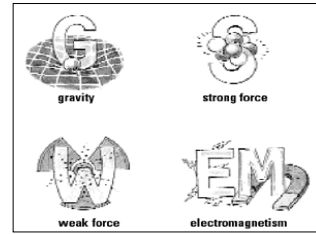


# Εισαγωγή στην Επιστήμη των Τηλεπικοινωνιών

## Μέρος Α

- Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία – Maxwell
- Μέσα Διάδοσης
- Κεραίες
- Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα
- Σήματα – Fourier Ανάλυση-Σύνθεση

# Οι τέσσερις βασικές δυνάμεις της Φύσης με τις οποίες λειτουργεί το Σύμπαν

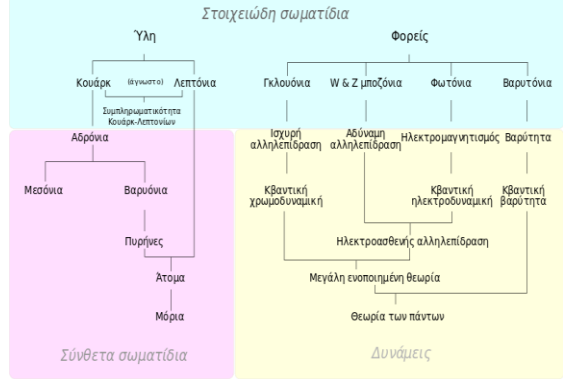


Για να επικοινωνούμε χρειαζόμαστε τουλάχιστον μια απ' αυτές.

# ΟΙ Θεμελιώδεις δυνάμεις της Φύσης

Force	Strength	Range (m)	Particle
<b>Strong</b> Force which holds nucleus together	1	$10^{-16}$ (limited to a medium sized nucleus)	$\pi$ , others mass = 0.1 GeV
<b>Electro-magnetic</b>	$\frac{1}{137}$	Infinite	photon mass = 0 spin = 1
<b>Weak</b> nucleon interaction nucleon beta decay	$10^{-5}$	$10^{-17}$ ( $\approx 1\%$ the diameter of a proton)	Intermediate vector bosons $W^+$ , $W^-$ , $Z^0$ mass = 80 GeV spin = 1
<b>Gravity</b>	$6 \times 10^{-39}$	Infinite	graviton ? mass = 0 spin = 2

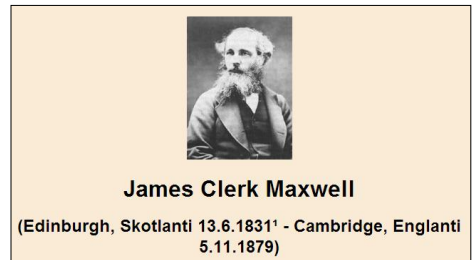
Το πρόβλημα της Ιεραρχίας (πως εξηγείται αυτή η διαφορά συμπεριφοράς)



# Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
QUARKS	mass: 2.2 MeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>u</b> up	mass: 1.28 GeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>c</b> charm	mass: 173.1 GeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>t</b> top	0 spin: 1 <b>g</b> gluon	mass: 125.36 GeV/c <sup>2</sup> spin: 0 <b>H</b> higgs
	mass: 4.7 MeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>d</b> down	mass: 95 MeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>s</b> strange	mass: 4.18 GeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>b</b> bottom	0 spin: 1 <b>γ</b> photon	
	mass: 0.511 MeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>e</b> electron	mass: 105.66 MeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>μ</b> muon	mass: 1.778 GeV/c <sup>2</sup> spin: 1/2 <b>τ</b> tau	0 spin: 1 <b>Z</b> Z boson	
	mass: 0 spin: 1/2 <b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	mass: 0 spin: 1/2 <b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	mass: 0 spin: 1/2 <b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	0 spin: 1 <b>W</b> W boson	

# Ο πατέρας της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας



## Σταθμοί στην ανάπτυξη της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας

- Η ιδέα **“δύναμη από απόσταση”** ήταν κατανοητή από τον Νεύτωνα (17<sup>ο</sup> αιώνας) αλλά γενικά θεωρείτο «αλχημεία» και «μαγεία».
- Πριν τον 18<sup>ο</sup> αιώνα μόνο τα αποτελέσματα του μαγνητισμού ήταν μερικώς κατανοητά.
- Το 1750 ο **Franklin** είπε ότι η **αστραπή είναι ηλεκτρισμός**, δηλ., ηλεκτρικά σωματίδια σε κίνηση.
- Το 1799 ο **Volta** κατασκεύασε την πρώτη **μπαταρία**.
- Το 1819 ο **Oersted** ανακάλυψε ότι το **ηλεκτρικό ρεύμα επηρεάζει μια πυξίδα**.
- Το 1820 ο **Ampere** διερεύνησε την **μαγνητική έλξη που προκαλείται από ρεύματα** σε παράλληλους αγωγούς.
- Το 1827 ο **Georg Simon Ohm** (1787-1854) διατύπωσε τους νόμους **Ohm**.
- Ο **Karl Gauss** (1777-1855) ανακάλυψε ότι **μπορεί να απομονωθεί ένα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο** αλλά ότι **ένας βόρειος πόλος δεν μπορεί να απομονωθεί από ένα νότιο**.
- Το 1831 ο **Faraday** ανακάλυψε ότι ένα **μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ένα επαγόμενο δυναμικό**, αλλά δεν έδωσε τον μαθηματικό τύπο.
- Ο **Maxwell** έκανε **κατανοητά όλα αυτά με τις περιφημες εξισώσεις του**.

## Οι 4 Εξισώσεις Maxwell

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

- Αυτή η εξίσωση κωδικοποιεί τον νόμο Επαγωγής του Faraday: **Μια μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή ( $\partial B / \partial t$ ) επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο ( $E$ ) με πολικότητα που αντιστέκεται στο μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (-)**. Όσο ταχύτερη είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής τόσο μεγαλύτερο είναι το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

$$\nabla \times B = \frac{4\pi k}{c^2} J + \frac{1}{c^2} \frac{\partial E}{\partial t}$$

- Σ' αυτή την εξίσωση οι Oersted, Ampere και Gauss έδειξαν ότι ένα ρεύμα ( $J$ ) δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο ( $B$ ). Ο **Maxwell** την συμπλήρωσε **δειχνοντας ότι ένα μαγνητικό πεδίο ( $B$ ) δημιουργείται από ένα ρεύμα ( $J$ ) και από ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο ( $\partial E / \partial t$ )**.

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 4\pi k \rho$$

- Σ' αυτή την εξίσωση οι Coulomb και Gauss έδειξαν ότι **ένα μεμονωμένο ηλεκτρικό φορτίο ( $\rho$ ) δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο ( $E$ )**.

$$\nabla \cdot B = 0$$

- Η τέταρτη εξίσωση από τον Gauss, δηλώνει ότι **ένας μεμονωμένος μαγνήτης έχει μηδενική μαγνητική ροή ( $B$ )**. Δεν υπάρχει σώμα με μόνο έναν μαγνητικό πόλο χωρίς τον άλλον.

## Οι εξισώσεις Maxwell περιγράφουν την Ηλεκτρομαγνητική Δύναμη που αναπτύσσεται σε μεταλλικούς αγωγούς

- Δημιουργείται ένα διαδιδόμενο κύμα όταν επιταχύνονται ηλεκτρικά φορτία.**
- Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κίνηση ηλεκτρονίων, **κάθε μη-συνεχές ρεύμα γεννά ένα ακτινοβολούμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.**
- Μεγαλύτερη η επιτάχυνση, μεγαλύτερη η απώλεια (ακτινοβολία) ενέργειας.** Συνεπώς, υψηλότερες συχνότητες ακτινοβολούν μεγαλύτερη ενέργεια. Αυτό προκαλεί και απώλεια των υψηλότερων συνοτήτων σε ένα σήμα και δημιουργεί ένα μηχανισμό που προκαλεί crosstalk.
- Επει η διάδοση σήματος μέσω μεταλλικού αγωγού προκαλεί απώλειες των υψηλών συχνοτήτων και περιορισμένο εύρος ζώνης.** Οι απώλειες αυτές διαφέρουν ανάλογα με το είδος του καλωδίου, όλα όμως υποφέρουν από περιορισμένο εύρος ζώνης crosstalk, και λόγω ωμικών απωλειών (με τη μορφή θερμότητας) απαιτούν ενίσχυση του σήματος ανά σχετικά μικρά διαστήματα.

## Μονάδα DECIBELS (Ενίσχυσης/Απόσβεσης Ισχύος)



ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΓΙΑ ΤΑ DECIBELS



## Ορισμός Decibels

Τα Decibels ορίζονται ως :

$$dB = 10 \log_{10} (P_{out}/P_{in})$$

Μπορείς να προσθέσεις και να αφαιρείς dBs για να παραστήσεις τον λόγο ισχύων με τους ακόλουθους απλούς κανόνες:

- Θετικά dBs σημαίνουν πολλαπλασιασμό (ενίσχυση).
- Αρνητικά dBs σημαίνουν διαίρεση (απόσβεση).
- Απομνημόνευσε μόνο μια τιμή dB ! Ποια;

## Πρακτικός Υπολογισμός Decibels

Απομνημόνευσε ότι **3 dB = 2 times η ισχύς**. Τα υπόλοιπα με το μαυλό σου! Να πως.

Δεδομένου ότι dB's προσθέτονται για την περίπτωση ενίσχυσης, τότε

4x σημαίνει +3 dB +3 dB = +6 dB,

8x σημαίνει +3 dB +3 dB +3 dB = 9 dB.

Παρομοίως,

10x is +10 dB and 100x is +20 dB.

Θυμήσου ότι απόσβεση σημαίνει αρνητικά. Έτσι, λόγος 1/100 της ισχύος είναι ίσος με -20 dB και 1/1000 είναι -30 dB.

**Πρακτικός Πίνακας Υπολογισμού**

Ratio	Log <sub>10</sub>	dB = 10Log <sub>10</sub> (P <sub>1</sub> /P <sub>2</sub> )
1	0	0
10	1	10
100	2	20
1000	3	30
10000	4	40
100000	5	50
1000000	6	60
2	0.3	3
4	0.6	6
8	0.9	9

Μερικά Παραδείγματα:

Ο λόγος  $16 \times = 2 \times 2 \times 2 \times 2$  είναι  $+3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = +12 \text{ dB}$ .

Μια ενίσχυση 500 είναι απλά 1000 / 2 or  $+30 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 27 \text{ dB}$ .

1/2000 είναι  $-30 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = -33 \text{ dB}$ .

$-14 \text{ dB} = -20 \text{ dB} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = -20 \text{ dB} + 6 \text{ dB}$  που είναι  $1/100 \times 4 = 1/25$ .

Ο συμβολισμός Decibel πάντα παριστάνει λόγο ισχύος.

**Διάδοση ΗΜ ακτινοβολίας**

- Καθοδηγούμενη
  - ✓ **Μεταλλικοί αγωγοί**
    - **Μεταλλικά καλώδια**
      - Συνεστραμμένο ζεύγος
      - Ομοαξονικό καλώδιο
    - **Οπτικές ίνες**
    - **Κυματοηοή**
  - ✓ **Πρότυπα:**
    - Γραμμή μεταφοράς
    - Οπτική Φυσική
- Μη-καθοδηγούμενη
  - ✓ **Ελεύθερη διάδοση μέσω κεραιών**
    - **Στην ατμόσφαιρα**
      - Επιφανειακά κύματα
      - Ελεύθερα
      - Ιονόσφαιρα
    - **Στο κενό**
      - **δορυφόροι**
  - ✓ **Πρότυπο:**
    - Κυματική Φυσική

**Γενικά περί διάδοσης ΗΜ κυμάτων**

➤ Στον ελεύθερο χώρο το ΗΜ κύμα από μια **ισοτροπική** κεραία διαδίδεται με επίπεδα ισχύος **S** που υπακούει στον **νόμο του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης**:

$$S_{\text{iso}}(R) = P_{\text{rad}}/4\pi R^2 \text{ watts/square meter}$$

**P<sub>rad</sub>** είναι η όλη ισχύς που ακτινοβολείται και **R** η απόσταση από την πηγή.

➤ Η ιονοσφαιρική ανάκλαση και απορρόφηση είναι ειδικές περιπτώσεις.

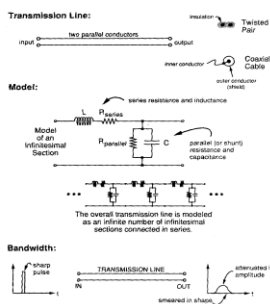
**Παράμετροι που επηρεάζουν την διάδοση του ΗΜ κύματος**

**Πόλωση κύματος:** οι περισσότερες κεραίες εκπέμπουν ή λαμβάνουν σε μία μόνο πόλωση.

**Επιφανειακά κύματα:** Γενικά συχνότητες κάτω από 50 MHz διαδίδονται μέσω επιφανειακών κυμάτων ή ιονοσφαιρικών ανακλάσεων και δεν εξαρτώνται πολύ από την πόλωση.

**Η συχνότητα: Συχνότητες άνω των** 50 MHz, απαιτούν επακριβή πόλωση και διαδίδονται ευθεία. Δεν διαπερνούν κτίρια μέσω ανακλάσεων.

**Γραμμές Μεταφοράς (Transmission lines)**

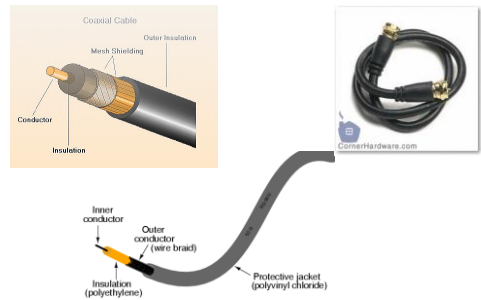


➤ Κάθε **μεταλλική διάδοση** είναι μια **γραμμική μεταφοράς** (π.χ., ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένο ζεύγος, κλπ)

➤ Μια γραμμική μεταφοράς **μοντελοποιείται** σαν μια σειρά **συνένηςης αντίστασης-πηνίου** κατά μήκος της γραμμής, και **παράλληλης αντίστασης-πυκνωτή** εγκάρσια της γραμμής (δες το σχήμα δίπλα).

➤ Ένας στενός παλμός **διαδίδεται** με **απώλειες των υψηλών συχνοτήτων** (Γιατί?)

**Ομοαξονικά καλώδια**



## Χαρακτηριστική Αντίσταση γραμμής



$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{k}} \log \frac{d_2}{d_1}$$

Where,

- $Z_0$  = Characteristic impedance of line
- $d_1$  = Inside diameter of outer conductor
- $d_2$  = Outside diameter of inner conductor
- $k$  = Relative permittivity of insulation between conductors

- > Cable TV coaxial cable (RG-59, RG-6, RG-11, etc.) είναι 75 ohms
- > Radio (RG-58, RG-8, etc.) and Ethernet coaxial cable είναι 50 ohms.
- > Ο συντελεστής ταχύτητας (V) για ομοαξονικά καλώδια είναι 0.66c έως 0.84c.

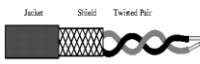
## Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά συνήθων ομοαξονικών καλωδίων

Manufacturer	Part #	Cable Designation	DC resistance (ohms/100')	Nominal impedance in ohms	Attenuation in dB/100 feet at N MHz		
					1	5	10
Belden	9880	10BASE5, F'act	14.2	50	0.19	0.37	0.52
Belden	9880	10BASE5, F'act	14.2	50	0.19	0.37	0.52
Manhattan	3443	9	14.2	50	N/A	N/A	N/A
Card	C115	4	18.7	52	N/A	N/A	N/A
Card	C115	2	18.7	52	N/A	N/A	N/A
Card	C501	5	12.4	50	N/A	N/A	N/A
Belden	9987	10BASE2, E'act	95.9	50	0.43	1.30	2.91
Belden	89987	10BASE2, E'act	95.9	50	0.43	1.30	2.91
Belden	8259	10BASE2, E'act	108.0	50	0.44	N/A	1.4
Belden	9201	10BASE2, E'act	101.0	53.5	0.33	N/A	1.2
Card	C117	4	101.0	53.5	N/A	N/A	3.1
Card	C117	2	101.0	53.5	N/A	N/A	3.1
Card	C118	3	50.0	93	N/A	N/A	N/A
Belden	9208	Actnet	417.0	93	0.25	N/A	0.85
Manhattan	3427	4	412.0	93	N/A	N/A	2.0

## Συνεστραμμένο ζεύγος (χωρίς θωράκιση UTP, με θωράκιση STP)

### Twisted Pair

The degree of reduction in noise interference is determined specifically by the number of turns per foot. Increasing the number of turns per foot reduces the noise interference. To further improve noise rejection, a foil or wire braid "shield" is woven around the twisted pairs. This shield can be woven around individual pairs or around a multi-pair conductor (several pairs).



### Shielded Twisted Pair

Cables with a shield are called shielded twisted pair and are commonly abbreviated STP. Cables without a shield are called unshielded twisted pair or UTP. Twisting the wires together results in a characteristic impedance for the cable. A typical impedance for UTP is 100 ohm for Ethernet 10BaseT cable.

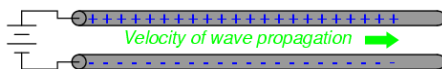
UTP or unshielded twisted pair cable is used on Ethernet 10BaseT and can also be used with Token Ring. It uses the RJ line of connectors (RJ45, RJ11, etc.)

STP or shielded twisted pair is used with the traditional Token Ring cabling or ICS - IBM Cabling System. It requires a custom connector. IBM STP (shielded twisted pair) has a characteristic impedance of 150 ohms.

