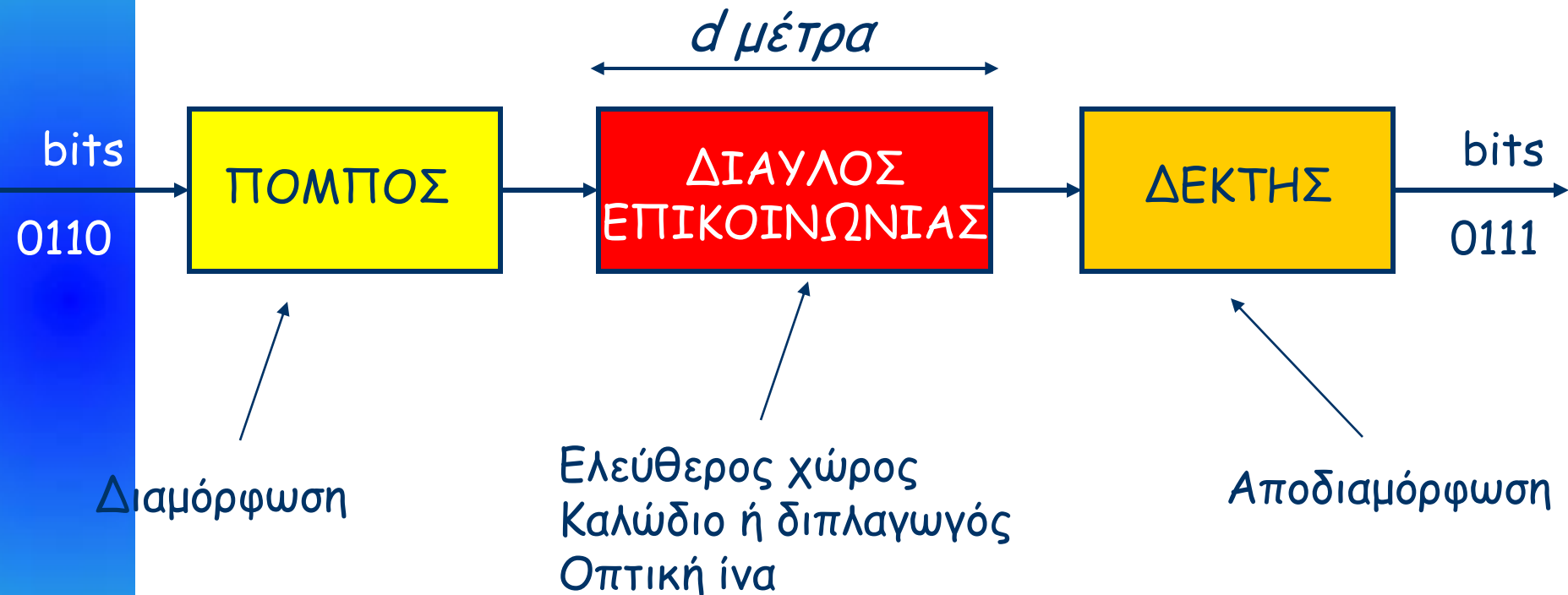


## Ψηφιακός επαναλήπτης





# Ψηφιακή μετάδοση



# Πώς μεταδίδονται τα σήματα



- Τα σήματα οδεύουν μέσω των μέσων μετάδοσης ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Μπορεί να οδηγούνται από διπλαγωγό, καλώδιο, οπτική ίνα, ή να μεταδίδονται στον ελεύθερο χώρο ως ραδιοκύματα ή οπτικά κύματα.
- Υπάρχουν διαφορές μεταξύ της διάδοσης των Η/Μ κυμάτων στο κενό και σε διηλεκτρικό υλικό:
  - $C_{\text{διηλ.}} < C_{\text{κενού}}$
  - Μέρος της ενέργειας απορροφάται από το διηλεκτρικό.

# Περιορισμοί στη μετάδοση



Τέσσερα βασικά φαινόμενα περιορίζουν τον ρυθμό μετάδοσης και την απόσταση μετάδοσης:

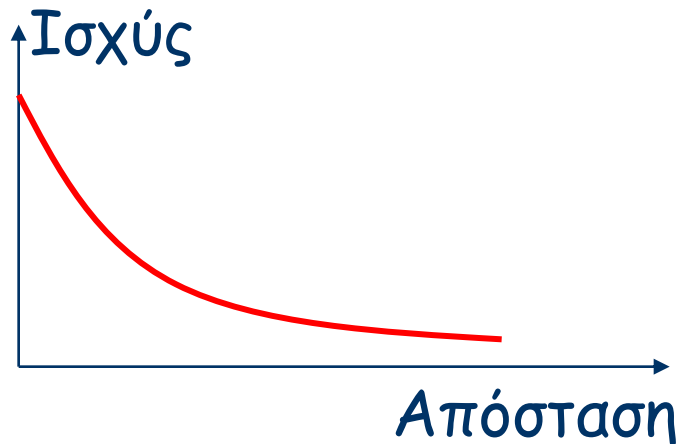
- Εξασθένηση (Attenuation)
- Παραμόρφωση (Distortion)
- Διασπορά (Dispersion)
- Θόρυβος (Noise)

# Περιορισμοί στη μετάδοση



## Εξασθένηση

Μείωση της ισχύος του σήματος με την απόσταση.

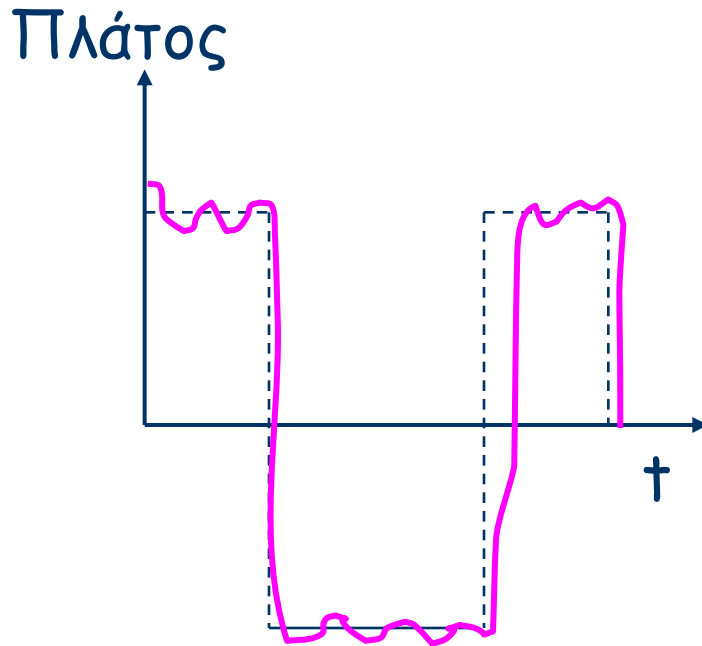


- Απώλεια ενέργειας κατά τη διάδοση σε γραμμές μετάδοσης και σε οπτικές ίνες.
- Ανάκλαση, σκέδαση, περίθλαση κλπ.
- Υπέρθεση πολλών κυμάτων στην κεραία.
- Εξασθένηση εξαρτάται από τη συχνότητα μετάδοσης.

# Περιορισμοί στη μετάδοση



## Παραμόρφωση

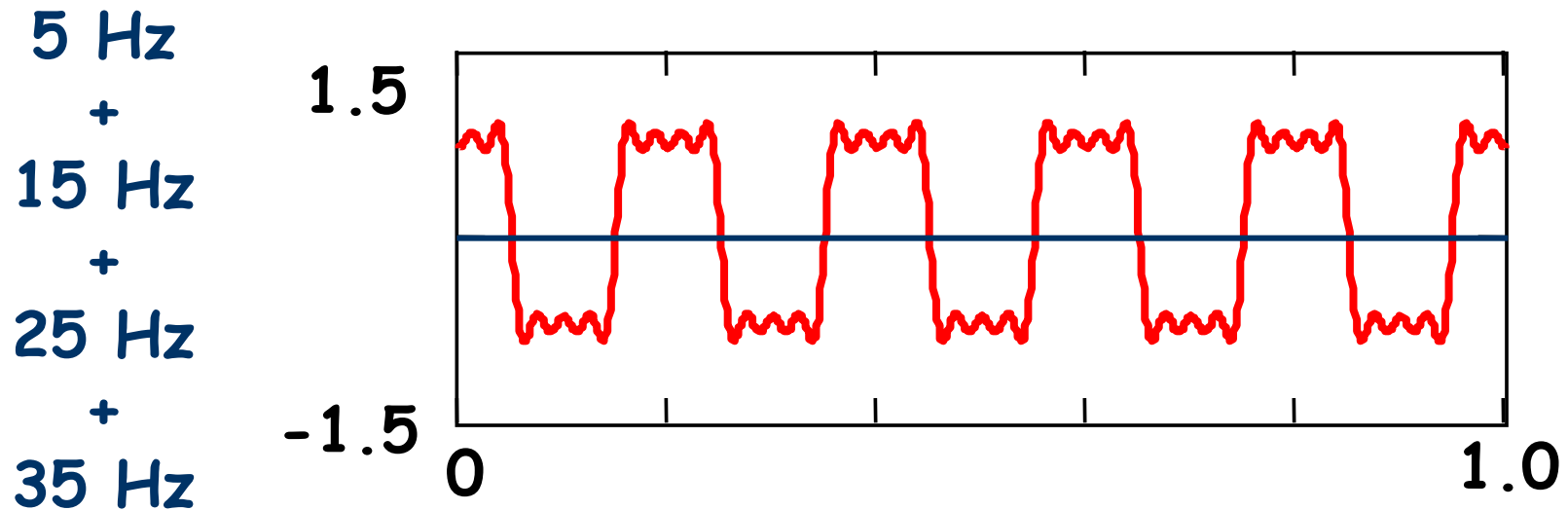


- Διαφορετική εξασθένηση και καθυστέρηση για κάθε συχνότητα.
- Το τελικό σήμα διαφέρει από το αρχικά μεταδοθέν.
- Απαιτείται εξισορρόπηση.

# Περιορισμοί στη μετάδοση



## Παραγωγή τετραγωνικής κυματομορφής



$$\cos 2\pi \cdot 5t - (1/3)\cos 2\pi \cdot 15t + (1/5)\cos 2\pi \cdot 25t - (1/7)\cos 2\pi \cdot 35t$$

# Περιορισμοί στη μετάδοση

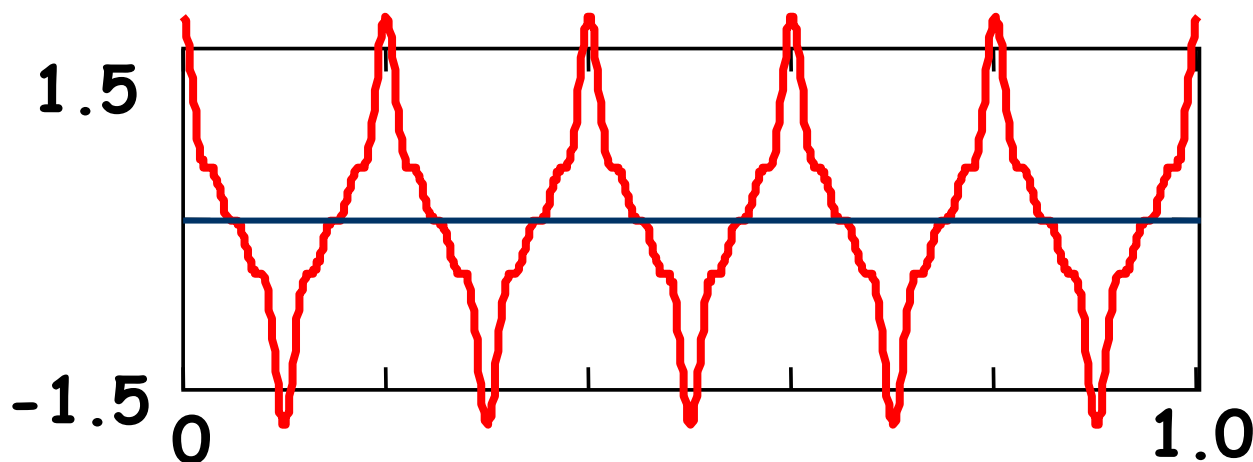


## Επίδραση της παραμόρφωσης φάσης

Ο δίαυλος επικοινωνίας εισάγει καθυστέρηση φάσης  $180^\circ$  στις αρμονικές των 15 και 35 Hz (λόγω διαφορετικών ταχυτήτων διάδοσης) ως προς εκείνες των 5 και 25 Hz.

$$\cos 2\pi \cdot 5t + (1/3)\cos 2\pi \cdot 15t + (1/5)\cos 2\pi \cdot 25t + (1/7)\cos 2\pi \cdot 35t$$

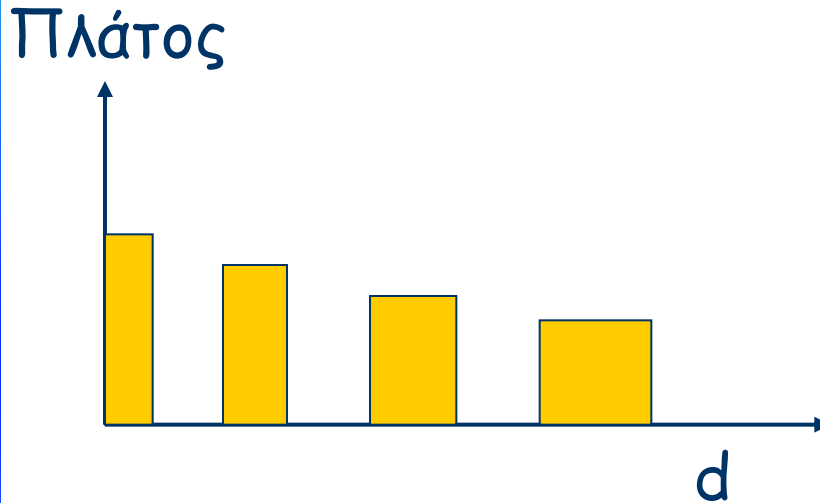
5 Hz  
+  
15 Hz  
+  
25 Hz  
+  
35 Hz



# Περιορισμοί στη μετάδοση



## Διασπορά



- Οι κρουστικές μεταδόσεις απλώνουν κατά τη διάδοση.
- Η διασπορά περιορίζει τη χρησιμοποιούμενη απόσταση διάδοσης σε μια μέγιστη τιμή που εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης.



# Περιορισμοί στη μετάδοση



## Θόρυβος



Απρόβλεπτη μεταβολή του σήματος που φθάνει στον δέκτη.



$$b_1 b_2 \dots b_n$$

$$V = b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_n 2^{-n}$$

$n$  bits σε 2 ms

$$R \propto B, 1/\text{noise}$$

# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



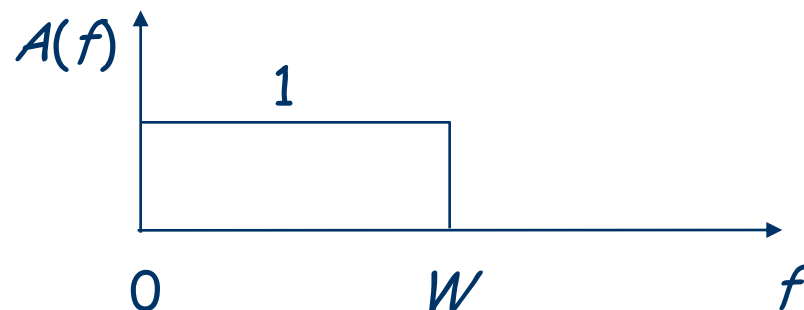
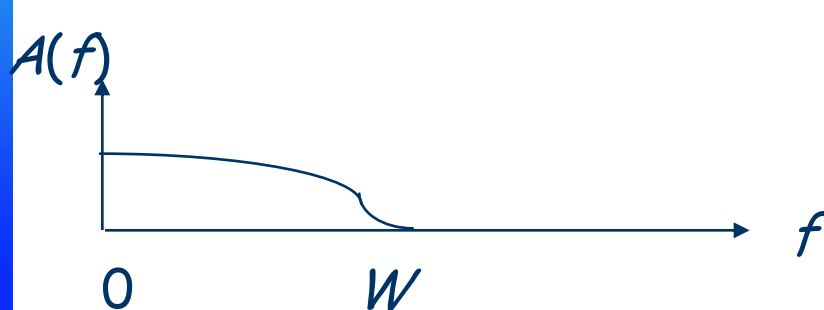
- Μας ενδιαφέρει ο ρυθμός μετάδοσης
  - **Χωρητικότητα**: πόσο γρήγορα και αξιόπιστα.
- Η χωρητικότητα επηρεάζεται από:
  - Την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος.
  - Την απόσταση που πρέπει να διανύσει το σήμα.
  - Τη στάθμη θορύβου που πρέπει να αντιμετωπίσει ο δέκτης.
  - Το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης.

# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης

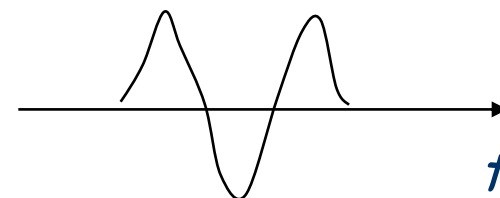
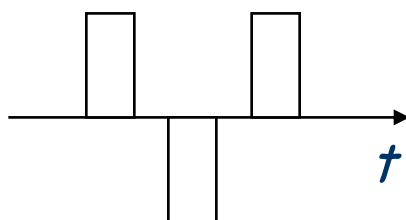


## Εύρος ζώνης διαύλου

(α) Βαθυπερατός διάυλος



(β) Διάρκεια στενότερου παλμού  $\tau = 1/2 W \Rightarrow$  Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης παλμών =  $2 W$  παλμοί/sec



(γ) Μπορούμε να αυξήσουμε τον ρυθμό μετάδοσης bit μεταδίδοντας παλμούς με πολλές στάθμες:

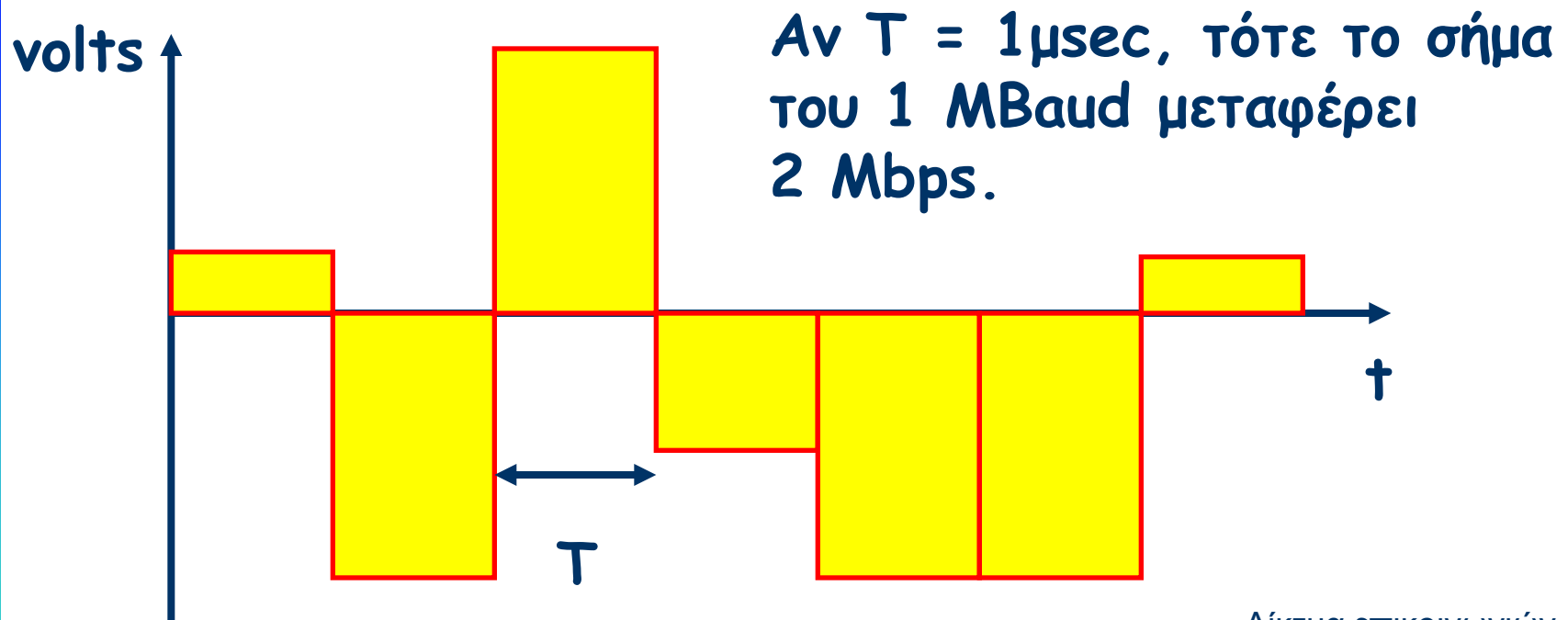
$$R = 2 W \text{ παλμοί/sec} \times m \text{ bit/παλμό}$$

# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## M-δική σηματοδότηση

- Ένα από  $M$  δυνατά σύμβολα μεταδίδεται κάθε  $T$  sec, π.χ. 4-δική σηματοδότηση (κάθε σύμβολο μπορεί να παραστήσει 2 bit).



# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



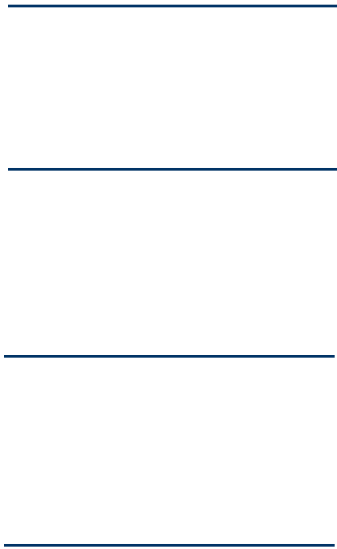
## Μ-δική σηματοδότηση

- Απαιτούμενο εύρος ζώνης:
  - Συνάρτηση του ρυθμού συμβόλων (σύμβ./sec)
  - Συνάρτηση του σχήματος του συμβόλου
- Όσο πιο απότομα αλλάζει το σήμα, τόσο μεγαλύτερο εύρος ζώνης απαιτείται για τη μετάδοσή του.
- Για σήματα σταθερής ισχύος:
  - Καθώς το  $M$  αυξάνει, τα σήματα πλησιάζουν...
  - ... και τα λάθη ανίχνευσης στον δέκτη αυξάνουν.

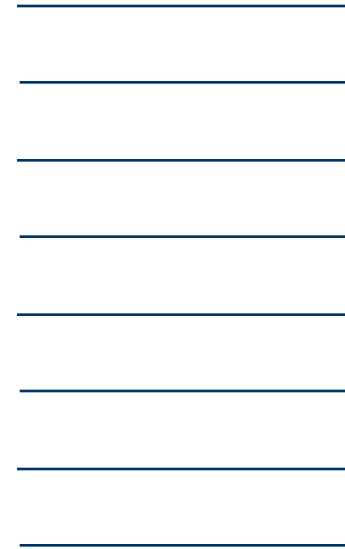
# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Μ-δική σηματοδότηση



4 στάθμες σήματος

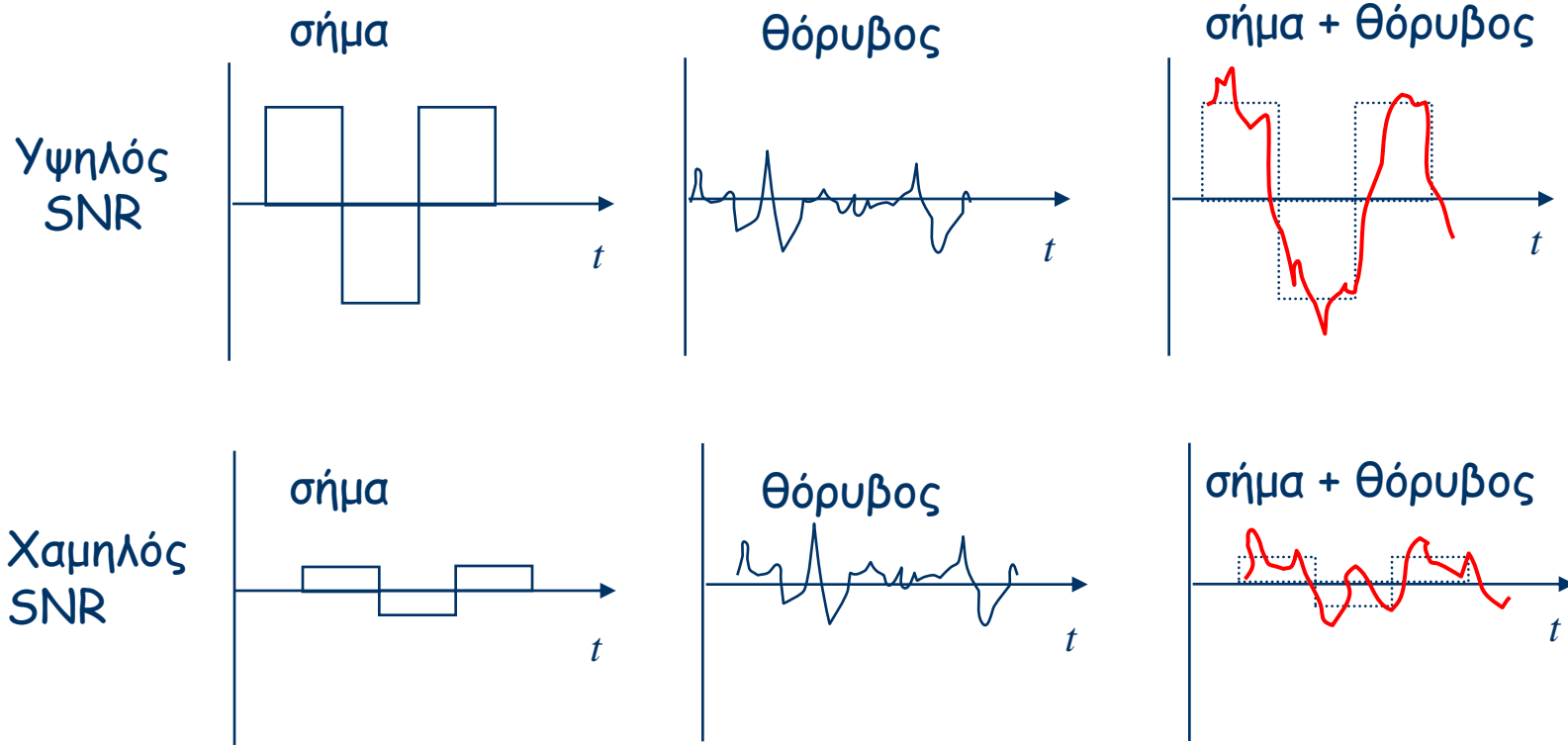


8 στάθμες σήματος

# Βασικές ιδιότητες των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR)



$$\text{SNR} = \frac{\text{Μέση ισχύς σήματος}}{\text{Μέση ισχύς θορύβου}}$$

$$\text{SNR (dB)} = 10 \log_{10} \text{SNR}$$



## Χωρητικότητα διαύλου

- Ο μέγιστος ρυθμός bit που μπορεί να μεταδοθεί αξιόπιστα μέσω ενός διαύλου.
- Η χωρητικότητα Shannon είναι:
$$C = W * \log_2(1 + \text{SNR}) \text{ bps}$$
  - $W$  = εύρος ζώνης διαύλου (Hz)
  - SNR = λόγος σήματος προς θόρυβο στον δίαυλο
- Παραδειγμα 1) Αναλογικό modem (30 dB SNR)
$$C = 3500 * \log_2(1 + 1000) = 34.885 \text{ bps}$$
- Παράδειγμα 2) Δίαυλος TV 6 MHz (42 dB SNR)
$$C = 6.000.000 * \log_2(1 + 15.849) = 83.71 \text{ Mbps}$$





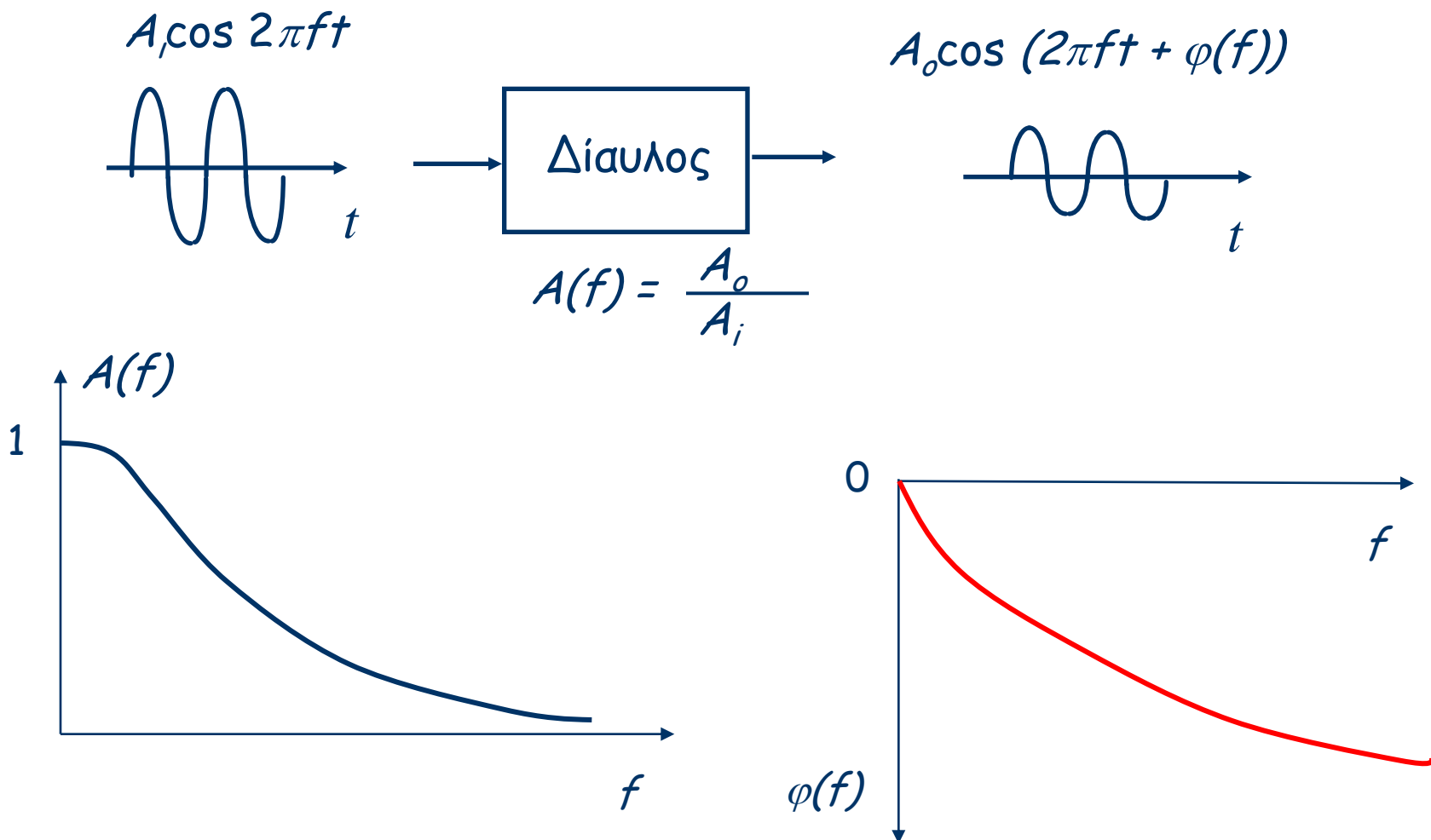
## Ανακεφαλαίωση

- Το εύρος ζώνης καθορίζει τον ρυθμό συμβόλων (σύμβολα/sec).
- Δύο σύμβολα: δυαδική σηματοδότηση.
- Με δοθέν εύρος ζώνης, η Μ-δική σηματοδότηση επιτρέπει αυξημένους ρυθμούς bit.
  - Τα σύμβολα πλησιάζουν μεταξύ τους, όταν η ισχύς παραμένει σταθερή.
  - Τα λάθη ανίχνευσης στον δέκτη γίνονται πιθανότερα.
- Εύρος ζώνης, ρυθμός bit, SNR, και BER σχετίζονται.

# Χαρακτηρισμός διαύλου επικοινωνίας



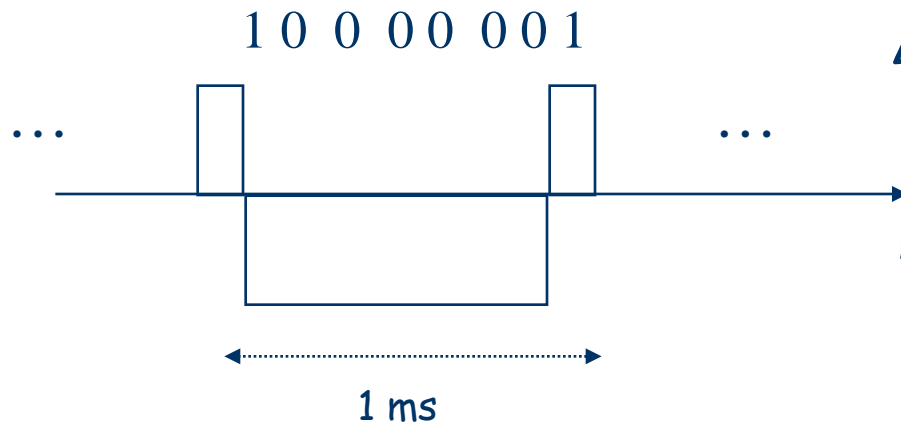
## Στο πεδίο συχνότητας



# Χαρακτηρισμός διαύλου επικοινωνίας



## Επίδραση του εύρους ζώνης του διαύλου στη μορφή του σήματος εξόδου



Διάρκεια παλμών: 0.125 ms

$$x(t) = -0.5 + \left(\frac{4}{\pi}\right) \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi 1000t) + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{4}\right) \cos(2\pi 2000t) + \right. \\ \left. + \frac{1}{3} \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right) \cos(2\pi 3000t) + \dots \right\}$$

# Χαρακτηρισμός διαύλου επικοινωνίας



## Επίδραση του εύρους ζώνης του διαύλου στη μορφή του σήματος εξόδου

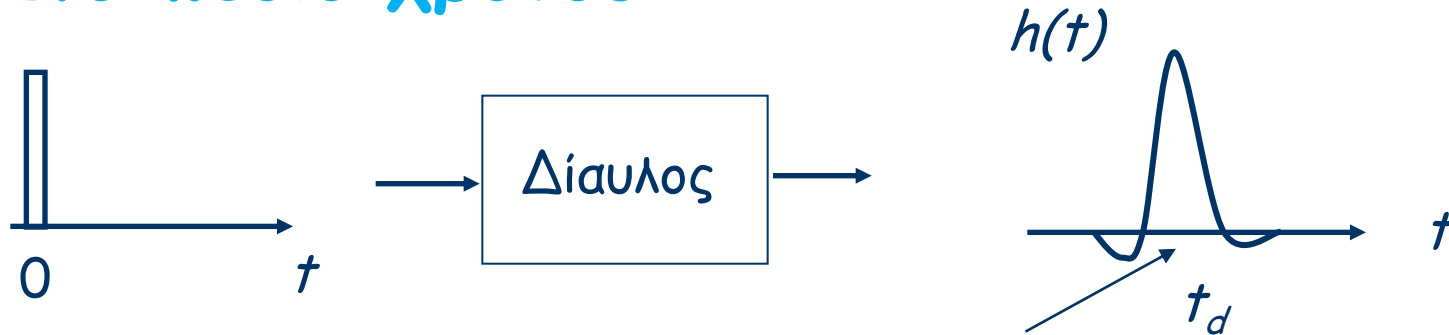
Δίαυλος με  $A(f)=1$ ,  
 $\varphi(f)=0$  και ζώνη  
συχνοτήτων 0 έως  $W$



# Χαρακτηρισμός διαύλου επικοινωνίας



## Στο πεδίο χρόνου



Το άνοιγμα (διάρκεια) της κρουστικής απόκρισης είναι μια ένδειξη του πόσο γρήγορα μπορούν να μεταδοθούν παλμοί στον δίαυλο.

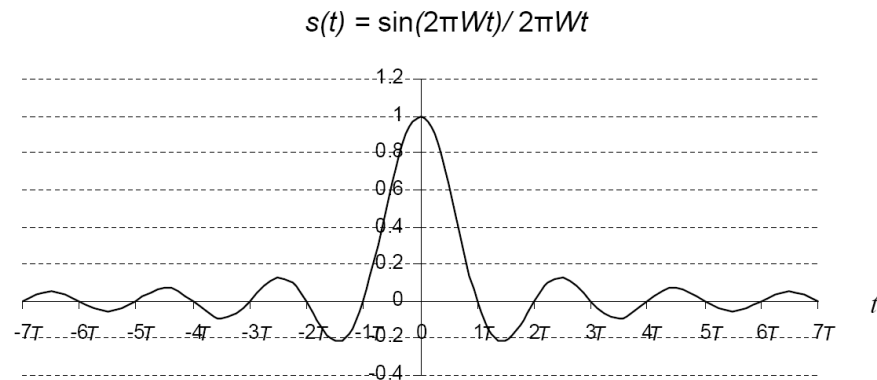
- Στην ψηφιακή μετάδοση μας ενδιαφέρει να μεγιστοποιήσουμε τον ρυθμό μετάδοσης παλμών (να ελαχιστοποιήσουμε το διάστημα  $T$  μεταξύ διαδοχικών παλμών).
- Το ελάχιστο διάστημα καθορίζεται από τον βαθμό παρεμβολής μεταξύ των παλμών στην έξοδο του διαύλου.

