



ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

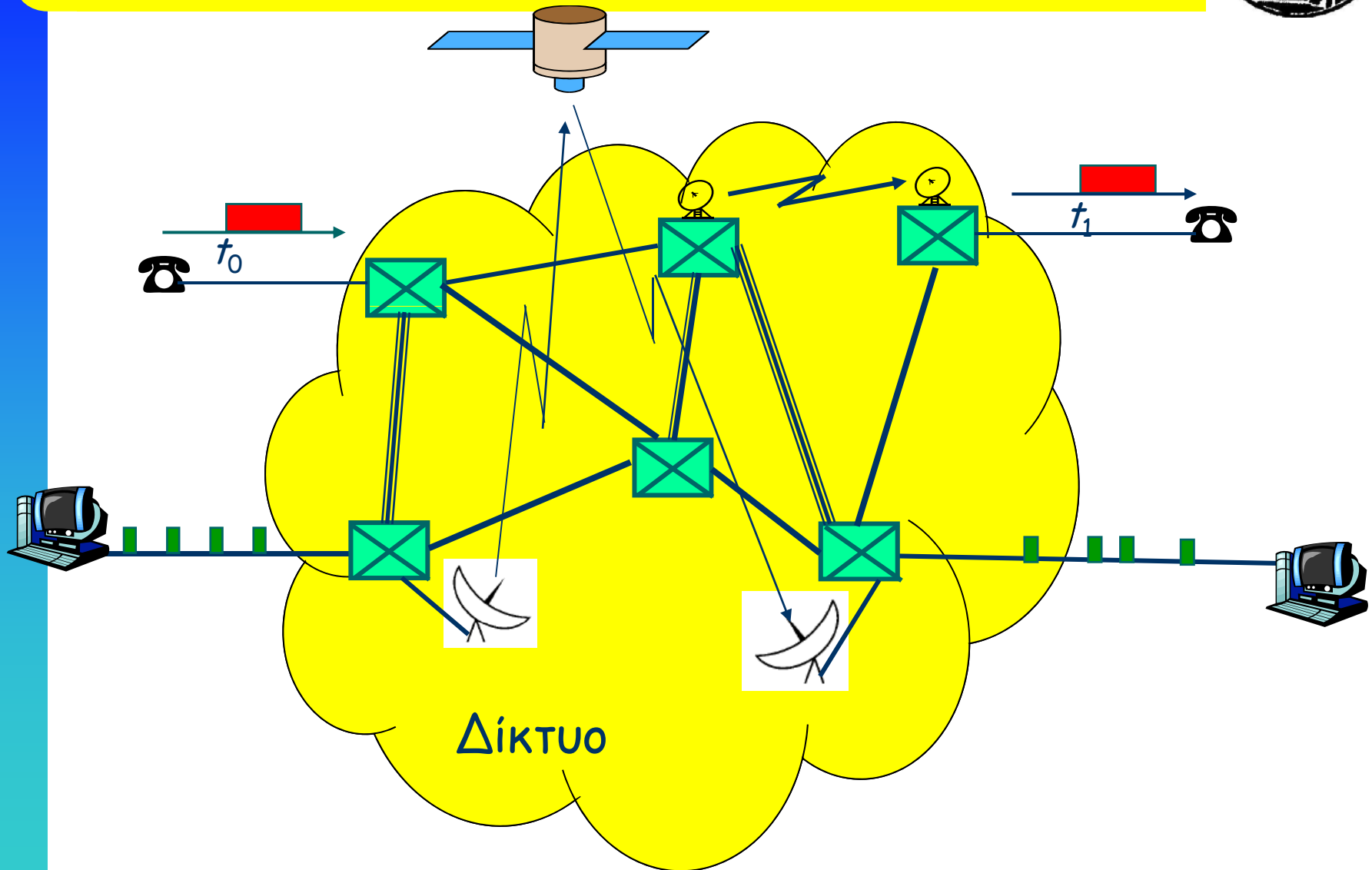
Φυσικό στρώμα

Περίληψη



- Εισαγωγή στα συστήματα μετάδοσης
- Μετάδοση σημάτων
 - Αναλογική
 - Ψηφιακή
- Περιορισμοί στη μετάδοση
- Χωρητικότητα διαύλου
- Μετάδοση στη βασική ζώνη
- Ψηφιακή διαμόρφωση
- Ενσύρματες φυσικές ζεύξεις
- Ασύρματες φυσικές ζεύξεις
- Σύγχρονη και ασύγχρονη ψηφιακή μετάδοση

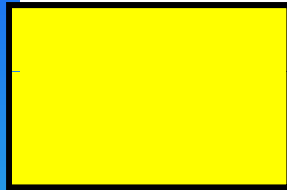
Συστήματα μετάδοσης



Συστήματα μετάδοσης



Πομπός



Δίαυλος επικοινωνίας



Δέκτης



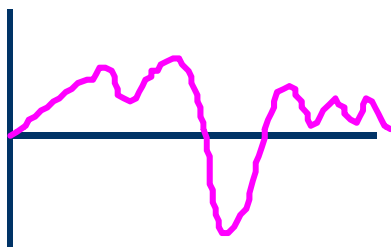
Ελεύθερος χώρος
Καλώδιο ή διπλαγωγός
Οπτική ίνα

Μετάδοση σημάτων

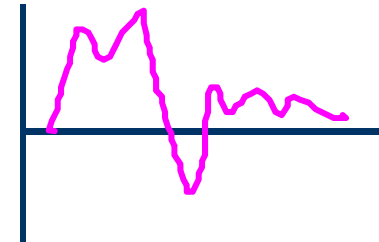


(α) **Αναλογική μετάδοση:** όλες οι λεπτομέρειες πρέπει να αναπαράγονται ακριβώς

Εκπομπή

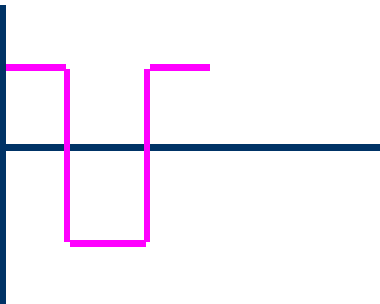


Λήψη

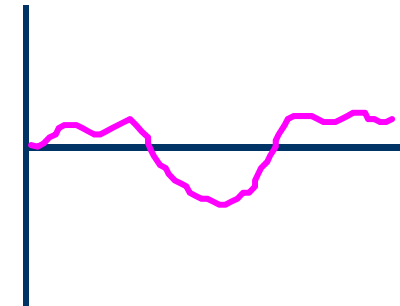


(β) **Ψηφιακή μετάδοση:** μόνο διακεκριμένες στάθμες πρέπει να αναπαράγονται

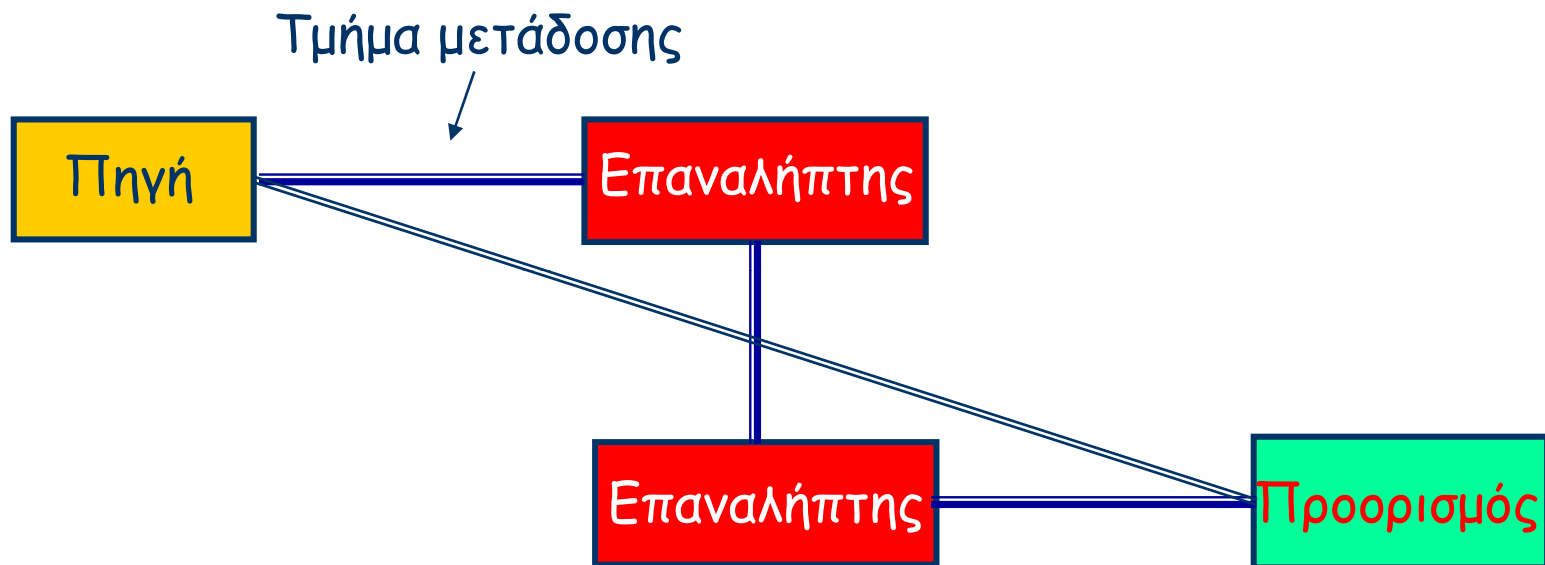
Εκπομπή



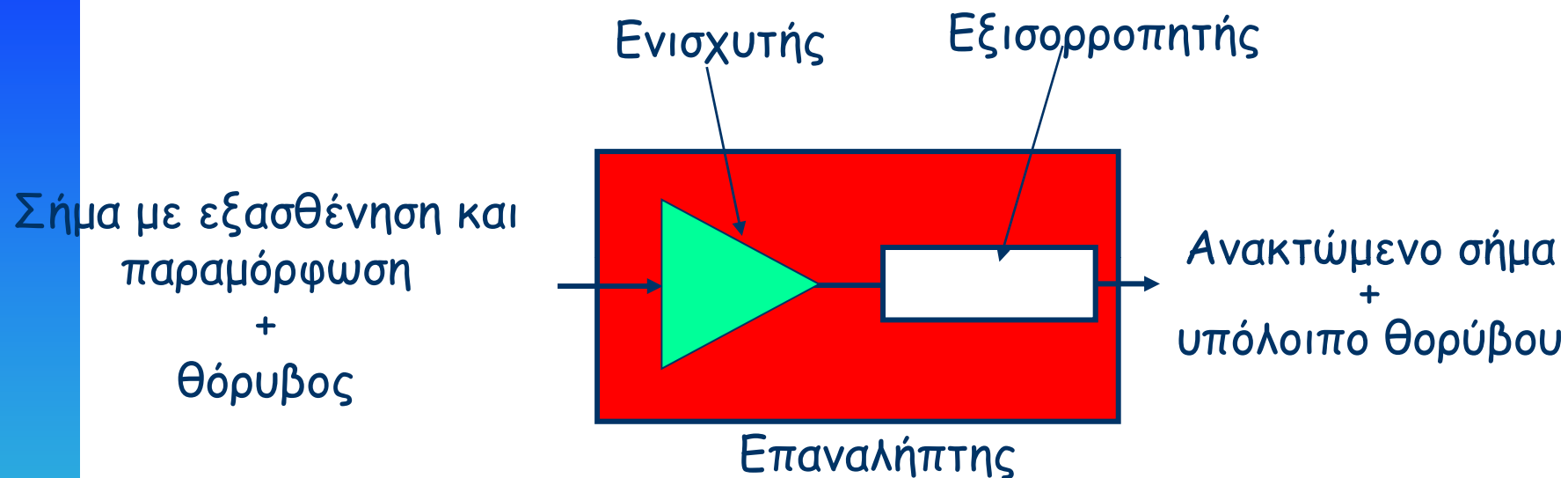
Λήψη



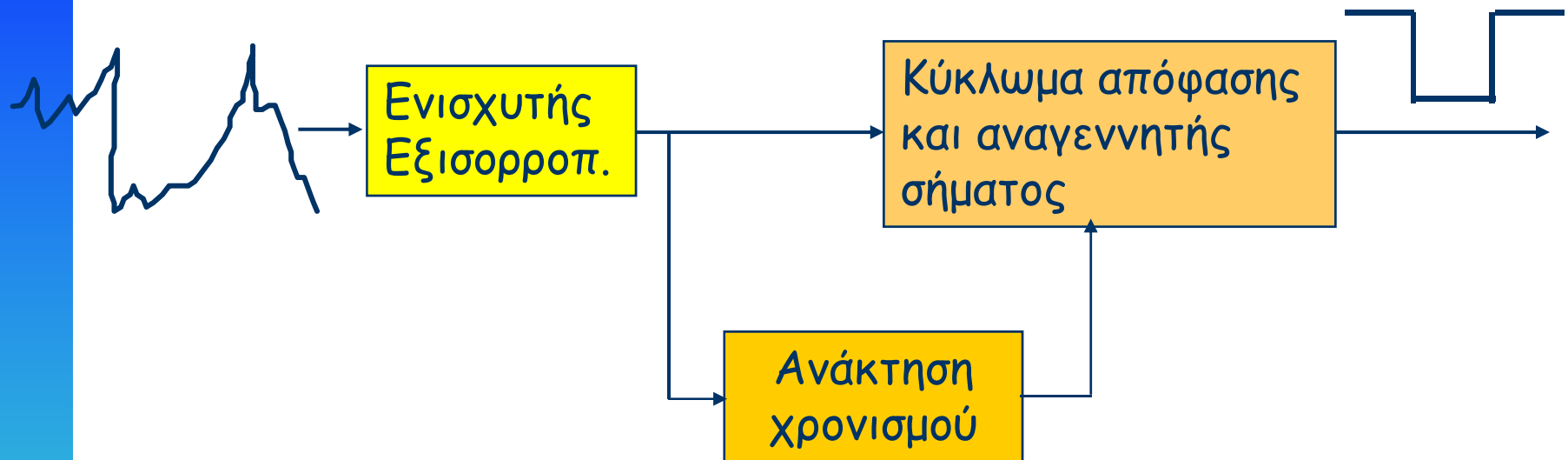
Μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις



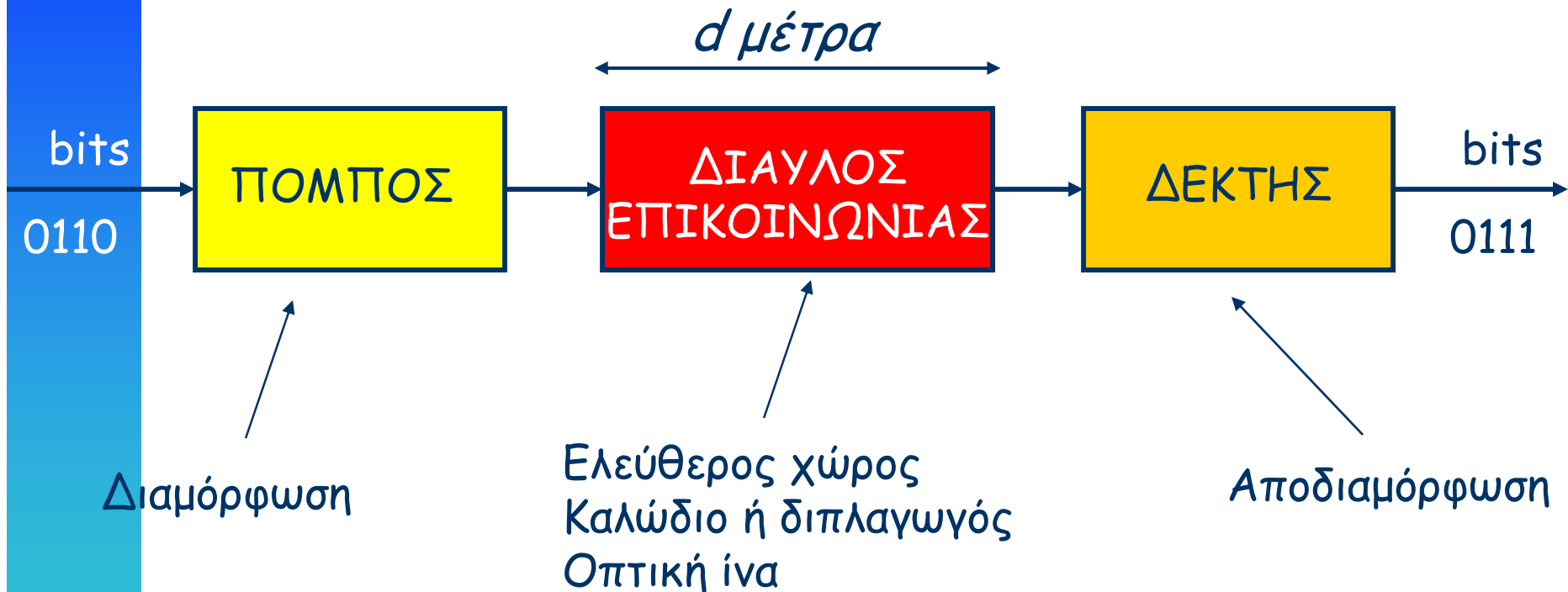
Αναλογικός επαναλήπτης



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

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

Περιορισμοί στη μετάδοση



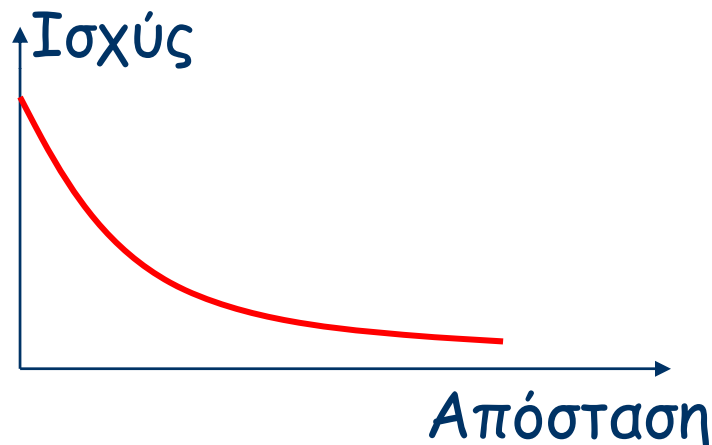
Τέσσερα βασικά φαινόμενα περιορίζουν τον ρυθμό μετάδοσης και την απόσταση μετάδοσης

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

Εξασθένηση



Μείωση της ισχύος του σήματος με την απόσταση

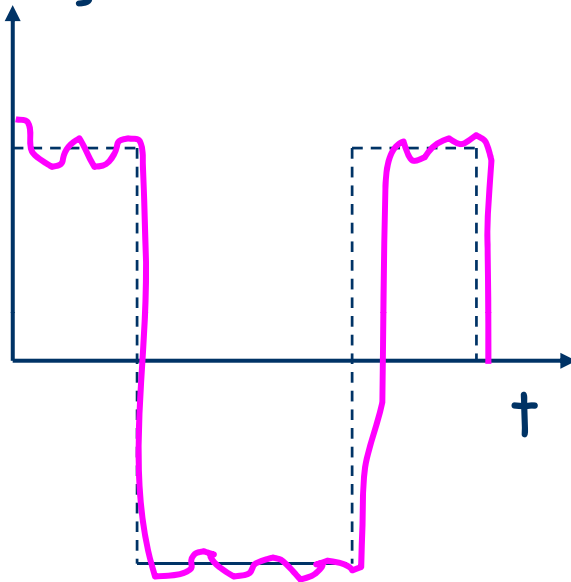


- Απώλεια ενέργειας κατά τη διάδοση σε γραμμές μετάδοσης και σε ίνες
- Ανάκλαση, σκέδαση, περίθλαση κλπ.
- Συμβολή πολλών κυμάτων στην κεραία
- Εξασθένηση ανάλογη της συχνότητας στις γραμμές μετάδοσης και στις ίνες

Παραμόρφωση



Πλάτος

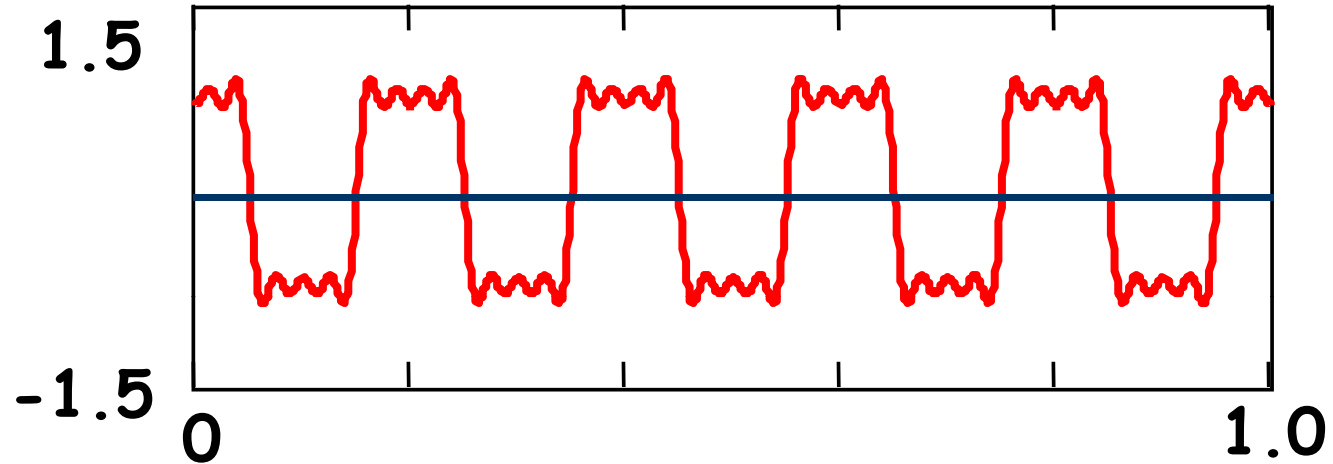


- Διαφορετική εξασθένηση και καθυστέρηση για κάθε συχνότητα
- Το τελικό σήμα διαφέρει από το αρχικά μεταδοθέν
- Απαιτείται εξισορρόπηση

Παραγωγή τετραγωνικής κυματομορφής

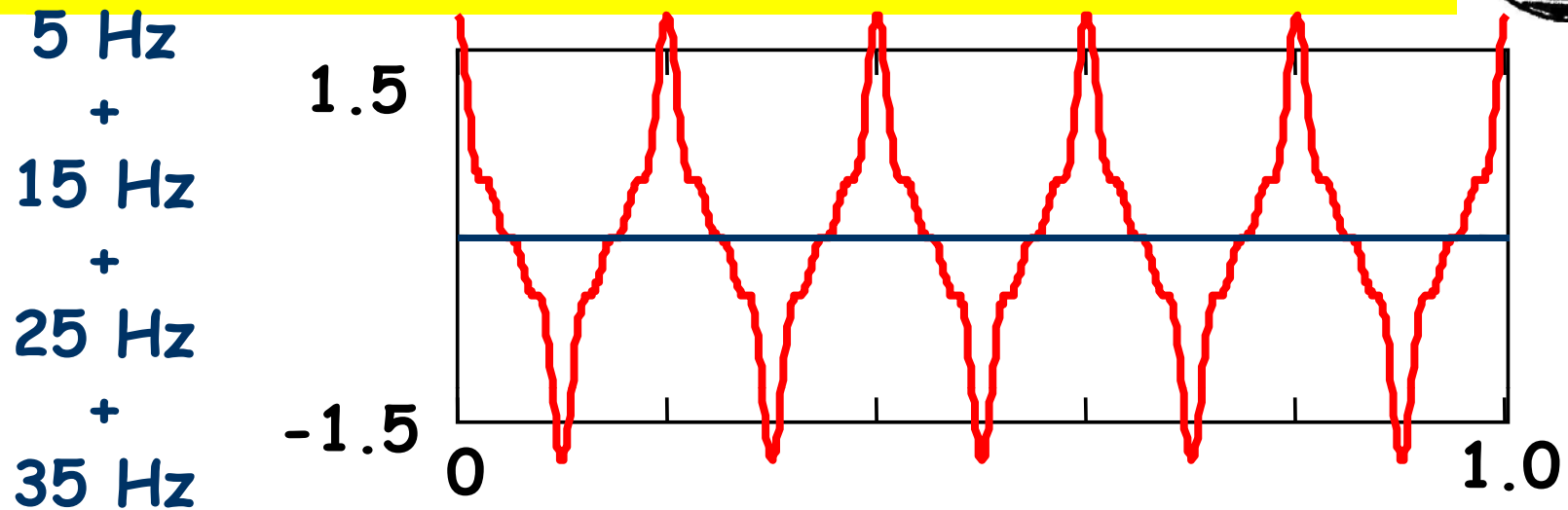


5 Hz
+
15 Hz
+
25 Hz
+
35 Hz



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

Επίδραση της παραμόρφωσης φάσης



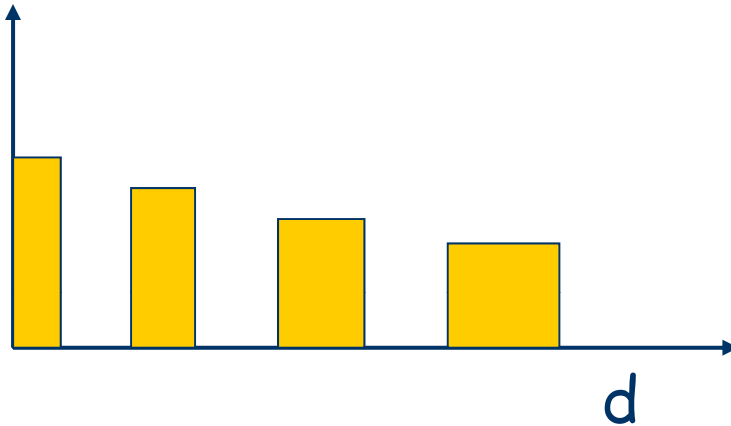
$$\cos 2\pi \cdot 5t + (1/3)\cos 2\pi \cdot 15t + (1/5)\cos 2\pi \cdot 25t + (1/7)\cos 2\pi \cdot 35t$$

Τα σήματα των 15 και 35 Hz εμφανίζουν μετατόπιση φάσης (λόγω διαφορετικών ταχυτήτων διάδοσης) ως προς τα σήματα των 5 και 25 Hz.

Διασπορά



Πλάτος



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

Θόρυβος



Απρόβλεπτη μεταβολή του
σήματος που φθάνει στον
δέκτη



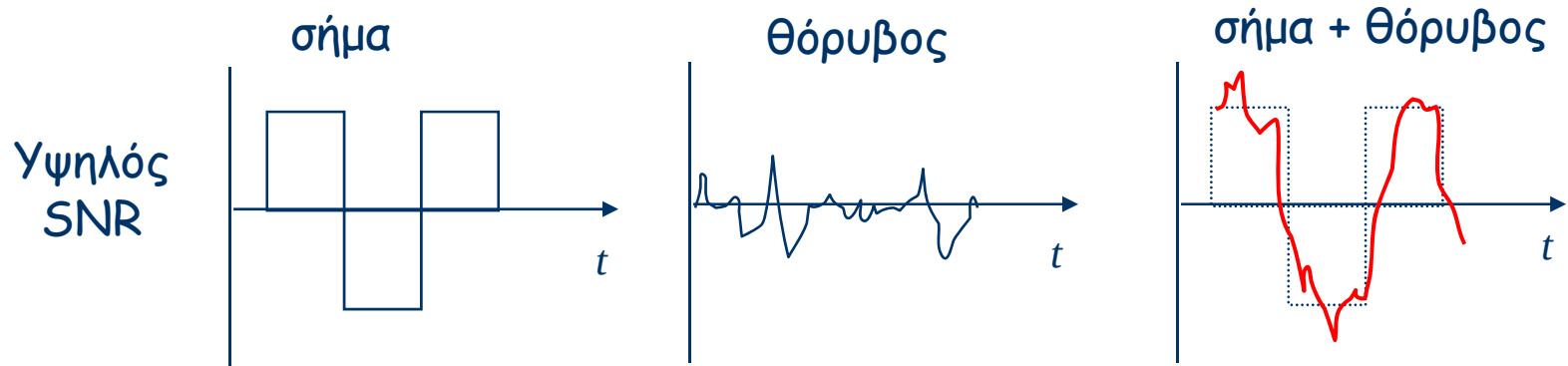
$$b_1 b_2 \dots b_n$$

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

n bits σε 2 ms

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

Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR)



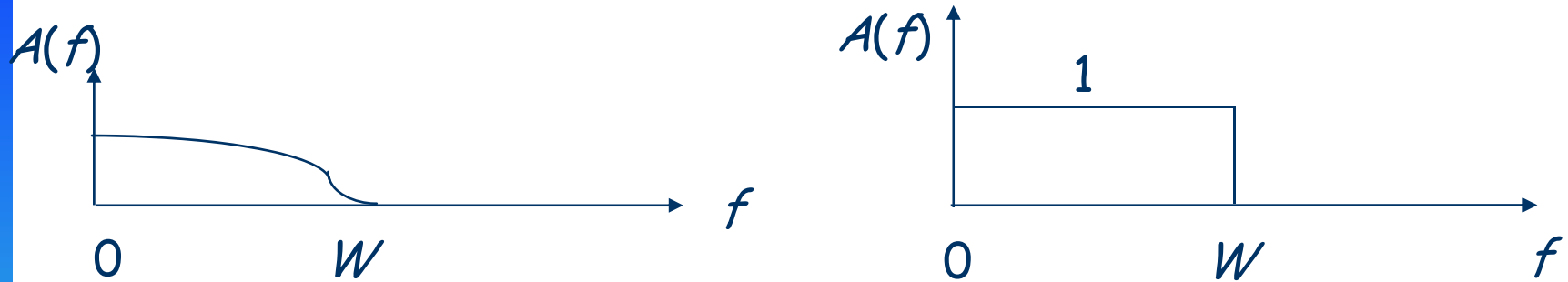
$$\text{SNR} = \frac{\text{Μέση ισχύς σήματος}}{\text{Μέση ισχύς θορύβου}}$$