## Χαρακτηριστικά συνήθων συνεστραμμένων καλωδίων

Manufacturer	Part #	Velocity of Prop.	Attenuation in dB/100'			Nominal Characteristics impedance in ohms at		
			1 kHz	256 kHz	1 MHz	1 kHz	256 kHz	1 MHz
Belden	*1154A	0.60	n/a	0.27	0.64	n/a	105	105
Belden	*1155A	0.60	n/a	0.27	0.64	n/a	105	105
AT&T	*2082 Comp. #1	n/a	0.03	5	n/a	0.48	700	n/a
AT&T	*2082 Comp. #2	n/a	0.04	4	n/a	0.66	550	n/a
AT&T	DBW 4/24	n/a	0.04	6	n/a	0.64	600	n/a
AT&T	2001 004D	n/a	n/a	n/a	0.30	n/a	n/a	100
IBM spec	Type 5	n/a	n/a	0.40	0.80	n/a	90-120	84-113

## Ταχύτητα διάδοσης κύματος

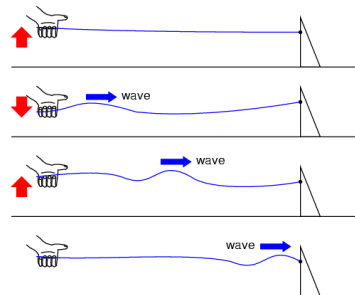


$$\text{Velocity factor} = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

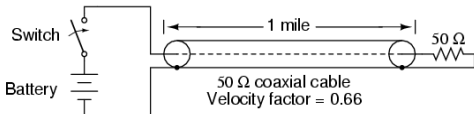
Where,

- $v$  = Velocity of wave propagation
- $c$  = Velocity of light in a vacuum
- $k$  = Relative permittivity of insulation between conductors

## Μηχανικό ανάλογο



### Τερματισμένη γραμμή



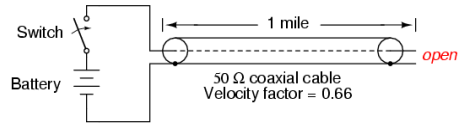
**Cable's behavior from perspective of battery:**  
Exactly like a 50 Ω resistor

Οι παλμοί διαδίδονται έως το άλλο άκρο της γραμμής και 'μεταφέρονται' αποδοτικά στον δέκτη.

Ο δέκτης πρέπει να τερματίζεται στην χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής..

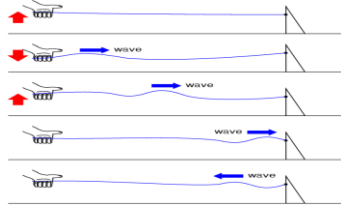
### Ανοικτή γραμμή

Εδώ το σήμα φθάνει στο άλλο άκρο και συναντά ανοικτό κύκλωμα. Τι γίνεται;



**Cable's behavior from perspective of battery:**  
Like a 50 Ω resistor for 16.292 μs, then like an open (infinite resistance)

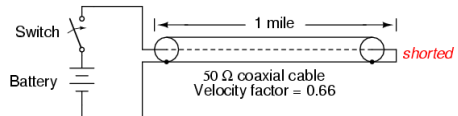
### Μηχανικό ανάλογο - ανάκλαση



Απλά το σήμα ανακλάται πίσω (η ενέργεια του σήματος κάπου πρέπει να πάει).

Ο πομπός τότε θα δει το αρχικό σήμα και το ανακλώμενο (που ουσιαστικά είναι θόρυβος)

### Βραχυκυκλωμένη γραμμή



**Cable's behavior from perspective of battery:**  
Like a 50 Ω resistor for 16.292 μs, then like a short (zero resistance)

• Ομοίως θα έχουμε ανάκλαση

• Λόγω της διατήρησης της ενέργειας το ανακλώμενο σήμα θα είναι ανεστραμμένο.

### Περίληψη για τις Γραμμές Μεταφοράς

- Όλες οι γραμμές μεταφοράς έχουν έχουν μια δεδομένη χαρακτηριστική αντίσταση και συντελεστή ταχύτητας.
- Τα άκρα των καλωδίων πρέπει να τερματίζονται στη χαρακτηριστική τους αντίσταση.
- Εάν η αντίσταση τερματισμού δεν είναι η σωστή τότε συμβαίνουν ανακλάσεις που προκαλούν παρεμβολές στο σήμα.
- Σε τηλεφωνικούς βρόχους οι ανακλάσεις προκαλούν φαινόμενα ηχώ.
- Οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται επίσης και σαν φίλτρα που αφήνουν να περάσουν ή αποκρίπουν κάποιο εύρος συχνοτήτων (π.χ., φίλτρα κτένας στην έγχρωμη TV).

### Οπτικές Ίνες

#### ➤ Πλεονεκτήματα

**Advantages of Fiber Optics**

- High Data Rate
- Long Distances
- Low Error Rates
- Data Security
- Lightning Protection
- Ease of Installation
- Small Size
- Light Weight
- Hazardous Environments
- Ground Plane Isolation
- Minimum Building Code Restrictions

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Διατομή Οπτικής Ίνας

**Optical Fiber**

- CORE**
  - Transmits the light signal
- CLADDING**
  - Keeps the light signal within core
- COATING**
  - Protects glass from abrasion and assures high strength

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 31

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Τυποποιημένες Οπτικές Ίνες

	Quality	Fiber Length	Fiber Diameter
Single Core	Low	Low	High
Large Core	High	High	Low

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 32

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Τυπική διάδοση σε Οπτική Ίνα

2. Non-metallic Transmission

**OPTICAL FIBER**

- Glass or plastic core
- Low or tight coupling device
- Specially designed jacket
- Small size and weight

• Fiber optics uses electromagnetic waves contained in (usually glass but sometimes plastic) rather than electrons to convey the signals.

• Wavelengths used are usually in the visible (550 nm) or near infrared spectrum (750nm, 850nm, 1310nm, or 1550 nm) with the longer wavelengths providing longer transmission distances with a little loss as 3 dB per kilometer or less.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 33

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Είδη Οπτικών Ίνων

Πολύτροπη ίνα

Μονότροπη ίνα

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 34

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Απόκριση Οπτικών Ίνων

• Fiber can be of multi-mode or single mode fibers with the latter providing for much longer distances and highest bandwidths, often many gigabits possible over a single 5-10 nm core.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 35

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Αριθμητικό Διάφραγμα Οπτικής Ίνας (Κώνος αποδοχής)

NUMERICAL APERTURE (Acceptance Angle) =  $n_0 \times \sin \theta$

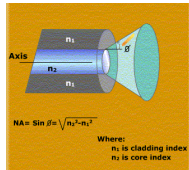
or

$$NA = n_0 \times \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

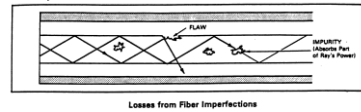
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 36

## Κώνος Αριθμητικού Διαφράγματος

Total internal reflection is what causes light to be guided along the length of an optical fiber. First, however, light must fall inside an acceptable angle so that it can enter into the fiber's core. **Acceptance angle or numerical aperture (NA)** measures the range of acceptance of light into a fiber. The angle over which a fiber accepts light depends on the refractive indices of the core and cladding glass. Refraction bends a ray of light entering a fiber so that it is at a smaller angle to the axis of the fiber than it was in air.



## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΎΦΕΣ



1. Οφείλονται σε ξένα σώματα στο γυαλί ή ατέλειες του πυρήνα ή του μανδύα στη μεταξύ τους διεπιφάνεια.
2. Γενικά ίνες μεγαλύτερου 'τρόπου' έχουν μεγαλύτερες απώλειες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο πυρήνας (οπότε η ίνα υποστηρίζει περισσότερους 'τρόπους'), οι απώλειες είναι μεγαλύτερες.
3. Οι απώλειες είναι λιγότερες για μεγαλύτερα μήκη κύματος (γιατί).

## ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Fiber Type	820nm	850nm	1300nm
50/125	3.5	3.0	1.5
62.5/125	4.5	4.0	1.5
100/140	6.0	5.5	3.0

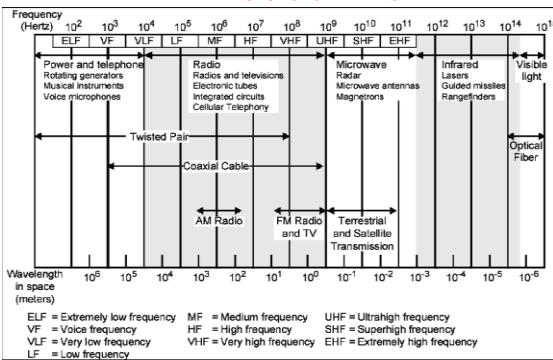
Ουσιαστικά είναι αρνητικά dBs.

## Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

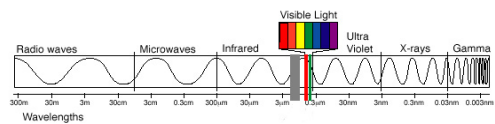
Ηλεκτρομαγνητικά ακτινοβολία λαμβάνει χώρα σε γραμμές που διαρρέονται από εναλλασσόμενα ρεύματα. Άρα δρουν ως **κεραίες!**

- Οι κεραίες μεταδίδουν ραδιοσήματα όταν έχουν μήκος ένα **σημαντικό κλάσμα του μήκους κύματος** λειτουργίας τους ή μεγαλύτερο αυτού..
- Η διάδοση είναι **χαρακτηριστικό του μήκους κύματος** λόγω της γεωγραφίας του εδάφους και ίσως και των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών της κεραίας σε διάφορα μεγέθη.
- Τα ραδιοσήματα χρησιμοποιούνται πρακτικά σε συχνότητες από μερικούς **KHz μέχρι 100 GHz** (πρό χαμηλά θα θέλαμε τεράστιες σε μήκος κεραίες).

## Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα



## The Electromagnetic Spectrum



Remote sensing uses radiant energy that is reflected and emitted from Earth at various "wavelengths" of the electromagnetic spectrum

Our eyes are sensitive to the visible portion of the EM spectrum

Πανεπιστήμιο Αθηνών

## Electromagnetic Spectrum

Wavelength (meters)

43

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

- Το μήκος κύματος είναι απλά η απόσταση που ταξιδεύει το κύμα σε μια περίοδο :  $\lambda = c/f = 3 \times 10^8/f = 300/f_{\text{MHz}}$  meters
- ΗΜ σήματα δρουν ως κύματα και ως σωματίια. Η σχέση μεταξύ των δύο περιγράφηκε από τον Max Planck πριν πάνω από 100 χρόνια. Για μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα των ατομικών αποστάσεων, η περιγραφή ως κύμα είναι επαρκής.
- ΗΜ (Radio, wireless, light, UV, X-rays, etc.) σήματα μπορούν να θεωρηθούν κύματα , όμως ας θυμόμαστε τη Φυσική τους , που έκανε τον Planck να πάρει το Nobel Prize το 1908.
- Ο νόμος του Planck είναι ένα από τα βασικά της Κβαντομηχανικής διότι εξηγεί ότι η ενέργεια είναι κβαντισμένη.
- Επίσης να θυμόμαστε την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 44

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Radiation is governed by Planck's Law

In wavelength:

$$B(\lambda, T) = c_1 / [\lambda^5 [e^{c_2/\lambda T} - 1]] \text{ (mW/m}^2\text{/ster/cm)}$$

where  $\lambda$  = wavelength (cm)  
 T = temperature of emitting surface (deg K)  
 $c_1 = 1.191044 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{/ster/cm}^4)$   
 $c_2 = 1.438769 \text{ (cm deg K)}$

In wavenumber:

$$B(\nu, T) = c_1 \nu^3 / [e^{c_2/\nu T} - 1] \text{ (mW/m}^2\text{/ster/cm}^2)$$

where  $\nu$  = # wavelengths in one centimeter (cm<sup>-1</sup>)  
 T = temperature of emitting surface (deg K)  
 $c_1 = 1.191044 \times 10^{-5} \text{ (mW/m}^2\text{/ster/cm}^4)$   
 $c_2 = 1.438769 \text{ (cm deg K)}$

Brightness temperature is uniquely related to radiance for a given wavelength by the Planck function.

45

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 45

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Spectral Distribution of Energy Radiated from Blackbodies at Various Temperatures

46

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 46

Wavelength:  $\lambda = c/f = 3 \times 10^8/f = 300/f_{\text{MHz}}$

Region	Wavelength (Angstroms)	Wavelength (centimeters)	Frequency (Hz)	Energy (eV)
Radio	$> 10^9$	$> 10$	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Microwave	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infrared	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visible	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
X-Rays	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma Rays	$< 0.1$	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

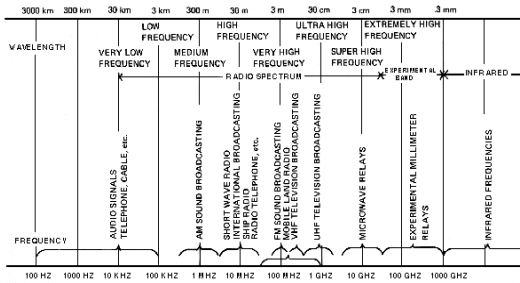
## Χρήση του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος

### THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

47



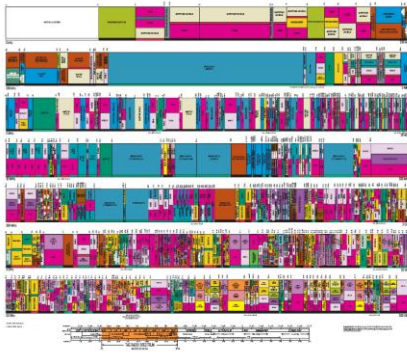
**ΦΑΣΜΑ των χρησιμοποιούμενων Ραδιοσυχνότητων**



**Διαχείριση ΗΜ Φάσματος**

- Το Φάσμα είναι ένα αγαθό που πωλείται
- Από κάθε κυβέρνηση για την χώρα της. Η διεθνής χρήση των συντονίζεται από την ITU, μια οργάνωση του ΟΗΕ.
- Η εμπορική χρήση των συχνοτήτων στην Ελλάδα ελέγχεται από την ανεξάρτητη αρχή ΕΕΤΤ(και πολλά άλλα θέματα, όπως ο υγιής ανταγωνισμός)
- Οι στρατιωτικές συχνότητες και κάποιες άλλες δεν ελέγχονται από την ΕΕΤΤ.
- Κάθε διαχειριστική αρχή συχνοτήτων δίνει άδειες για προνόμιο εκπομπής για συγκεκριμένες υπηρεσίες, π.χ., Broadcast, Land Mobile, Public Safety, Common Carrier (phone companies), etc. Καθορίζει επίσης τους κανόνες χρήσης, διαμόρφωσης, μέγιστης ισχύος, είδος κεραίας και ύψη αυτών. Η χρήση περιλαμβάνει γλώσσα, κανόνες ευπρέπειας ομιλίας, κλπ.

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM



**ΚΕΡΑΙΕΣ - ANTENNAS**

Είναι ο σύνδεσμος μεταξύ ενός οδηγούμενου και ενός ελεύθερου ηλεκτρομαγνητικού κύματος



Κεραίες Εκπομπής  
Κεραίες Λήψης

**ΚΕΡΑΙΕΣ - ANTENNAS**

- Αναλογική διαμόρφωση πλάτους παλμών: δεν γίνεται καμία να κβάντιση ή ψηφιακή μετατροπή. Τα σχήματα PAM χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στα κέντρα τηλεφωνικής μεταγωγής και PBXs στη δεκαετία του '70 και αργότερα.
- Οι ψηφιακές μέθοδοι TDM περιλαμβάνουν το συνδυασμό των ψηφιακών σημάτων από τις διάφορες πηγές πάνω σε μια μόνο σύνδεση.
- Οι αρχικές χρήσεις των πολυπλεκτών TDM ήταν να επιτρέψουν τα χαμηλού ρυθμού δεδομένων απλά "τερματικά" να νέμονται ένα ομοαξονικό καλώδιο ή ένα συνεστραμμένο ζεύγος.
- Γενικά, τα τερματικά δεν παράγουν δεδομένα όλη την ώρα.
- Το σχήμα ελέγχου καθορίζει τους δύο βασικούς τύπους πολυπλεκτών TDM, σύγχρονους και στατιστικούς.

**Οι βασικοί μαθηματικοί τύποι**

1. **Απόδοση ακτινοβολίας:** Ο λόγος της ισχύος εισόδου προς αυτήν που ακτινοβολείται.
 
$$\eta = P_{rad}/P_{in}$$
2. **Απολαβή ή κατευθυντικότητα:** περιγράφει το πόσο είναι εστιασμένη η ακτινοβόλουμένη ενέργεια σε σχέση με αυτή που θα ακτινοβολούσε εάν η κεραία ήταν ιστροπική. Μερικές παραβολικές κεραίες έχουν απολαβή πάνω από 30 dB.
 
$$G = \eta S(R)/S_{iso}(R)$$
  - $S(R)$  είναι η πυκνότητα ισχύος σε microwatts / m<sup>2</sup>. Είναι το σύνθετο μέτρο της ισχύος του ΗΜ πεδίου.
  - $S_{iso}(R)$  είναι η αντίστοιχη ισχύος που θα ακτινοβολούσε μια ιστροπική κεραία.