# Χαρακτηρισμός διαύλου επικοινωνίας



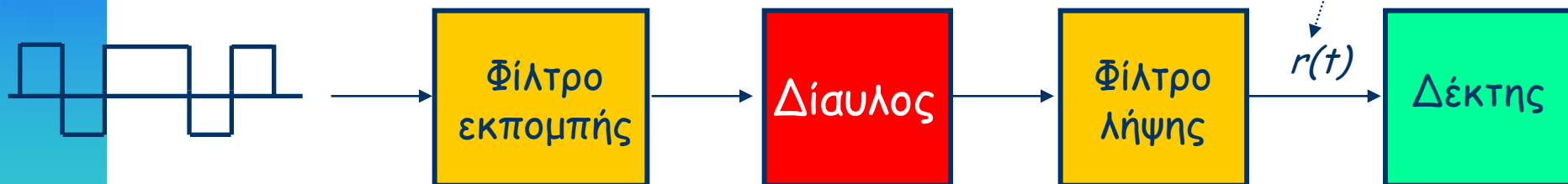
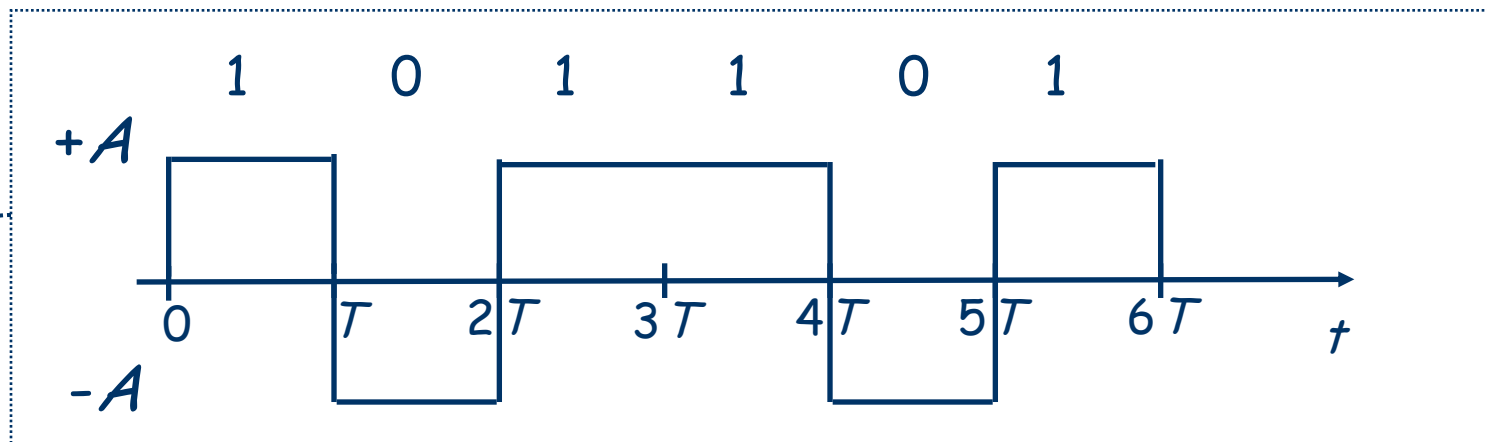
## Στο πεδίο χρόνου

- Σε ιδανικό δίαυλο, δηλ.,  $A(f)=1$  και  $\varphi(f)=2\pi f t_d$ , η κρουστική απόκριση είναι  $h(t) = s(t-t_d)$  που είναι μια καθυστερημένη εκδοχή του παλμού  $sinc$ .



- $2T = 1/W$
- Όσο αυξάνει το εύρος ζώνης  $W$ , η διάρκεια του παλμού μικραίνει, οπότε οι παλμοί μπορεί να μεταδοθούν πλησιέστερα μεταξύ τους, δηλαδή, με μεγαλύτερο ρυθμό.

# Μετάδοση βασικής ζώνης



# Μετάδοση βασικής ζώνης



$$r(t) = \sum_k A_k p(t - kT)$$

Όταν ο δέκτης λαμβάνει δείγμα του σήματος για  $t = 0$

$$r(0) = A_0 p(0) + \sum_{k \neq 0} A_k p(-kT)$$

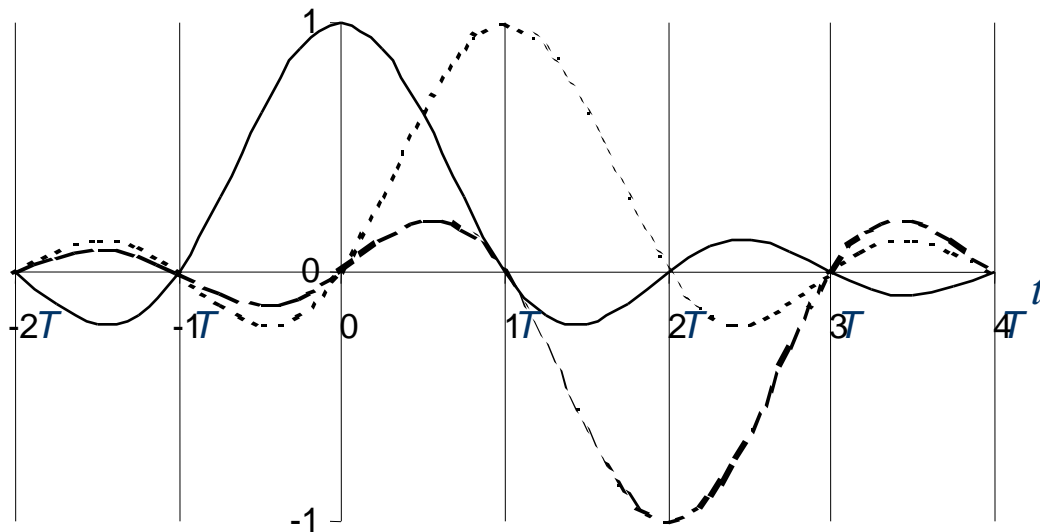
Ο δέκτης πρέπει να αντιμετωπίσει τη διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference)



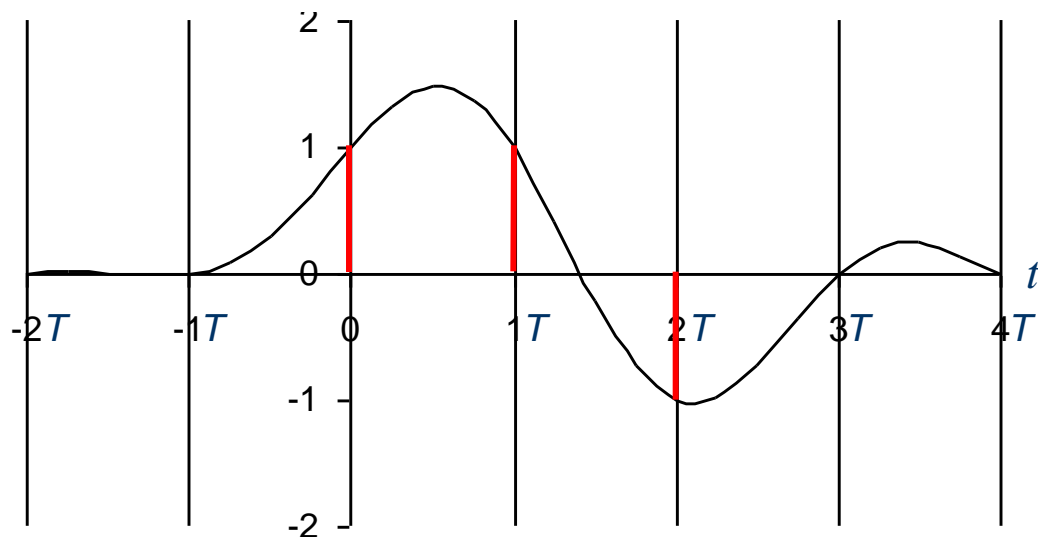
# Μετάδοση βασικής ζώνης



(α) 3 χωριστοί παλμοί  
για το 110



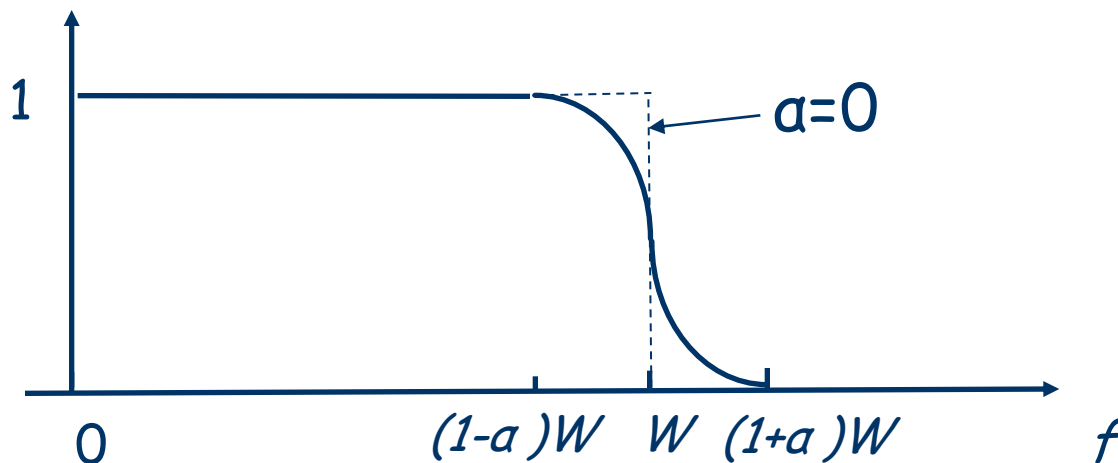
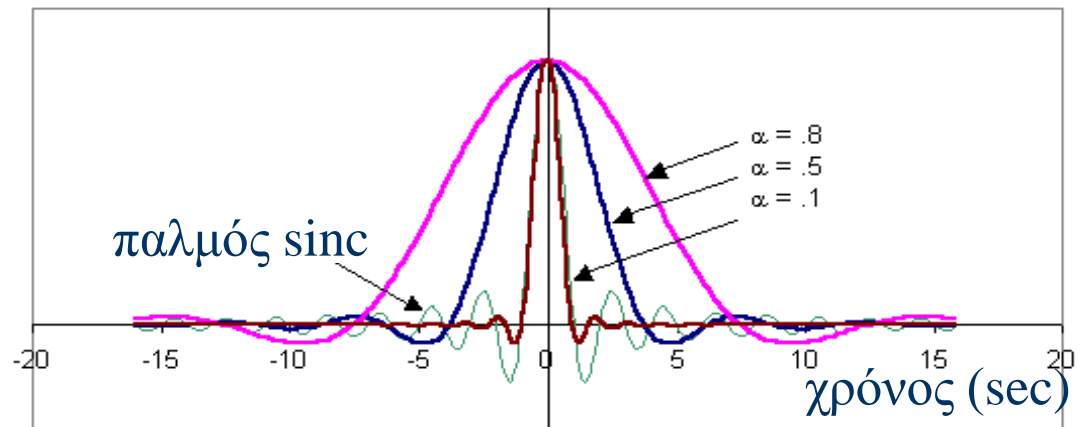
(β) Το συνιστάμενο  
σήμα για το 110