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

Εύρος ζώνης διαύλου



(α) Βαθυπερατός δίαυλος



(β) Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης παλμών: $2W$ παλμοί/sec



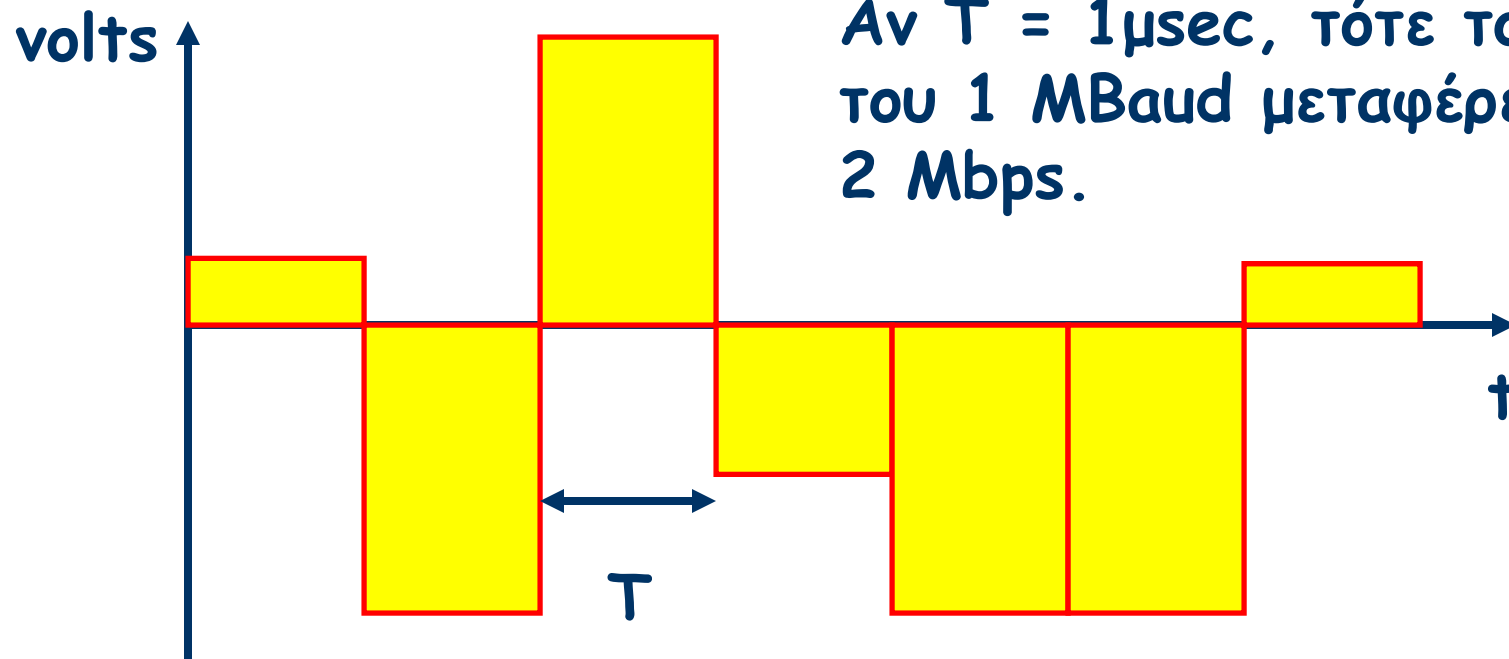
(γ) Μετάδοση με πολλές στάθμες:

$2W$ παλμοί/sec $\times$ m bit/παλμό

Παράδειγμα Μ-δικού σήματος



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



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

Χωρητικότητα Shannon



4 στάθμες σήματος



Θόρυβος

8 στάθμες σήματος

Χωρητικότητα διαύλου (C)



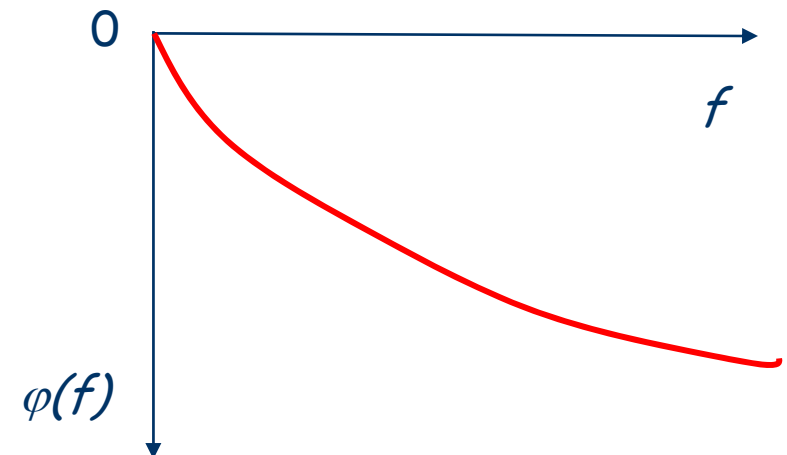
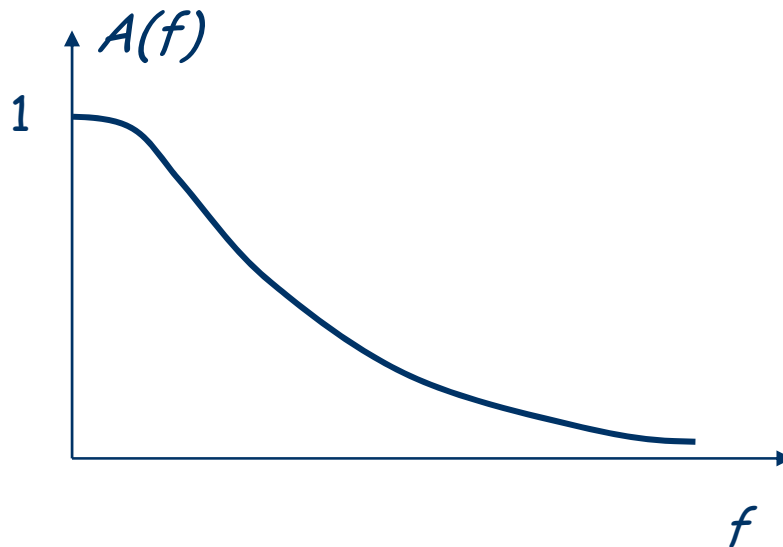
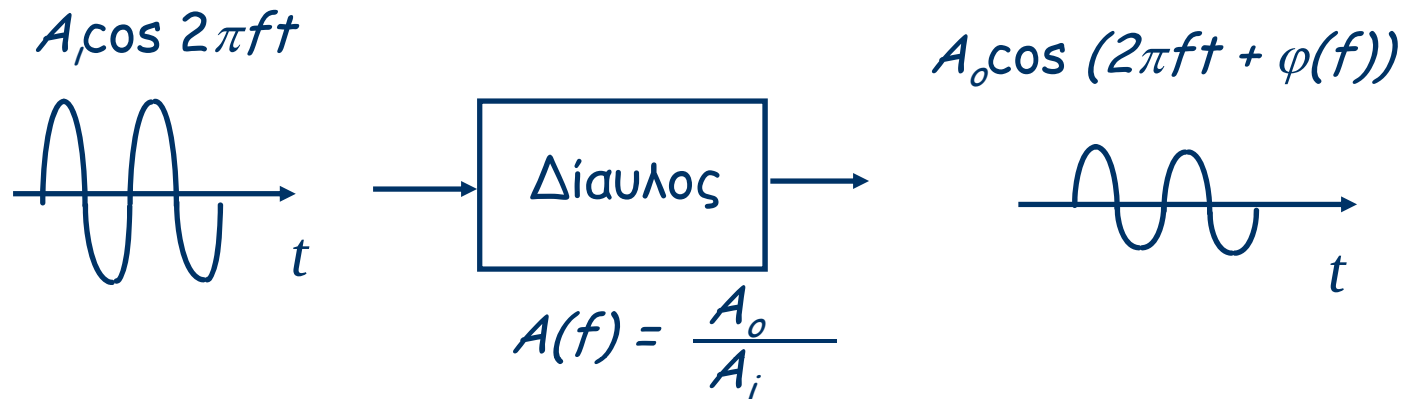
- $C = W * \log_2(1 + \text{SNR})$ bps
 - W = εύρος ζώνης διαύλου (Hz)
 - SNR = λόγος σήματος προς θόρυβο στον δίαυλο
- Ο μέγιστος ρυθμός bit που μπορεί να μεταδοθεί αξιόπιστα μέσω μιας σύνδεσης
- Π1) Αναλογικό modem (30 dB SNR)
 $C = 3500 * \log_2(1 + 1000) = 34.885$ bps
- Π2) Δίαυλος TV 6 MHz (42 dB SNR)
 $C = 6.000.000 * \log_2(1 + 15.849) = 83.71$ Mbps

Ανακεφαλαίωση

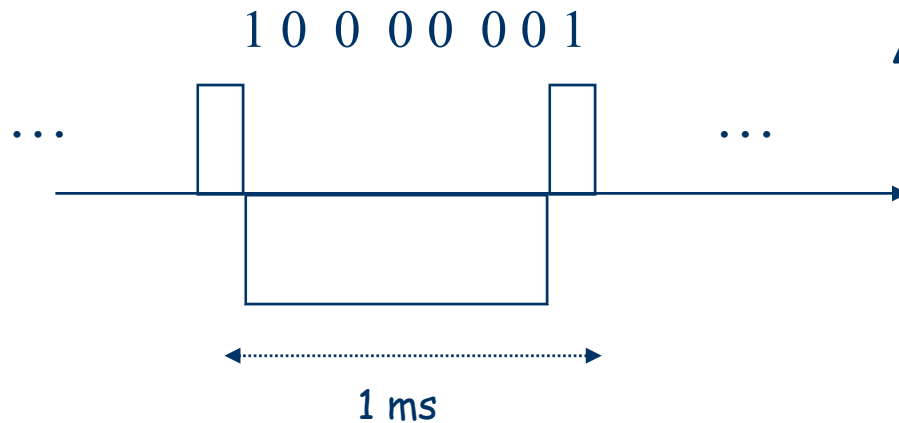


- Το εύρος ζώνης καθορίζει τον ρυθμό συμβόλων (σύμβολα/sec)
- Δύο σύμβολα: δυαδική σηματοδότηση
- Με δοθέν εύρος ζώνης, η Μ-δική σηματοδότηση επιτρέπει αυξημένους ρυθμούς bit
 - Τα σύμβολα πλησιάζουν μεταξύ τους, όταν η ισχύς παραμένει σταθερή
 - Τα λάθη ανίχνευσης στον δέκτη γίνονται πιθανότερα
- Εύρος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