Ιστροπική κεραία: ακτινοβαλει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις

## Η πυκνότητα ισχύος του ΗΜ πεδίου που εκπέμπεται

- Είναι το μέτρο που μας λέει πόσο σήμα είναι «εκεί έξω». Όσο μεγαλύτερο το S, τόσο μεγαλύτερο σήμα μπορεί να 'πίσει' μια κεραία λήψης (αγνοώντας τις απώλειες αυτής καθεαυτής της κεραίας).
- Δεδομένου ότι το ΗΜ πεδίο στο κενό υπακούει τον γνωστό νόμο του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης, προκύπτει η σχέση που περιγράφει την ισχύ του ΗΜ πεδίου σε απόσταση R από την κεραία εκπομπής:

$$S(R) = P_{in}G/4\pi R^2$$

- Δεν πρέπει να ξεχνάμε και την αντίσταση εισόδου της κεραίας που καθορίζει πόσο καλά η ισχύς εισόδου  $P_{in}$  στην κεραία θα 'δέσει' με την κεραία (και δεν θα ανακλαστεί πίσω στην γραμμική μεταφοράς προς την κεραία)

## Η κεραία λήψης

Αισθητικά, οι μεγαλύτερες κεραίες λειτουργούν καλύτερα. Αυτό είναι αλήθεια, και υποθέτοντας ότι μια κεραία λήψης είναι σωστά προσαρμοσμένη προς τη κεραία εκπομπής και ότι η πόλωση των δύο κεραίων είναι η ίδια, τότε:

$$P_{av} = A_{eff} S(R) \text{ watts}$$

όπου  $P_{av}$  είναι η διαθέσιμη ισχύ που η κεραία λαμβάνει, και  $A_{eff}$  είναι η αποτελεσματική επιφάνεια της κεραίας — ένα μέτρο του μεγέθους της. Η κατανόηση των λεπτομερειών του  $A_{eff}$  είναι λίγο δύσκολη, αλλά η έννοια είναι πραγματικά απλή: η κεραία λειτουργεί καλύτερα εάν υπάρχει περισσότερο μέταλλο. Με αυτό υπόψη, παίρνουμε:

$$A_{eff} = \lambda^2 G / 4\pi \text{ square meters}$$

Όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος του σήματος. Μεγαλύτερη απολαβή, μεγαλύτερη και η αποτελεσματική επιφάνεια. Ο παραπάνω τύπος προέρχεται από τις εξισώσεις Maxwell με βάση τη διατήρηση της ενέργειας. Ο τύπος λέει ότι η αποτελεσματική επιφάνεια αντιστοιχεί με την απολαβή και το τεταράγωνο του μήκους κύματος. Αυτός σημαίνει ότι οι κεραίες για υψηλότερες συχνότητες δεν λειτουργούν πολύ καλά εκτός αν έχουν τεράστια απολαβή. Αυτός είναι ο λόγος που τα συστήματα μικροκυμάτων χρησιμοποιούν πιάτα. Δεδομένου ότι υψηλότερη απολαβή είναι αποτέλεσμα της κατευθυντικότητας, τα *πακακατευθυντικά* συστήματα μικροκυμάτων (όπως σε ασύρματα LANs) έχουν πολύ μικρή περιοχή.

## Από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψης

- Συνδυάζοντας τους προηγούμενους τύπους έχουμε:
- $$P_{rec} = P_{in} G_t G_r / (4\pi R^2)$$
- $G_t$  και  $G_r$  είναι αντίστοιχα οι απολαβές των κεραίων εκπομπής και λήψης.
  - Ο παρανομαστής του ανωτέρω τύπου καλείται *απώλεια ελεύθερου χώρου* και δίνεται συχνά σε dB. Παρατηρήστε ότι ο τύπος υπολογίζει την απόσταση (για να εφαρμοστεί στον αντίστροφο τετραγωνικό κανόνα όπως θα αναμέναμε) ως  $R/\lambda$  *πόσα μήκη κύματος είναι* χώρια οι δύο κεραίες.
  - Η απώλεια ελεύθερου χώρου,  $FSL = (4\pi R/\lambda)^2$  προσεγγίζεται από τον τύπο

$$FSL = 36.6 + 20 \log F + 20 \log D$$

όπου  $F$  = συχνότητα σε MHz, και  $D$  = απόσταση μεταξύ των κεραίων σε μίλια

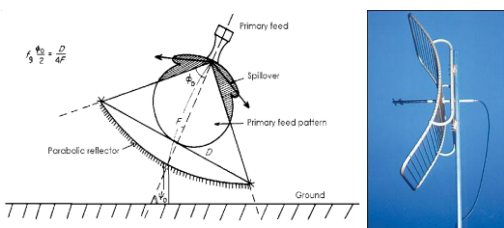
- Θα δούμε αργότερα μερικά παραδείγματα

## Τύποι Κεραιών

**Τύπος ανακλαστήρα:** Η πραγματική κεραία είναι μια μικρή κεραία απολαβής κοντά στα 0 dB — που καλείται *τροφός* — στο εστιακό σημείο (συνήθως) ενός παραβολικού ανακλαστήρα. Αυτές οι κεραίες περιγράφονται συνήθως σε συνάρτηση με τη διάμετρο της παραβολής (π.χ. "ένα πιάτο 3 μέτρων").

Δεν είναι δύσκολο να υπολογίσει κανείς την ιδανική απολαβή τέτοιων κεραίων: είναι κατά προσέγγιση  $2\pi$  επί την επιφάνεια του πιάτου (που δίνεται ως αριθμός των μηκών κύματος της συχνότητας λειτουργίας). Αυτός ο τύπος υποθέτει ότι περίπου η μισή ενέργεια που προσκρούει στο πιάτο ανακλάται πίσω στην τροφό λόγω της τραχύτητας του πιάτου και υποθέτοντας ότι η τροφός είναι στη σωστή θέση εστίασης του πιάτου.

## Μια τυπική κεραία εκπομπής στους 950 MHz



$G =$  (περίπου)  $2\pi \times$  την επιφάνεια του πιάτου σε τετραγωνικά μήκη κύματος

$$G = \pi^2 (D/\lambda)^2$$

$$G = 20 \log_{10} B + 20 \log_{10} F + 7.5 \text{ dB}$$

- Ο 2ος τύπος απλοποιεί τον υπολογισμό με το B τη διάμετρο του πιάτου σε πόδια και F η συχνότητα λειτουργίας και δίνει την απάντηση σε dB.

## Κεραίες-μαστιγίου χαμηλής κατευθυντικότητας



Το Κεραίες 'μαστιγίου' μήκους κύματος  $\frac{1}{4}$  χει ένα πολύ μέτρια απολαβή, μόνο 0,85 dB, αλλά είναι πρακτικές. Έχουν το πλεονέκτημα να εκπέμπουν οριζόντια. Υψηλότερη απολαβή μπορούν να επιτευχθούν με την αύξηση του μήκους. Τα  $\frac{5}{8}$  μήκος κύματος είναι ένα συχνό μέγεθος.



Συντά δύο τμήματα  $\frac{1}{4}$  μήκους κύματος ενώνονται για να αυξηθούν την απολαβή κατά 3 dB και να εστιάσουν το διάγραμμα ακτινοβολίας ακόμη περισσότερο. Αυτό το είδος της κεραίας είναι κοινό στις κεραίες κινητών τηλεφώνων. Σημειώστε το πηγίο στο μεσαίο σημείο της κεραίας για να συνδέσετε τα δύο στοιχεία μήκους κύματος.

Δύο  $\frac{1}{4}$  μήκους κύματος τμήματα τροφοδοσία στη μέση είναι μια κεραία "διπόλο". Τα δίπολα χρησιμοποιούνται ευρέως από συσκευές εκπομπής FM μέχρι βαθμονομημένο εξοπλισμό δοκιμής. Η απολαβή ενός διπόλου είναι θεωρητικά 2,14 dB = 0 dB.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Παράδειγμα μια πολύ μεγάλης κεραίας εκπομπής AM



Τα μήκη κύματος ραδιοφωνικών μεταδόσεων AM είναι από 150 έως 600 μέτρα!

Συχνά ο όλος πύργος είναι κεραία 1/4 ή 5/8 μήκους κύματος, και μερικές φορές ένας αριθμός τέτοιων πύργων 40 έως 200 μέτρων κατασκευάζονται σε έναν χώρο για να παράσχουν κάποια απολαβή και κατευθυντικότητα για να αποφυγούν παρεμβολές με γειτονικές περιοχές.

Δεν είναι επίσης ασυνήθιστο για κεραίες πολύ υψηλότερης συχνότητας να τοποθετούνται πάνω σ' αυτούς τους πύργους.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 61

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Παραδείγματα κεραιών Συντονιζόμενο Δίπολο – Κεραία Yaggy



Αριστερό: Ένα **συντονιζόμενο δίπολο** στο οποίο τα μήκη στοιχείων (δεξιά μέρος) μπορούν να προσαρμοστούν μηχανικά στα 1/4 μήκη κύματος στη λειτουργήσασα συχνότητα.

Ανω: Μια **κεραία Yaggy** (από τον Ιάπωνα εφευρέτη της) είναι ένας αριθμός δίπολων που ευθυγραμμίζονται για να εστιάσουν το σήμα σε μια κατεύθυνση. Απολαβή μέχρι 20 dB ή περισσότερο είναι δυνατή σε μια κατεύθυνση καθώς αύξηση κατά 3 dB επιτυγχάνεται κάθε φορά που διπλασιάζεται ο αριθμός στοιχείων. Αυτή η συγκεκριμένη έχει κυκλική πόλωση για επικοινωνία με δορυφόρους.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 62

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Κεραία ερασιτεχνικού ραδιοφωνικού σταθμού



Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 63

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Κεραία λήψης TV



Οι κεραίες TV είναι Yaggy που λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα της συχνότητας. Έχουν μικρή απολαβή αλλά ένα πολύ ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 64

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Κεραία εκπομπής FM



FM Broadcast Antenna

Οι ραδιοσταθμοί FM απαιτούν οριζόντια και κάθετη πόλωση για να εξυπηρετήσουν ακροατές με κεραίες πολωμένες οριζόντια στις στέγες σπιτιών και κεραίες αυτοκινήτων τύπου μαστιγίου κατακόρυφης πόλωσης.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 65

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

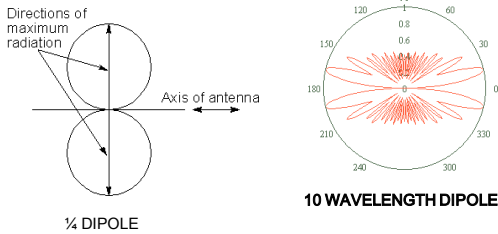
### Διαγράμματα ισχύος εκπεμπόμενου ΗΜ κύματος



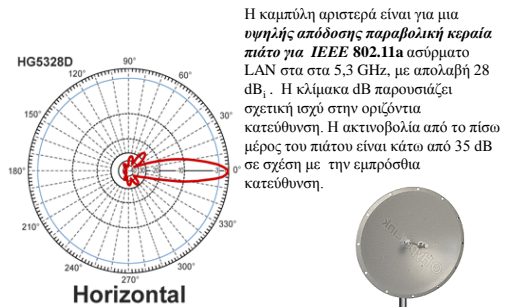
Αυτές οι δύο καμπύλες είναι τυπικά διαγράμματα εκπομπής κεραιών τοποθετημένες στη πλευρά πύργων, όπως η περίπτωση κεραιών για κινητά, TV ή FM ραδιοσταθμούς. Η καμπύλη δίνει την ισχύ του ΗΜ πεδίου (σε dB) σε μια δεδομένη απόσταση, συνήθως εκεί που το σήμα είναι ακριβώς αρκετά ισχυρό για να παρέχει καλή κάλυψη.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 66

Διαγράμματα ακτινοβολίας για κεραίες ΔΙΠΟΛΑ



Κεραία ασύρματου LAN IEEE 802.11a



Η καμπύλη αριστερά είναι για μια υψηλής απόδοσης παραβολική κεραία πιάτο για IEEE 802.11a ασύρματο LAN στα 5.3 GHz, με απολαβή 28 dB. Η κλίμακα dB παρουσιάζει σχετική ισχύ στην οριζόντια κατεύθυνση. Η ακτινοβολία από το πίσω μέρος του πιάτου είναι κάτω από 35 dB σε σχέση με την εμπρόσθια κατεύθυνση.

Απόσταση οριζόντια κεραίας

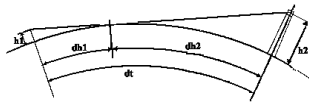


figure 3: le pied de l'amer est au-dessus de l'horizon  

$$D = 4.124 \sqrt{H}$$

Η απόσταση του οριζώντων (σε χιλιόμετρα) αυξάνει με το ύψος της κεραίας επάνω από το έδαφος (σε μέτρα) σύμφωνα με την παραπάνω προσεγγιστική σχέση.

Το μέγιστο μήκος της "γραμμής θέας ή οριζόντια" μεταξύ δύο κεραίων απαιτεί και οι δύο κεραίες να είναι ανυψωμένες.

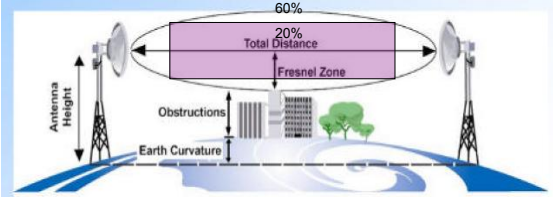
Απώλειες ελεύθερου χώρου

Distance:	2 miles	4 miles	6 miles	10 miles	20 miles
2.4 GHz FSL:	110 dB	116 dB	119 dB	124 dB	130 dB
5.8 GHz FSL:	118 dB	124 dB	127 dB	132 dB	138 dB

Rule of Thumb: Double/halve the distance -> Add/subtract 6 dB.

ΕΜΠΟΔΙΑ – Ζώνη Fresnel

As distance increase, the Fresnel Zone gets fatter. For long ranges, higher antennas are required for the Fresnel Zone to clear obstacles.



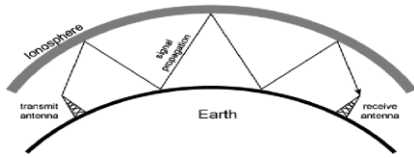
Ισχύ και Κάλυψη Ασύρματων Ζεύξεων

Ισχύς εξόδου κινητών τηλεφώνων: Τα αναλογικά φορητά τηλέφωνα ακτινοβολούν μέχρι 600 mW. Σε ψηφιακή μορφή (TDMA, GSM, και CDMA), πολλά κινητά παράγουν μέσα επίπεδα ισχύος περίπου 125 mW.

• Η έξοδος των κινητών τηλεφώνων ελέγχεται προσομοιωτικά από το σταθμό βάσης: το τηλέφωνο ρυθμίζει συνεχώς τη δύναμή του όπως διατάζεται από τους σταθμούς για να παράσχει ότι περισσότερο από το ελάχιστο σήμα που απαιτείται για να επικοινωνήσει αξιόπιστα με το σταθμό βάσης. Αυτή η τεχνική προορίζεται να ελαχιστοποιήσει την παρεμβολή του σε πιο πέρα κινηλωτές περιοχές, αλλά και έχει το πλεονέκτημα της αυξημένης ζωής των μπαταριών καθώς επίσης και της (αμοιβαίας) μείωσης των πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων στους χρήστες.

• IEEE 802.11b/g σειρά: Η τυπική διαφημιζόμενη μέγιστη απόσταση για 802.11b σημεία πρόσβασης είναι μέχρι 35-60 μέτρα για εσωτερικούς χώρους, και 300 μέτρα για υπαίθριους χώρους κάτω από πολύ καλύτερες περιστάσεις όπως με μια κεραία απολαβής. Οι δημοσιευμένες περιοχές για 802.11g είναι λίγο λιγότερες: 20 μέτρα εσωτερικά, 50 μέτρα υπαίθρια.

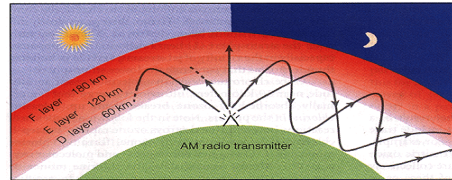
## Διάδοση ΗΜ μέσω της Ιονόσφαιρας



(b) Sky-wave propagation (2 to 30 MHz)

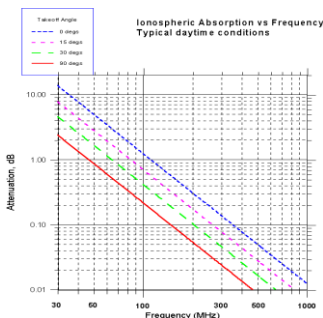
- Οι χαμηλότερες συχνότητες/μεγαλύτερα μήκη κύματος απαιτούν μεγάλες κεραίες και διαδίδουν μέσω ανακλάσεων στην ιονόσφαιρα (π.χ., ραδιόφωνο στα βραχεία)
- Οι υψηλότερες συχνότητες, όπως τα μικροκύματα, έχουν κεραίες υψηλής κατευθυντικότητας, απαιτούν ορατό οριζόντιο διάδοσης και χρησιμοποιούνται για σημείο-προς-σημείο και δορυφόρους.

## Διάδοση ΗΜ μέσω της Ιονόσφαιρας



- Η ιονόσφαιρα αποτελείται από διάφορα στρώματα: D (44-55 miles up), E (65-75 miles up), F1 (90-120 miles), and F2 (200 miles) φορτισμένων σωματιδίων.
- Το D απορροφά κατά τη διάρκεια της ημέρας τις συχνότητες (0.5 – 1.7 MHz) εκπομπής AM, αλλά εξαφανίζεται τη νύκτα. Τα στρώματα E και F ανακλούν τα κύματα τη νύκτα.
- Για τα μικροκύματα η Ιονόσφαιρα είναι άχρηστη.