# Μετάδοση βασικής ζώνης



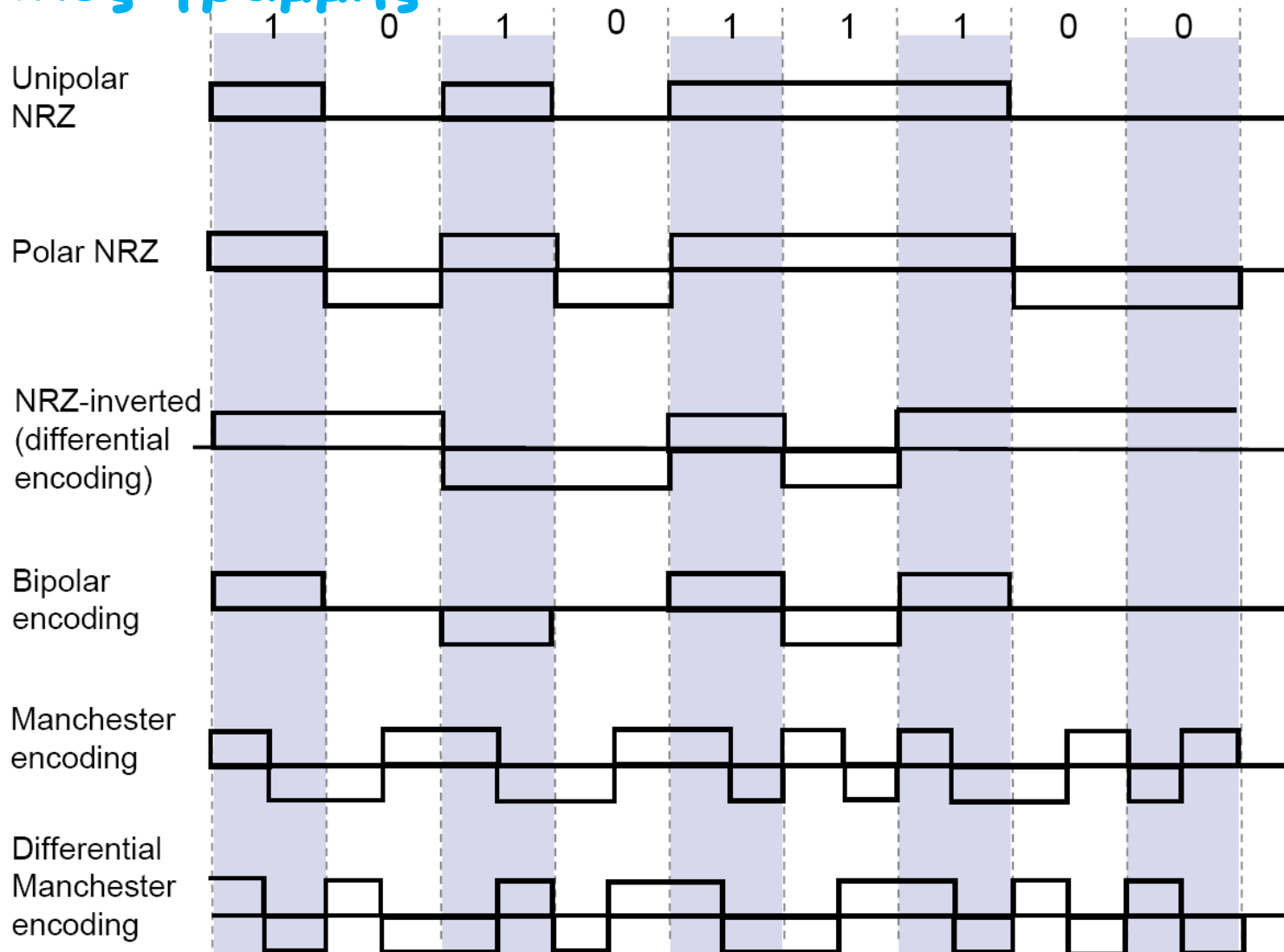
## Παλμός υπερυψωμένου συνημιτόνου



# Μετάδοση βασικής ζώνης



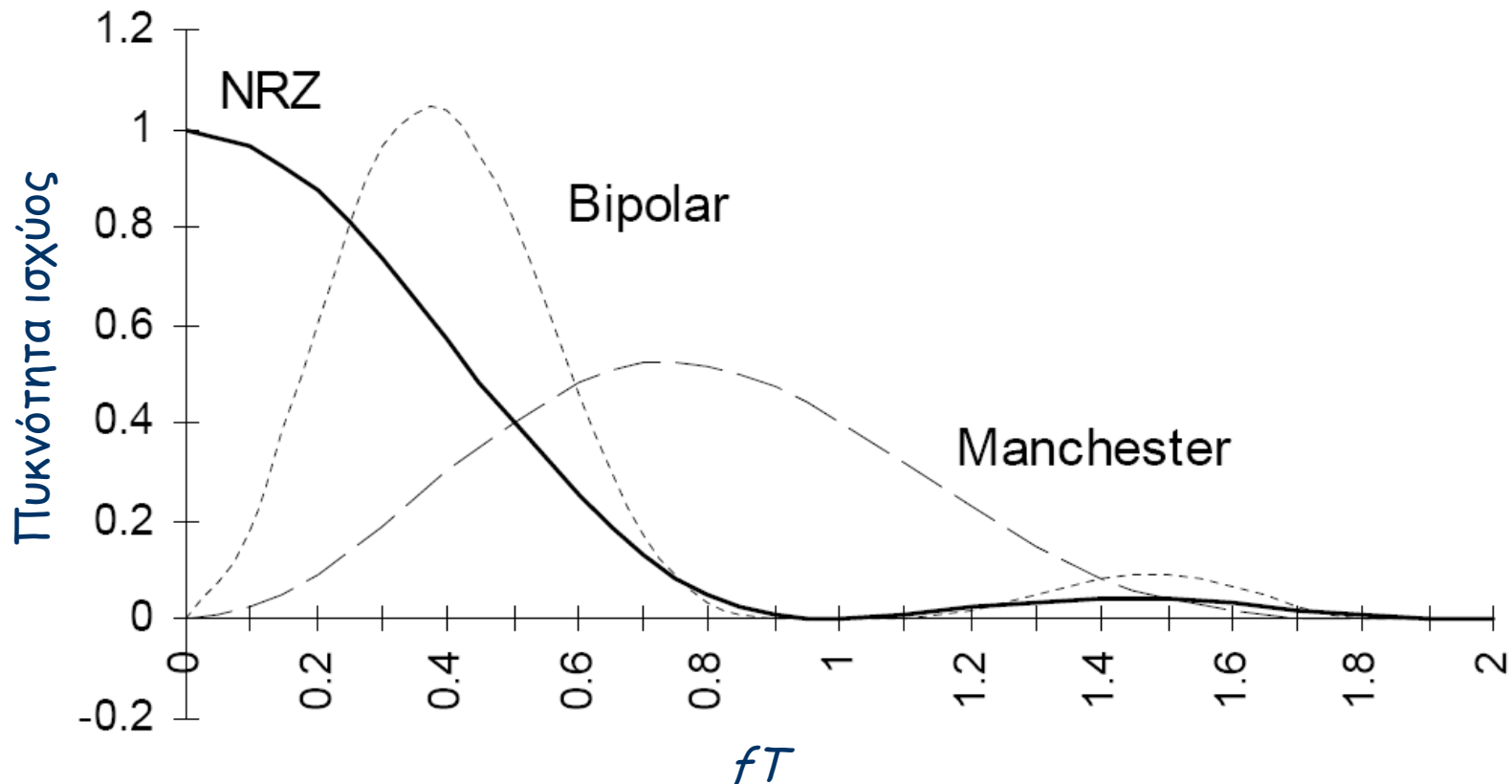
## Κώδικες γραμμής



# Μετάδοση βασικής ζώνης



## Φάσματα των διαφόρων κωδίκων γραμμής



# Ψηφιακή διαμόρφωση

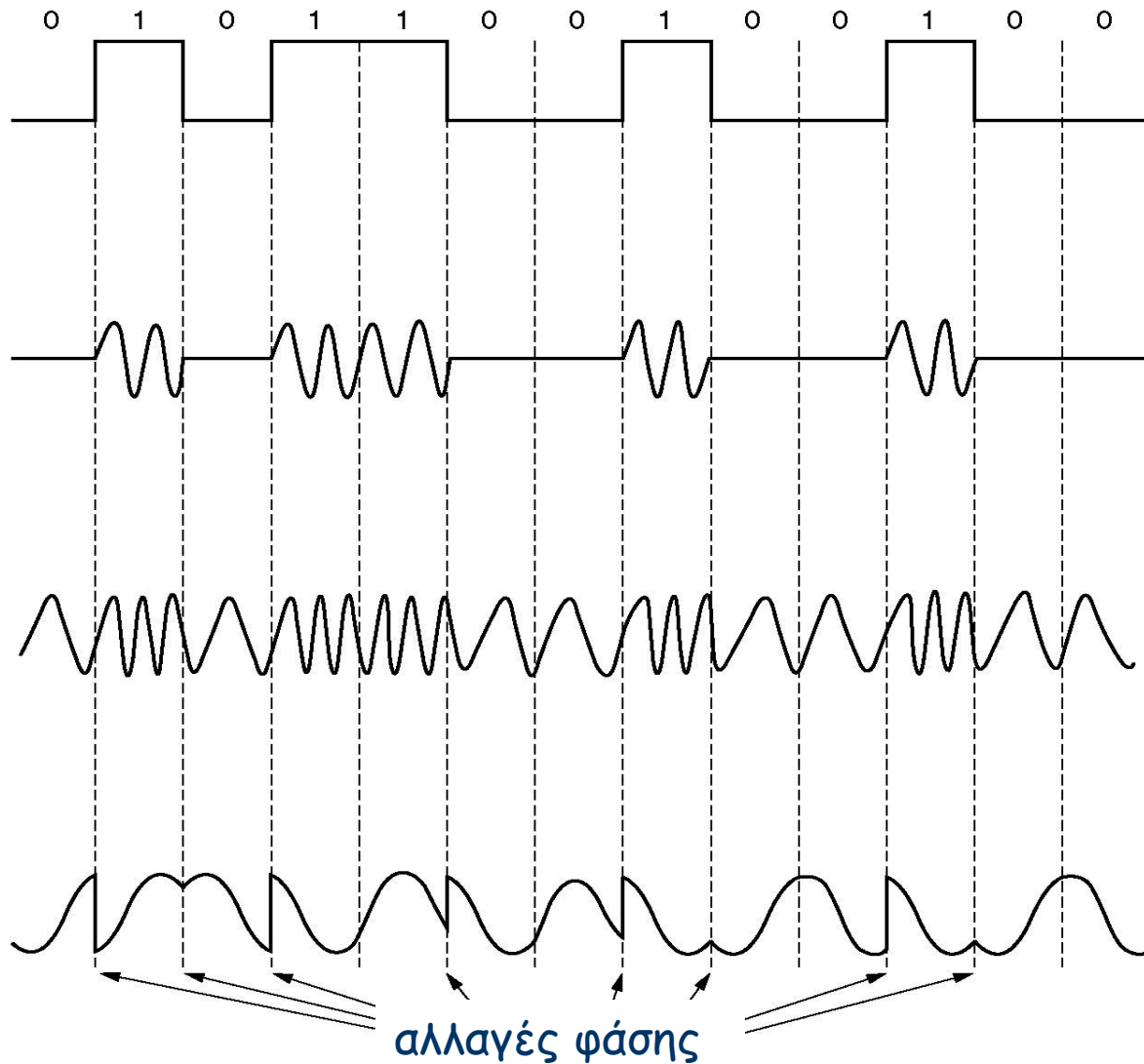


Δυαδικό σήμα

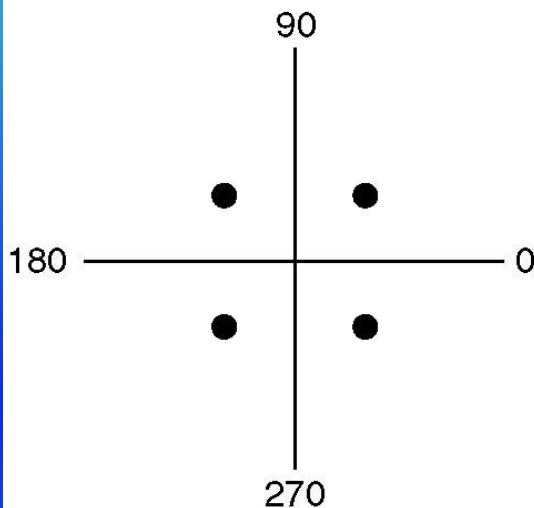
ASK

FSK

PSK

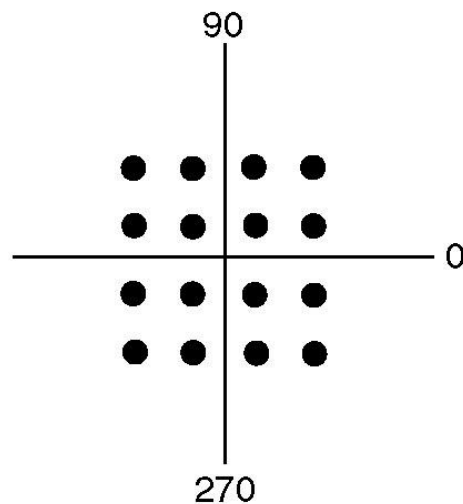


# Ψηφιακή διαμόρφωση



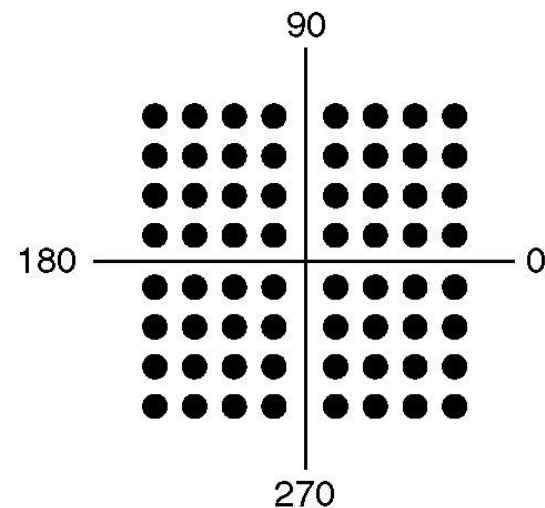
QPSK

4 "στάθμες" / παλμό  
2 bit / παλμό  
2W bits/sec



QAM-16

16 "στάθμες" / παλμό  
4 bit / παλμό  
4W bits/sec



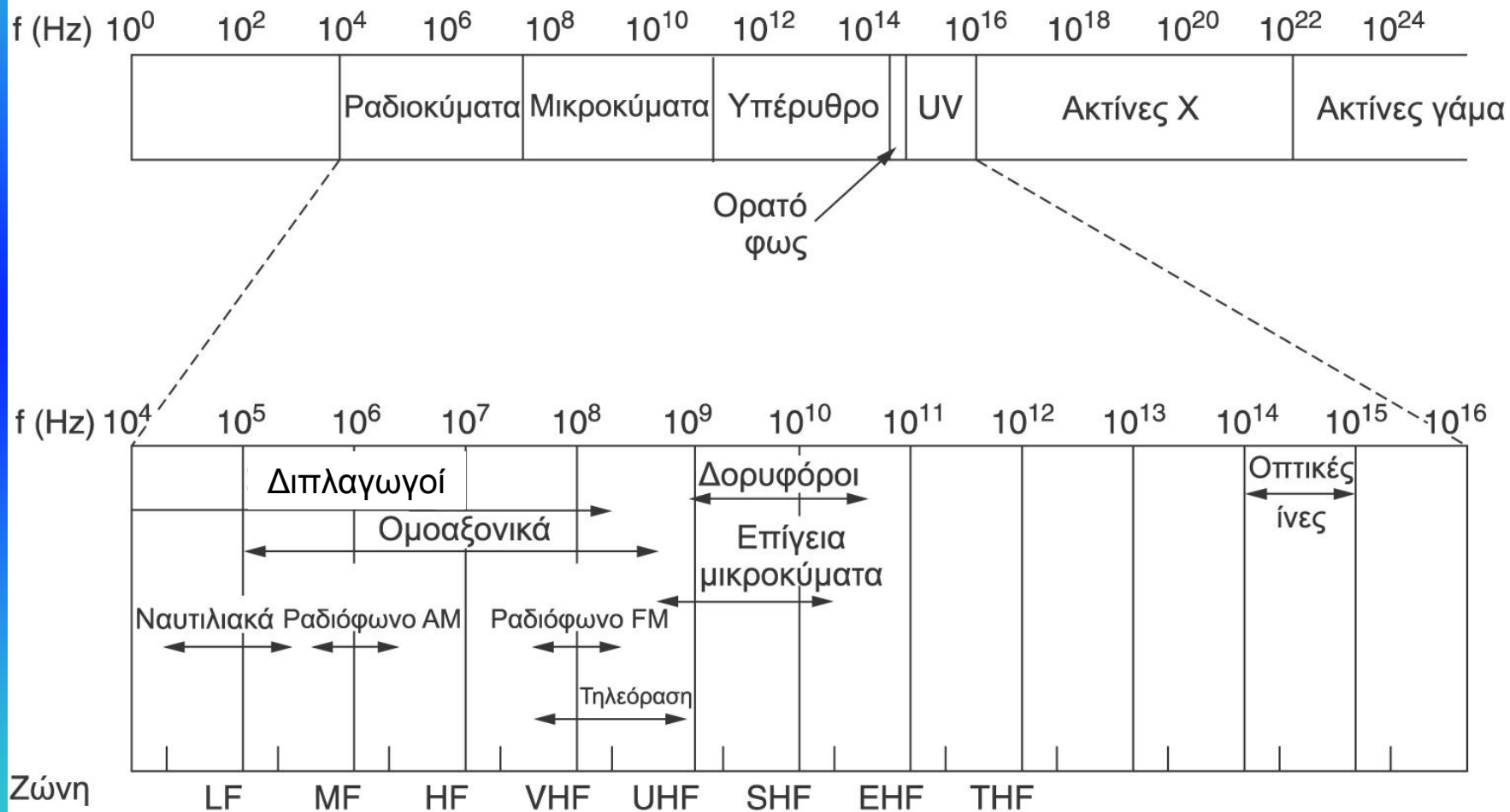
QAM-64

64 "στάθμες" / παλμό  
6 bit / παλμό  
6W bits/sec

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα





## Ενσύρματες φυσικές ζεύξεις

- Απλή δισύρματη γραμμή
  - Επηρεάζεται από ΗΜ παρεμβολές
  - Κακή επιλογή για τηλεπικοινωνιακά συστήματα
    - Παράδειγμα: γραμμές μεταφοράς
- Καλώδια διπλαγωγών
- Ομοαξονικά καλώδια
- Καλώδια οπτικών ινών



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Διπλαγωγός

Χωριστά μονωμένοι αγωγοί, συνεστραμμένοι μαζί. Συχνά ομαδοποιημένοι σε καλώδια



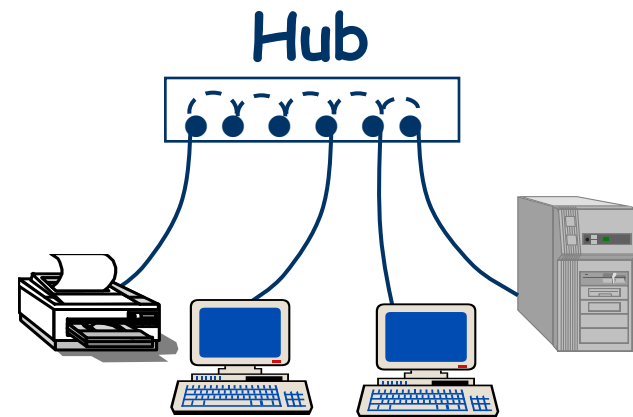
- Φθηνό μέσο
- Ευκολόχρηστο
- Μικρός ρυθμός μετάδοσης
- Μικρό μήκος

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Διπλαγωγός - Εφαρμογές

- Το συνηθέστερο μέσο μετάδοσης
- Τηλεφωνικό δίκτυο
  - Συνδρομητικός βρόχος
- Μέσα σε κτίρια
  - Γραμμές προς το PBX
- Για τοπικά δίκτυα (LAN)
  - 10Mbps - 100Mbps - 1000Mbps (10/100/1000BaseT)



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Διπλαγωγός - Χαρακτηριστικά μετάδοσης

- Αναλογική μετάδοση
  - Ενισχυτές κάθε 5km έως 6km
- Ψηφιακή μετάδοση
  - Αναλογικά ή ψηφιακά σήματα
  - Επαναλήπτες κάθε 2km ή 3km
- Περιορισμένη απόσταση
- Περιορισμένο εύρος ζώνης (1MHz)
- Περιορισμένος ρυθμός δεδομένων (100Mbps)
- Ευαισθησία σε παρεμβολές και θόρυβο

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Αθωράκιστοι και θωρακισμένοι διπλαγωγοί

- Αθωράκιστος διπλαγωγός (UTP)
  - Συνηθισμένο τηλεφωνικό καλώδιο
  - Ο φθηνότερος
  - Εύκολος στην εγκατάσταση
  - Ευαίσθητος σε φαινόμενα επαγωγής
- Θωρακισμένος διπλαγωγός (STP)
  - Μεταλλική θωράκιση που περιορίζει τις παρεμβολές
  - Πιο ακριβός
  - Πιο δύσχρηστος



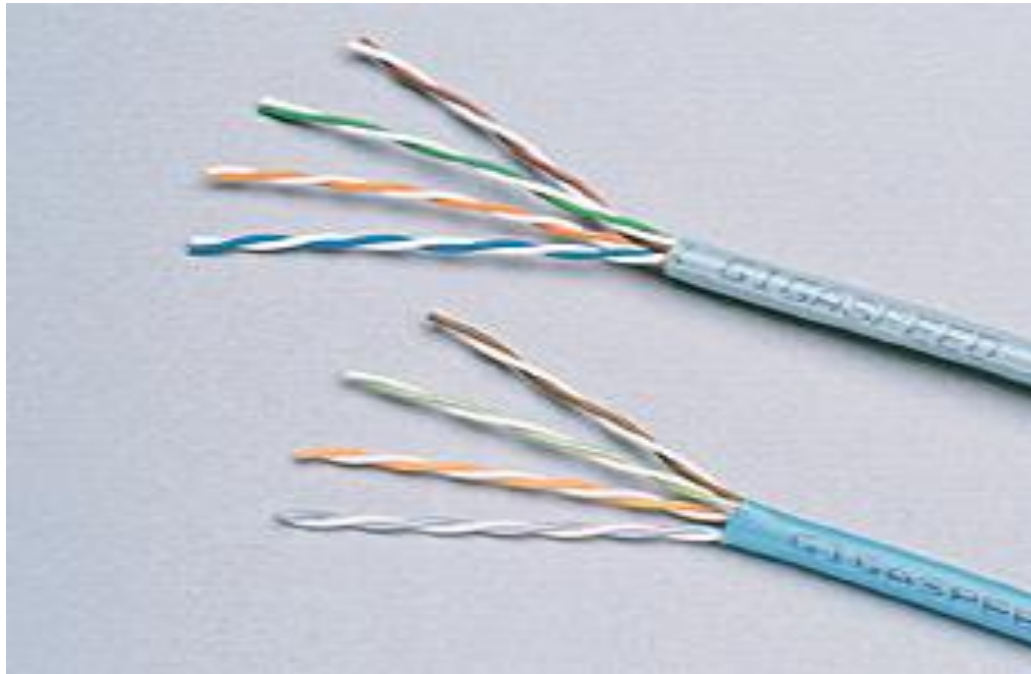
## Κατηγορίες UTP

- Cat 3
  - Μέχρι και 16Mbps
  - Τηλεφωνικό καλώδιο στα γραφεία
  - Βήμα ελίκωσης από 7.5 cm έως 10 cm
- Cat 5
  - Μέχρι και 100 Mbps
  - Συνήθως προεγκατεστημένο σε νέα κτίρια γραφείων
  - Βήμα ελίκωσης 0.6 cm έως 0.85 cm

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



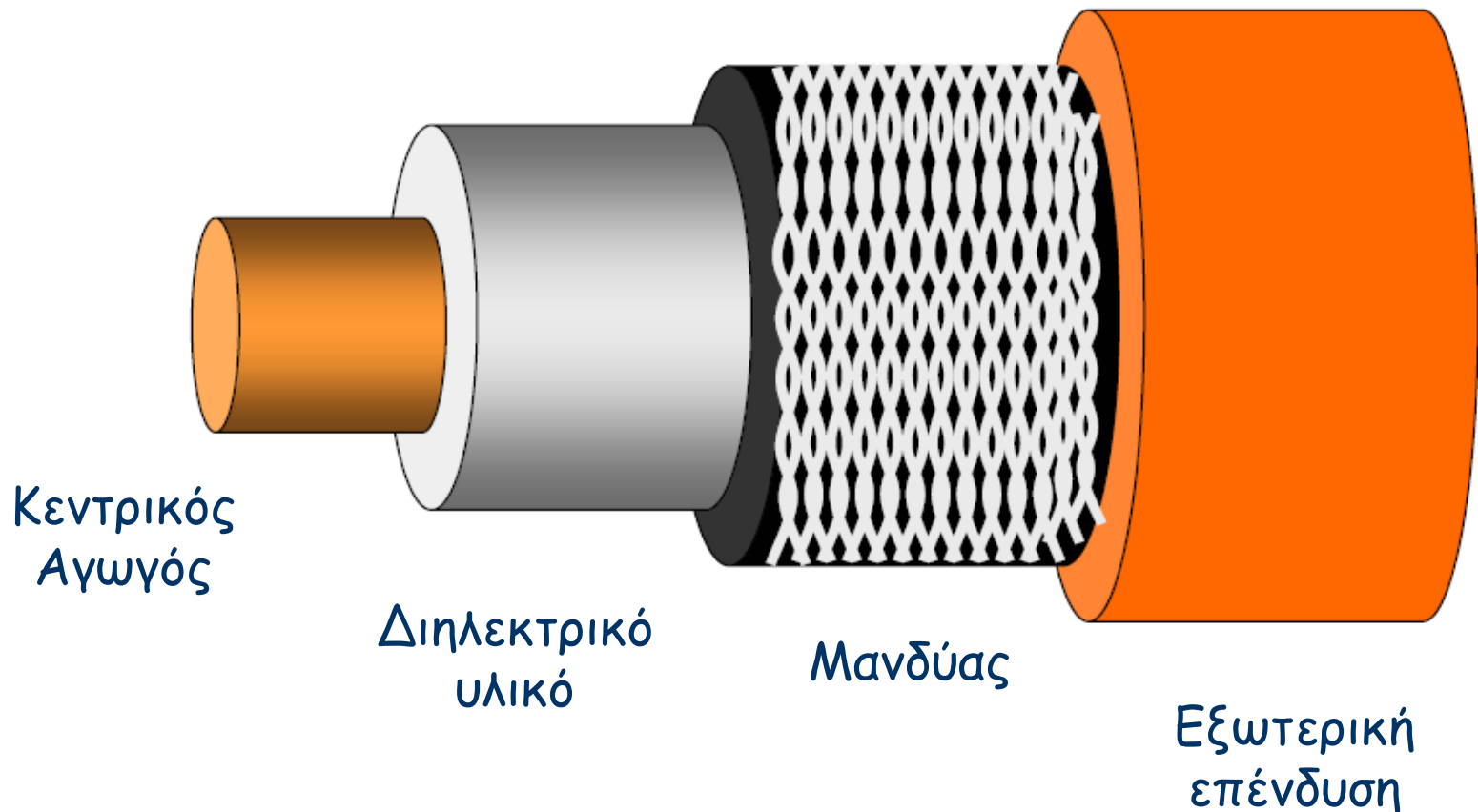
## Καλώδια διπλαγωγών



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ομοαξονικό καλώδιο



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ομοαξονικό καλώδιο-Χρήσεις

- Πολλαπλές χρήσεις
- Διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων
  - Cable TV
- Υπεραστική Τηλεφωνία
  - Μπορεί να μεταφέρει 10.000 τηλεφωνικές κλήσεις ταυτόχρονα.
  - Αντικαθίσταται από τις οπτικές ίνες
- Ζεύξεις μικρών αποστάσεων μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων.
- Τοπικά δίκτυα (LAN)