Χαρακτηρισμός διαύλου στο πεδίο συχνότητας



Επίδραση του διαύλου στο σήμα εξόδου



Διάρκεια παλμών: 0.125 ms

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

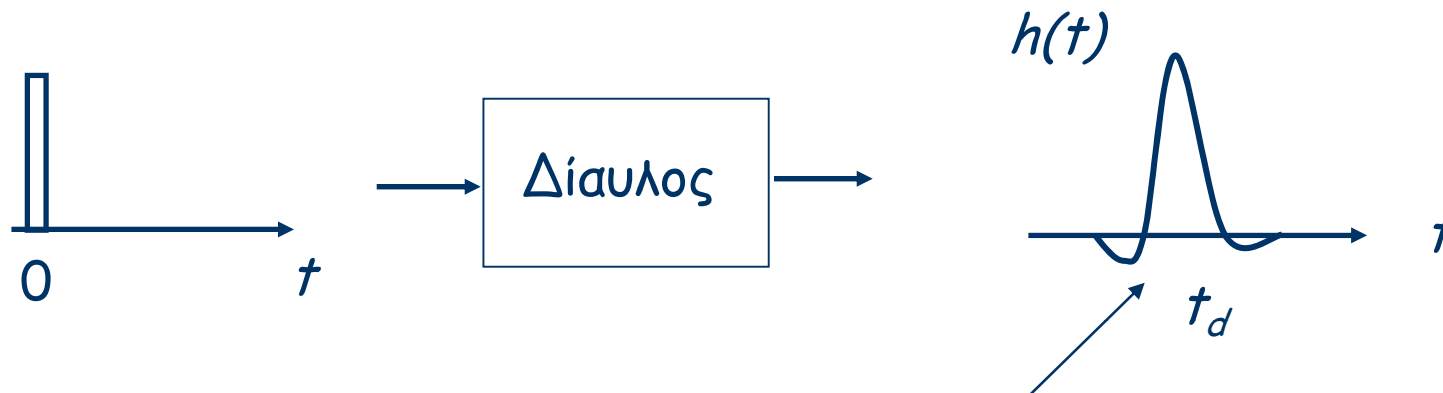
Επίδραση του διαύλου στο σήμα εξόδου



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



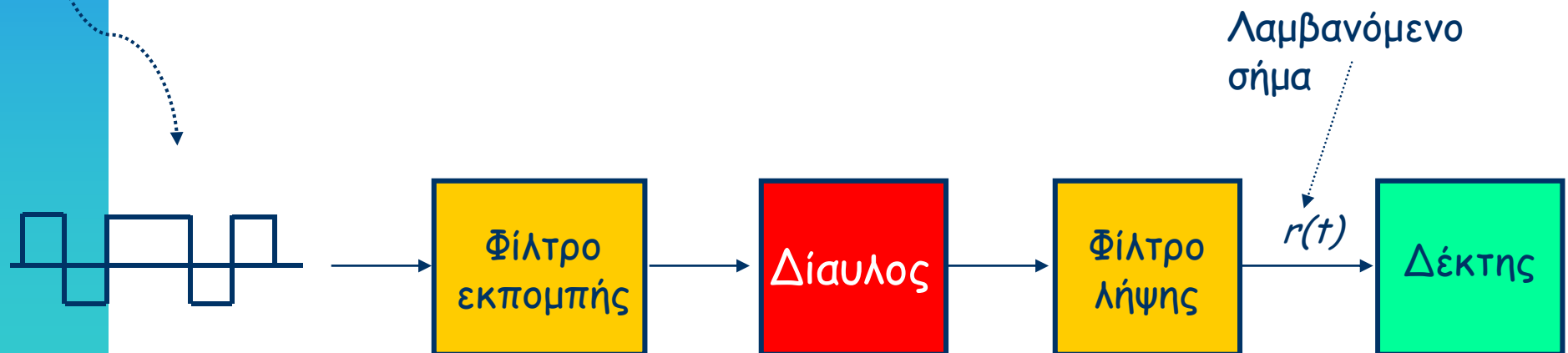
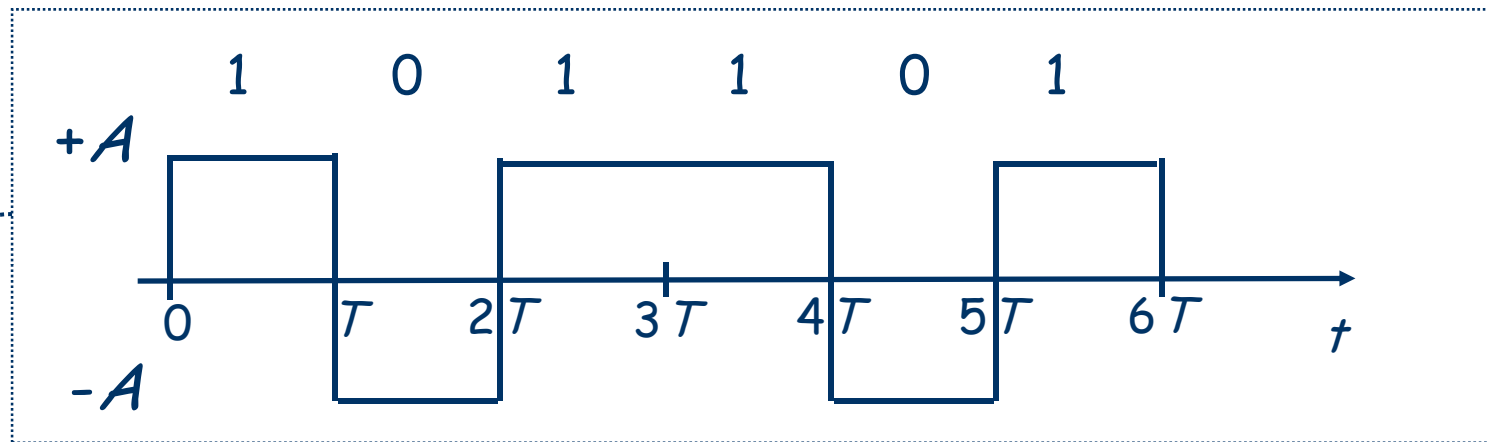
Χαρακτηρισμός διαύλου στο πεδίο χρόνου



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

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των παλμών καθορίζεται από τον βαθμό παρεμβολής μεταξύ των παλμών στην έξοδο του διαύλου.

Μετάδοση βασικής ζώνης



Μετάδοση βασικής ζώνης



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

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

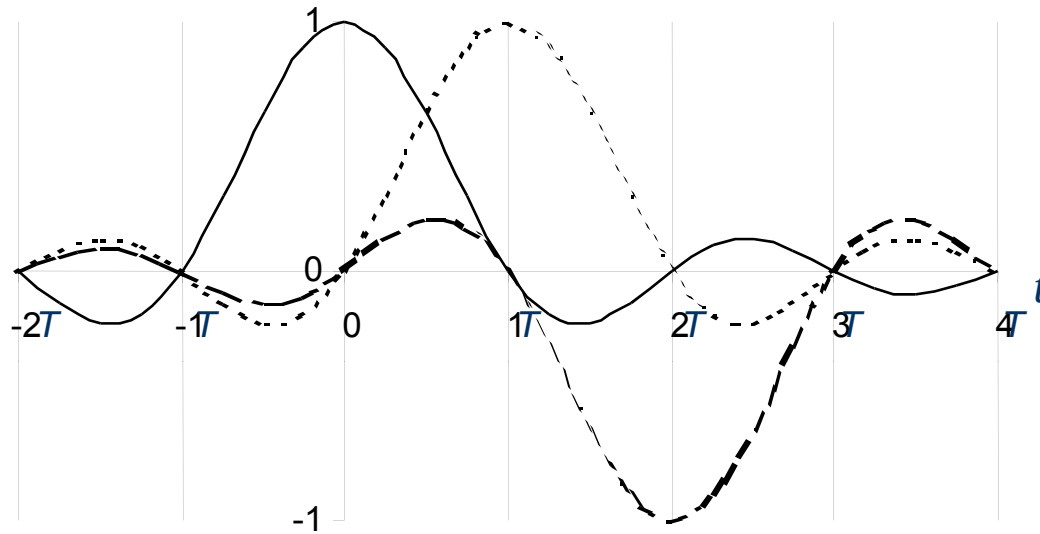
$$r(0) = A_0 p(0) + \sum_{k \neq 0} A_k p(t - kT)$$

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

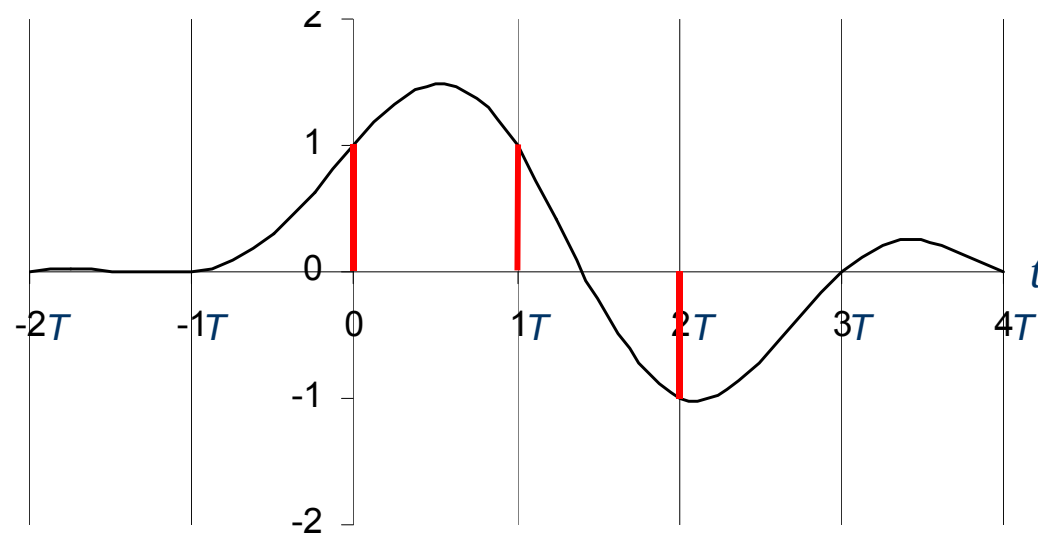
Μετάδοση βασικής ζώνης



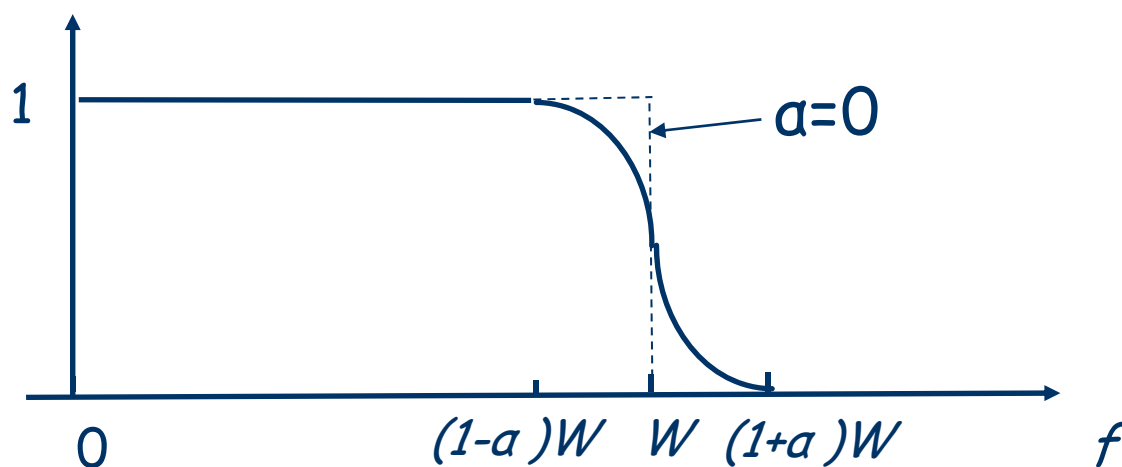
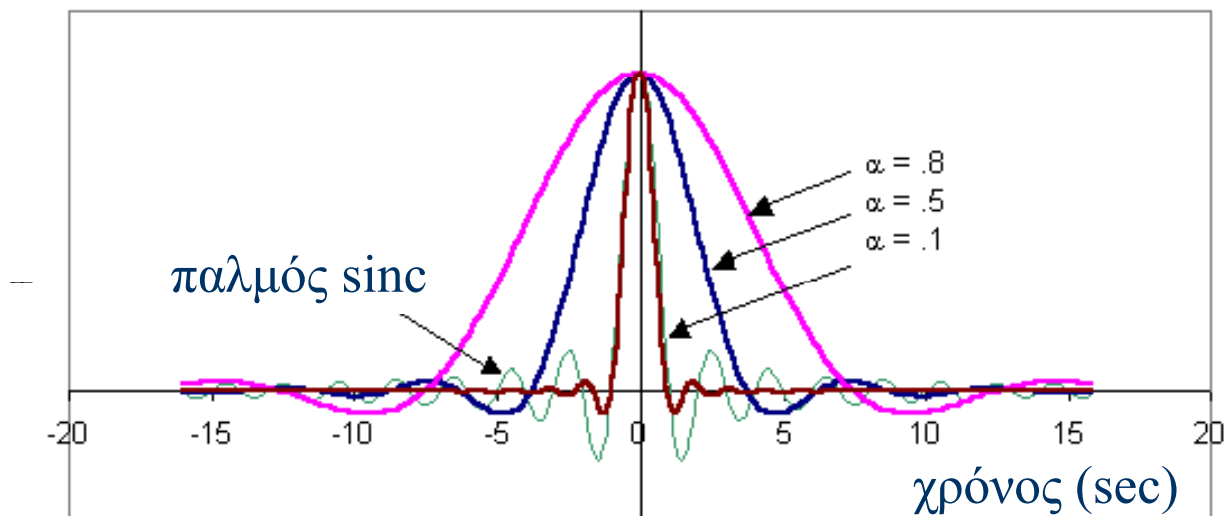
(α) 3 χωριστοί παλμοί
για το 110



(β) Το συνιστάμενο
σήμα για το 110



Παλμός υπερυψωμένου συνημιτόνου



Κώδικες γραμμής



1 0 1 0 1 1 1 0 0

Unipolar
NRZ

Polar NRZ

Bipolar
Encoding

NRZ-Inverted
(Differential
Encoding)