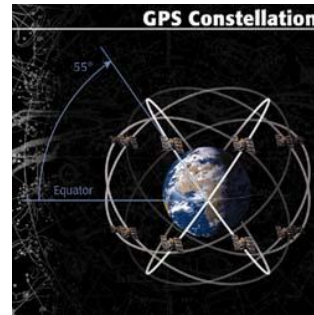
## ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΡΑΔΙΟ ΚΥΜΑΤΩΝ



$$A(f, \theta) := \frac{2200}{f^2 \sqrt{\sin^2(\theta) + 2 \frac{h}{R}}}$$

Αυτός ο χάρτης δείχνει την απόσβεση των ραδιοκυμάτων μέσω της ατμόσφαιρας. Υποθέτει απορρόφηση των κυμάτων από αγώγιμο στρώμα της ατμόσφαιρας σε ύψος 100 km. Η απορρόφηση είναι μικρότερη όταν τα κύματα μεταδίδονται κάθετα και είναι μεγαλύτερης συχνότητας.

## ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ - SATELLITES



Εδώ βλέπετε τους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται στο σύστημα GPS

## Γεωστατικοί Δορυφόροι

•At 23,300 miles above the Earth (roughly 3 times the Earth's diameter and one tenth the distance to the Moon. See the above actual photo.), the orbital period is precisely the same as the Earth's rotation so that satellites in orbit directly above the Equator are said to be "stationary" as if they were on top of a very high tower.

•Low Earth satellites such as the Space Station circle the Earth in 90 minutes or so, the Moon takes 28 days or so, and GPS satellites at 11,000 miles up rotate around the Earth twice a day—actually exactly twice per sidereal day. The higher the orbit, the longer the orbital period.

## Γεωστατικοί Δορυφόροι

•Geosynchronous satellites are extensively used for world wide data communications links as an alternative to optical fiber or where it isn't available.

•Propagation time up and back from satellite is significantly higher than by any other means of transmission. This can "irritate" protocols up to the point of very low effective data rates or cause satellite transmission to be inappropriate for some systems. Techniques to overcome the high latency of satellites (for example by spoofing acknowledgements in TCP/IP) can result in high bit error rates and excessive retransmissions being required.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Τύποι Δορυφόρων

The approximate altitudes of Earth satellites are as follows:

Altitude Miles	Satellite Types
100-300	shuttles, space stations, spysats, navsats, hamsats
300-600	weather sats, photo sats
600-1,200	spysats, military comsats, hamsats
3,000-6,000	science sats
6,000-12,000	navsats
22,300 (stationary)	communications, broadcast, weather
250-50,000 (elliptical)	early-warning, Russian broadcast, communications, spysats, hamsats
225,718 (average/elliptical)	THE MOON

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 79

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ - ΣΗΜΑΤΑ

Πληροφορία είναι ό,τι δεν είναι ήδη γνωστό από τον παραλήπτη.

Προσοχή στις ακόλουθες έννοιες:

- Το **πληροφοριακό περιεχόμενο** δεν είναι το ίδιο με την **πολυπλοκότητα**.
- Η **τυχασιότητα** δεν είναι το ίδιο με το **πληροφοριακό περιεχόμενο**. Όμως **μη τυχαία γεγονότα σημαίνουν λιγότερο πληροφοριακό περιεχόμενο**.
- Όσο πιο πολύ και όσο πιο γρήγορα αλλάζει ένα σήμα, τόσο περισσότερη πληροφορία είναι ικανό να μεταφέρει.

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 80

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΣΗΜΑΤΑ - SIGNALS

Σήμα είναι ένα **χρονικά μεταβαλλόμενο γεγονός που μεταφέρει πληροφορία από μια πηγή σε έναν προορισμό** (ακριβέστερα από έναν πομπό σε ένα δέκτη)

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 81

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

- Η μέγιστη ταχύτητα διάδοσης ενός σήματος είναι η "c", δηλ., η ταχύτητα του φωτός, περίπου 300.000 km/sec στο κενό.
- Για την ακρίβεια  $c = 299,792,458 \text{ m/sec}$
- Η πραγματική ταχύτητα διάδοσης σήματος εξαρτάται από την φύση του (π.χ., το μήκος κύματος) και το μέσο στο οποίο διαδίδεται.

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 82

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Ανάλυση σήματος

Τα σήματα μπορούν να αναλυθούν από δύο διαφορετικές γωνίες, αυτή του **Χρόνου** και αυτή της **Συχνότητας**

Note	Octave (Middle C = octave 6)							
	3	4	5	6	7	8		
C	32.7	65.4	130.8	261.6	523.3	1046.5		
C#, Db	34.6	69.3	138.6	277.2	554.4	1108.7		
D	36.7	73.4	146.8	293.7	587.3	1174.7		
D#, Eb	38.9	77.8	155.6	311.1	622.3	1244.5		
E	41.2	82.4	164.8	329.6	659.3	1318.5		
F	43.7	87.3	174.6	349.2	698.5	1396.9		
F#, Gb	46.2	92.5	185.0	370.0	740.0	1480.0		
G	49.0	98.0	196.0	392.0	784.0	1568.0		
G#, Ab	51.9	103.8	207.7	415.3	830.6	1661.2		
A	55.0	110.0	220.0	440.0	880.0	1760.0		
A#, Bb	58.3	116.5	233.1	466.2	932.3	1864.7		
B	61.7	123.5	246.9	493.9	987.8	1975.5		

Frequencies of Musical Notes

Υπάρχουν δύο τρόποι να δει κανείς το **ίδιο σήμα**. Ο χρόνος και η συχνότητα και οι δύο είναι "πρότυπα" που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλυθούν μια **κυματιομορφή** (ή το σχήμα ενός σήματος).

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 83

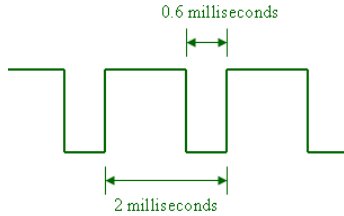
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Παράδειγμα ανάλυσης στα πεδία χρόνου και συχνότητας

Κ. Χαλζάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 84

**ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ**

Τα **περιοδικά σήματα** είναι σήματα που επαναλαμβάνονται χρονικά. Τέτοια σήματα δεν εμφανίζονται πραγματικά στη φύση αλλά η ανάλυση είναι ευκολότερη!

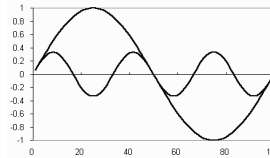


Χαρακτηριστικό τετραγωνικό κύμα με περίοδο 2 ms. Έχει μη θεμελιώδη συχνότητα 500 Hz.

**Ανάλυση κατά Fourier**

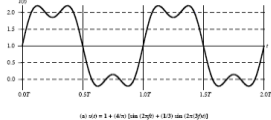
Αποδείχτηκε από τον Fourier\* ότι από μαθηματική άποψη τα **περιοδικά** σήματα αποτελούνται από μια **σειρά κυμάτων ημιτόνου** των οποίων οι συχνότητες είναι **πολλαπλάσια** ακέραιων αριθμών της **θεμελιώδους** ή συχνότητας βάσης της επανάληψης.

1st and 3rd Harmonic

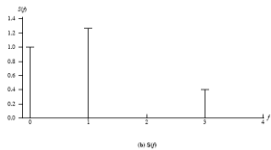


\*Jean Baptiste Joseph **Fourier**. Born 21 March 1768, died 16 May 1830 in Paris, France

**Παράδειγμα ανάλυσης συμμετρικού τετραγωνικού σήματος**



- Εδώ ένα σήμα είναι μια προσέγγιση ενός **συμμετρικού τετραγωνικού κύματος**. Ποικίλει από 0 έως 2 βολτ και έχει μια περίοδο 1 sec.
- Όταν αναλύεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Fourier, αυτό το σήμα μπορεί να αποδειχθεί ότι μπορεί **ΕΠΙΣΗΣ** τέλεια να περιγραφεί ως **δύο κύματα ημιτόνου**



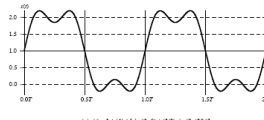
- από ένα συνεχές 1 βολτ (σε αυτήν την περίπτωση από το σήμα έχει έναν διαφορετικό από το μηδέν μέσο όρο), και δύο κύματα ημιτόνου:

- 1 Hertz και 3 Hertz όπου το τελευταίο είναι ενός συγκεκριμένου χαμηλότερου πλάτους

- Σημειώστε ότι τα κύματα ημιτόνου είναι **σε αυτήν την περίπτωση**: το **θεμελιώδες** και μόνο ένα ακέραιο πολλαπλάσιο αυτού που συμβαίνει να είναι 3 φορές το θεμελιώδες.

Figure 3.6 Signal with de Component

**Αρμονικές ανάλυσης-σύνθεσης**



Η **θεωρία Fourier** λέει ότι όλα τα **περιοδικά κύματα** μπορούν να **κατασκευαστούν**—πραγματικά είναι—ως ένα άθροισμα **κυμάτων ημιτόνου** που είναι **πολλαπλάσια** της θεμελιώδους συχνότητας.

Αυτές οι **αρμονικές** μπορούν να είναι και **άρπιες** και **περιπές** ακόμη και ή **περίεργες** και **μπορούν θεωρητικά** να φθάσουν **έως την άπειρη** συχνότητα.

Περιορισμοί ζώνης ή και ποια **πολλαπλάσια** απαιτούνται—όπως μόνο **περιπτά**—εξαρτώνται από την **πραγματική μορφή** του κύματος στο χρονικό πεδίο.

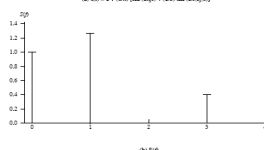
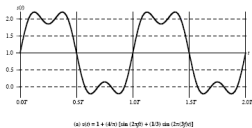


Figure 3.6 Signal with de Component

**Αρμονικές ανάλυσης-σύνθεσης**



Αυτή η **κυματομορφή** δεν απαιτεί παρά μόνο **δύο συχνότητες** (εκτός από το συνεχές ρεύμα).

Εδώ μόνο η **θεμελιώδης συχνότητα** και η **τρίτη αρμονική** αρκούν για να αναδημιουργήσουν τη μορφή επειδή:

- Το αρχικό σήμα είναι **περιορισμένης ζώνης**. Σημειώστε την **έλλειψη αιχμηρών γωνιών** ή τουλάχιστον **πολύ απότομων μεταβάσεων** που **εγκαίρως** θα απαιτούσαν τις **πολύ υψηλές συχνότητες**.

- Η **αριστερή/δεξιά συμμετρία** κάθε περιόδου είναι ο **λόγος** για την **ανάγκη** μόνο των **"περιπτών"** αρμονικών.

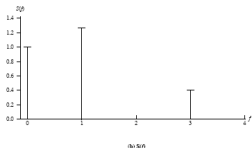
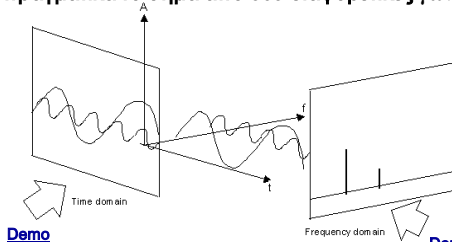


Figure 3.6 Signal with de Component

**Η ανάλυση χρόνου και συχνότητας εξετάζει πραγματικά το σήμα από δύο διαφορετικές γωνίες**



Demo

Demo

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Fourier Σύνθεση τετραγωνικού σήματος

• Το τετραγωνικό κύμα γίνεται **περισσότερο** "τετραγωνικό" όσο **περισσότερα** κύματα ημιτόνου προστίθενται μέσα. **Σε αυτήν την περίπτωση**, η σειρά Fourier αποτελείται από μόνο τις **περιττές** αρμονικές και τα πλάτη είναι είναι 1, 0.3, και 0.2 για τις f1, f3, και f5, αντίστοιχα.

• Τι μπορείτε να συμπεράνετε για τις "γρήγορες" μεταβάσεις στα σήματα και τη σχέση τους με τα τμήματα υψηλότερης συχνότητας που αποτελούν το σήμα;

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 91

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Fourier Σύνθεση περιοδικών Κυματομορφών

- Απαιτείται ένας **άπειρος** αριθμός συχνοτήτων για να συνθέσει κανείς απότομες (τετραγωνικές) αλλαγές.
- Όσο **περισσότερες** συχνότητες συμπεριλαμβάνονται, τόσο **γρηγορότερες** μεταβάσεις μπορούν να υπάρχουν στο πεδίο του χρόνου.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 92

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### ΣΕΙΡΑ FOURIER

$$a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

Αυτή είναι η μαθηματική περιγραφή της σειράς Fourier.

**Μας λέει ότι ΟΠΟΙΟΔΗΠΟΤΕ** περιοδική κυματομορφή μπορεί να περιγραφεί ως ένα ενδεχομένως άπειρο άθροισμα ημιονοειδών συναρτήσεων συχνοτήτων που είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας της χρονικής απεικόνισης της περιοδικής κυματομορφής.

Παρατηρήστε ότι αυτή η "κοινή" μορφή της σειράς Fourier παραπάνω παρουσιάζει και τα ημίτονα και τα συνημίτονα. Αυτό είναι ένας τρόπος να δείξει κανείς ότι κάθε ημιονοειδές κύμα που αποτελεί τη σειρά —στη γενικότερη περίπτωση —πρέπει να οριστεί με μια δεδομένη γωνία φάσης. Δεδομένου ότι τα συνημίτονα είναι κύματα ημιτόνου μετατοπισμένα + 90 μοίρες, προσθέτοντας ημίτονα και τα συνημίτονα της ίδιας συχνότητας αλλά με διαφορετικά πλάτη παράγουν ένα κύμα ημιτόνου με συγκεκριμένη φάση μεταξύ 0 και 90 βαθμών.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 93

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Οι συντελεστές FOURIER για περιοδικά Σήματα

$$f(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos(m\omega t) + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \sin(m\omega t)$$

- Ένα περιοδικό σήμα είναι μια συνάρτηση του χρόνου, f(t)
- Τα περισσότερα περιοδικά σήματα απαιτούν αρκετά μαθηματικά για να υπολογίσουν τους συντελεστές Fourier δεδομένου ότι είναι ολοκληρώματα της συνάρτησης του χρόνου, και αυτές οι συναρτήσεις μπορούν να είναι αρκετά σύνθετες.
- Παρουσιάζουμε κάποια παραδείγματα χρησιμοποιώντας τις απλούστερες συναρτήσεις.
- Δες τον ιστότοπο <http://cnyack.homestead.com/files/idxpages.htm>

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 94

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Υπολογισμός των συντελεστών FOURIER

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx,$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

- Αυτή είναι η παραδοσιακή απεικόνιση των τύπων που υπολογίζουν στους συντελεστές Fourier για μια περιοδική συνάρτηση f(x) που έχει περίοδο 2π.
- a<sub>0</sub> είναι η μέση τιμή της συνάρτησης σε μια περίοδο.
- a<sub>n</sub> και b<sub>n</sub> είναι τα αποτελέσματα των υπολογισμών του πλάτους κάθε μιας από τις αρμονικές "τάξεις" n, όπου n=1 για τη θεμελιώδη συχνότητα, n=2 για την 2η αρμονική (η αρμονική ορίζεται ως το n-οστό πολλαπλάσιο της f<sub>0</sub>), κ.λπ.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 95

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

### Συντελεστές FOURIER τετραγωνικού σήματος

Έστω ένα τετραγωνικό κύμα (με το κόκκινο. Λόγω των ασυνεχειών, η f(t) δεν μπορεί να εκφραστεί ως ενιαία συνάρτηση αλλά ως 3 κομματάκια:

$$f(t) = \begin{cases} -1 & \text{for } -T/2 < t < -T/4 \\ +1 & \text{for } -T/4 \leq t \leq T/4 \\ -1 & \text{for } T/4 < t < T/2 \end{cases}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx$$

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \left( \cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t + \dots \right)$$

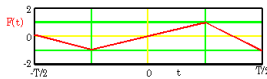
Η σειρά Fourier για αυτό το τετραγωνικό κύμα αποτελείται από τις περιττές συχνότητες μόνο με πλάτη 4/π επί 1, 1/3, 1/5, 1/7, κ.λπ.

*Σημείωση: Κάνουμε άθροισμα εδών, όχι ολοκλήρωμα. Έτσι οι συντελεστές είναι ακριβώς συνημίτονα με πλάτη που υπολογίζονται με να προσθέσουμε τμηματικά τις κόκκινες τιμές. Αναγνωρίζουμε ότι αυτή η κυματομορφή δεν μπορεί να έχει κύματα ημιτόνου. Στη γενική περίπτωση, το ολοκλήρωμα των συνημιτόνων είναι ημίτονα, και το ολοκλήρωμα των ημιτόνων είναι αρνητικά συνημίτονα.*

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 96



## Ανάλυση FOURIER τριγωνικού σήματος



Λόγω των ασυνεχειών στην παράγωγο, η συνάρτηση πρέπει να εκφραστεί ως 3 κομμάτια. Αυτά είναι:

$$f(t) = -4/T \cdot t \text{ for } -T/2 \leq t \leq -T/4$$

$$f(t) = 4/T \text{ for } -T/4 \leq t \leq T/4$$

$$f(t) = -4/T \cdot t + 2 \text{ for } T/4 \leq t \leq T/2$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt$$

Εδώ αναγνωρίζουμε ότι μόνο τα κύματα ημιτόνου είναι απαραίτητα.

$$f(t) = \frac{8}{\pi^2} \left( \sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

Η σειρά Fourier αποτιμάται στα περιττά πολλαπλάσια της θεμελιώδους που έχει πλάτος  $8/\pi^2$ . Οι αρμονικές έχουν πλάτη 1/9 για την 3η αρμονική, 1/25 για την 5η αρμονική, 1/49 για την 7η, κ.λπ.