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



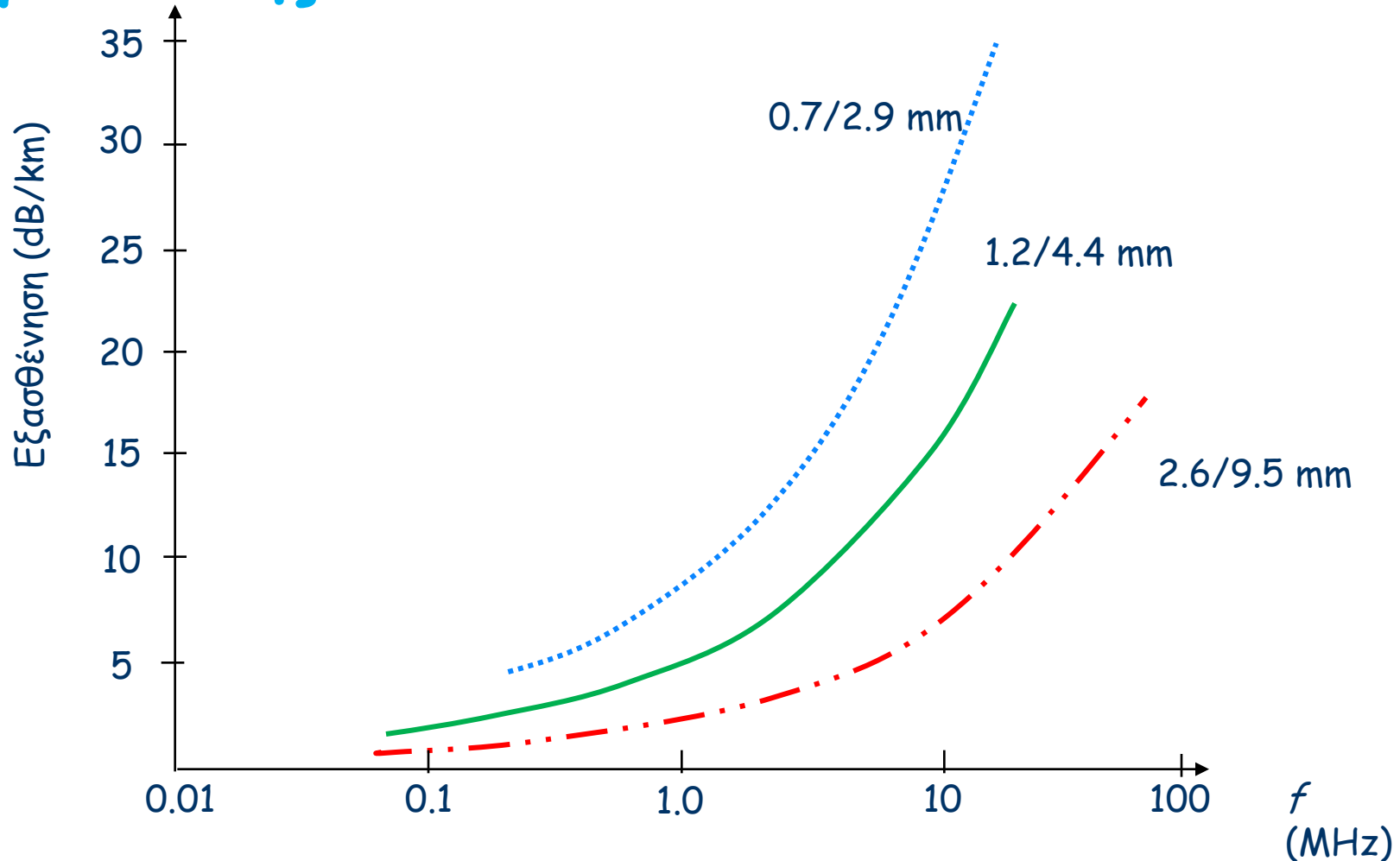
## Ομοαξονικό καλώδιο - Χαρακτηριστικά μετάδοσης

- Αναλογική μετάδοση
  - Ενισχυτές κάθε λίγα χιλιόμετρα
  - Μικρότερες αποστάσεις για υψηλότερη συχνότητα
  - Μέχρι 500MHz
- Ψηφιακή μετάδοση
  - Επαναλήπτες κάθε 1km
  - Μικρότερες αποστάσεις για υψηλότερους ρυθμούς

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ομοαξονικό καλώδιο - Χαρακτηριστικά μετάδοσης

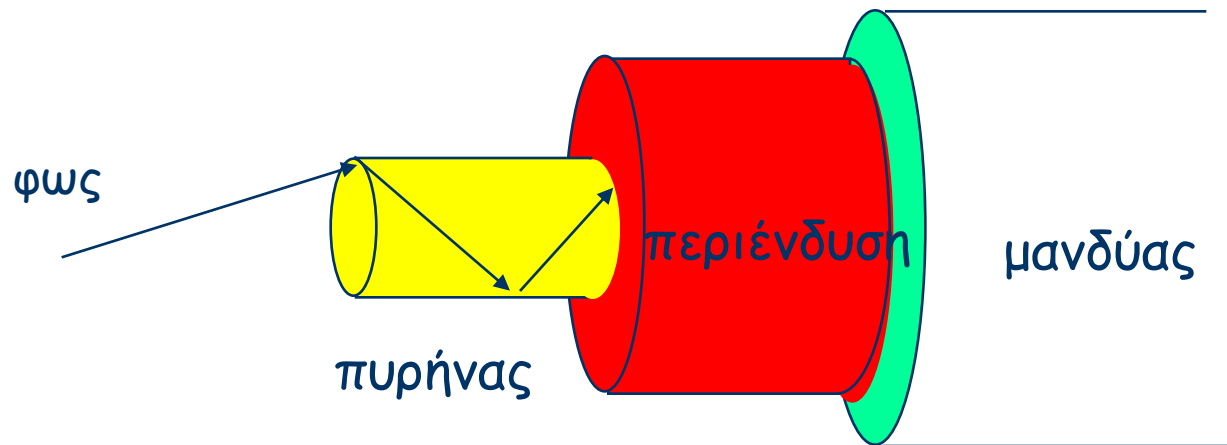


# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης

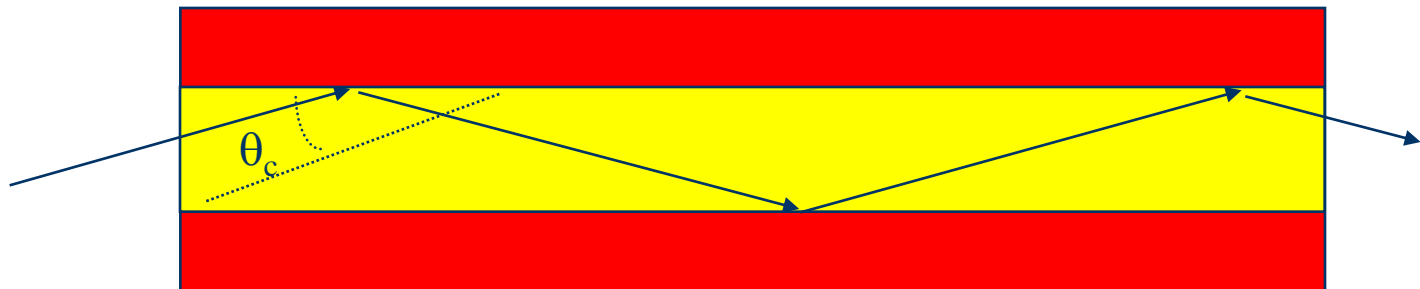


## Οπτική ίνα

(α) Γεωμετρία



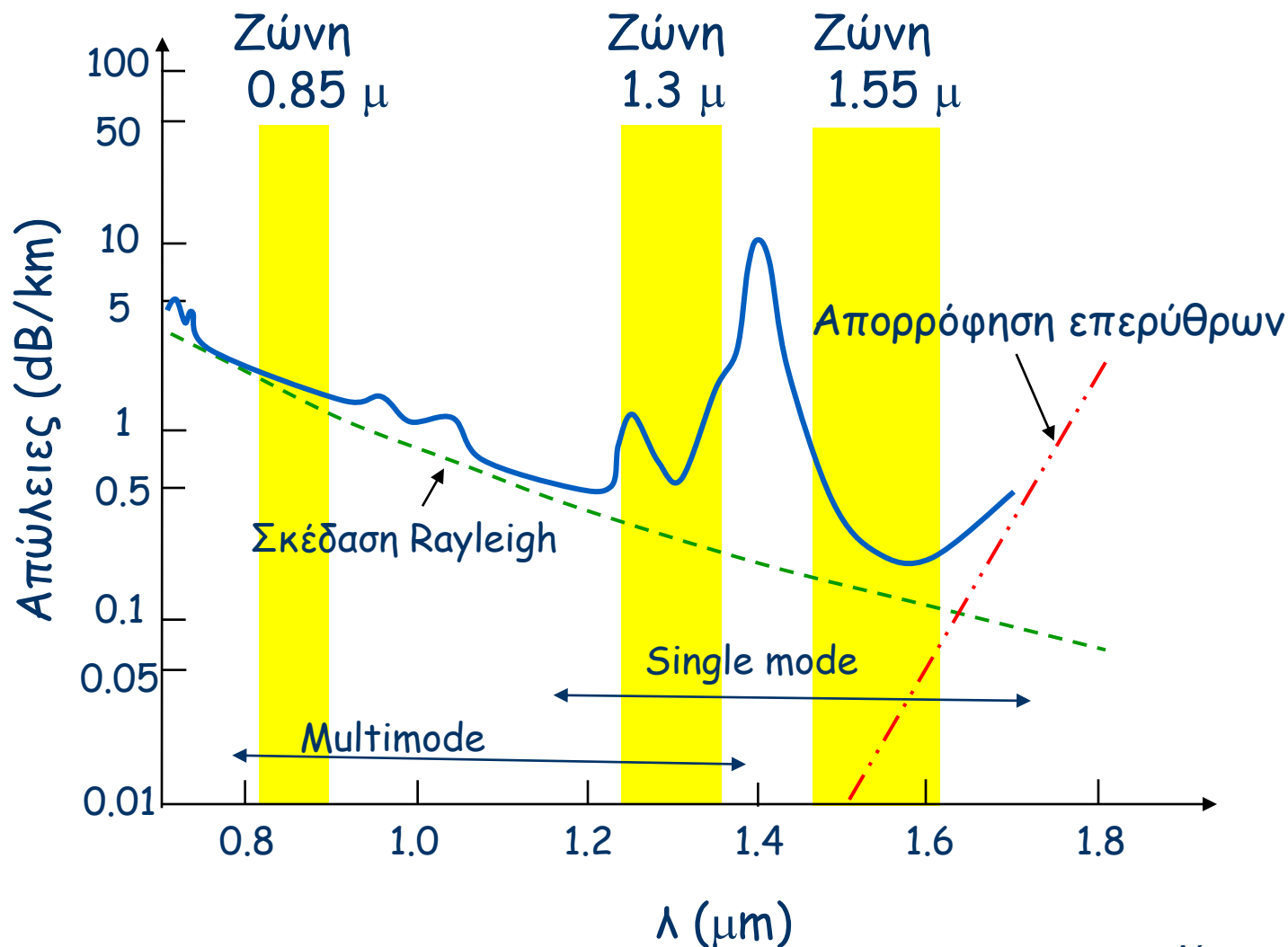
(β) Διάδοση στην οπτική ίνα



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Οπτική ίνα

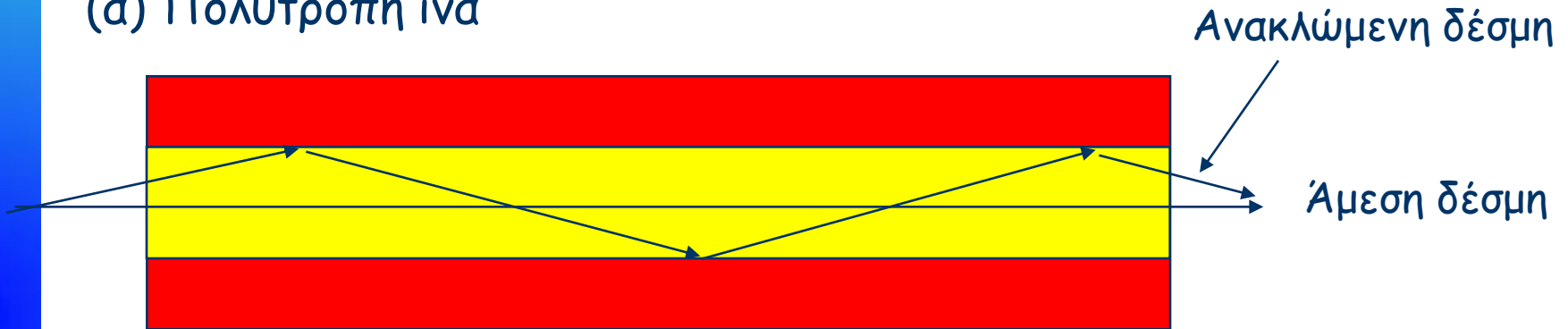


# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Οπτική ίνα: τύποι

(α) Πολύτροπη ίνα



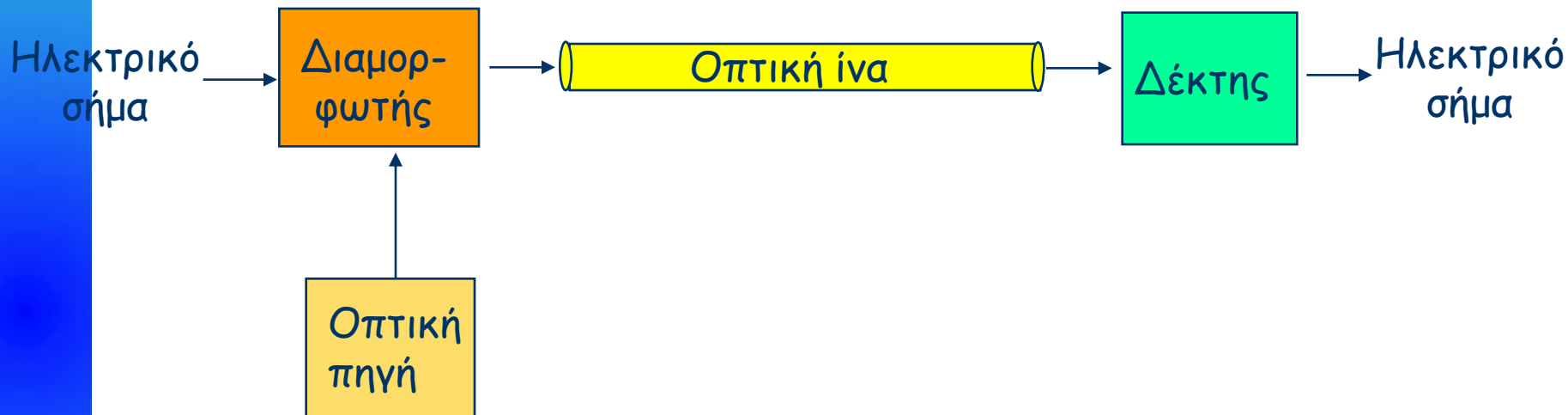
(α) Μονότροπη ίνα



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Σύστημα οπτικής μετάδοσης



- Τυπικά, η ακολουθία της ψηφιακής πληροφορίας μετατρέπεται σε ακολουθία οπτικών παλμών on/off σε κάποιο μήκος κύματος.
- Η λειτουργία on/off μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη, οπότε είναι εφικτοί εξαιρετικά υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.



## Συστήματα οπτικής μετάδοσης

Το εύρος της οπτικής ζώνης εκφράζεται συνήθως σε nanometers.

$$B = f_1 - f_2 = \frac{v}{\lambda_1} - \frac{v}{\lambda_1 + \Delta\lambda} = \frac{v}{\lambda_1} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}} \right) = \frac{v}{\lambda_1} \left( \frac{\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}}{1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}} \right) \approx \frac{v\Delta\lambda}{\lambda_1^2}$$

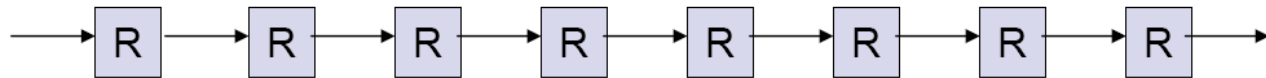
- Το  $\Delta\lambda \approx 100$  nm
- Περιοχή 1300 nm: εξασθένιση < 0.5 dB/km και  $B \approx 12$  THz
- Περιοχή 1550 nm: εξασθένιση < 0.2 dB/km και  $B \approx 15$  THz
- Η WDM είναι μια αποτελεσματική μέθοδος εκμετάλλευσης του διαθέσιμου εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες.
  - Coarse WDM (CWDM): 4 - 8 μήκη κύματος
  - Dense WDM (DWDM): τα σύγχρονα συστήματα DWDM πολυπλέκουν 80 - 160 μήκη κύματος, που το καθένα μπορεί να μεταφέρει 10 Gbps και σε μερικές περιπτώσεις 40 Gbps.