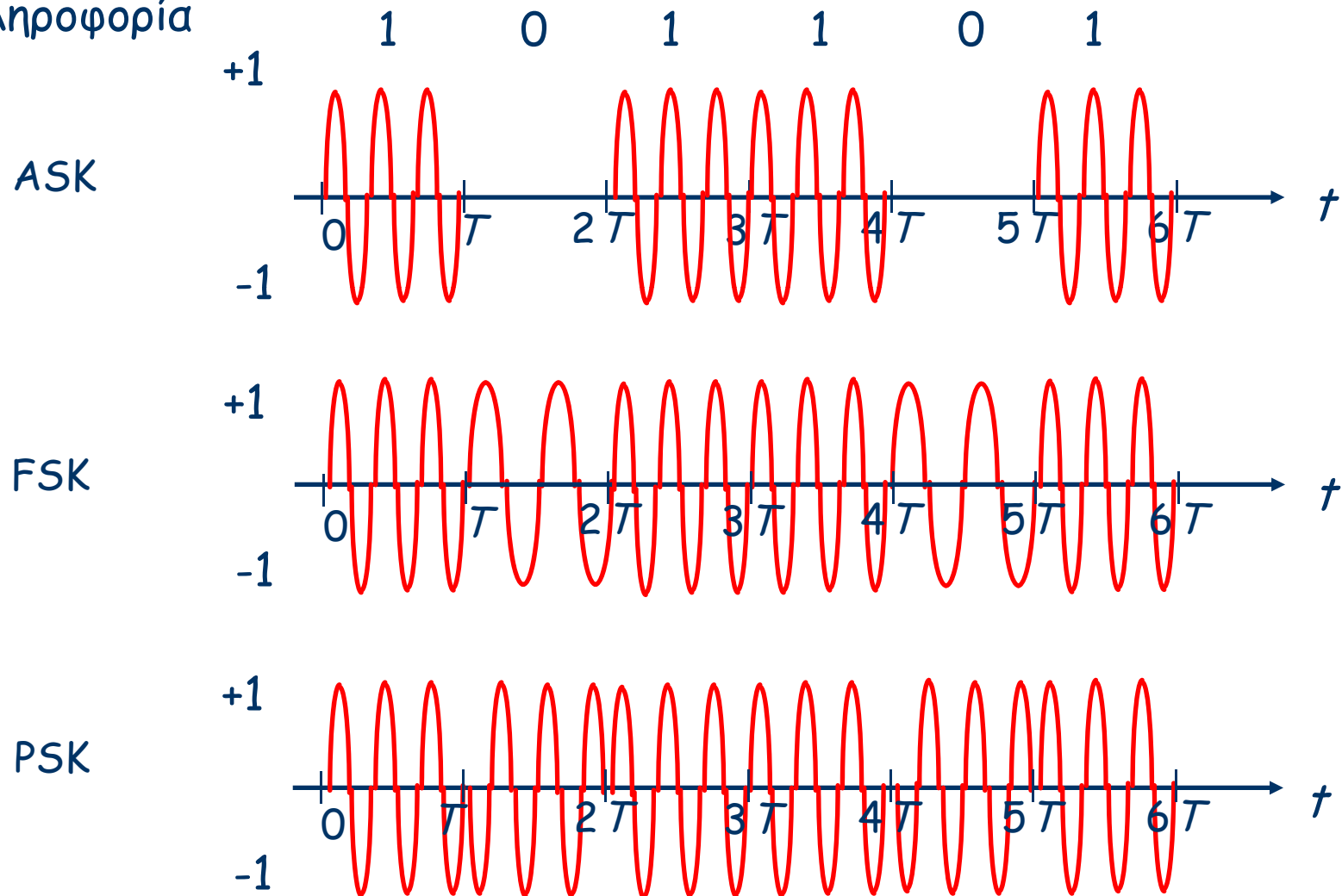
Manchester
Encoding

Differential
Manchester
Encoding

Ψηφιακή διαμόρφωση



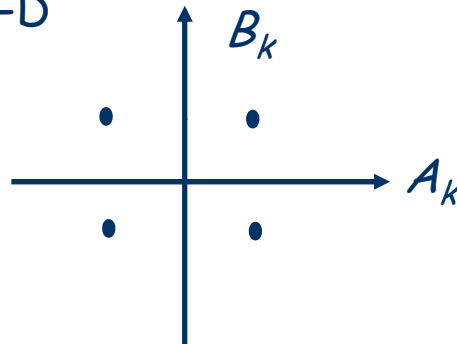
Πληροφορία



Ψηφιακή διαμόρφωση

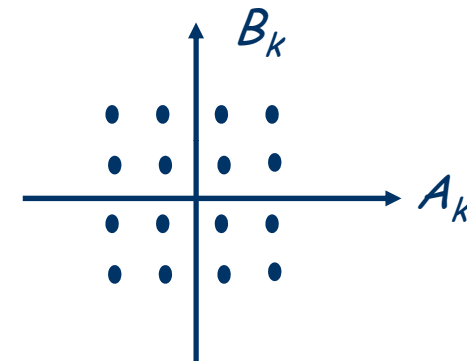


Σήμα 2-D



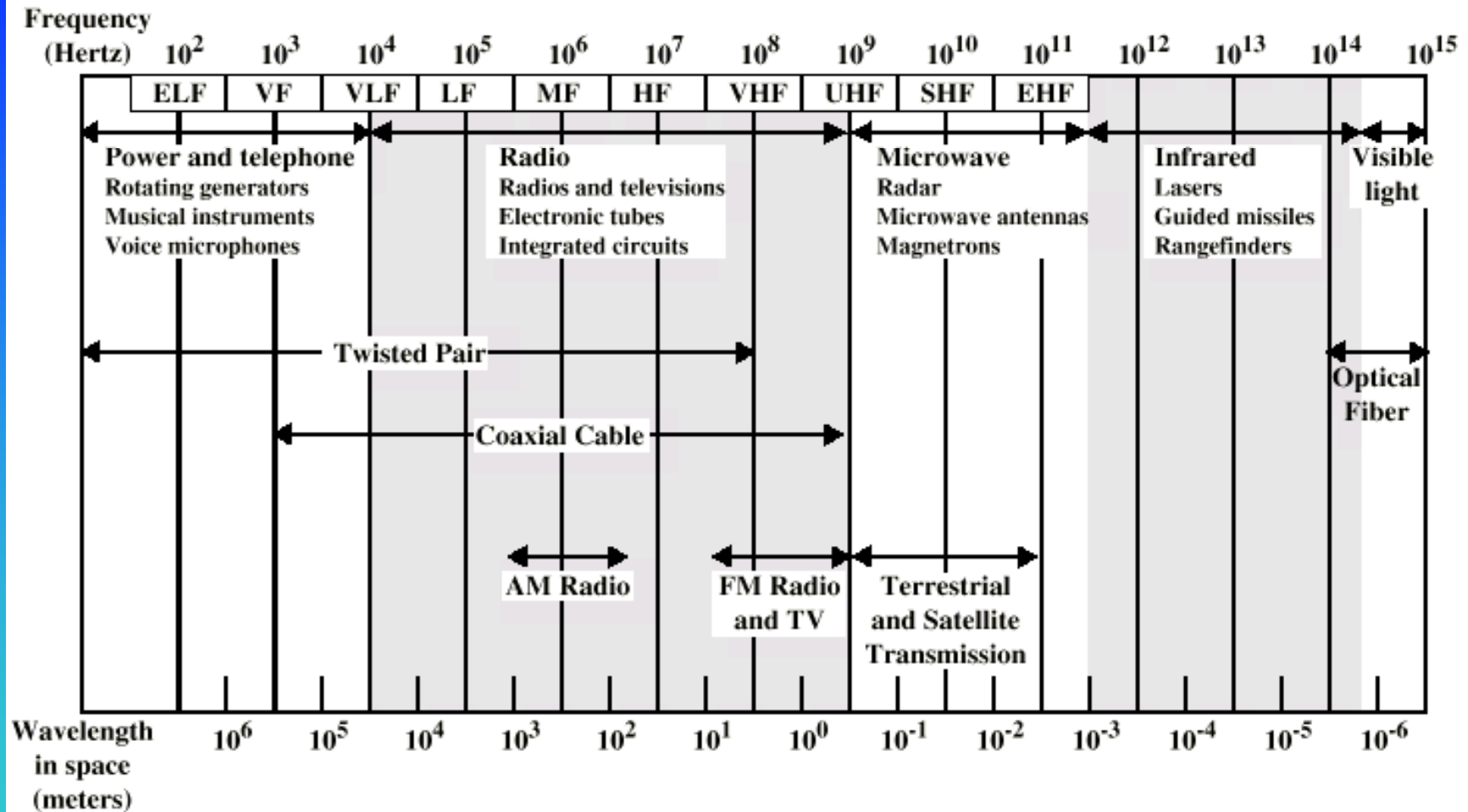
4 "στάθμες" / παλμό
2 bit / παλμό
2W bits/sec

Σήμα 2-D



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

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



ELF = Extremely low frequency

VF = Voice frequency

VLF = Very low frequency

LF = Low frequency

MF = Medium frequency

HF = High frequency

VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency

SHF = Superhigh frequency

EHF = Extremely high frequency

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

Διπλαγωγός



- Χωριστά μονωμένοι αγωγοί
- Συνεστραμμένοι μαζί
- Συχνά ομαδοποιημένοι σε καλώδια

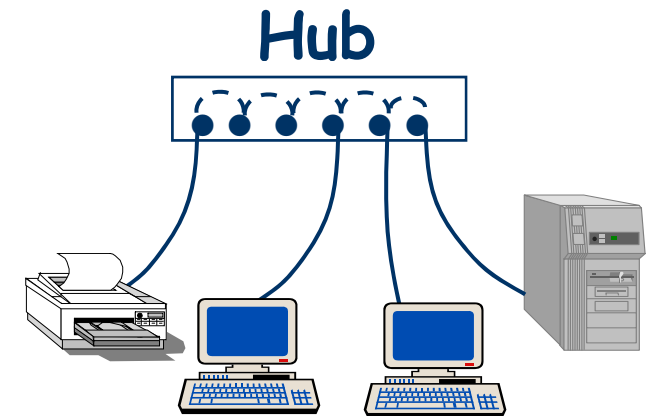


- Φθινό μέσο
- Ευκόλοχρηστο
- Μικρός ρυθμός μετάδοσης
- Μικρό μήκος

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)



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)
- Ευαίσθητος σε παρεμβολές και θόρυβο

Αθωράκιστοι και Θωρακισμένοι διπλαγωγοί



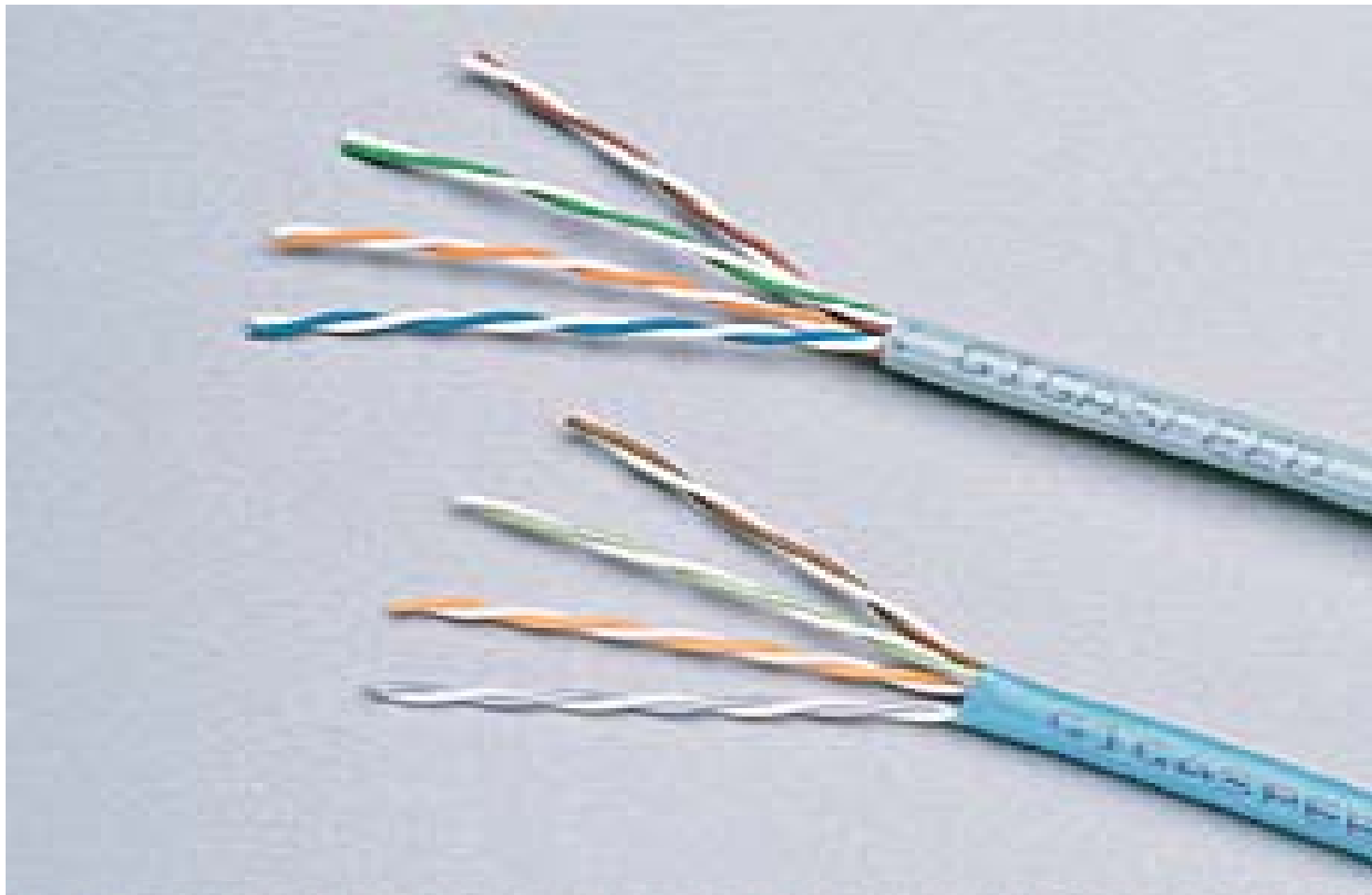
- Αθωράκιστος διπλαγωγός (UTP)
 - Συνηθισμένο τηλεφωνικό καλώδιο
 - Ο φθηνότερος
 - Εύκολος στην εγκατάσταση
 - Ευαίσθητος σε φαινόμενα επαγωγής
- Θωρακισμένος διπλαγωγός (STP)
 - Μεταλλική θωράκιση που περιορίζει τις παρεμβολές
 - Πιο ακριβός
 - Πιο δύσχρηστος

Κατηγορίες UTP

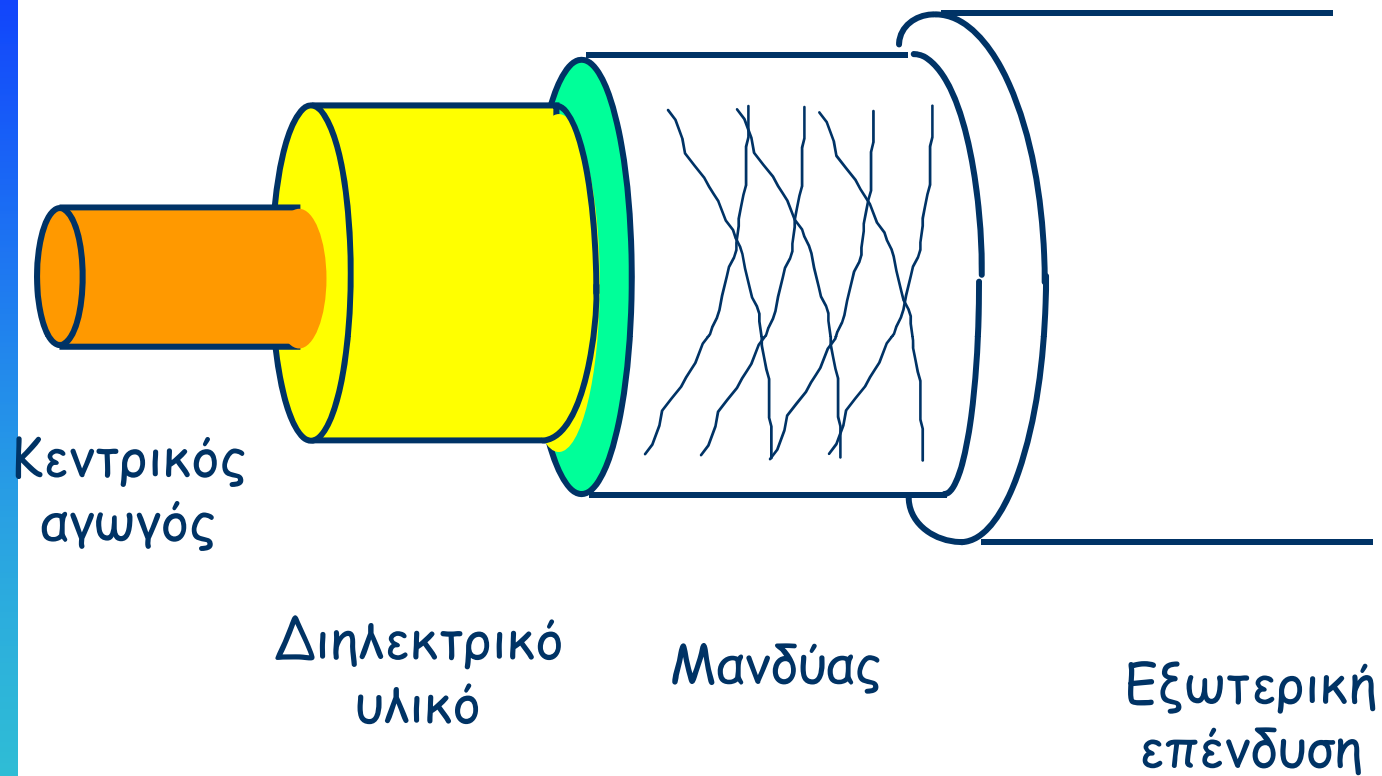


- Cat 3
 - μέχρι και 16Mbps
 - Τηλεφωνικό καλώδιο στα γραφεία
 - Βήμα ελίκωσης από 7.5 cm έως 10 cm
- Cat 5
 - μέχρι και 100 Mbps
 - Συνήθως προεγκατεστημένο σε νέα κτίρια γραφείων
 - Βήμα ελίκωσης 0.6 cm έως 0.85 cm