Δες <http://cnyack.homestead.com/files/afourse/fstr1.htm>

## ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ Χρόνου/Συχνότητας των Σημάτων

• Όλα τα σήματα έχουν μια περιγραφή χρόνου και μια περιγραφή συχνότητας.

• Και οι δύο είναι απολύτως ισοδύναμες. Κάθε μια χωριστά προσδιορίζει εντελώς το σήμα, αλλά και οι δύο περιγραφές μας βοηθούν να καταλάβουμε τις διαφορετικές επιπτώσεις πάνω στο σήμα λόγω των περιορισμών του εύρους ζώνης μετάδοσης.

• Εάν το σήμα είναι περιοδικό, τότε οι συχνότητες είναι μόνο ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας αν και μπορεί να χρειαστεί ένας άπειρος αριθμός τους για να προσδιοριστεί εντελώς το σήμα\*.

•• Εάν "κόψετε" (αποβάλετε) τις υψηλότερες συχνότητες, τότε η χρονική απεικόνιση θα έχει πιο αργές μεταβολές.

## Περιορισμός του ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ (Bandwidth) Αναλογικών Σημάτων

Ζώνη συχνοτήτων μικρότερη από 1000-2000 Hz αρκεί για να καταλάβει κανείς την ομιλία αλλά ηχεί αρκετά τεχνητή. Είναι αναγκαίο τουλάχιστον εύρος ζώνης 2500 Hz για να αναγνωρίσετε τον ομιλητή.

• Για πιστότητα που προσεγγίζει το ανθρώπινο εύρος ακρόασης απαιτείται εύρος 20 Hz έως 20.000 Hz.

• Η ραδιοφωνική ζώνη AM μεταδίδει περίπου 5 KHz. Τα FM μεταδίδουν περίπου εύρος ζώνης έως 15.000 Hz. Ο ήχος του CD μπορεί να είναι μέχρι 20.000 Hz. Οι άνθρωποι άνω των 35 χάνουν το υψηλό άκρο της αντίληψης συχνότητας καθώς επίσης και την ευαισθησία στους ήχους. Μερικά ζώα μπορούν να ακούσουν αρκετά παραπάνω από το εύρος των ανθρώπων.

• Τα τηλεοπτικά σήματα απαιτούν το εύρος ζώνης 5 MHz (για το αμερικανικό πρότυπο των 525 γραμμών).

## Περιορισμός του ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ (Bandwidth) Αναλογικών Σημάτων ομιλίας και μουσικής

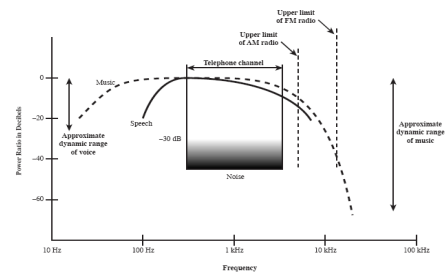


Figure 3.9 Acoustic Spectrum of Speech and Music [CARN99a]

## Περιορισμός του εύρους ζώνης στη διάδοση Ψηφιακών Σημάτων

• Μερικά σήματα ψηφιακών σημάτων αποτελούνται από παλμούς. Είναι εύκολο να φανεί γιατί περιορισμός του εύρους ζώνης μειώνει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων όταν χρησιμοποιούνται απλοί παλμοί. Το περιορισμένο εύρος ζώνης έχει σαν αποτέλεσμα φαιδρύτερους παλμούς, λιγότερο απότομες μεταβολές που πρέπει να ανιχνευθούν, και άλλες παραμορφώσεις των σημάτων.

• Τα αποτελέσματα του περιορισμού του εύρους ζώνης οδηγούν και στις δύο περιπτώσεις στον περιορισμό του αριθμού μεταβολών του σήματος (bauds) που μπορεί να σταλούν ανά δευτερόλεπτο.

• Ο ρυθμός των bits (bps) σχετίζεται με τον ρυθμό baud με βάση το σχήμα διαμόρφωσης του σήματος που κωδικοποιεί πολλά bits ανά baud όταν χρησιμοποιούνται οι τεχνικές διαμόρφωσης στις αναλογικές συσκευές. Το περιορισμένο εύρος ζώνης μαζί με το θόρυβο, το crosstalk, και η παραμόρφωση επηρεάζουν το συνολικό ρυθμό bits/sec.

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - Modulation

• Η διαμόρφωση χρησιμοποιεί κύματα ημιτόνου για προσδιορίζει νέες συχνότητες που ένα σήμα θα καταλάβει. Αντά τα κύματα "σπόροι" ημιτόνου καλούνται Φέροντα (carriers).

• Οι τεχνικές διαμόρφωσης αλλάζουν τις τρεις παραμέτρους του ημιτονιοειδούς φέροντος:

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (AM) ΕΥΡΟΥΣ / ΠΛΑΤΟΥΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (FM) ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (PM) ΦΑΣΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΕΤΡΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ (QAM) \*
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΑΧΥΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ TURBO

• Τα σήματα διαμόρφωσης από τη φύση τους μπορούν να παραχθούν ενέργεια μέσα σε ελεγχριστές περιοχές του ΗΜ φάσματος με επίκεντρο πάνω ή κοντά στις συχνότητες κάθε φέροντας συχνότητας. Αυτός είναι ο τρόπος που κατασκευάζονται τα συστήματα πολλαπλής συχνότητας (FDM, Frequency Division Multiplexing).

## Διαμόρφωση Πλάτους

### > Ψηφιακή AM

•Απλό ON/OFF του φέροντος σήματος είναι μια μορφή του AM και μπορεί να λάβει τη μορφή κώδικα **Morse** (Τα ON είναι μήκους μισή ή τριών μονάδων μήκους, τα OFF διαστήματα ενός, τριών, ή επτά μονάδων μήκους. Οι τελείες έχουν μήκος 1, οι παύλες μήκος 3, τα διαστήματα μεταξύ των λέξεων είναι μήκους 7. Αυτό ήταν το πρώτο ψηφιακό σχήμα AM. Εφευρέτης, ο Samuel F. B. Morse που πέθανε σε 1872,

•Πιο σύνθετα ψηφιακά σήματα AM μπορούν να παραγάγουν διάφορα πλάτη για κάθε ίσου μήκους χρονικό διάστημα. Αυτό καλείται **διαμόρφωση εύρους/πλάτους παλμού (PAM)**.

### > Γραμμική AM

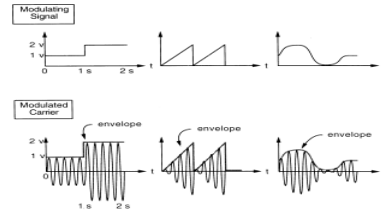
Εδώ μεταβάλλεται μόνο το **πλάτος** της κυματομορφής του ημιτονοειδούς φέροντος για τη μεταβίβαση πληροφορίας. Καλείται γραμμικό AM επειδή είναι ένα αναλογικό σχήμα διαμόρφωσης. Το γραμμικό AM χρησιμοποιείται για τη φωνή, τη μουσική, το βίντεο, και μερικά άλλα είδη δεδομένων.

•Η κατάληξη φάσματος (εύρος ζώνης) του προκύπτοντος διαμορφωμένου φέροντος είναι σχετικά στενή —συνήθως όχι περισσότερο από δύο φορές αυτή του αρχικού σήματος.

## Ανάλυση της AM διαμόρφωσης

$$S\{t\} = A_0 [1 + m\{t\}] \cos\{2\pi f_c t + \varphi\}$$

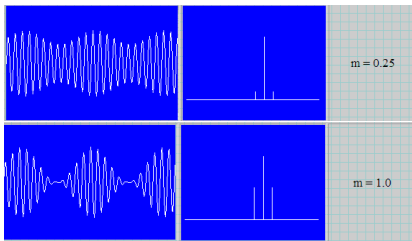
Σημειώστε ότι το πλάτος του ημιτονοειδούς φέροντος μεταβάλλεται ακριβώς όπως το m(t), το αρχικό σήμα. Μια σταθερή μετατόπιση ("1" εδώ) προστίθεται στο m(t) για να εξασφαλιστεί ότι το εύρος, A<sub>0</sub>, δεν γίνεται ποτέ αρνητικό.



## Παράδειγμα: Η AM διαμόρφωση ημιτονικού σήματος

$$(1 + m \sin(\omega_m t)) \cdot \sin(\omega_c t)$$

το m είναι ο δείκτης διαμόρφωσης, το βάθος της διαμόρφωσης έναντι του μέγιστου δυνατού: το m είναι ένας αριθμός από 0 έως 1, συχνά ως %.



## Τα μαθηματικά AM για ένα ημιτονοειδές διαμορφώνων σήμα

$$S\{t\} = A_0 [1 + m\{t\}] \cos\{2\pi f_c t + \varphi\}$$

Φέρον = A<sub>1</sub> cos(2πf<sub>c</sub>t)

Διαμορφώνων = cos(2πf<sub>m</sub>t)

$$S(t) = A_1 [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

Για m = 1 και με βάση τις γνώσεις τριγωνομετρίας ότι

$$\cos(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t) = \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_1 + f_2)t] + \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_1 - f_2)t]$$

Το AM σήμα είναι το φέρον και δύο πλευρικές ζώνες ήτοι είναι το άθροισμα και η διαφορά των συχνοτήτων φέροντος και διαμορφώνοντος.

$$S(t) = A_1 \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} A_1 \cos[2\pi(f_1 + f_2)t] + \frac{1}{2} A_1 \cos[2\pi(f_1 - f_2)t]$$

## Πλευρικές ζώνες συχνοτήτων στην AM

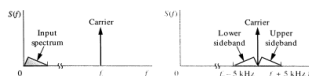
> Αναλύοντας προσεκτικά την AM διαπιστώνουμε ότι το σήμα που προκύπτει έχει και πλευρικές συχνοτήτες, πέραν αυτής του φέροντος.

> Π.χ., η AM φέροντος από ένα ημιτονοειδές σήμα. Στην περίπτωση αυτή το σήμα AM είναι το φέρον συν δύο πλευρικές συχνοτήτες που εμφανίζονται ακριβώς στο άθροισμα και τη διαφορά των συχνοτήτων του φέροντος και του διαμορφώνοντος σήματος:

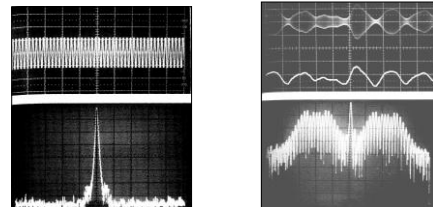
$$S(t) = A_1 \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} A_1 \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{1}{2} A_1 \cos[2\pi(f_c - f_m)t]$$



> Στην γενική περίπτωση που το διαμορφώνον σήμα έχει ένα εύρος συχνοτήτων, τότε το διαμορφωμένο φέρον έχει πλευρικές ζώνες, με αποτέλεσμα, σπατάλη ενέργειας και εύρους συχνοτήτων.



## AM διαμόρφωση στα πεδία χρόνου και συχνοτήτων



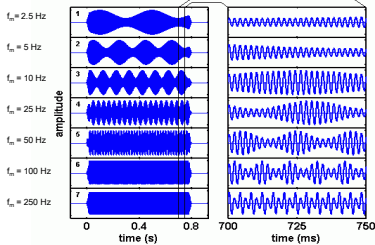
- Αριστερά είναι τα διαγράμματα των πεδίων χρόνου και συχνοτήτων (μέσω απακρίσεων των παλμογράφοι και φασματογράφοι) ενός μη διαμορφωμένου φέροντος.
- Άνω δεξιά είναι το διαμορφωμένο φέρον και το αρχικό σήμα αμέσως από κάτω.
- Κάτω δεξιά είναι το φάσμα του διαμορφωμένου φέροντος. Σημειώστε τις "πλευρικές ζώνες συχνοτήτων" που καταλαμβάνονται, διακρινόμενες το φάσμα δεξιά και αριστερά της συχνοτήτας του φέροντος —που είναι ακόμα εκεί και αμετάβλητη.

### Παράδειγμα

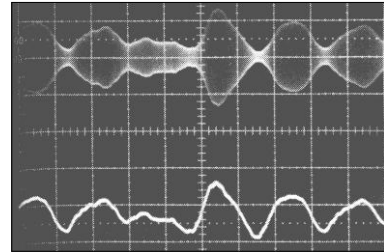
Κατά πλάτος διαμόρφωση ενός φέροντος  $f_c=500$  Hz με βάθος=0.5

Οι συχνότητες διαμόρφωσης  $f_m$  διαιρούν το φέρον και είναι διαδοχικά ίσες με:  
Στις υψηλότερες συχνότητες  $f_m$  διακρίνονται οι τρεις συχνότητες  $f_c - f_m$ ,  $f_c$ ,  $f_c + f_m$

[Play Wave File](#)



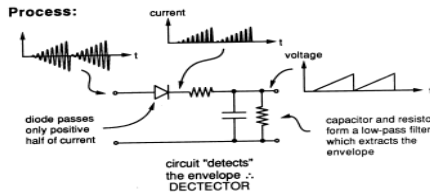
### Ανίχνευση της διαμόρφωσης συχνότητας



Το διαμορφωμένο φέρον είναι ακριβές αντίγραφο του αρχικού σήματος.

### ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

#### Demodulation



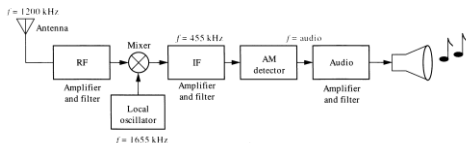
Η αποδιαμόρφωση του AM μπορεί να είναι ακριβής ή σύνδεση των μέγιστων τάσεων του διαμορφωμένου κύματος και η χρήση ενός απλού φίλτρου RC για να 'εξομαλύνει' το σήμα.

### Διαμόρφωση Συχνότητας – ο E.H. Armstrong



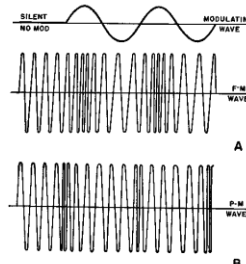
- Ο Edward Howard Armstrong ήταν ένας πολύ παραγωγικός εφευρέτης που ήταν γνωστός για τις συνεισφορές του σε ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΑΠΟ τις ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΙΣ που απαιτήθηκαν για τη σύγχρονη ασύρματη εκπομπή και λήψη:
1. Τελεωποιημένη λυχνία Audion που επέτρεψε τη διαμόρφωση AM και την αποδοτική ανίχνευση της.
  2. *Αναγέννηση*, μια πολύ ευαίσθητη τεχνική λήψης που χρησιμοποιείται στα χειριστήρια και τα μπίπερ πορτών γκαράζ και σε άλλες εφαρμογές
  3. Τη *υπερ-ετεροδότηση (superheterodyne)* τεχνική λήψης που χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα ασύρματα και κινητά τηλέφωνα, το ραδιόφωνο, την TV, τους στερεοφωνικούς δέκτες, κ.λπ., κ.λπ.
  4. **Ραδιόφωνο FM.**

### Υπερ-ετεροδότης Δέκτης Ραδιοφώνου



- Εφευρέθηκε το 1917 από τον Edward Howard Armstrong. Είναι το βασικό σχήμα για ουσιαστικά όλες τις ασύρματες συσκευές λήψης σήμαρα.
- Οι "μίκτες" (διαμορφωτές) διαμορφώνουν τα εισερχόμενα σήματα έτσι ώστε μπορούν να φιλτραριστούν από ένα μη-συντονισμένο ζωνοπερατό φίλτρο αλλά με πολύ απότομα άκρα ζώνης. Ο συντονισμός γίνεται με την αλλαγή της συχνότητας του 'τοπικού ταλαντωτού' LO, όχι του φίλτρου.
- Το 'υπέρ' στο όνομα προέρχεται από το γεγονός ότι η συχνότητα του LO είναι υψηλότερη από τη συχνότητα από το εισερχόμενο σήμα που λαμβάνεται

### Διαμόρφωση Συχνότητας & Φάσης



Η διαμόρφωση συχνότητας και φάσης είναι δίδυμες τεχνικές.  
Όπως μπορείτε να δείτε από αυτές τις καμπύλες FM και PM ενός φέροντα από ένα κύμα ημιτόνου, τα προκύπτοντα σήματα είναι ίδια.  
Αυτό είναι επειδή, παραδείγματος χάριν, η συνεχώς αυξανόμενη ή μειούμενη φάση είναι πραγματικά σαν να αυξάνει ή μειώνει συνεχώς η συχνότητα

Figure 16. Comparison of f-m and p-m signals.

### Γιατί Διαμόρφωση Συχνότητας

• Η FM αναπτύχθηκε αρχικά για "να μειώσει τις διαταραχές στα ραδιοσήματα".  
 ✓ Τα ελαττώματα μετάδοσης όπως ο θόρυβος, το crosstalk (παρεμβολή στη μετάδοση ραδιοκυμάτων), οι μη γραμμικές παραμορφώσεις, κ.λπ., έχουν επιπτώσεις στη μορφή ενός αναλογικού σήματος.

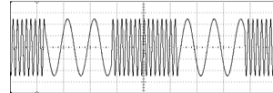
✓ Η διαμόρφωση πλάτους παρέχει ένα σήμα όπου οι πληροφορίες μεταβιβάζονται από την περιβάλλουσα (κορυφή-με-κορυφή, ή μέγιστο πλάτος).

• Επομένως τα σήματα AM υπόκεινται σε σοβαρή παραμόρφωση. Ο Armstrong ανέπτυξε την FM για να επιτρέψει συγκεκριμένα την αναμετάδοση των σημάτων ραδιοφωνικής μετάδοσης χωρίς τις παραμορφώσεις που προκύπτουν από τις πολλαπλές διαδικασίες διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης και τους ενδιάμεσους ενισχυτές. Αντίθετα, τα σήματα FM μπορούν να επαναληφθούν πολύ εύκολα χωρίς παραμόρφωση.