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης

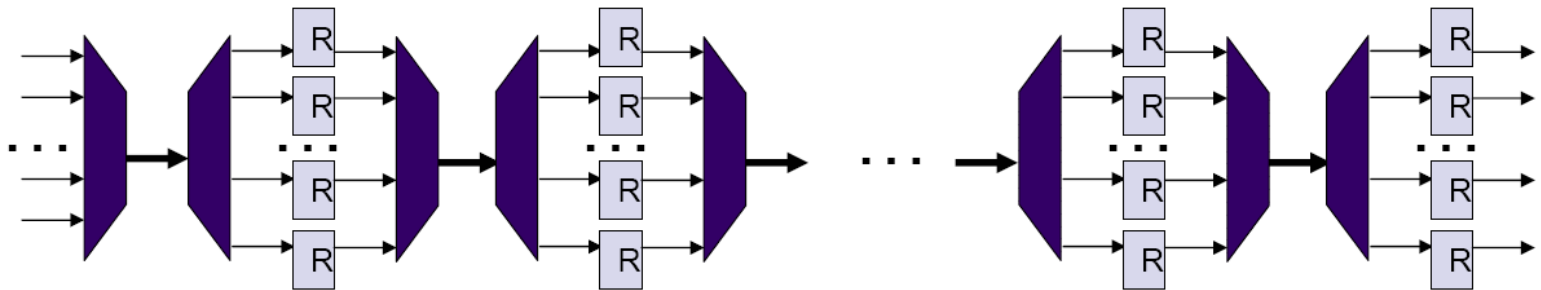


## Συστήματα οπτικής μετάδοσης

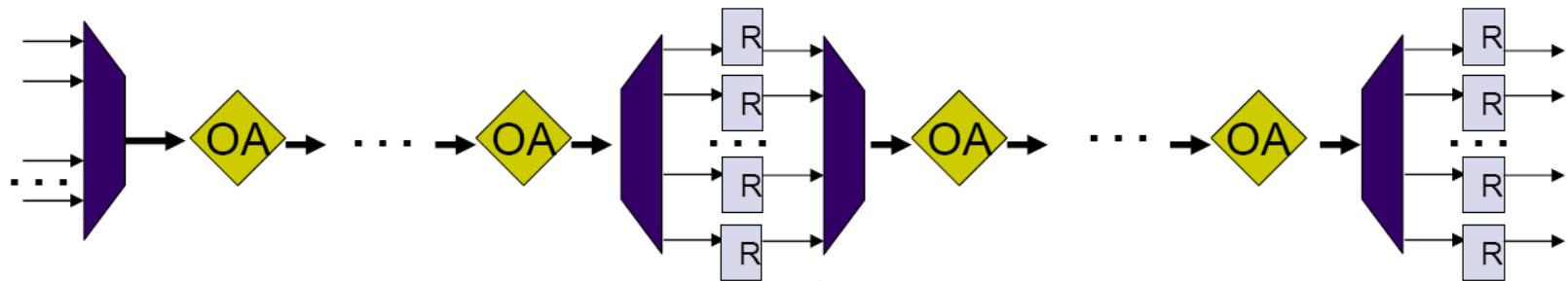
(α) Ένα σήμα ανά οπτική ίνα με έναν αναγεννητή ανά βήμα



(β) DWDM σύνθετο σήμα ανά οπτική ίνα με έναν αναγεννητή ανά βήμα



(γ) DWDM σύνθετο σήμα με οπτικούς ενισχυτές



Regenerator



Optical amplifier



DWDM multiplexer



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Οπτική ίνα - Πλεονεκτήματα

- Μεγαλύτερη χωρητικότητα
  - Ρυθμοί μετάδοσης εκατοντάδων Gbps
- Μικρότερο μέγεθος και βάρος
- Μικρότερη εξασθένηση
- Ηλεκτρομαγνητική απομόνωση
- Μεγαλύτερη απόσταση επαναληπτών
  - Δεκάδες km



## Οπτική ίνα – Όριο διασποράς

- Παλμοί φωτός διαδιδόμενοι σε οπτική ίνα απλώνουν σε διάρκεια (χρωματική διασπορά).
  - Το χαμηλότερο τμήμα ενέργειας θέλει  $D \text{ sec/km}$  περισσότερο από το υψηλό.
  - Για μήκος  $L \text{ km} \Rightarrow D \times L \text{ sec}$ .
  - Αν  $T$  η διάρκεια του παλμού  $\Rightarrow T + D \times L$  μετά  $L \text{ km}$ .
- 10101010... με διαμόρφωση ΟΟΚ
  - Απόσταση παλμών  $T - D \times L$
  - Για  $D \times L \leq T/2$ , όπου  $T = 1/R \Rightarrow R \times L \leq 1/2D$
  - $D$ : ρυθμός διασποράς, εξαρτάται από την οπτική ίνα



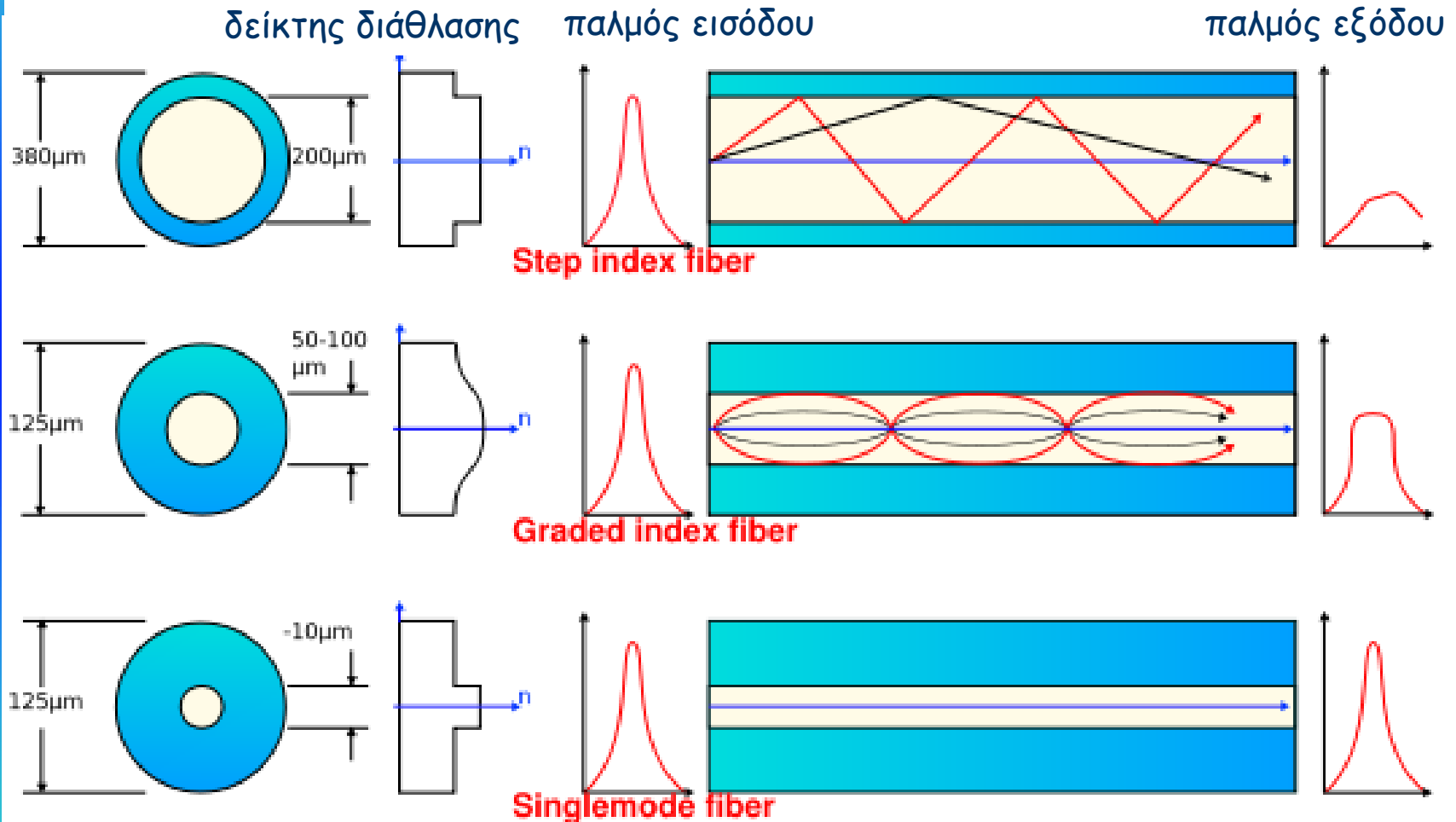
## Είδη οπτικών ινών

- Κλιμακωτού δείκτη διάθλασης (step-index)
  - $R \times L \leq 10 \text{ Mbps} \times \text{km}$
- Βαθμιαίου δείκτη διάθλασης (graded-index, GRIN)
  - $R \times L \leq 1 \text{ Gbps} \times \text{km}$
- Μονότροπες (single-mode)
  - $R \times L \leq 200 \text{ Gbps} \times \text{km}$
  - Διάμετρος διατομής  $d \leq 8 \mu\text{m}$

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Είδη οπτικών ινών



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ασύρματη μετάδοση

- Μη οδηγούμενα μέσα
- Εκπομπή και λήψη μέσω κεραίας
- Κατευθυντική μετάδοση
  - Εστιασμένη δέσμη
  - Προσεκτική ευθυγράμμιση
- Μονόπλευρη μετάδοση
  - Ισοτροπική μετάδοση
  - Μπορεί να ληφθεί από πολλές κεραίες

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Ασύρματη μετάδοση - Συχνότητες

- 30MHz έως 1GHz
  - Μονόπλευρη μετάδοση
  - Ασύρματη εκπομπή
- 2GHz έως 40GHz
  - Μικροκύματα
  - Υψηλή κατευθυντικότητα
  - Σημείου προς σημείο
  - Δορυφορικές ζεύξεις
- $3 \times 10^{11}$  έως  $2 \times 10^{14}$ 
  - Υπέρυθρη ακτινοβολία
  - Τοπική χρήση

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις

- Παραβολικές κεραίες
- Εστιασμένες δέσμες
- Οπτική επαφή
- Τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
- Υψηλότερες συχνότητες δίνουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης
- 2-40 GHz



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις

- Εξασθένηση
  - Απώλειες ανάλογες με το τετράγωνο της απόστασης, επαναλήπτες κάθε 10-100km
  - Αυξημένη εξασθένηση με τη βροχή
- Παρεμβολές
- Κατανομή φάσματος





# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης

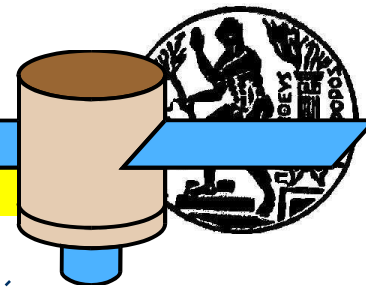


## Δορυφορικές ζεύξεις

- Μετάδοση προς δορυφόρους ευρισκόμενους σε τροχιά.
- Διαφορετικές συχνότητες ανόδου/καθόδου.
- Χρήσεις:
  - τηλεόραση
  - τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
  - ιδιωτική δικτύωση εταιριών
- 2-40 GHz και > 40GHz sat-sat

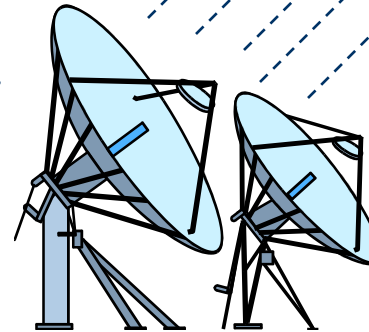


# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Δορυφορικές ζεύξεις

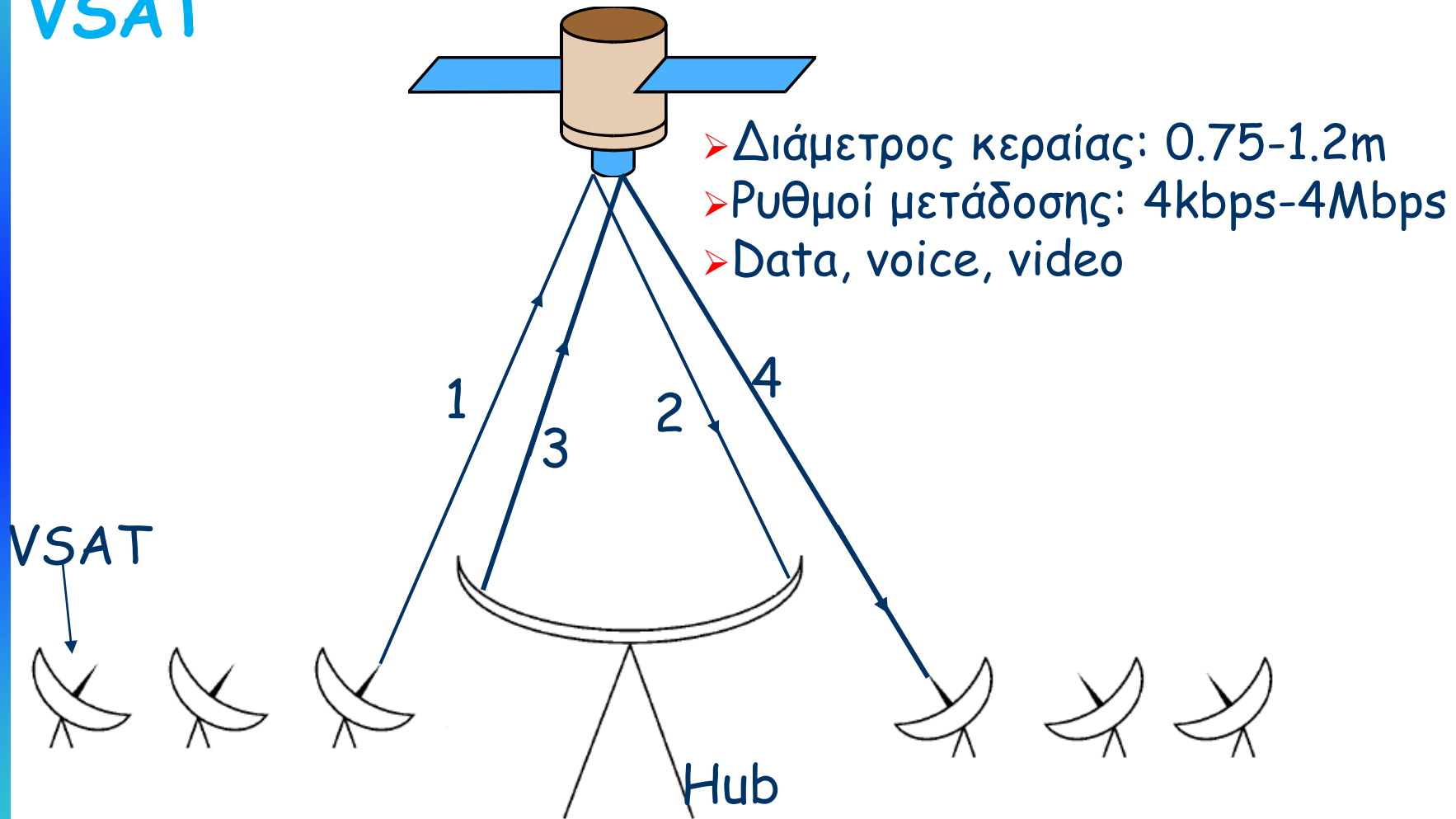
- Χαρακτηριστικά μετάδοσης
  - συνήθως 2-30 GHz
    - < 2 GHz μεγάλη παρεμβολή
    - >10 GHz ατμοσφαιρική απορρόφηση
  - Συνήθη ζεύγη
    - 4/6 band (5.925-6.425 άνοδος, 3.7-4.2 κάθοδος) [C-band]
    - 12/14 band (14-14.5 άνοδος, 11.7-12.2 κάθοδος) [Ku-band]
  - Σε υψηλότερες συχνότητες απαιτούνται ισχυρότερα σήματα.
  - Καθυστέρηση 240-300ms, αισθητή στις επικοινωνίες.
- Επίγεια παρεμβολή



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



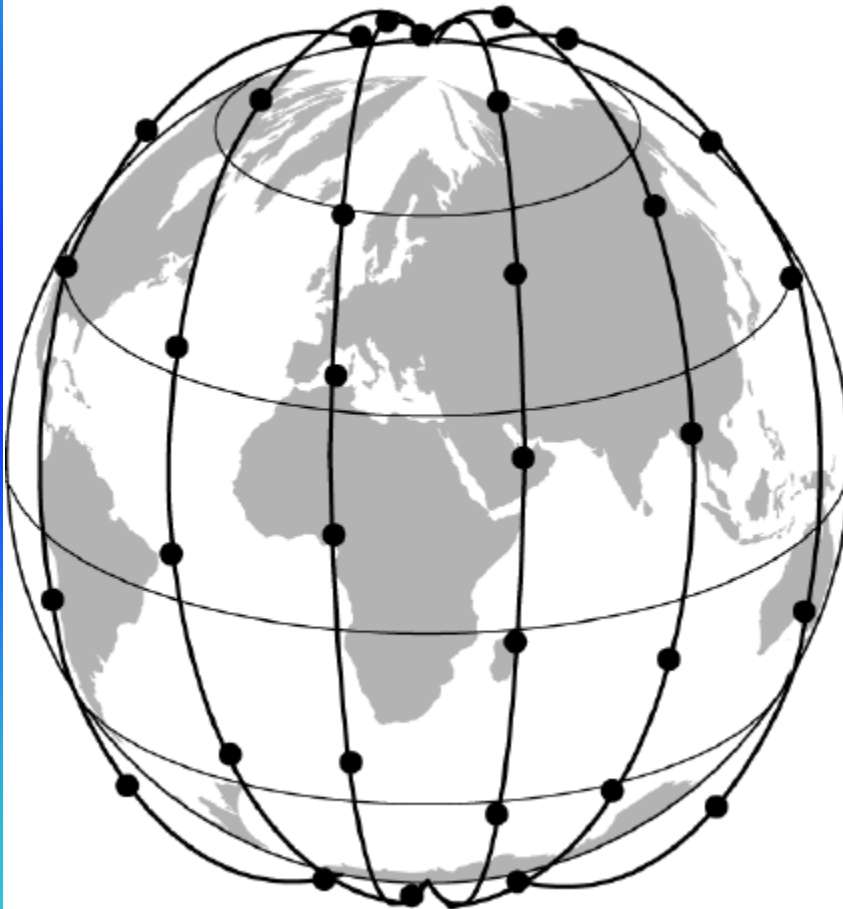
## VSAT



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## LEO



### Iridium

- 66 δορυφόροι
- Ύψος 750 km
- Απόσταση  $32^\circ$  γεωγρ. πλ.
- 48 δέσμες/δορυφόρο (max)
- 1628 κυψέλες
- Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων κάθε 2 κυψέλες
- 174 αμφ. Δίαυλοι/κυψέλη
- Ζώνη L, 1.6 GHz