Καλώδια διπλαγωγών



Ομοαξονικό καλώδιο



Ομοαξονικό καλώδιο - Χρήσεις



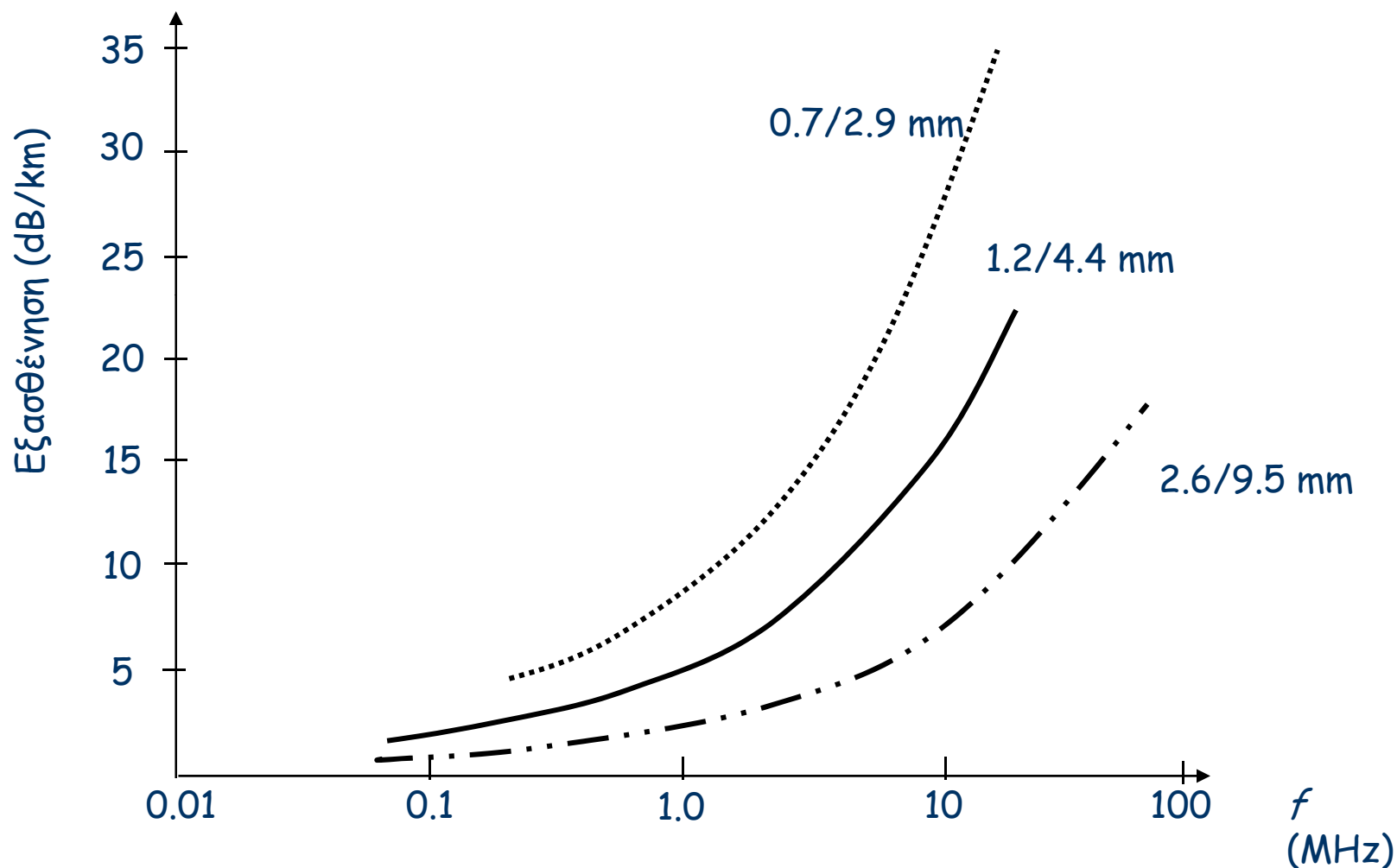
- Πολλαπλές χρήσεις
- Διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων
 - Cable TV
- Υπεραστική Τηλεφωνία
 - Μπορεί να μεταφέρει 10,000 τηλεφωνικές κλήσεις ταυτόχρονα
 - Αντικαθίσταται από τις οπτικές ίνες
- Ζεύξεις μικρών αποστάσεων μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων
- Τοπικά δίκτυα (LAN)

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

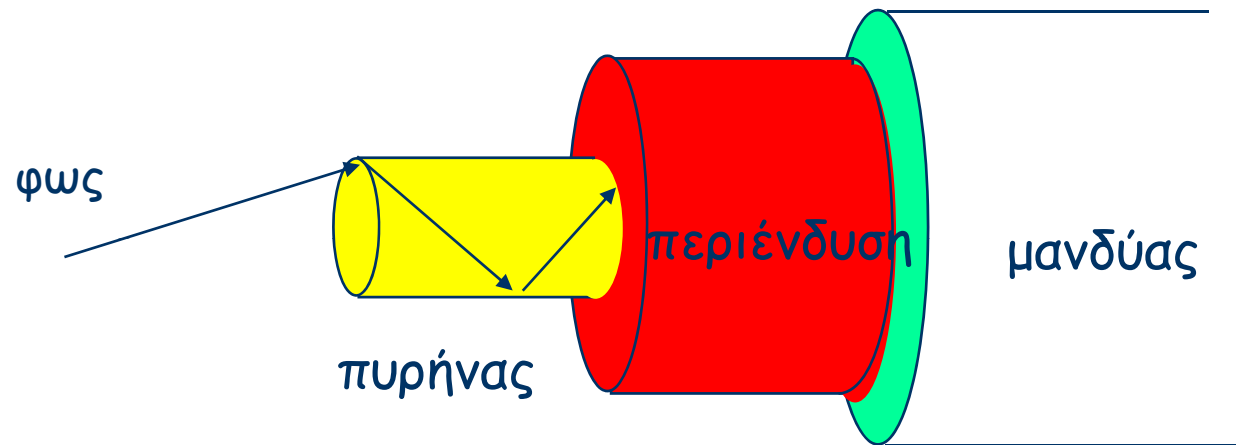
Ομοαξονικό καλώδιο - Χαρακτηριστικά μετάδοσης



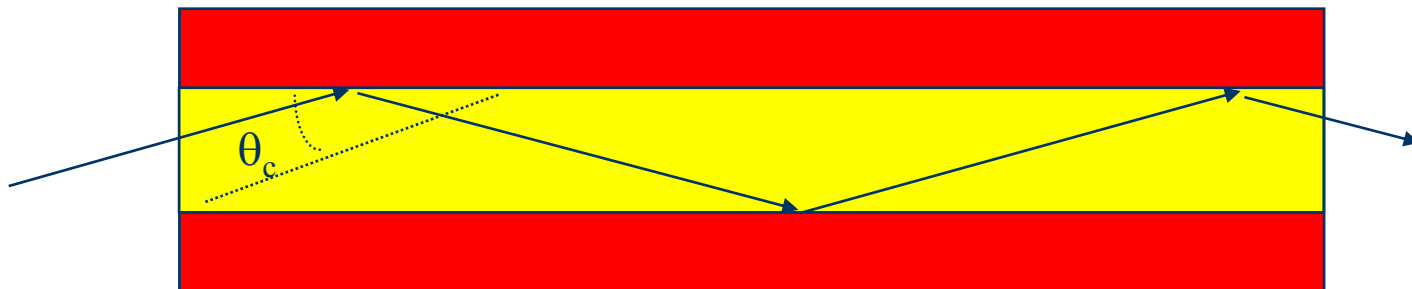
Οπτική ίνα



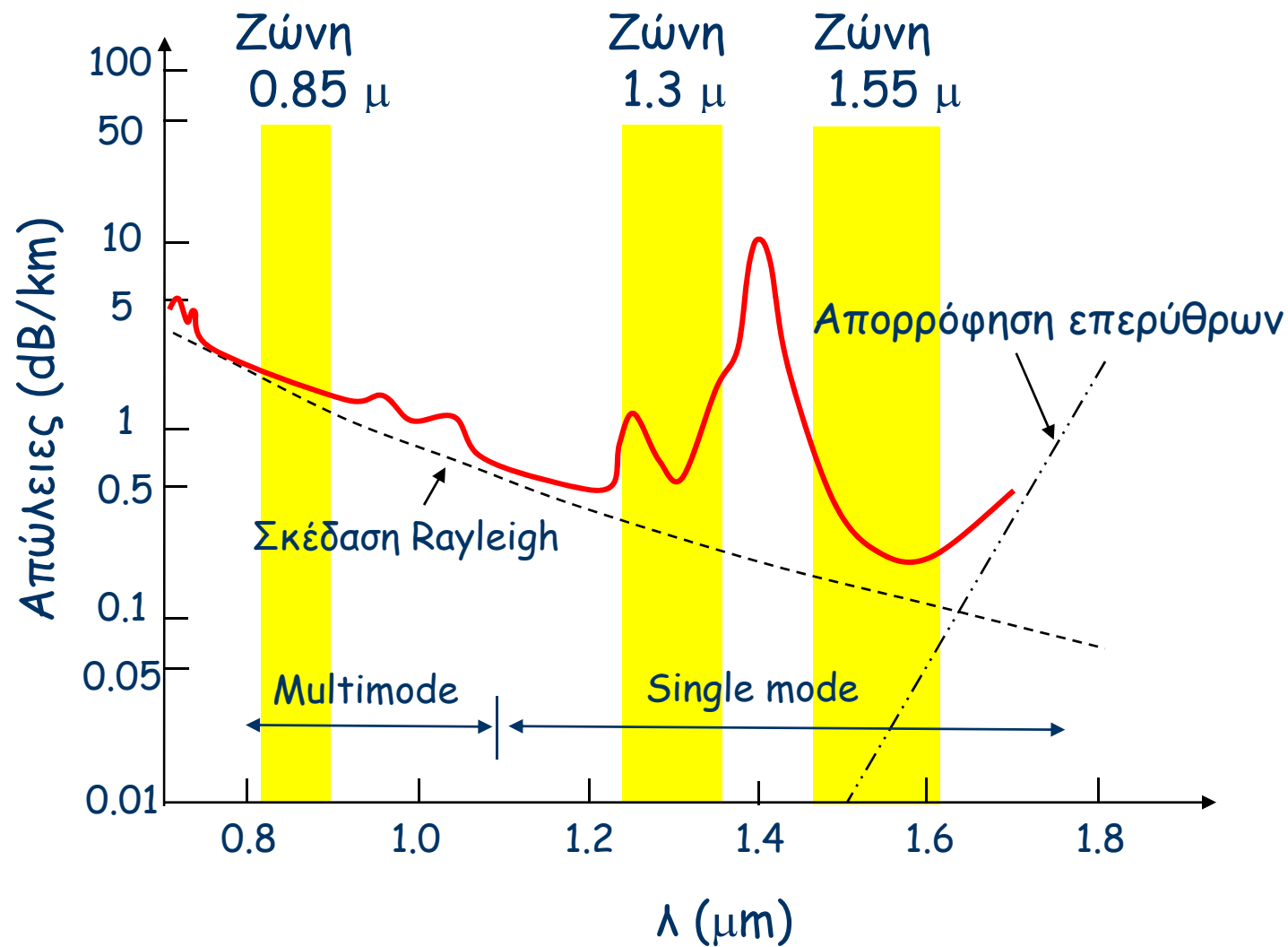
(α) Γεωμετρία



(β) Διάδοση στην οπτική ίνα



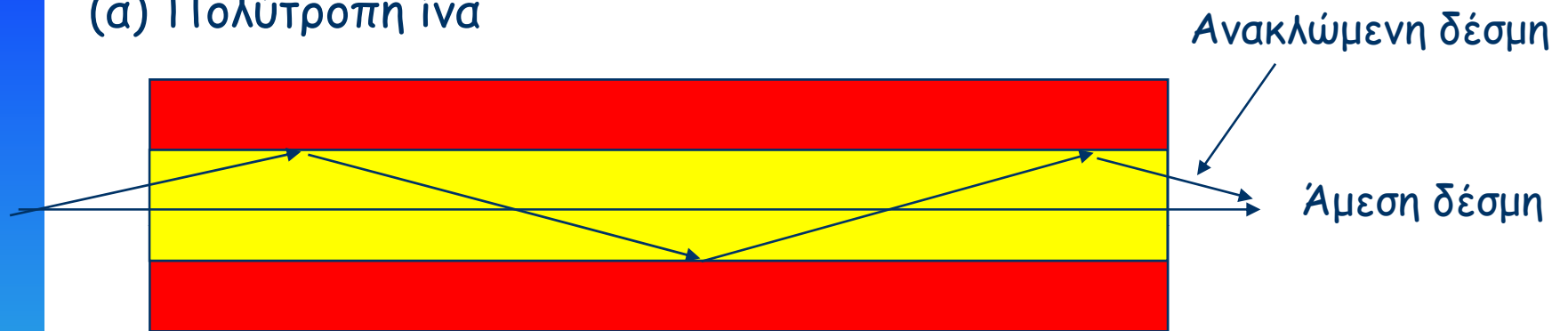
Οπτική ίνα



Οπτική ίνα



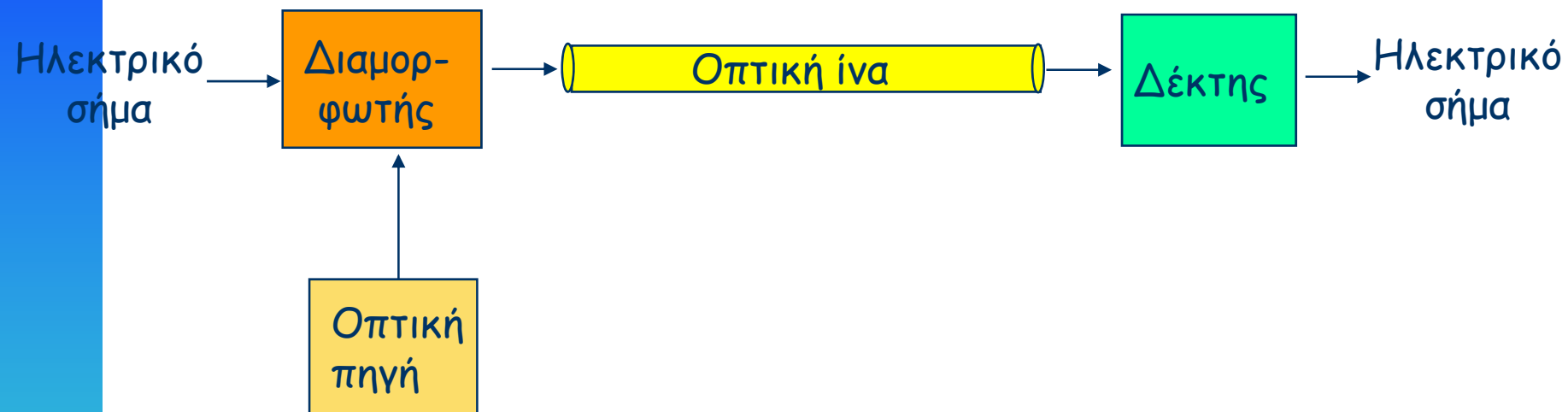
(α) Πολύτροπη ίνα



(α) Μονότροπη ίνα



Σύστημα οπτικής μετάδοσης



Οπτική ίνα - Πλεονεκτήματα



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

Οπτική ίνα – Όριο διασποράς



- Παλμοί φωτός διαδιδόμενη σε οπτική ίνα απλώνουν σε διάρκεια (χρωματική διασπορά)
 - Το χαμηλότερο τμήμα ενέργειας θέλει $D \text{ sec/km}$ περισσότερο από το υψηλό
 - Για μήκος $L \Rightarrow D \times L \text{ sec}$
 - 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 $d \leq 8 \mu\text{m}$