• Επιπλέον, τα σήματα FM μπορούν να παραχθούν για να βελτιστοποιήσουν τον λόγο σήμα/θόρυβος S/N σε σχέση με το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Δηλαδή οι παράμετροι του διαμορφωτή μπορούν να τεθούν έτσι ώστε να υπάρχει συνδυαστική μεταξύ των προδιαγραφών S/N και απαιτούμενου εύρους ζώνης.

### Αρχή Διαμόρφωσης Συχνότητας

FM είναι η διαδικασία της μεταβολής της συχνότητας του φέροντος συνεχώς από τα στιγμιαία θετικά και αρνητικά πλάτη του διαμορφωνόμενου σήματος.



Κυματομορφή 'φέροντος' που έχει διαμορφωθεί από τετραγωνικό σήμα  $f_c(t) = f_c + k m(t)$

Δηλαδή η στιγμιαία συχνότητα του αποτελέσματος της FM είναι η αρχική συχνότητα  $f_c$  του φέροντος που μεταβάλλεται στιγμιαία σύμφωνα με τη συχνότητα  $f_m$  του διαμορφωνόμενου σήματος. Πόσο μεταβάλλεται καθορίζεται από την τιμή της απόκλισης 'k'.

Παράδειγμα: χάρην, η εκπομπή ραδιοφώνου FM αποκλίνουν +/- 75 KHz.

Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ για FM δίνεται από:

$\beta = \Delta f / f_{max}$  όπου  $\Delta f$  είναι η απόκλιση και  $f_{max}$  είναι η υψηλότερη συχνότητα στο διαμορφώνον σήμα.

### Το FM Σήμα

$$A \cos(2\pi f t) = A \cos[2\pi (f_c + km(t)) t]$$

$f_c$  είναι η στιγμιαία συχνότητα που προκύπτει από το σήμα, ένα κύμα ημιτόνου που μεταβάλλεται συνεχώς γύρω από την αρχική συχνότητα του φέροντος.

• Δεν υπάρχουν αλλαγές στο πλάτος του φέροντος. Επομένως, δεν προκύπτει καμία λήψη θορύβου ή παρεμβολή ενσωο ο δέκτης απαλείφει οποιαδήποτε ανίχνευση της περιβάλλουσας του σήματος.

• Η ισχύς του σήματος εξόδου είναι ανάλογη προς το  $A^2$ , και αντιπροσωπεύει το χρήσιμο σήμα. Δεν υπάρχει καμία σπατάλη στο φέρον που εκπέμπεται!

Η διαμόρφωση συχνότητας χρησιμοποιείται εκτενώς για τις ασύρματες επικοινωνίες (η ραδιοφωνική μετάδοση FM, ο ήχος της TV (αλλά όχι το πραγματικό βίντεο), μερικά modems υπολογιστών, δορυφορικές επικοινωνίες και αναλογικά ασύρματα τηλέφωνα είναι μερικά παραδείγματα.

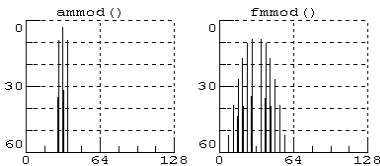
Η διαμόρφωση πλάτους χρησιμοποιείται για το βίντεο TV (αν και οι πληροφορίες χρώματος είναι ένας συνδυασμός των AM και PM), και την αμφίδρομη επικοινωνία φωνής μεταξύ αεροσκαφών.

### Πλευρικές ζώνες στην FM

Όπως με την AM, πλευρικές ζώνες συχνότητων παράγονται με FM — αν και για FM πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι αντίθετα από το AM δεν υπάρχει "μη διαμορφωμένο" φέρον που να προκύπτει μέσω της διαδικασίας διαμόρφωσης.

• Οι πλευρικές ζώνες συχνότητων για FM είναι απλά μια περιγραφή της διασποράς του σήματος στο πεδίο συχνότητας, που αντιπροσωπεύει ότι τόρρο το φέρον περιέχει πληροφορία.

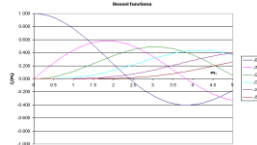
• Σαφώς, ένα μη διαμορφωμένο φέρον δεν περιέχει καμία πληροφορία.



Οι παραπάνω δύο φασματικές αναλύσεις παρουσιάζουν τα διαφορετικά φάσματα των AM και FM βασισμένων σε ένα διαμορφώνον ημιτονοειδές σήμα.

### Φάσμα συχνοτήτων στην FM

Το φάσμα ενός κύματος FM είναι σύνθετο από μαθηματική άποψη. Αποτελείται από ένα φέρον με μια (θεωρητικά άπειρη) σειρά ζευγών πλευρικών ζωνών συχνότητων. Το εύρος του φέροντος και κάθε ζεύγους των πλευρικών ζωνών συχνότητων δίνεται από τις λεγόμενες συναρτήσεις Bessel. Αυτή η εικόνα παρουσιάζει τιμές συναρτήσεων Bessel για το φέρον και τις πρώτες 5 πλευρικές ζώνες συχνότητων (αλλά συνειδητοποίησε ότι είναι μια άπειρη σειρά πλευρικών ζωνών συχνότητων που το εύρος των υψηλότερων πλευρικών ζωνών συχνότητων είναι πολύ χαμηλό για μικρούς δείκτες διαμόρφωσης και μπορούν να αγνοηθούν).



$m_f$	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$J_3$
0.00	1.000	0.000	0.000	0.000
0.05	0.999	0.025	0.000	0.000
0.50	0.938	0.242	0.031	0.003
1.00	0.765	0.440	0.115	0.020
1.50	0.512	0.558	0.292	0.041
2.00	0.224	0.577	0.353	0.129
2.50	-0.048	0.497	0.444	0.217
3.00	-0.260	0.339	0.486	0.309
4.00	-0.297	0.064	0.364	0.430

Table of Bessel values.

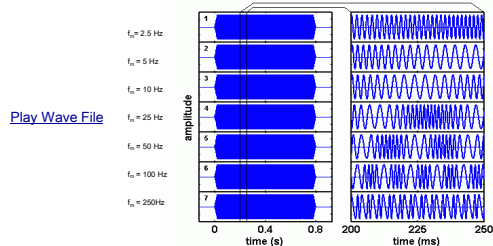
Η πρώτη στήλη του πίνακα είναι ο "δείκτης διαμόρφωσης", ένα μέτρο του ποσού απόκλισης, και τα  $J_k$  είναι οι συντελεστές των πλευρικών ζωνών συχνότητων.

### Παράδειγμα

Διαμόρφωση συχνότητας ενός φέροντος  $f_c=500$  Hz μεταξύ 250Hz και 750Hz

Οι συχνότητες διαμόρφωσης  $f_m$  διαίρωνται το φέρον και είναι διαδοχικά ίσες με:

Στις υψηλότερες συχνότητες  $f_m$  διακρίνονται οι συχνότητες  $f_c - kf_m, f_c, f_c + kf_m, k=1,2, \dots$



Play Wave File

## Εύρος Ζώνης FM

Ποιο είναι το ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΟΤΑΝ ΚΑΝΟΥΜΕ FM;

Νορίτερα, εισαγάγαμε το ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FM,  $\beta$

$$\beta = \Delta f / f_{max}$$

Το  $\Delta f$  είναι η απόκλιση και το  $f_{max}$  είναι η υψηλότερη συχνότητα στο διαμορφώνον σήμα.

Μια απλή αποτίμηση (αλλά όχι αρκετά σωστός δεδομένου ότι οι Bessel συναρτήσεις είναι άπειρες) είναι να χρησιμοποιηθεί ο κανόνας Carson για το απαιτούμενο εύρος ζώνης (bandwidth) της FM διαμόρφωσης

$$BW = (\text{περίπου}) 2\Delta f + 2f_{max}$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο το  $\Delta f$ , τότε έχουμε:

$$BW = (\text{περίπου}) 2\Delta f + 2f_{max} = 2f_{max}(1 + \beta)$$

## Παράδειγμα



Με τη διεθνή συμφωνία, η διαμόρφωση στη ραδιοζώνη ραδιοφωνικής μετάδοσης FM απαιτεί παγκοσμίως μια απόκλιση 75 KHz.

$$\Delta f = 75 \text{ KHz}$$

Το εύρος ζώνης του ακουστικού σήματος περιορίζεται σε 15 KHz, σχεδόν τόσο καλά όσο για CDs. Από τον κανόνα Carson, η κατά προσέγγιση κατοχή καναλιών είναι:

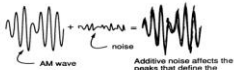
$$BW = 2\Delta f + 2f_{\text{ανώτατος}} = 150 + 30 = 180 \text{ KHz}$$

Δεδομένου ότι τα κανάλια χωρίζονται κατά διαστήματα 200 KHz (π.χ. 88,1, 88,3 κ.λπ.), υπάρχει ένα 20 KHz "ζώνη ασφαλείας" μεταξύ των σημάτων.

## Θόρυβος

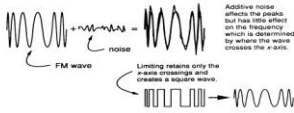
### Noise

#### Amplitude Modulation:



Additive noise affects the peaks that define the amplitude. Since the information is carried by the amplitude, the noise has a large effect.

#### Frequency Modulation:



Additive noise affects the peaks, but has little effect on the frequency which is determined by where the wave crosses the x-axis.

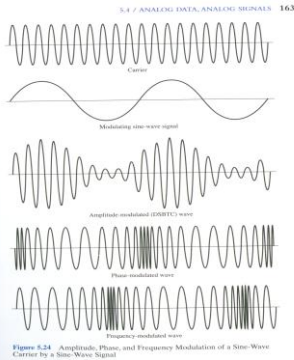
Limiting retains only the x-axis crossings and creates a square wave. Filtering the square wave makes the original FM wave noise-free.

## Σύγκριση εύρους ζώνης και ανοχή θορύβου για διάφορες υπηρεσίες

SERVICE	$\Delta f$ KHz	$f_{max}$ KHz	$BW = 2\Delta f + 2f_{max}$	$\beta = \Delta f/f_{max}$	S/N gain over AM
Broadcast Radio	75	15	180	5	75
TV Sound	35	12	94	3	27
2-way analog cell	5	3	16	1.7	8.7
TV satellites	15,000	5,000	40,000*	3	27
AM Radio		5	10		1

\*Very approximate. Transponder's are approximately 35 MHz wide

## ΚΥΡΙΑ ΣΗΜΕΙΑ



- οι FM και PM μπορεί να απαιτήσουν περισσότερο εύρος ζώνης για το ίδιο διαμορφώνον σήμα από ότι η AM αλλά όμως παρέχουν μεγαλύτερη ανοχή θορύβου.

- FM και PM είναι από μαθηματική άποψη σχετικές - μη ανεξάρτητες - δεδομένου ότι η FM είναι η παράγωγος της PM.

## Εισαγωγή στην Επιστήμη των Τηλεπικοινωνιών Μέρος 2

- Θεωρία Πληροφορίας - Shannon
- Διαμόρφωση Σήματος (AM, FM)
- Μετατροπή A/D, D/A
- Μορφές Κωδικοποίησης
- Πολυπλεξία
- Τηλεπικοινωνιακή κίνηση
- Τηλεπικοινωνιακές Ζεύξεις

## Θεωρία Πληροφορίας

- Claude Elwood Shannon (1917-2001)
- Ο Πατέρας της Θεωρίας Πληροφορίας
- 1948: A Mathematical Theory of Communications

Στην φωτογραφία ο Shannon με το μηχανικό του ποντίκι Θησέας, μια από τις πρώτες προσπάθειες στην περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης



## η ENTΡΟΠΙΑ στις Επικοινωνίες

- Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της θεωρίας Shannon ήταν η έννοια της **εντροπίας**, την οποία κατέδειξε ότι είναι ισοδύναμη με μια **έλλειψη πραγματικής πληροφορίας** στο περιεχόμενο οποιουδήποτε μηνύματος.
- Σύμφωνα με τη θερμοδυναμική (από το 19ο αιώνα), η **εντροπία είναι ο βαθμός τυχαιότητας**. Ο Shannon προσάρμοσε αυτήν την έννοια για να εφεύρει την έννοια της "θεωρίας πληροφορίας". Δεδομένου ότι τυχαιότητα είναι αυτό που δεν ξέρετε ήδη, **εντροπία** όπως χρησιμοποιείται εδώ οδηγεί στην έννοια της **ικανότητας ενός καναλιού να διαβιβάσει πραγματική πληροφορία**.
- Μπορείτε να σκεφτείτε την πληροφορία ως μορφή αρνητικής εντροπίας! (Από μαθηματική άποψη, η πληροφορία μειώνει την εντροπία ή προσθέτει "καλή" αρνητική εντροπία.)
- Δεδομένου ότι οι επικοινωνίες (συνήθως) δεν είναι εξ ολοκλήρου τυχαίες, πολλές προτάσεις θα μπορούσαν να κοπνύνουν σημαντικά χωρίς απώλεια της έννοιας τους. Ο Shannon απέδειξε ότι ακόμη και σε ένα θορυβώδες κανάλι αν και τα σήματα θα μπορούσαν να είχαν σταλεί χωρίς παραμόρφωση, **ο τυχαίος θόρυβος μειώνει το δυνατό ποσοστό μετάδοσης χρήσιμης πληροφορίας** αλλά η αύξηση του εύρους ζώνης του καναλιού επιτρέπει περισσότερη πληροφορία να σταλεί.

## ENTΡΟΠΙΑ στις Επικοινωνίες

- Από την έννοια της εντροπίας στις επικοινωνίες έρχεται η σχέση Shannon που δίνει τον ενεργό ρυθμό δεδομένων σε ένα κανάλι επικοινωνιών παρουσία θορύβου: Η χωρητικότητα του καναλιού είναι ανάλογη προς το εύρος ζώνης **αλλά αυξάνεται μόνο λογαριθμικά** με τον λόγο σήματος προς θόρυβο μέσα στο κανάλι μετάδοσης.
- Πολλά προκύπτουν από αυτές τις έννοιες. Επίσης προερχόμενη από του Shannon τον τύπο είναι η **ιδέα της κωδικοποίησης των δεδομένων** με τέτοιους τρόπους που να είναι αυτο-ελέγξιμο ότι τα σήματα θα παραληφθούν με την ίδια ακρίβεια σαν να μην υπήρξε καμία παρεμβολή στη γραμμή. Αυτό είναι μια εφαρμογή της προσθήκης πλεονασμού σε ένα σήμα (μειώνοντας την εντροπία) για να καταστήσει το σήμα περισσότερο «ανθεκτικό». Πολλά άλλα σύγχρονα σχήματα είναι όλα βασισμένα στη διδασκαλία Shannon.
- Η θεωρία του Shannon φάνηκε σύντομα για να έχει τις εφαρμογές όχι μόνο στη σχεδίαση υπολογιστών αλλά ουσιαστικά σε κάθε θέμα στο οποίο η γλώσσα ήταν σημαντική, όπως η γλωσσολογία, η ψυχολογία, η κρυπτογραφία και η φωνολογία.

## Χωρητικότητα καναλιού

Ο τύπος **χωρητικότητας του θεωρήματος Shannon** παρέχει έναν τρόπο υπολογισμού του μέγιστου ποσού πληροφορίας C που μπορεί να διαβιβαστεί ανά δευτερόλεπτο μέσα από ένα **περιορισμένο εύρους ζώνης W θορυβώδες κανάλι με λόγο σήμα/θόρυβο S/N**.

Αυτός ο τύπος είναι η βάση όλων των μεταδόσεων δεδομένων.

$$C = W \log_2(1 + S/N)$$

- Ο Claude Shannon πέθανε στις 24 Φεβρουαρίου 2001 στην ηλικία 84 ετών **χωρίς να πει πώς να επιτύχει κανείς πραγματικά αυτό το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Το C είναι θεωρητικά ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης** (σε bits/sec, bps) και λαμβάνει υπόψη μόνο θερμικό θόρυβο και "ιδανική" μορφή **εύρους ζώνης W** (σε Hz) του καναλιού.
- Σημειώστε ότι **S/N (Σήμα προς Θόρυβο ή SNR)** είναι ο λόγος ισχύων (είτε αμψή, RMS, είτε άλλο μέτρο), που δίνεται με τη διάρεση των Watt (ή milliwatts ή microwatts) του σήματος από την ισχύ θορύβου σε αυτό.

## Όριο Shannon ...

- Το θεώρημα Shannon θέτει ένα όριο στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, όχι στην πιθανότητα λαθών/σφαλμάτων :

- ✓ Θεωρητικά είναι δυνατόν να μεταδώσουμε πληροφορία με οποιοδήποτε ρυθμό  $R_b$ , όπου  $R_b \leq C$  με κάποιο μικρή πιθανότητα λαθών με τη χρήση ενός αρκετά πολύπλοκου σχήματος κωδικοποίησης.
- ✓ Για ρυθμό πληροφορίας  $R_b > C$ , δεν είναι δυνατόν να βρούμε κωδικοποίηση αυτής που να εξασφαλίζει μια αυθαίρετα μικρή πιθανότητα λαθών.