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Infrared Data Adapter (IrDA)

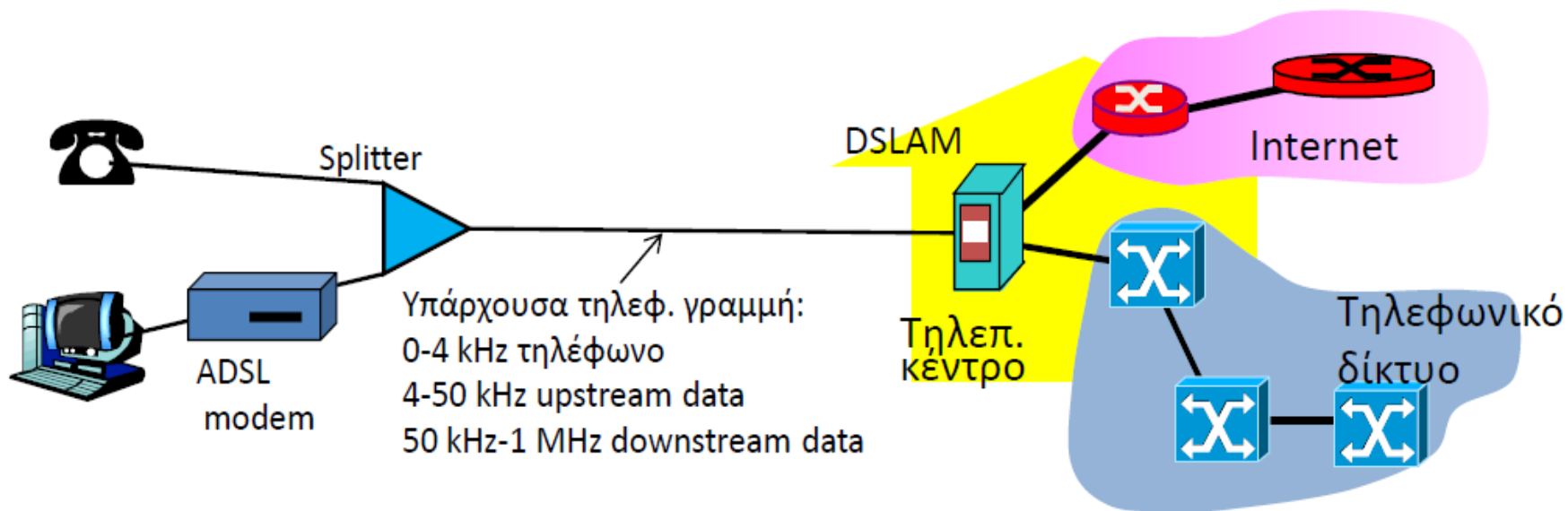
- Υπέρυθρη ακτινοβολία
- Οπτική επαφή (ή ανάκλαση)
- Δεν διαπερνά τοίχους
- π.χ. τηλεκοντρόλ TV, IRD port
- Υπάρχουν πρότυπα για ταχύτητες 2.4 kbps, 115.2 kbps, 1.152 Mbps, 4 Mbps
- $\lambda = 0.86 \mu\text{m}$ , για απόσταση 1 m

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Τοπικός βρόχος ADSL

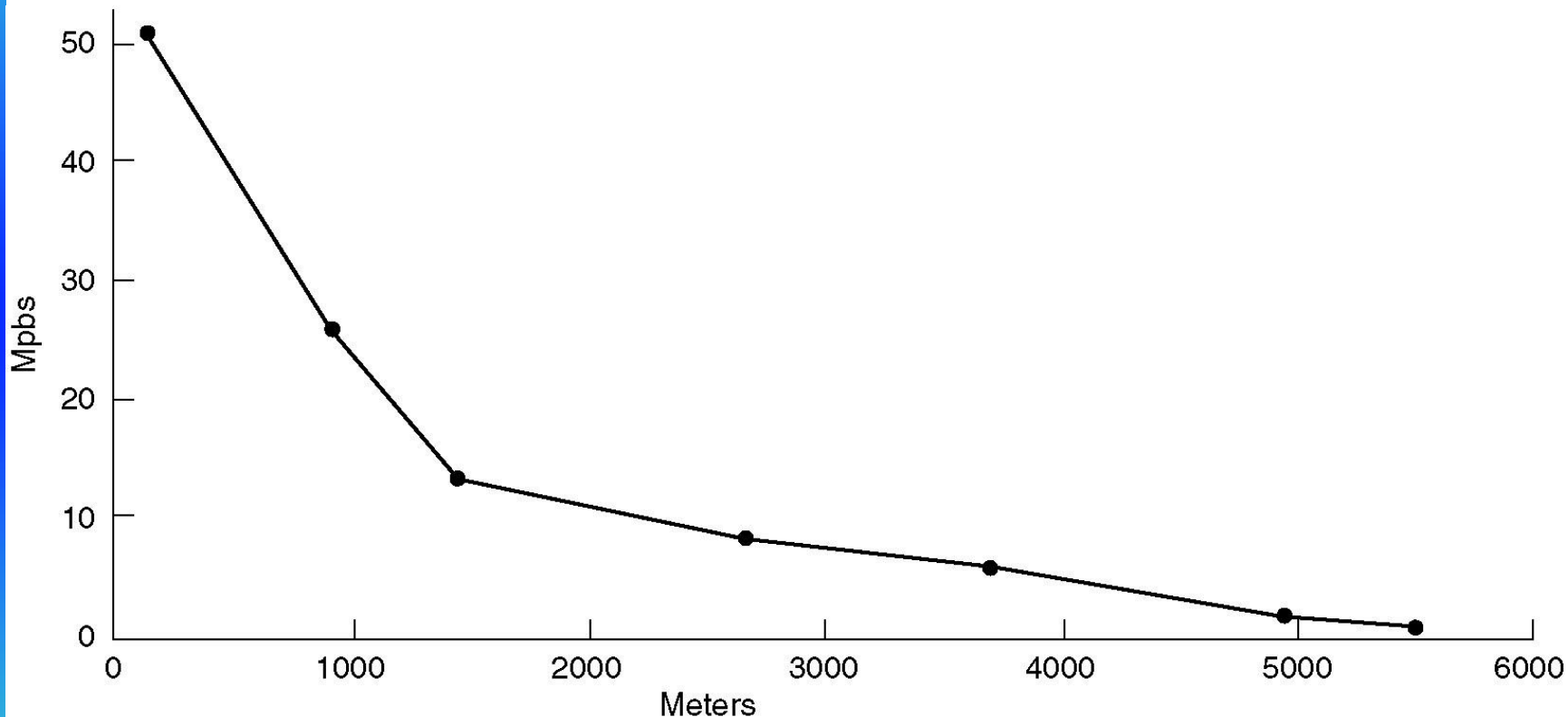
- **ADSL (asymmetric digital subscriber line)**
  - Παρέχεται από τηλεπικοινωνιακές εταιρίες.
  - Ταχύτητες μέχρι 24 Mbps downstream και 2.5 Mbps upstream.



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Τοπικός βρόχος, ADSL



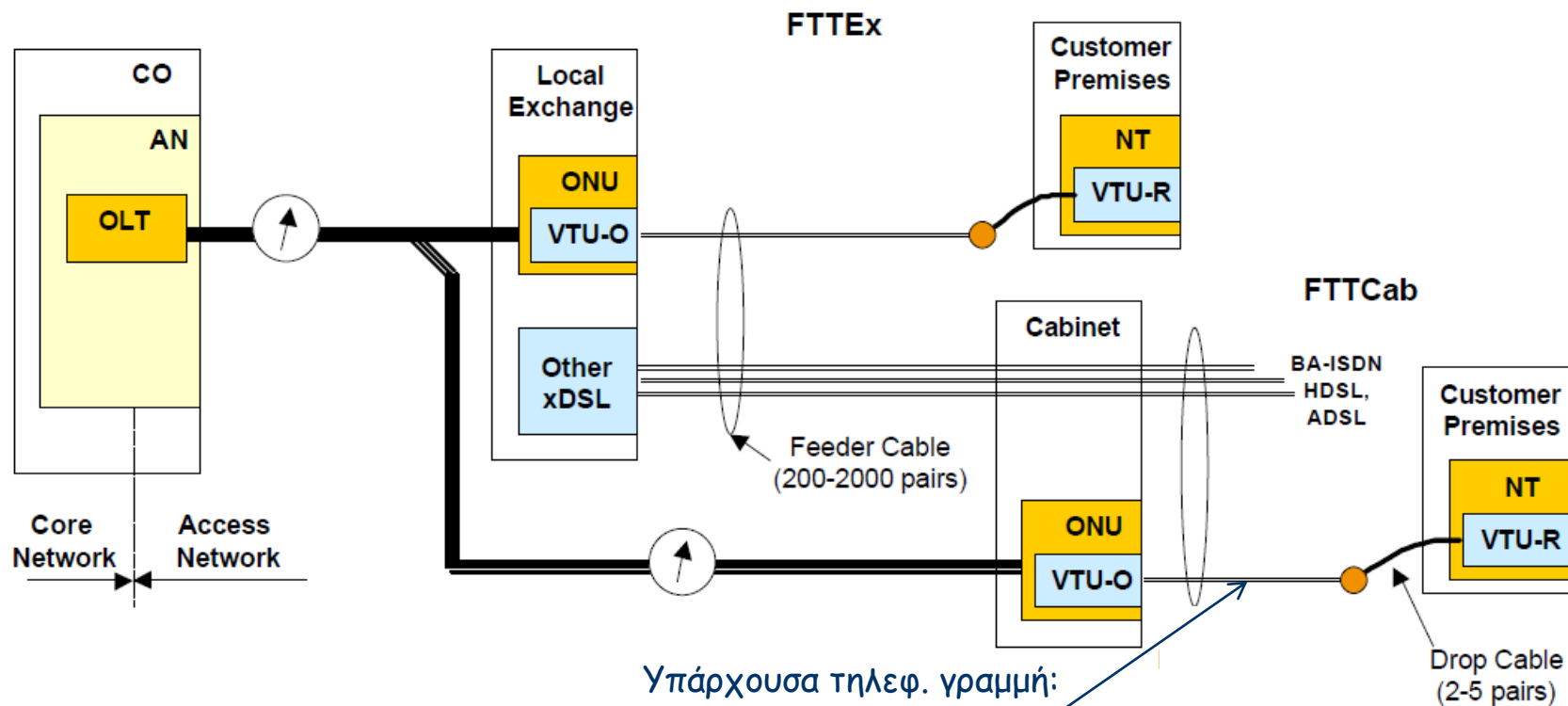
Ρυθμός μετάδοσης συναρτήσει της απόστασης για UTP cat 3

# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης



## Τοπικός βρόχος VDSL

- **VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line)**
  - Παρέχεται από τηλεπικοινωνιακές εταιρίες.
  - Ταχύτητες μέχρι 52 Mbps downstream και 5 Mbps upstream.



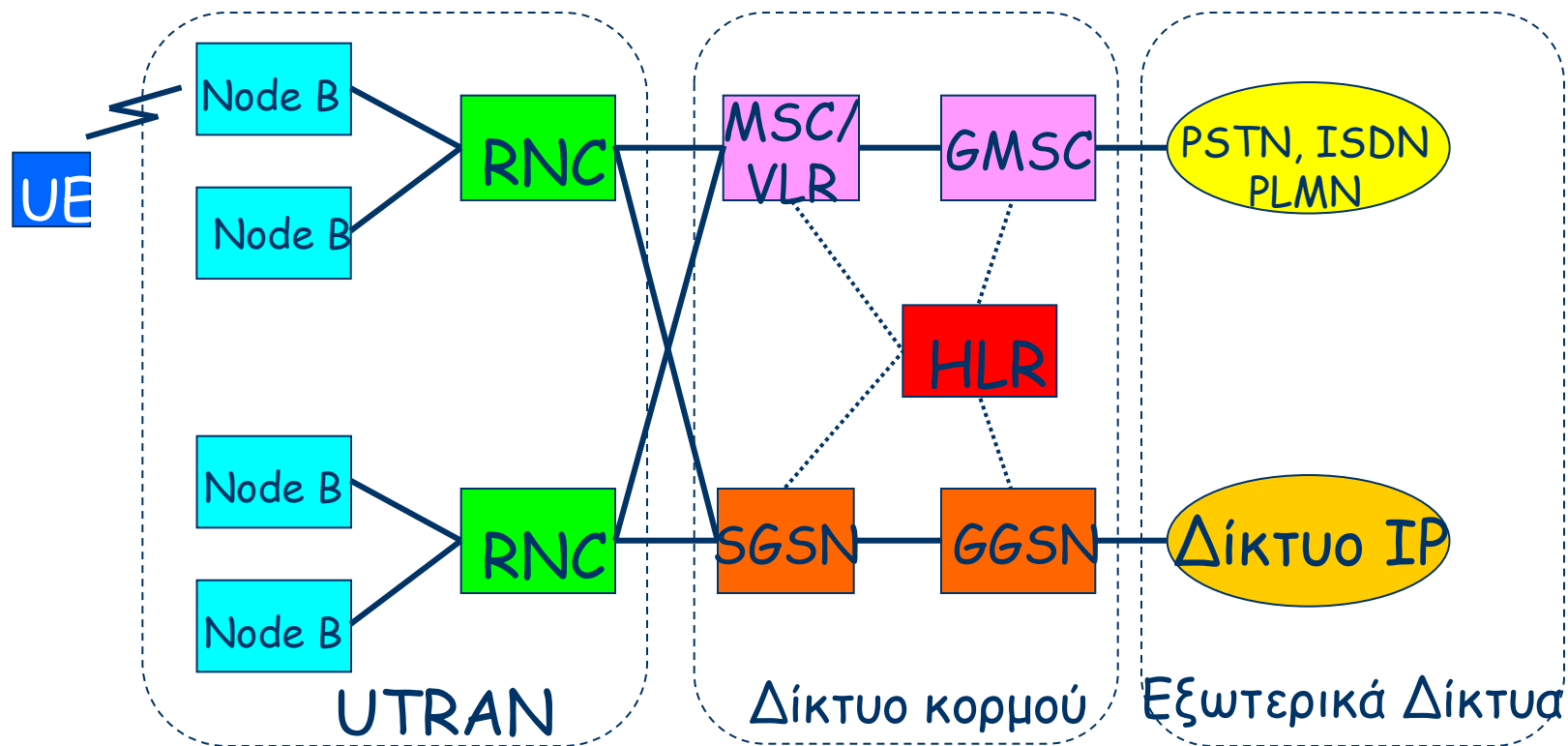
Υπάρχουσα τηλεφ. γραμμή:  
0-4 kHz τηλέφωνο  
0.138-4 MHz upstream data  
4 MHz-12 MHz downstream data



# Ιδιότητες των μέσων και των συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης

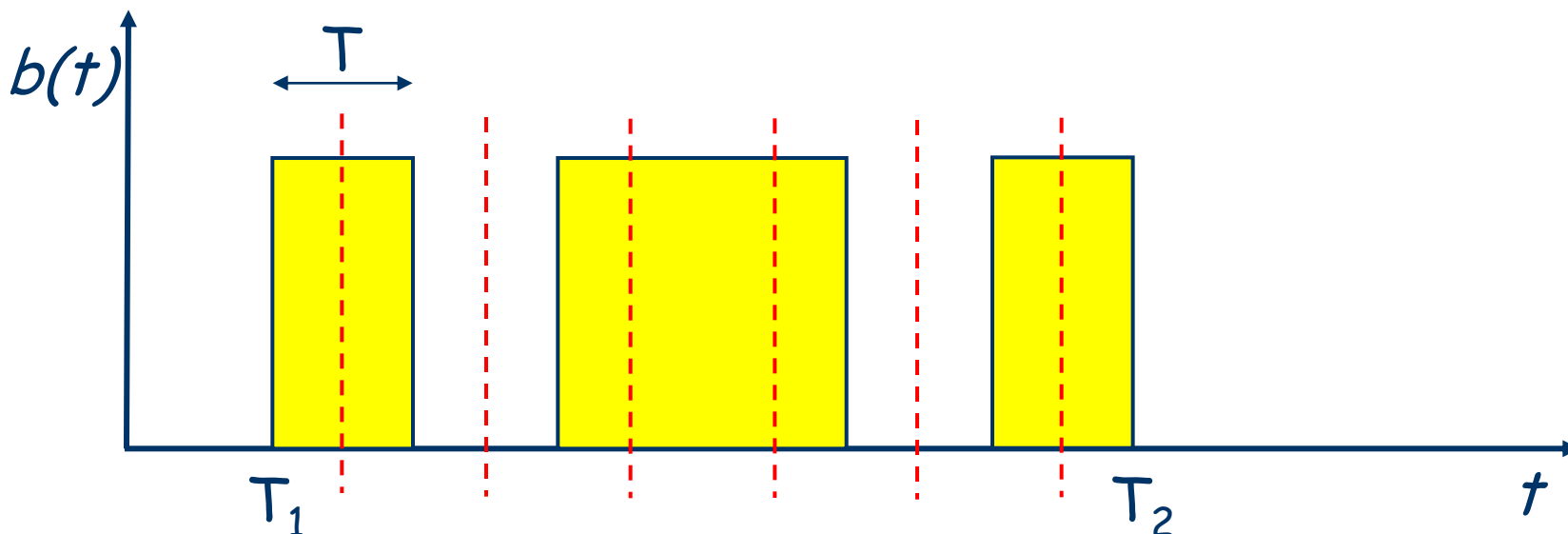


## Κυψελωτό σύστημα UMTS



UE: User Equipment  
RNC: Radio Network Controller  
UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network  
SGSN: Serving GPRS Support Node  
GGSN: Gateway GPRS Support Node

# Συγχρονισμός



- Απαιτείται μηχανισμός για να συγχρονίζονται ο πομπός και ο δέκτης
- Δύο λύσεις
  - Ασύγχρονη μετάδοση
  - Σύγχρονη μετάδοση



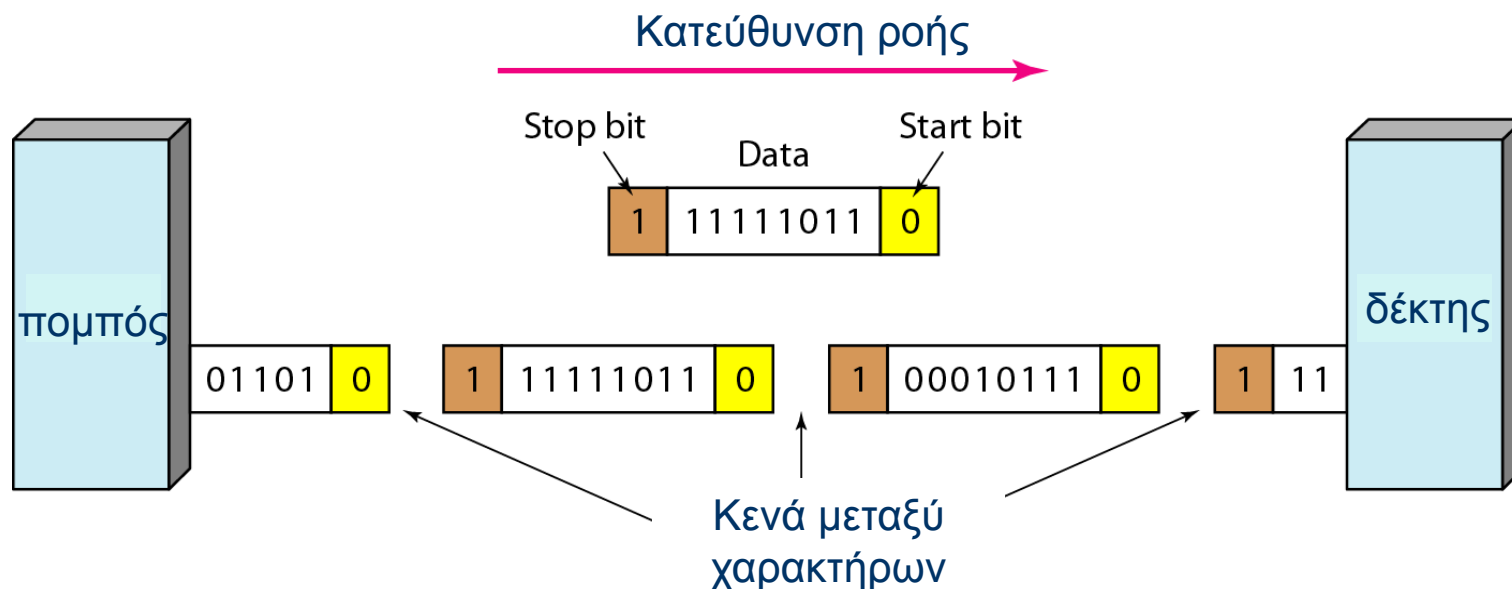
## Ασύγχρονη μετάδοση

- Τα δεδομένα μεταδίδονται με χαρακτήρες, ένας χαρακτήρας κάθε φορά
  - 5 ως 8 bit
- Ο χρονισμός χρειάζεται να διατηρείται μόνο μέσα σε κάθε χαρακτήρα
- Επανασυγχρονισμός με κάθε χαρακτήρα



## Ασύγχρονη μετάδοση

Στέλνεται ένα start bit στην αρχή και ένα stop bit στο τέλος κάθε χαρακτήρα. Μπορεί να υπάρχει κενό μεταξύ κάθε χαρακτήρα.