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

Συχνότητες



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

Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις



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



Δίκτυα επικοινωνιών

Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις



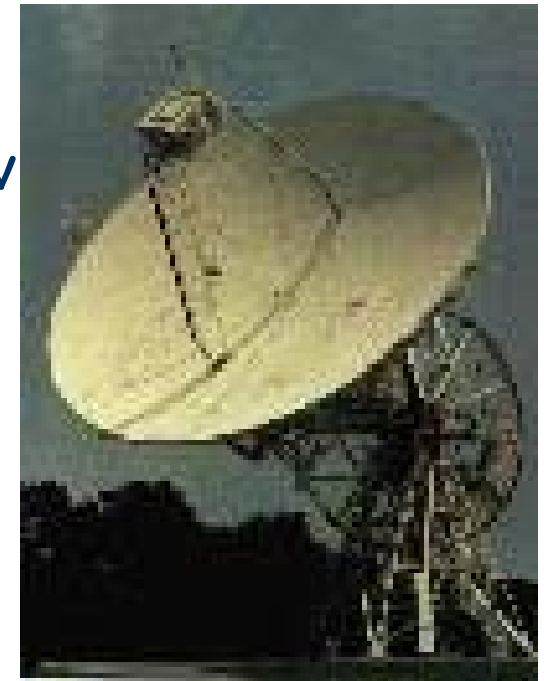
- Εξασθένηση
 - Απώλειες ανάλογες με το τετράγωνο της απόστασης, επαναλήπτες κάθε 10-100km
 - Αυξημένη εξασθένηση με τη βροχή
- Παρεμβολές
- Κατανομή φάσματος



Δορυφορικές ζεύξεις

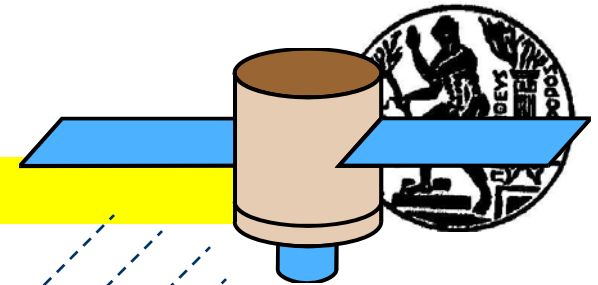


- Μετάδοση προς δορυφόρους ευρισκόμενους σε τροχιά
- Διαφορετικές συχνότητες ανόδου/καθόδου
- Χρήσεις
 - τηλεόραση
 - τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
 - ιδιωτική δικτύωση εταιριών
- 2-40 GHz; > 40GHz sat-sat

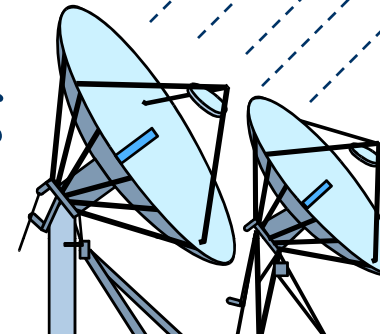


Δίκτυα επικοινωνιών

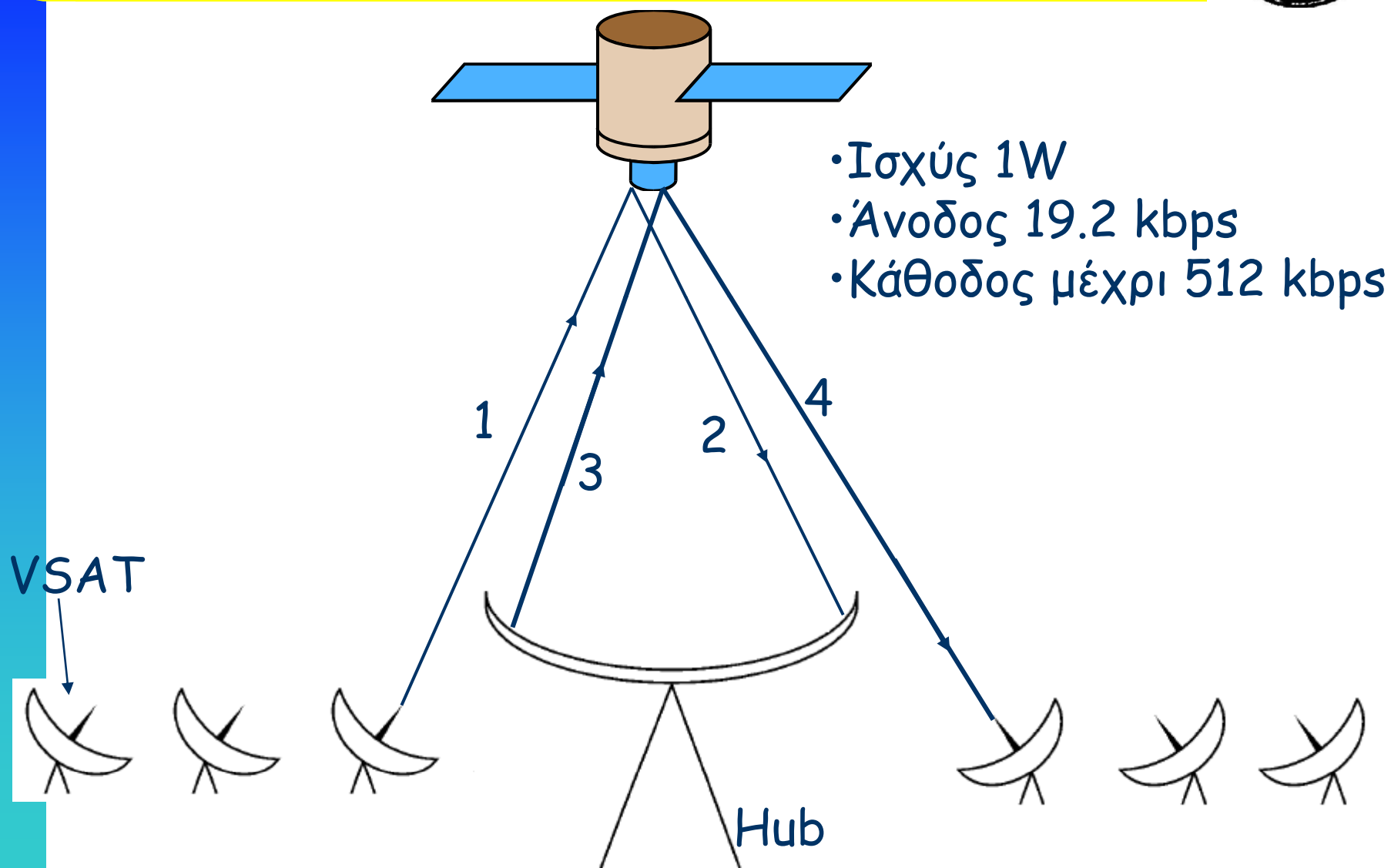
Δορυφορικές ζεύξεις

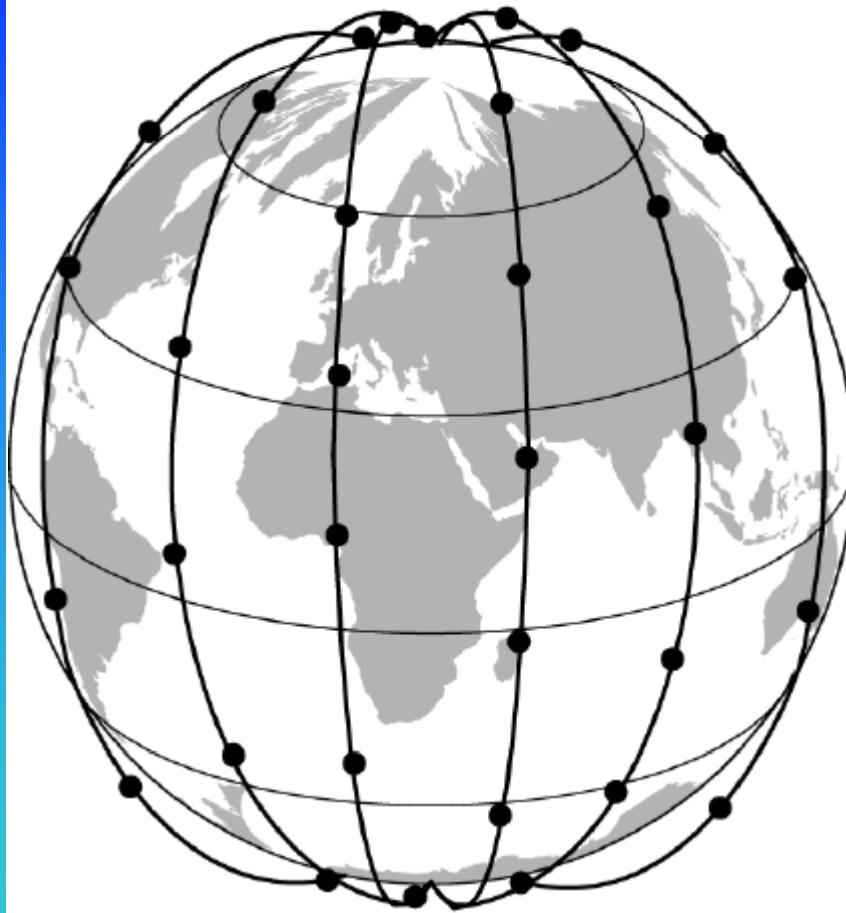


- Χαρακτηριστικά μετάδοσης
 - συνήθως 2-30 GHz
 - < 2 GHz μεγάλη παρεμβολή
 - >10 GHz ατμοσφαιρική απορρόφηση
 - Συνήθη ζεύγη
 - 4/6 band (5.925-6.425 άνοδος, 3.7-4.2 κάθοδος) [C-band]
 - 12/14 band (14-14.5 άνοδος, 11.7-12.2 κάθοδος) [Ku-band]
 - Σε υψηλότερες συχνότητες απαιτούνται ισχυρότερα σήματα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



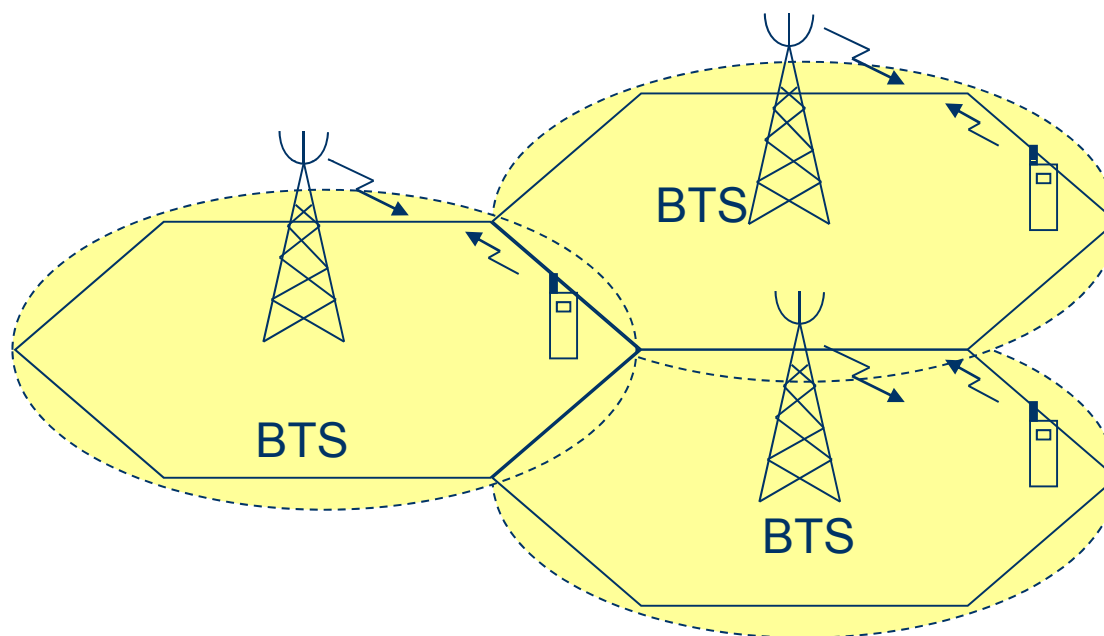
VSAT





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

Κυψελωτά συστήματα

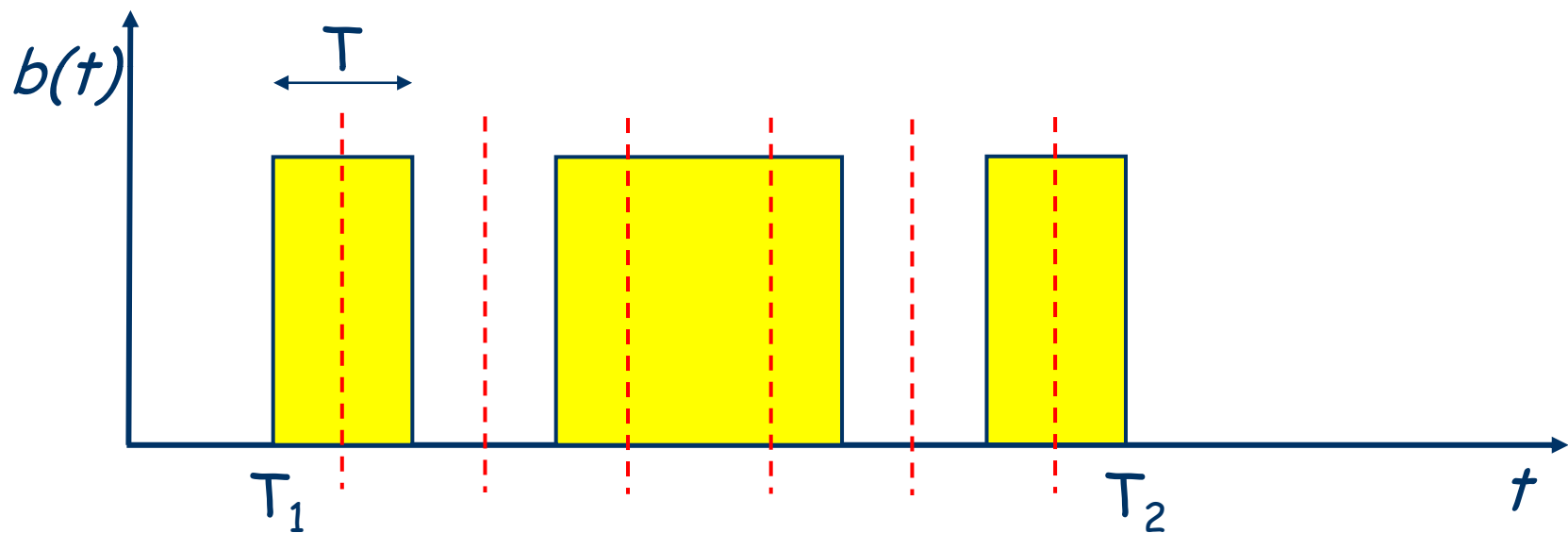


Infrared Data Adapter (*IrDA*)