## Όριο Shannon ...

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

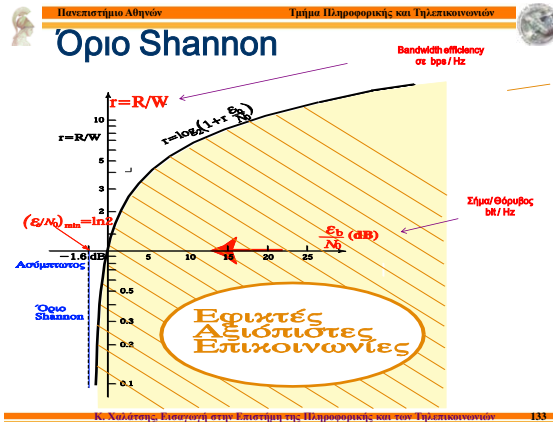
$$\begin{cases} S = E_b C \\ N = N_0 W \end{cases}$$

$$\frac{C}{W} = \log_2 \left( 1 + \frac{E_b}{N_0} \frac{C}{W} \right)$$

As  $W \rightarrow \infty$  or  $\frac{C}{W} \rightarrow 0$ , we get :

$$\frac{E_b}{N_0} \rightarrow \frac{1}{\log_2 e} = 0.693 \approx -1.6 \text{ [dB]}$$

- ✓  $E_b$  είναι η μέση ενέργεια ανά μεταδιδόμενο bit πληροφορίας
- ✓  $N_0$  είναι η μέση ενέργεια θορύβου ανά Hz εύρους ζώνης
- ✓  $E_b / N_0$  είναι η κανονικοποιημένη μέση ενέργεια ανά bit πληροφορίας
- ✓ Υπάρχει μια οριακή τιμή του  $E_b / N_0$  κάτω από την οποία δεν μπορεί να υπάρξει επικοινωνία χωρίς σφάλματα για οποιοδήποτε ρυθμό πληροφορίας.
- ✓ Αυξάνοντας μόνο το εύρος ζώνης W η χωρητικότητα C δεν μπορεί να αυξηθεί σε κάποια επιθυμητή τιμή.



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Αναλογικά Σήματα & μετάδοση

- Είναι **αλλαγές στον χρόνο** (όπως η τάση, η συχνότητα, η θέση, κ.λπ...) που αντιστοιχούν σε παρόμοιες αλλαγές της αρχικής πληροφορίας (π.χ. ακουστικά κύματα, εντάσεις φωτός, κ.λπ.).
- Επομένως οποιεσδήποτε αλλαγές στα σήματα (π.χ. **θόρυβος, παραμόρφωση, crosstalk**) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μετάδοσης θα προκαλέσουν λάθη στην **λήψη που δεν μπορούν να διορθωθούν**.
- Σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία βελτιώνουν την κατάσταση αλλά συχνά με μεγάλες δαπάνες. Παράδειγμα η προσθήκη ενισχυτών για να υπερνικήσει κανείς τον θόρυβο έχοντας όμως περισσότερη παραμόρφωση.
- Η παραπάνω μετατροπή των πραγματικών φαινομένων στα αναλογικά ηλεκτρικά σήματα και πίσω για την αναπαραγωγή των φαινομένων γίνεται με τη βοήθεια των συσκευών που καλούνται **μετατροπείς**. Παραδείγματα μετατροπών είναι τα μικρόφωνα, τα μεγάφωνα, και ακόμη και οι αισθητήρες CCD στις μηχανές video.

Κ. Χαλζάκης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 134

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Ψηφιακά Σήματα & μετάδοση /1

Αυτό που μεταδίδεται στην πράξη είναι ένα σύνολο **συμβόλων** που είναι γνωστό από το δέκτη. Αυτά τα σύμβολα είναι διακριτά σήματα, το καθένα διαφορετικό από όλα άλλα. Αυτά τα σύμβολα μπορούν να είναι καλά καθορισμένοι πάλμοι τάσης ή ρεύματος, συγκεκριμένα πλάτη τάσης, ή σύντομες ριπές κυμάτων ημιτόνου με ένα περιορισμένο σύνολο τιμών πλάτους, συχνοτήτων ή φάσεων. Όλες οι δυνατές τιμές του συνόλου θα πρέπει να είναι γνωστές στο δέκτη.

• Οι πραγματικές πληροφορίες **αναπαριστάνονται** από μια κωδικοποιημένη αναπαράσταση των πληροφοριών με την μορφή αριθμών (συχνά αλλά όχι απαραίτητα στο δυαδικό) με κάθε σύμβολο που αντιπροσωπεύει έναν ή περισσότερους αριθμούς.

Κ. Χαλζάκης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 135

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Ψηφιακά Σήματα & μετάδοση /2

- Αντίθετα με την αναλογική μετάδοση όπου τα λάθη μετάδοσης είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν και να αφαιρεθούν, τα παραμορφωμένα ψηφιακά σήματα μπορούν συχνά να εξαλειφθούν εξ ολοκλήρου — ή να μειωθούν τουλάχιστον σε πολύ μικρούς αριθμούς — εφ' όσον μπορούν τα αρχικά σύμβολα να αναπαραχθούν κατά μήκος της διαδρομής διάδοσής τους.
- Αυτή η εργασία είναι ευκολότερη εάν:
  - Ο αριθμός των εκπεμπόμενων συμβόλων περιορίζεται σε ένα μικρό σύνολο.
  - Οι **αναγεννητές** τοποθετούνται σε μικρότερες αποστάσεις.
  - Τα λάθη χρονισμού ή εύρους σημάτων δεν είναι κρίσιμα για το υλικό.
  - Πρόσθετες πληροφορίες ενσωματώνονται στα διαβιβαζόμενα σήματα για να επιτρέψουν στο λαμβάνοντα εξοπλισμό να ανιχνεύσει ή/και να διορθώσει λάθη κατά τη διάρκεια της μετάδοσης πριν τα περάσει παρακάτω στην συνδεδεμένη μονάδα.
  - Υπάρχει λογισμικό ενσωματωμένο στη συσκευή αποστολής σημάτων και το δέκτη για να φροντίσει για λάθη που δεν μπορούν να διορθωθούν. Αυτό περιλαμβάνει "τα πρωτόκολλα" που επιτρέπουν την απόριψη των κακών πληροφοριών και τη ζήτηση αναμετάδοσης του συνόλου ή μέρους των δεδομένων.

Κ. Χαλζάκης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 136

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Πλεονεκτήματα της Ψηφιακής Διάδοσης

- Αυθαίρετα **λίγα λάθη** κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.
- Πολύ διευρυμένη **δυνατότητα** να μεταφερθούν τα δεδομένα υπολογιστών σε **μεγάλες αποστάσεις**.
- Οι αυτόματες μέθοδοι ανίχνευσης και διορθώσεων λάθους είναι **δυνατές**.
- Η ψηφιακή μετάδοση "αντιστοιχείται" καλύτερα στα **χαρακτηριστικά μερικών μέσων και των σχετικών τερματικών συσκευών τους**, όπως είναι τα συστήματα οπτικών ινών που χρησιμοποιούν laser εκπομπούς.
- Το κόστος των κυκλωμάτων μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό **έχει μειωθεί** πολύ.
- Η οπτική μετάδοση επιτρέπει ρυθμούς μετάδοσης αρκετά υψηλούς ώστε να επιτρέπει την **ελαχιστοποίηση λαθών μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό**, καθώς επίσης και να επιτρέπει τη **χαμηλότερο κόστους μετάδοση ακόμη και για αυτούς τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ποσοστά στοιχείων**.

Κ. Χαλζάκης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 137

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Το κόστος της Ψηφιακής Διάδοσης

- Η χρήση των τάσεων, των ρευμάτων, κ.λπ. στα μεταλλικά μέσα είναι εγγενώς μια αναλογική διαδικασία. **Θόρυβος, crosstalk, παραμόρφωση** μπορεί να κάνει την ανίχνευση των ψηφιακών συμβόλων να είναι πολύ δύσκολη και έτσι ο προσδιορισμός των "πό κοντινών" συμβόλων σε αυτά που στάλθηκαν να είναι λάθος.
- Οι απαιτήσεις εύρους ζώνης των συσκευών είναι **σημαντικά υψηλότερες για την ψηφιακή μετάδοση**, ειδικά όταν μόνο ψηφιακές απαιτούνται στις εγκαταστάσεις μετάδοσης. (Αυτό μπορεί να βελτιωθεί με τις τεχνικές "συμπίεσης" που εκτελούν πολύπλοκους υπολογισμούς για να μειώσουν τα περιττά δεδομένα από τη μετάδοση.)
- Η αναγκαστικά αριθμητική φύση των ψηφιακών σημάτων επιτρέπει έναν **τεράστιο αριθμό διαφορετικών προτύπων και τεχνικών** που πρέπει "να ταϊράσουν" για την επιτυχή μετάδοση.
- Πολύπλοκα στοιχεία κυκλώματος επεξεργασίας σημάτων απαιτούνται για να μετατρέψουν τις αναλογικές πληροφορίες για την ψηφιακή μετάδοση. Η ξανά μετατροπή σε αναλογικά σήματα είναι συχνά μια ευκολότερη διαδικασία.
- Η διαδικασία μετατροπής φυσικών φαινομένων (όπως τα σήματα μουσικής ή φωνής) σε έναν περιορισμένο αριθμό συμβόλων για την ψηφιακή μετάδοση **προκαλεί μόνοι και μη επιδιορθώσιμα λάθη**.

Κ. Χαλζάκης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 138

### Μετατροπή Σήματος από Αναλογικό σε Ψηφιακό Πρώτο βήμα: Δειγματοληψία

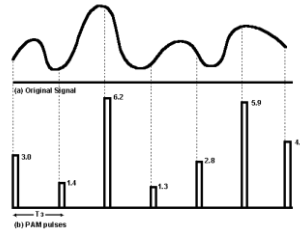
•Πρώτα είναι απαραίτητη η **δειγματοληψία** του αρχικού σήματος —με ένα πλήθος πολύ σύντομων μέσων όρων του αρχικού σήματος, που λαμβάνονται πολλές φορές καθώς το σήμα παρουσιάζεται στη συσκευή αποστολής σημάτων.

•**Το κριτήριο Nyquist λέει ότι ο θεωρητικά μικρότερος αριθμός δειγμάτων που λαμβάνονται πρέπει να είναι τουλάχιστον ΔΥΟ ΦΟΡΕΣ η παρούσα υψηλότερη συχνότητα.**

•Η μη ικανοποίηση του κριτηρίου Nyquist προκαλεί τουλάχιστον αδυναμία να αναδημιουργηθεί το αρχικό κύμα και το πολύ να αναπαράγεται στη λήψη ανακριβή νέα σήματα.

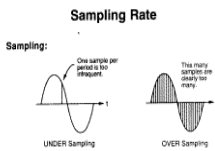
•Χαμηλοπερατά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν ότι το κριτήριο Nyquist ικανοποιείται. Παραδείγματος χάριν, 0 – 3kHz σήματα φωνής περιορίζονται με ένα φίλτρο στα 3 kHz και έπειτα δειγματοληπτείται 8.000 φορές ανά δευτερόλεπτο.

### ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ Αναλογικού Σήματος



Απλοποιημένο διάγραμμα με λίγα δείγματα

### Κριτήριο Nyquist



**Nyquist Sampling Rate:**  
 $F_{max}$  = maximum frequency component in signal  
 Nyquist sampling rate  $> 2F_{max}$  samples per second  
 (sampling rate is usually  $= 2F_{max}$ )

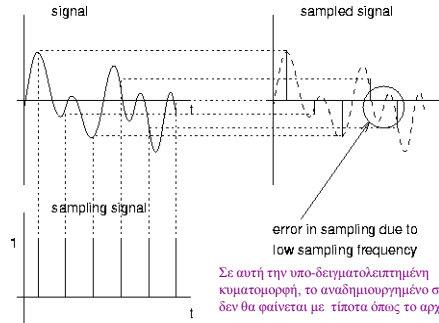
#### OVERSAMPLING

•**Το κριτήριο Nyquist καθορίζει τον απόλυτο ελάχιστο αριθμό δειγμάτων που λαμβάνονται για την αναδημιουργία του σήματος στο άλλο άκρο.**

•**Πρακτικά συστήματα "oversample" κατά 33% τουλάχιστον μέχρι και πολλές φορές το κριτήριο Nyquist.**

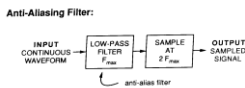
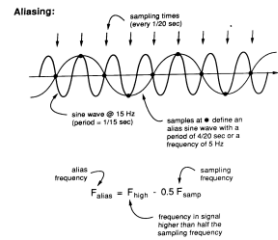
•**Ένας καλός ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ λαμβάνεται συχνά με τα ποσοστά δειγματοληψίας 2,5 έως 3 φορές της μέγιστης συχνότητας της βασικής ζώνης.**

### Υπο-δειγματοληψία



Σε αυτή την υπο-δειγματοληπτημένη κωδικοποίηση, το αναδημιουργημένο σήμα δεν θα φαίνεται με τίποτα όπως το αρχικό.

### Aliasing



### Υπο-δειγματοληψία

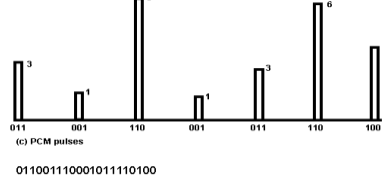
•Το αποτέλεσμα της καλείται **aliasing**.

•**Aliasing είναι η παραγωγή προφανών σημάτων χαμηλότερης συχνότητας που δεν υπήρχαν στο αρχικό σήμα λόγω.**

•Αυτό είναι πάντα πολύ ανεπιθύμητο και δεν μπορεί να αφαιρεθεί έτσι και συμβεί.

•Η δειγματοληψία δεν γίνεται ποτέ ακριβώς στο ποσοστό Nyquist, και χρησιμοποιούνται φίλτρα σχεδόν πάντα.

### Κωδικοποίηση PAM σε Κωδικοποίηση PCM ή A-to-D μετατροπή



•**Όταν τα προκύπτοντα δείγματα της διαμόρφωσης πλάτους παλμών, PAM, ψηφιοποιούνται με κβάντιση και κωδικοποίηση σε αριθμούς, το αποτέλεσμα καλείται διαμόρφωση κώδικα παλμών (PCM).**

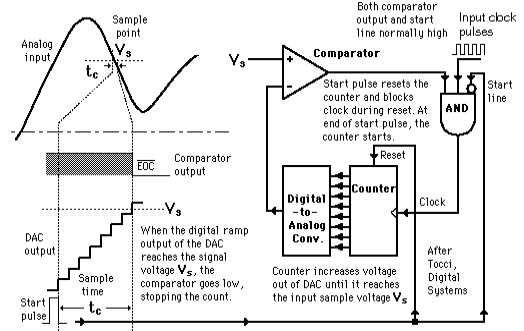
••Η συσκευή που μετατρέπει τα αναλογικά δείγματα στις αριθμητικές αντιπροσωπεύσεις τους καλείται ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ σε ΨΗΦΙΑΚΟ (A/D converter, ή ADC)



## Τα μέρη ενός A/D Μετατροπέα

1. Αναλογικό σήμα που απαιτεί ένα δεδομένο εύρος ζώνης που εμφανίζεται σε μια αναλογική διασπαφή.
2. Χαμηλοπερατό φίλτρο για να εξασφαλίσει ότι καμία ενέργεια δεν υπάρχει πέρα από το απαραίτητο εύρος ζώνης.
3. Δειγματοληπτική συσκευή που λειτουργεί σε ποσοστό τουλάχιστον δύο φορές της υψηλότερης συχνότητας του περιορισμένου εύρους ζώνης του σήματος.
4. Κύκλωμα κβάντισης βασισμένο σε γραμμικά ή μη γραμμικά χαρακτηριστικά.
5. Ψηφιακός κωδικοποιητής για να δώσει τις δυαδικές τιμές στα κβαντισμένα επίπεδα.
6. Διεπαφή στον ψηφιακό εκπομπό σημάτων, το διαμορφωτή, κ.λπ.

## Διάγραμμα ενός A/D μετατροπέα



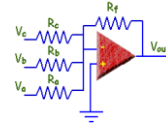
## Τα μέρη ενός D/A Μετατροπέα

1. Ψηφιακός δέκτης με σειριακή ή παράλληλη έξοδο.
2. Σειριακός σε Παράλληλο μετατροπέας αν είναι απαραίτητο.
3. Απλός μετατροπέας τάσης για να αποκωδικοποιήσει τα δυαδικά ψηφία σε αναλογικές τάσεις.
4. Χαμηλοπερατό φίλτρο παρόμοιο με αυτό του A/D μετατρέπει για να ομαλοποιήσει τα βήματα και να παράγει σήμα παρόμοιο με αυτό που παρουσιάστηκε αρχικά στο μετατροπέα A/D.

## Κύκλωμα D/A Μετατροπέα

Ο D/A μετατροπέας είναι πολύ απλούστερος από ένα A/D μετατροπέα. Το μόνο που κάνει είναι να παίρνει μια ψηφιακή κυματομορφή και να μετατρέπει τους δυαδικούς αριθμούς αυτής στις τάσεις που αντιπροσωπεύουν.

Αυτό το πολύ απλό κύκλωμα μετατρέπει έναν κωδικοποιημένο RTZ δυαδικό αριθμό 3 bit (που παρουσιάζεται παράλληλα) στα αντίστοιχα επίπεδα τάσης. Ο απλός τελεστικός ενισχυτής ανωτέρω θα έχει την ακόλουθη ενίσχυση για τις τάσεις:  $V_a$ ,  $V_b$ , και  $V_c$ .

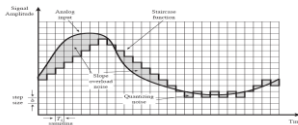


$$-V_{out} = V_a R_f / R_a + V_b R_f / R_b + V_c R_f / R_c$$

Εάν οι αντιστάσεις  $R_a$ ,  $R_b$ , και  $R_c$  επιλεγούν για να είναι σε αναλογία στις 4:2:1, τότε είναι εύκολα κατανοητό γιατί η έξοδος της τάσης  $V_{out}$  αποκωδικοποιεί ακριβώς το δυαδικό αριθμό των τριών bits.