Είναι ασύγχρονη σε επίπεδο χαρακτήρων, αλλά τα bit είναι συγχρονισμένα. Οι διάρκειές τους είναι ίδιες.



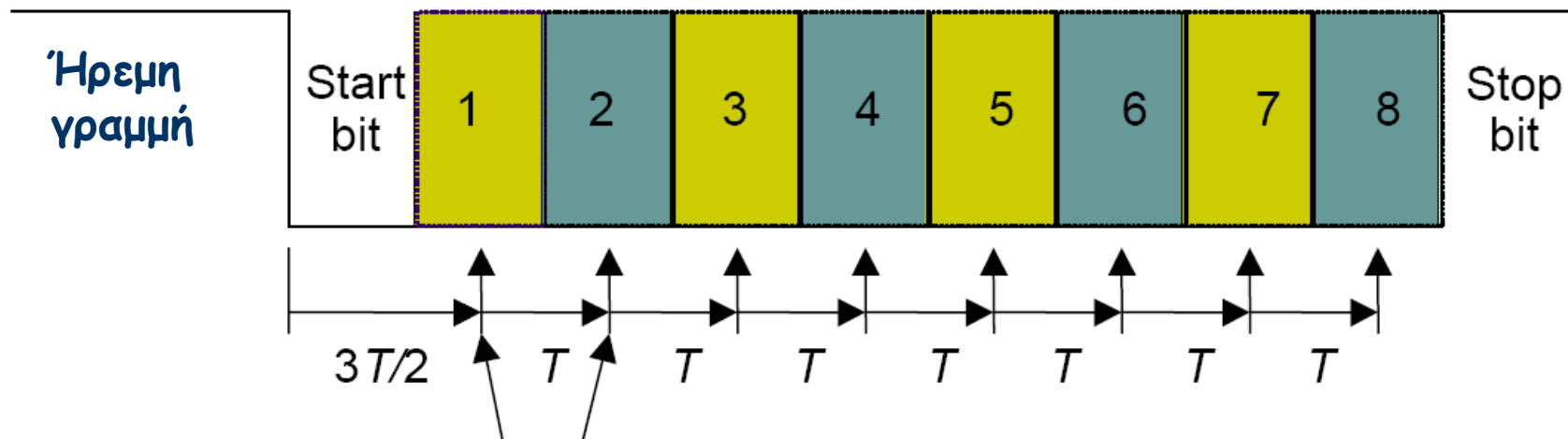
## Ασύγχρονη μετάδοση

- Σε σταθερή ροή, η απόσταση μεταξύ χαρακτήρων είναι ομοιόμορφη (μήκος του στοιχείου stop).
- Στην κατάσταση ηρεμίας, ο δέκτης ψάχνει για μετάβαση από 1 σε 0.
- Τότε δειγματολαμβάνει τα επόμενα οκτώ διαστήματα (μήκος χαρακτήρα).
- Στη συνέχεια ψάχνει για την επόμενη μετάβαση από 1 προς 0 για τον επόμενο χαρακτήρα.
- Απλή
- Φθηνή
- Πλεονασμός 2 ή 3 bit ανά χαρακτήρα (~20%)
- Καλή για δεδομένα με μεγάλα κενά (keyboard)



## Ασύγχρονη μετάδοση

Bit δεδομένων

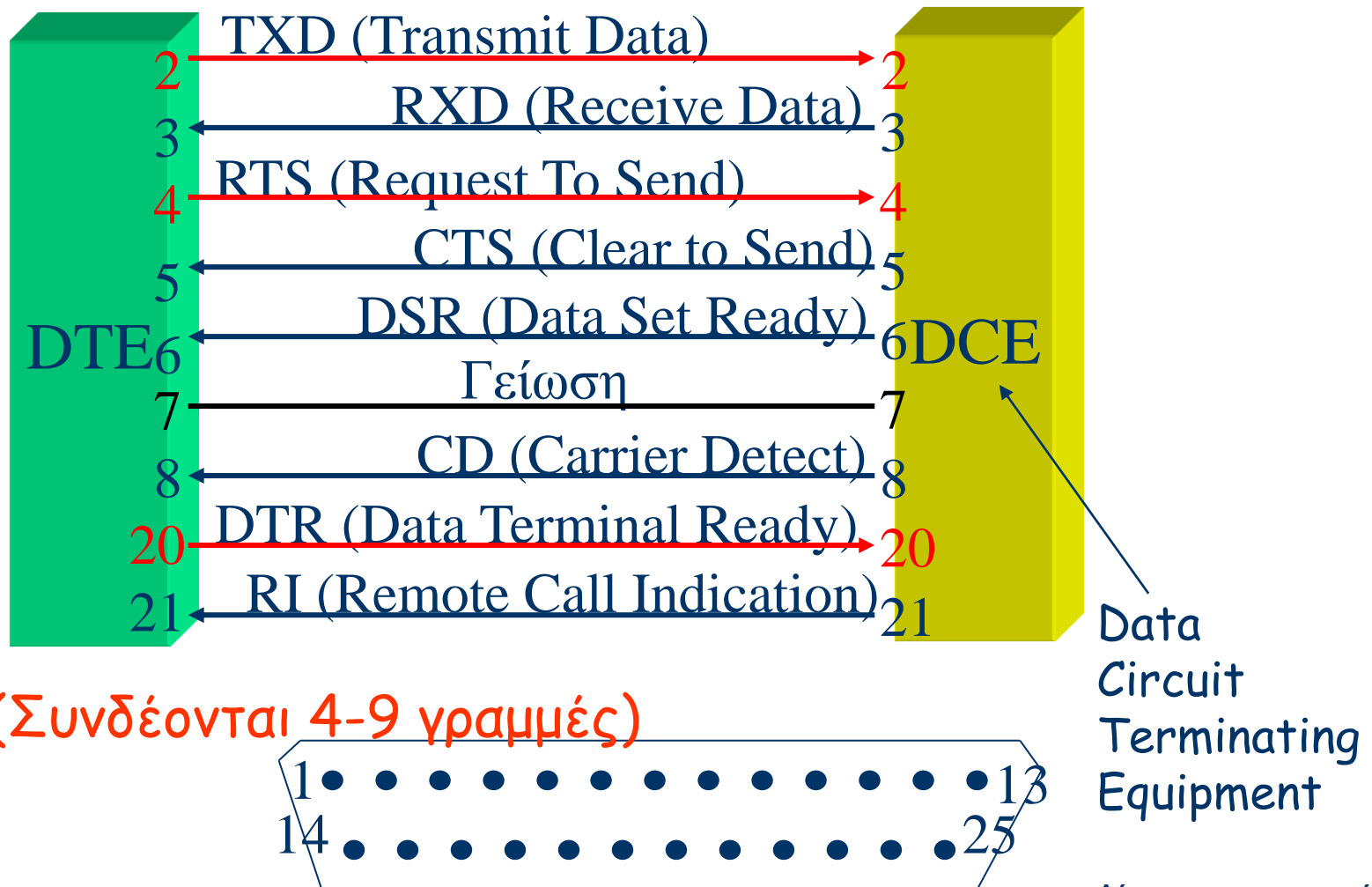


Στιγμές δειγματοληψίας  
των bit στον δέκτη

# Συγχρονισμός



## Ασύγχρονη μετάδοση με RS-232-C





## Σύγχρονη μετάδοση

- Ανάγκη καθορισμού της αρχής και του τέλους της ομάδας.
- Χρήση ενδείκτη αρχής και τέλους.
- Πιο αποδοτική (μικρότερος πλεονασμός) από την ασύγχρονη.





## Σύγχρονη μετάδοση

- Στη σύγχρονη μετάδοση μεταδίδονται πιο μακριές ακολουθίες από bits που ονομάζονται πακέτα.
- Ο δέκτης συγχρονίζεται χρησιμοποιώντας είτε ρολόι μεγάλης ακριβείας είτε κώδικα αυτοσυγχρονισμού.
- Η κωδικοποίηση Manchester είναι ένας τρόπος μετάδοσης που διευκολύνει τον συγχρονισμό.
- Εσωτερικά τα μηνύματα μπορούν να περιέχουν χαρακτήρες ή να περιέχουν bits των οποίων η σημασία προσδιορίζεται από τη θέση τους.

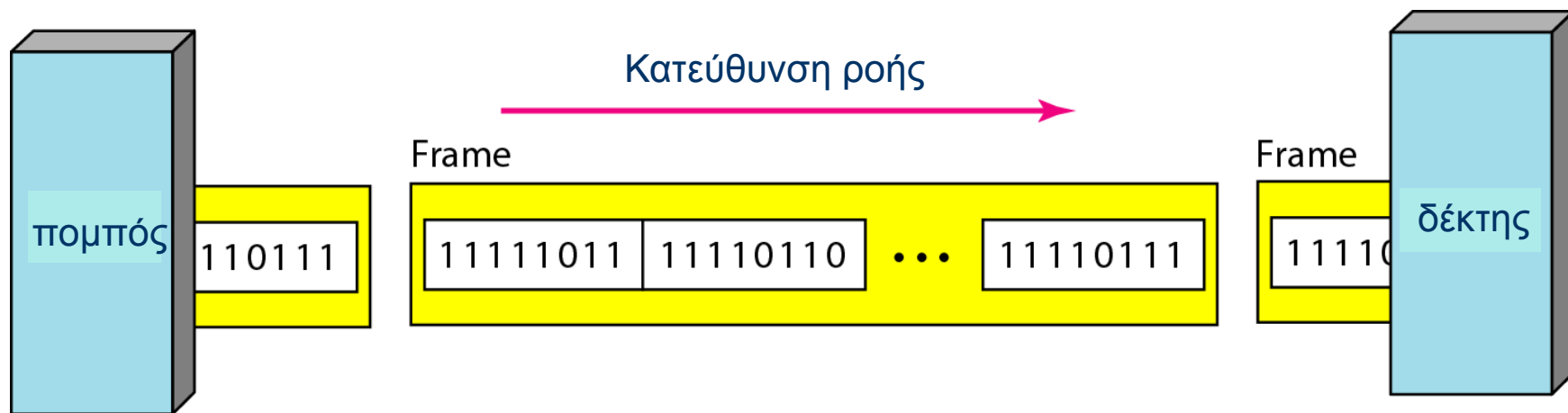
# Συγχρονισμός



## Σύγχρονη μετάδοση

Στέλνονται bit το ένα μετά το άλλο χωρίς start ή stop bit ή κενά.

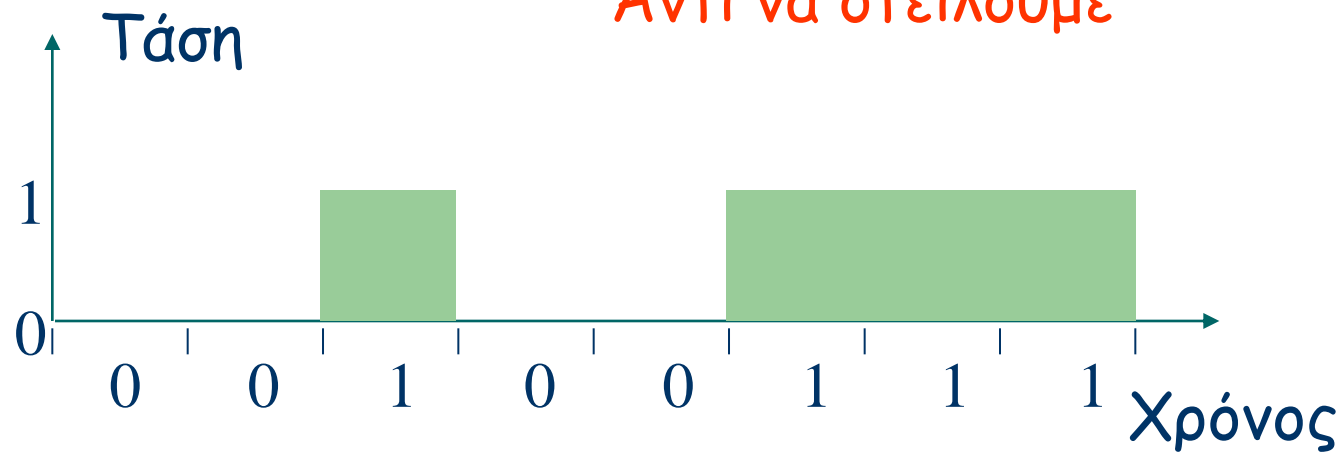
Είναι αρμοδιότητα του δέκτη να ομαδοποιήσει τα bit.



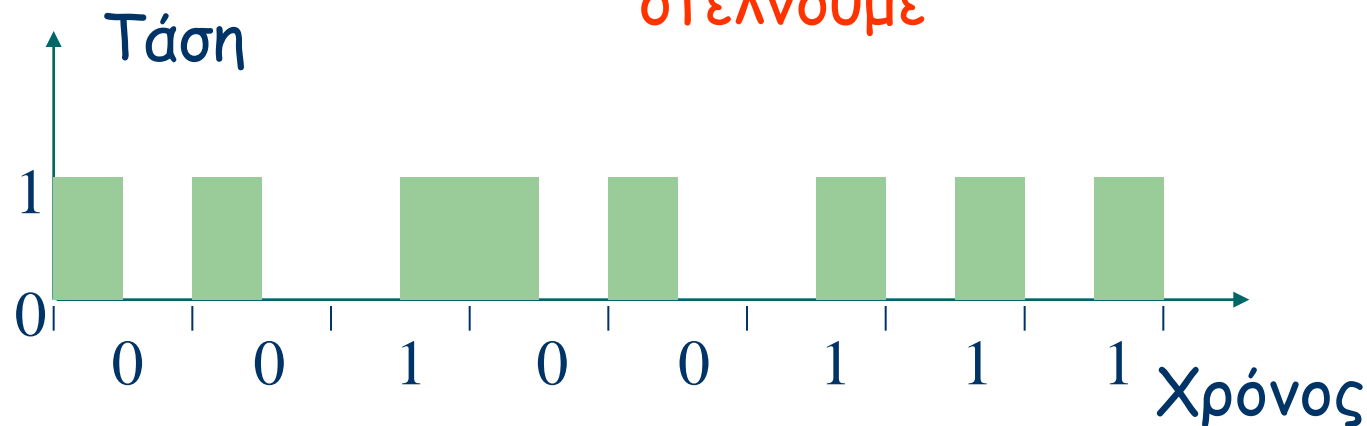


## Κωδικοποίηση Manchester

Αντί να στείλουμε



στέλνουμε



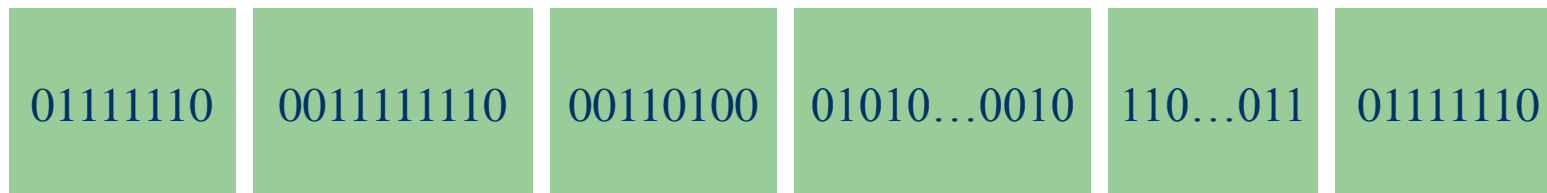
Κερδίζουμε σε συγχρονισμό. Τι χάνουμε;



## Μετάδοση με χαρακτήρες ή με bit



Σημαία    Διεύθυνση    Έλεγχος    Δεδομένα    CRC    Σημαία





## Παραγέμισμα με χαρακτήρες



Χαρακτήρας DLE  
που παρεμβάλλεται





## Παραγέμισμα με bit

- Στην μετάδοση με καθορισμένη σημασία της θέσης των bits επειδή η ακολουθία bits της σημαίας 01111110 μπορεί να συμβεί κατά τύχη, ο σχηματισμός 011111 αντικαθίσταται προκαταβολικά με τον σχηματισμό 0111110 πριν την αποστολή του πακέτου.
- Η διαδικασία αυτή λέγεται bit stuffing.
- Κατά τη λήψη του πακέτου το πρόσθετο μηδενικό στον σχηματισμό 0111110 απομακρύνεται προτού αποδοθεί η πληροφορία του πακέτου στον παραλήπτη.



## Παραγέμισμα με bit

Σημαία αρχής

Σημαία τέλους



0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

Bit που παρεμβάλλονται

0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0