- 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

Συγχρονισμός



Ασύγχρονη και σύγχρονη μετάδοση



- Προβλήματα χρονισμού απαιτούν μηχανισμό για να συγχρονίζεται ο πομπός και ο δέκτης
- Δύο λύσεις
 - Ασύγχρονη μετάδοση
 - Σύγχρονη μετάδοση

Ασύγχρονη μετάδοση



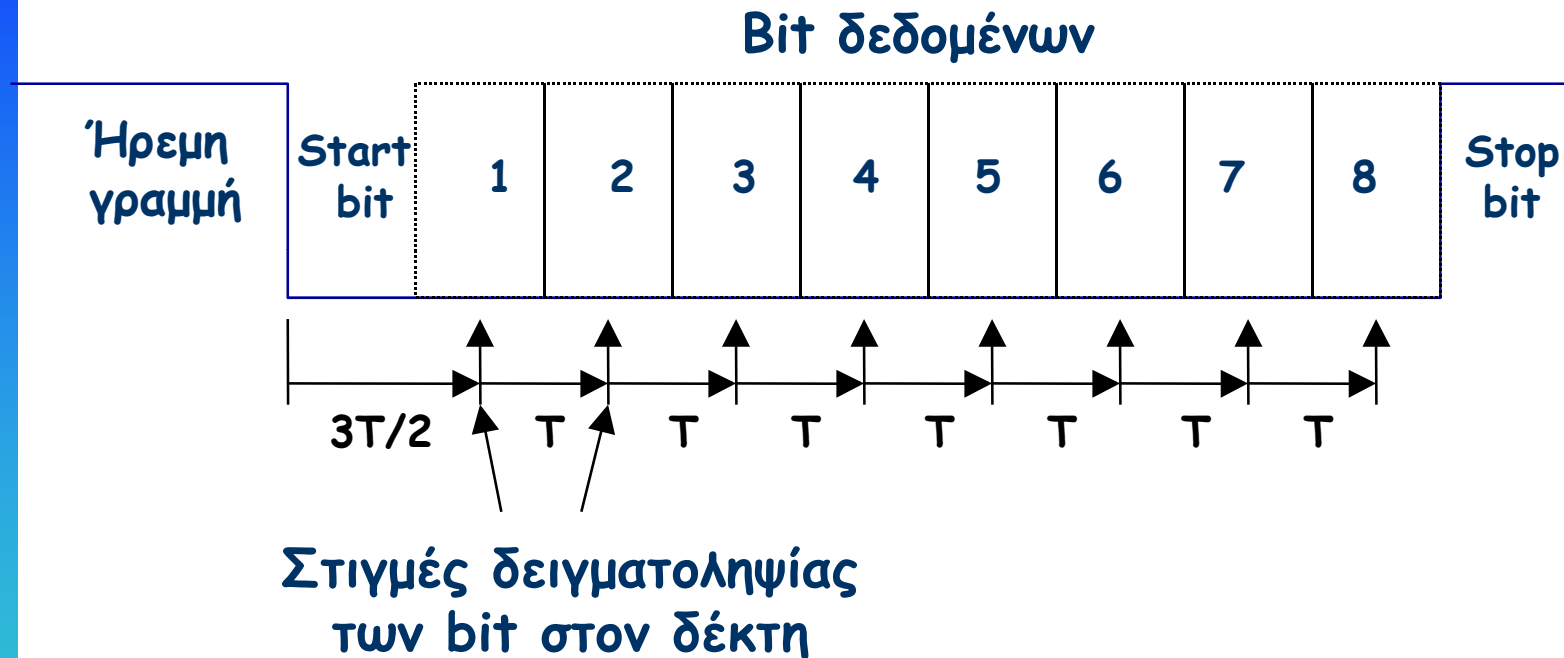
- Τα δεδομένα μεταδίδονται με χαρακτήρες, ένας χαρακτήρας κάθε φορά
 - 5 ως 8 bit
- Ο χρονισμός χρειάζεται να διατηρείται μόνο μέσα σε κάθε χαρακτήρα
- Επανασυγχρονισμός με κάθε χαρακτήρα

Ασύγχρονη μετάδοση

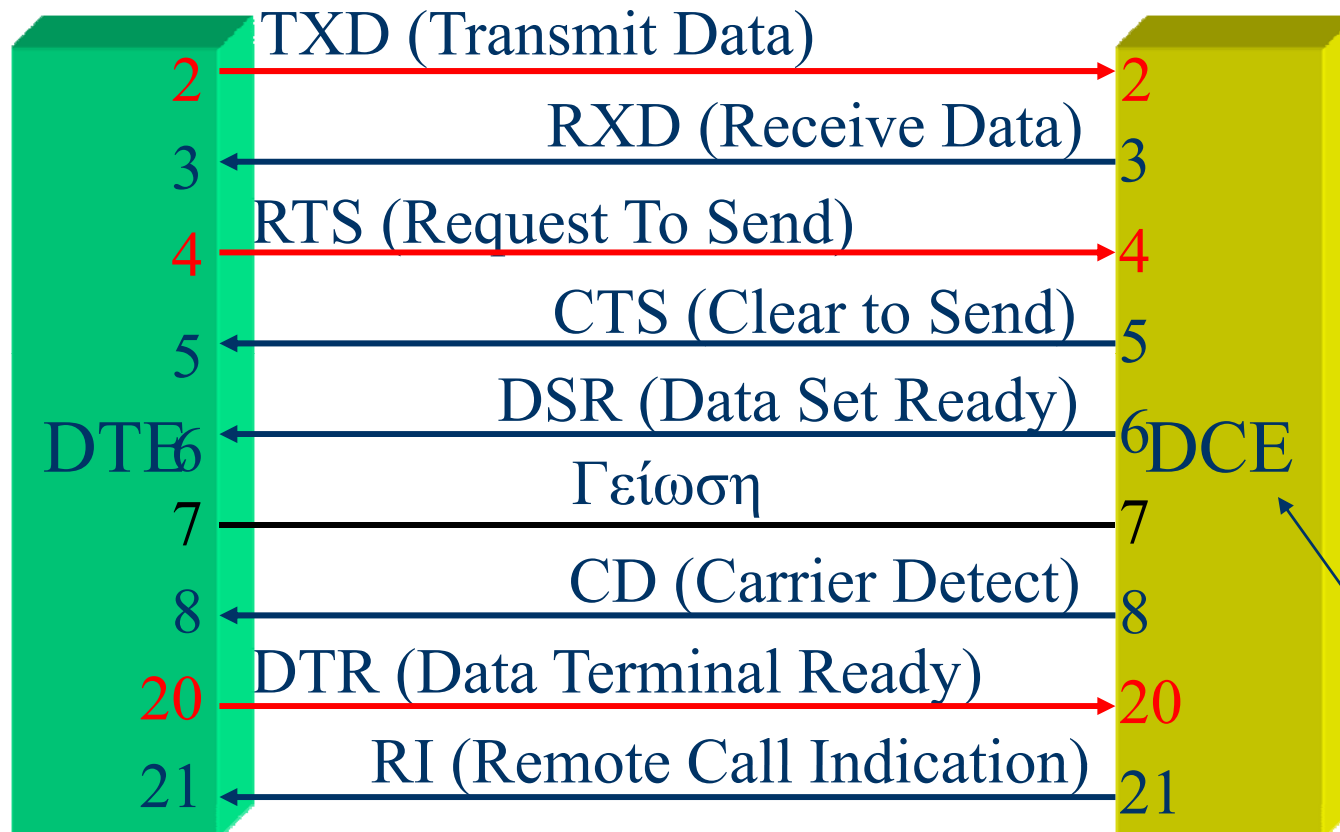


- Σε σταθερή ροή, η απόσταση μεταξύ χαρακτήρων είναι ομοιόμορφη (μήκος του στοιχείου stop)
- Στην κατάσταση ηρεμίας, ο δέκτης ψάχνει για μετάβαση από 1 σε 0
- Τότε δειγματολαμβάνει τα επόμενα επτά διαστήματα (μήκος χαρακτήρα)
- Στη συνέχεια ψάχνει για την επόμενη μετάβαση από 1 προς 0 για τον επόμενο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

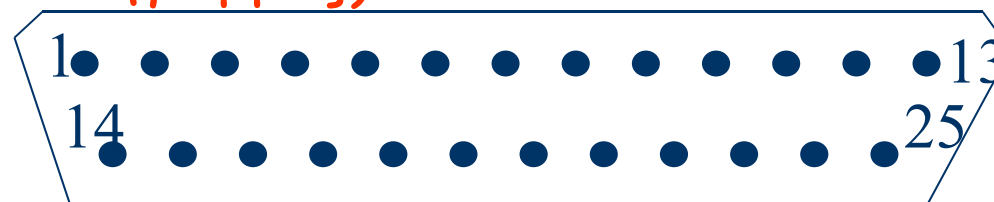
Συγχρονισμός στην ασύγχρονη μετάδοση



Ασύγχρονη μετάδοση με RS-232-C



(Συνδέονται 4-9 γραμμές)



Data
Circuit
terminating
Equipment

Σύγχρονη μετάδοση



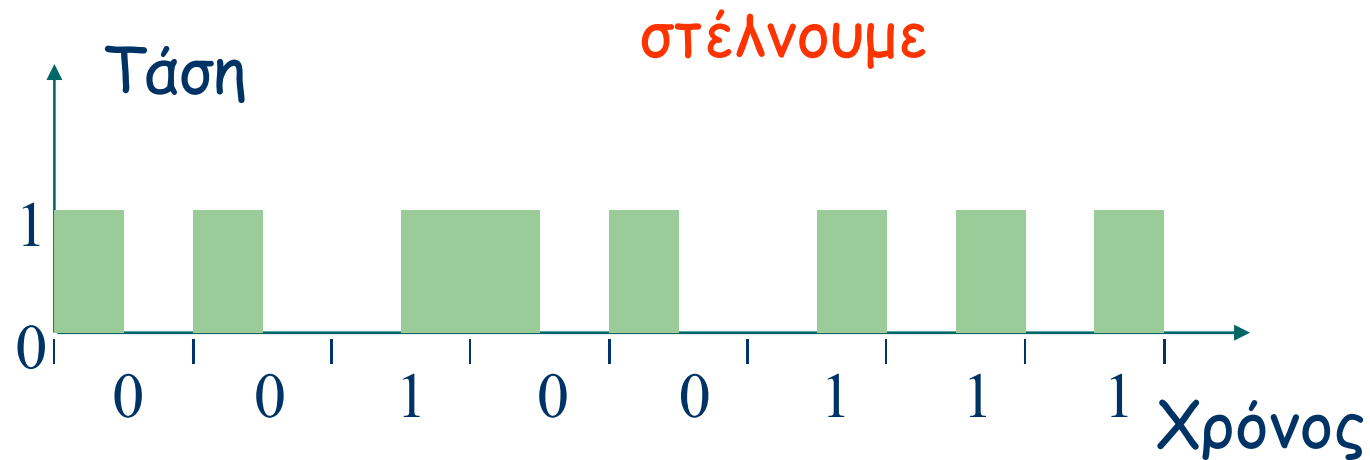
- Ανάγκη καθορισμού της αρχής και του τέλους της ομάδας
- Χρήση ενδείκτη αρχής και τέλους
- Πιο αποδοτική (μικρότερος πλεονασμός) από την ασύγχρονη

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.

Κωδικοποίηση Manchester

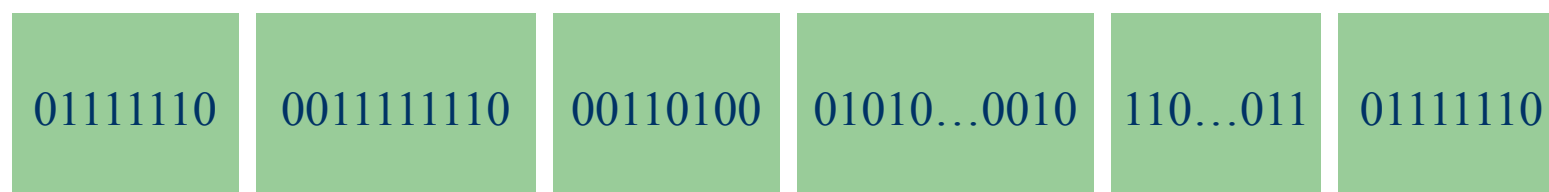


Κερδίζουμε σε συγχρονισμό. Τι χάνουμε;

Μετάδοση με χαρακτήρες ή με bit



Σημαία Διεύθυνση Έλεγχος Δεδομένα CRC Σημαία



Παραγέμισμα με χαρακτήρες



DLE	STX	A	DLE	B	DLE	ETX
-----	-----	---	-----	---	-----	-----

DLE	STX	A	DLE	DLE	B	DLE	ETX
-----	-----	---	-----	-----	---	-----	-----

Χαρακτήρας DLE
που παρεμβάλλεται

DLE	STX	A	DLE	B	DLE	ETX
-----	-----	---	-----	---	-----	-----

Παραγέμισμα με bit



- Στην μετάδοση με καθορισμένη σημασία της θέσης των bits επειδή η ακολουθία bits της σημαίας 0111110 μπορεί να συμβεί κατά τύχη, ο σχηματισμός 01111 αντικαθίσταται προκαταβολικά με τον σχηματισμό 011110 πριν την αποστολή του πακέτου.
- Η διαδικασία αυτή λέγεται bit stuffing.
- Κατά τη λήψη του πακέτου το πρόσθετο μηδενικό στον σχηματισμό 011110 απομακρύνεται προτού αποδοθεί η πληροφορία του πακέτου στον παραλήπτη.

Παραγέμισμα με bit



Σημαία αρχής

Σημαία τέλους

01111110

Κορμός του πλαισίου

01111110

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 0 0 1 0