## Άλλα θέματα σχετικά με A/D & D/A μετατροπείς

- > Αόλη και θόρυβος κβάντισης (λόγω περιορισμό στο πλήθος των bits/δείγματα)
- > Μη-γραμμική κβάντιση (τεχνική ανάλογη του 'companding'): βελτιώνει το S/N
- > A-Law και  $\mu$ -Law κωδικοποίηση (μια λογαριθμική τεχνική companding)
- > Differential PCM ή Delta PCM (κωδικοποιεί διαφορές μεταξύ διαδοχικών δείγματων, απαιτεί λιγότερα bits)



- > Adaptive DPCM (όμοιο με DPCM, το βήμα αλλάζει δυναμικά)  
Η Interactive Media Association έχει αναπτύξει έναν αλγόριθμο ADPCM για εφαρμογές Multimedia

## Δεύτερο βήμα: Κωδικοποίηση

• Να θυμόμαστε ότι κατασκευάζουμε τα πραγματικά σήματα για να αντιπροσωπεύσουμε τα δεδομένα που μεταφέρονται. Δεδομένου ότι τα δεδομένα είναι ΑΡΙΘΜΟΙ, σκεφτόμαστε συνήθως τα σήματα ως "άσους" και "μηδενικά". Αυτά είναι ψηφία του δυαδικού συστήματος αρίθμησης, αλλά δεν είναι απαραίτητος αυτό που στέλνονται στην πράξη!

• Τα σήματα κωδικοποίησης είναι συνήθως τάσεις (ως συνάρτηση του χρόνου) στα καθοδηγούμενα μέσα.

• Τα διαφορετικά σήματα επινόηθηκαν λόγω των απαιτούμενων ωφελειμάτων λόγω των προβλημάτων μετάδοσης που αντιμετωπίζουμε, της διαθεσιμότητας συγκεκριμένων κυκλωμάτων για να ανιχνεύσουν (να ερμηνεύσουν) τα σήματα, και τα ιδιαίτερα γνωστά χαρακτηριστικά των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν.

• Αυτά τα σήματα μπορούν να μεταδοθούν άμεσα όπως παρουσιάζονται ή έμμεσα με «φάρμακα» από περισσότερο βασικές τεχνικές μεταφοράς, π.χ. AM, FM, PAM, PWM, PPM, κ.λπ.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

### 1. NON RETURN TO ZERO (LEVEL) FORMAT

NRZ-L

- NRZ είναι και ένα πολύ κοινό σχήμα μετάδοσης καθώς επίσης και ο τρόπος που σχεδιάζουμε συνήθως ένα σήμα δεδομένων.
- Οι άσοι και τα μηδενικά μεταδίδονται ως επίπεδα τάσης σε ένα μεταλλικό ή οπτικό μέσο, με δύο διαφορετικά επίπεδα που αντιπροσωπεύουν τα δύο ψηφία αντίστοιχα.
- Σημειώστε ότι δεν υπάρχει καμία σύμβαση που συσχετίζει την τάση με το ψηφίο: οι άσοι μπορούν να είναι το πιο υψηλό ή χαμηλότερο επίπεδο, και οι δύο καταστάσεις μπορούν να έχουν διαφορετικά πρόσημα—δηλαδή και θετικά, αρνητικά, ή διπολικά.
- Η συσκευή αποστολής σημάτων και ο δέκτης πρέπει "να ξέρουν" τη σύμβαση που χρησιμοποιείται.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 151

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

### 2. BIPOLAR ALTERNATE MARK INVERSION

Bipolar-AMI  
(most recent preceding 1 bit has negative voltage)

- Το σχήμα AMI είναι η «βάση» της τηλεφωνίας. Χρησιμοποιείται για πολλά από τα ψηφιακά συστήματα μετάδοσης γραμμών εδάφους, όπως το ISDN, το T1, και σημείο-προς-σημείο υπηρεσίες δεδομένων μέσω συνετραμμένου ζεύγους καλωδίων.
- Είναι ένα σήμα τριών επιπέδων, με τα μηδενικά που στέλνονται στο "ουδέτερο" επίπεδο και άσοι που στέλνονται διαδοχικά ως επίπεδα υψηλότερης και χαμηλότερης τάσης. Συχνά, αυτά τα δύο επίπεδα είναι θετικές και αρνητικές τάσεις και τα μηδενικά στέλνονται στο ουδέτερο ή γειωμένο (0 volt) επίπεδο. Επομένως, μια σειρά μηδενικών είναι όμοια με κανένα σήμα.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 152

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

### ΆΛΛΑ ΣΧΗΜΑΤΑ πέραν των NRZ-L και AMI

NRZ-L

NRZI

Bipolar-AMI  
(most recent preceding 1 bit has negative voltage)

Pseudoternary  
(most recent preceding 0 bit has negative voltage)

- NRZI κωδικοποιεί τα '1' ως αλλαγές από υψηλό σε χαμηλό ή χαμηλό σε υψηλό. Πάλι, σειράς 0s οδηγούν "σε κανένα σήμα".
- RTZ δεν παρουσιάζεται. RTZ καθυστερώνει ένα κενό επίπεδο που μπορεί να είναι ίδιο με την κωδικοποίηση 0 ή ένα ουδέτερο επίπεδο.
- Το σχήμα AMI είναι τριαδικό, όπου στο σήμα εναλλάσσεται η πολικότητα των '1'. Στα '0' δεν έχουμε σήμα.
- Το σχήμα Pseudoternary είναι επίσης τριαδικό, όπου στο σήμα εναλλάσσεται η πολικότητα των '0'. Στα '1' δεν έχουμε σήμα.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 153

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

### B8ZS και HDB3 είναι σχήματα προς αποφυγή μακρών διαστημάτων χωρίς σήμα

Bipolar-AMI

B8ZS

HDB3  
odd number of 1s uses last substitution  
B = bit bipolar signal  
V = bipolar violation

Στο διπολικό AMI τα μέρη με πολλά 0s σε μια σειρά μοιάζουν ακριβώς όπως ένα κομμένο καλώδιο! Έτσι η γνώση των αναμενόμενων bit χρόνων χάνεται.

B8ZS\* είναι μια μέθοδος που βασίζεται στην διπολική AMI αλλά κωδικοποιεί κατάλληλα 8 κωδικόμενα 0 bits ως 000+0+ ή 000+-0+.

HDB3 είναι παρόμοιο με B8ZS χρησιμοποιώντας σε διεθνή συστήματα. Αυτό το σχήμα λειτουργεί σε σειράς τεσσάρων 0s.

Figure 5.6 Encoding Rules for B8ZS and HDB3

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 154

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

Manchester

Differential Manchester

Figure 5.2 Digital Signal Encoding Formats

Τα σχήματα κωδικοποίησης Manchester παρέχουν μια άλλη μέθοδο στο δέκτη για τον χρονισμό των bits. Δεν απαιτείται κανένα πρόσθετο σήμα συγχρονισμού για την ανίχνευση bits. Το Manchester κωδικοποιείται ως ένα ένα κάτω πηγαίνοντας σήμα στο κέντρο του bit χρόνου και ένα 1 ως επάνω πηγαίνοντας σήμα στο μέσο bit χρόνο.

Στο διαφορικό Manchester η μεταβολή στη μέση όλων των bits χρησιμοποιείται μόνο για χρονισμό. Στο 0 έχουμε μια μετάβαση στην αρχή του bit χρόνου ενώ στο 1 δεν έχουμε μετάβαση στην αρχή του.

Η επιλογή ενός σχήματος έναντι άλλου εξαρτάται από το κύκλωμα και τα χαρακτηριστικά των αναμενόμενων δεδομένων.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 155

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μορφές Κωδικοποίησης

### Συγχρονισμός των bits και ρυθμός κωδικοποίησης

NRZI

Manchester

Figure 5.5 A Stream of Binary Ones at 1 Mbps

Και στα δύο σχήματα Manchester γίνεται μετάβαση σήματος σε κάθε bit χρόνο. Ο δέκτης έτσι μπορεί να προσδιορίσει το σήμα ρολογιού.

Και B8ZS (ή HDB3) και το Μάντσεστερ είναι λύσεις για τη λήψη του σήματος ρολογιού (συγχρονισμός) στο δέκτη. Μια άλλη προσέγγιση είναι να σταλεί ένα χωριστό σήμα συγχρονισμού.

Το κόστος της χρησιμοποίησης κωδικοποίησης του Μάντσεστερ είναι ότι απαιτούνται μεγαλύτερα πλάτη ζώνης για να διαβιβαστούν τα σήματα. Στη χειρότερη περίπτωση, απαιτείται δύο φορές ο αριθμός μεταβάσεων ανά δευτερόλεπτο για τα ίδια δεδομένα.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 156

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μετάδοση ψηφιακών δεδομένων με αναλογικό τρόπο

- Η πιο συνήθης χρήση αυτής της τεχνικής είναι η μετάδοση ψηφιακών δεδομένων (π.χ., μεταξύ υπολογιστών) μέσω τηλεφωνικών γραμμών.
- Ο λόγος της μετατροπής της ψηφιακής πληροφορίας σε αναλογική οφείλεται στο ότι οι τετραγωνικές κυματομορφές μιας ψηφιακής πληροφορίας παραμορφώνεται κατά την διάδοσή της.

Voltage at transmitting end

Voltage at receiving end

- Στην περίπτωση αυτή γίνεται χρήση **διαμορφωτών**, **modems** (διαμορφωτής/αποδιαμορφωτής, **modulator/demodulator**)
- Θα δούμε τις πιο συνήθεις τεχνικές

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 157

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Διαμόρφωση ψηφιακών δεδομένων

1. Η **διαμόρφωση ολίσθησης πλάτους** (ASK) είναι ανάλογη με την διαμόρφωση AM. Τα δύο "επίπεδα" στέλλονται ως δύο πλάτη ενός κύματος ημιτόνου. Συχνά ένα επίπεδο στέλλεται ως τάση μηδέν (δείκτης διαμόρφωσης = 0). Σημειώστε ότι οι πλευρικές ζώνες συχνοτήτων που δημιουργούνται μπορούν να έχουν πολύ υψηλό εύρος ζώνης εάν το φέρων διακόπτεται.

2. Η **διαμόρφωση ολίσθησης συχνότητας** (FSK) χρησιμοποιεί δύο συχνότητες για να αντιπροσωπεύσει τους άσους και τα μηδενικά. Αυτό είναι ίδιο με την FM όπου η απόκλιση είναι το μισό της διαφοράς μεταξύ των δύο συχνοτήτων. Η FSK χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα τηλεφωνικά modems.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 158

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Διαμόρφωση ψηφιακών δεδομένων

(c) BPSK

3. Η **διαμόρφωση ολίσθησης φάσης** (PSK) στέλνει τις καταστάσεις του ψηφιακού σήματος ως διαφορετικές φάσεις της ίδιας συχνότητας ενός φέροντος (Εδώ είναι δύο καταστάσεις, 1 και 0, έτσι υπάρχουν μόνο δύο φάσεις που στέλλονται.)

Οι PSK και FSK συσχετίζονται πάρα πολύ από μαθηματική άποψη διότι είναι και οι δύο "διαμόρφωση γωνίας". Και οι δύο τύποι διαμόρφωσης παράγουν τις πλευρικές ζώνες συχνοτήτων συναρτήσεων Bessel. Η απότομη αλλαγή στις συχνότητες στην FSK μπορεί να παραγάγει πολύ ευρείες πλευρικές ζώνες συχνοτήτων, αλλά η ολίσθηση φάσης μπορεί να ελεγχθεί για να εμφανιστεί μόνο σε "μηδενικές διελεύσεις τάσης" της PSK για να μειωθεί η κατάληψη εύρους ζώνης.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 159

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Παραδείγματα ASK, FSK, PSK

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 160

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Διαμόρφωση ψηφιακών δεδομένων

1. Οι διαμορφώσεις ASK, FSK, και PSK είναι απλά σχήματα διαμόρφωσης στα οποία το εύρος, η συχνότητα, ή η φάση των κύκλων ενός φέροντος διαμορφώνονται από δεδομένα κωδικοποιημένα κατά NRZ. Το PSK σχήμα είναι ελαφρώς αποδοτικότερο.
2. QAM είναι μια τεχνική διαμόρφωσης που οδηγεί σε **συνδυασμούς ASK και του PSK** με συνέπεια να στέλλονται πολλά bits ανά baud. Ας δούμε πώς.

Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 161

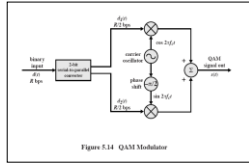
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Ορθογώνια διαμόρφωση πλάτους, (Quadrature Amplitude Modulation)

- QAM είναι μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται στους διαποδιαμορφωτές καλωδίων (π.χ., ADSL και τη μετάδοση DTV/\*HDTV καλωδιακά).
- Αναλογικό QAM χρησιμοποιείται για τις πληροφορίες χρώματος για την αναλογική TV όπως χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ και πολλά μέρη στη Βόρεια και Νότια Αμερική, Ιαπωνία, και μερικές άλλες.
- Ψηφιακό QAM είναι ίδια ιδέα με διακριτά επίπεδα.
- Η ιδέα QAM μπορεί να επεκταθεί στην TRELIS ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ που χρησιμοποιείται στους τηλεφωνικούς διαποδιαμορφωτές, τους διαποδιαμορφωτές καλωδίων, και πολλά άλλα συστήματα.
- "QAM" (και η ση πράξη *Trellis διαμόρφωση*) σημαίνει ότι οι συνδυασμοί διακριτής διαμόρφωσης πλάτους και φάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιπροσωπεύσουν πολλές δυνατές ψηφιακές καταστάσεις ανά κατάσταση σήματος, δηλ., bits ανά baud.

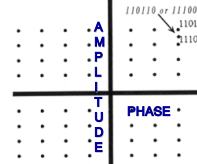
Κ. Χαλιώτης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 162

**Βασική ιδέα QAM**



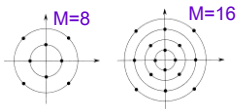
- Η ροή των bits του ψηφιακού σήματος χωρίζεται σε δύο υπο-ροές bits παίρνοντας εναλλάξ bits. Η μια υπο-ροή υφίσταται ASK διαμόρφωση από ένα ημιτονοειδές φέροντα. Η άλλη υπο-ροή υφίσταται επίσης ASK διαμόρφωση από το ίδιο φέρον με μετατοπισμένη φάση κατά 90 μοίρες. Τα δύο κύματα προστίθενται..
- Η βασική ιδέα εκτείνεται και σε n-QAM, με n=4 μέχρι και n=1024, επιτρέποντας στο πλάτος και τη φάση του φέροντος τιμές συνδυαζόμενες να πάρουν n διαφορετικές καταστάσεις.

**Παράδειγμα: 64-QAM και ο αστερισμός του**

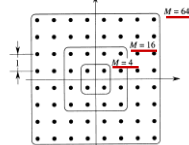


- Σε αυτό το 64-QAM υπάρχουν 8 πιθανές φάσεις (+22.5, +45, +67.5, +90, -22.5, -45, -67.5, και -90 βαθμοί) και 8 πιθανά πλάτη (+25, +50, +75, +100, -25, -50, -75, και -100), με συνέχεια 64 δυνατές καταστάσεις. Παραπάνω είναι ο λεγόμενος αστρικός χάρτης με τη φάση στον Χ-άξονα και τα πλάτη στον Υ-άξονα. Δεδομένου ότι υπάρχουν 64 δυνατότητες, κάθε κατάσταση αντιπροσωπεύει 6 bits. Αυτό είναι επειδή ο δέκτης ερμηνεύει κάθε ριπή του κύματος ως ένα από τους 64 διαφορετικούς συνδυασμούς των 6 bits.
- Η μέθοδος Trellis εισάγει πλεονάζοντα bits στη ροή εισόδου ώστε να είναι πιο διακρίσιμες οι συνδυασμοί μεταξύ τους (χρησιμοποιείται στα V. modems)

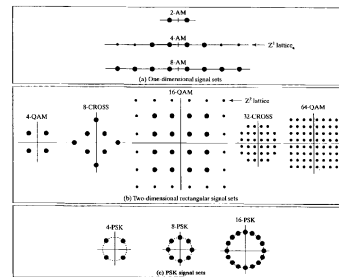
**Μικτές διαμορφώσεις PAM-PSK**



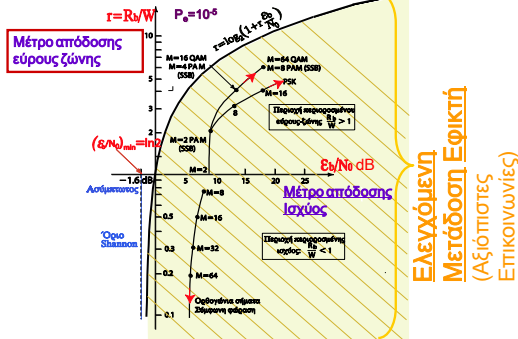
**Αστερισμοί QAM**



**Σύνοψη Τυπικών Αστερισμών κωδικοποίησης**



**ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΨΗΦ. ΣΥΣΤ. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ**



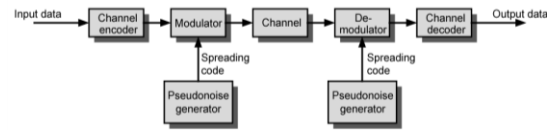
**Διαμόρφωση Διάχυτου Φάσματος Spread Spectrum**

- Αναλογικά ή Ψηφιακά δεδομένα
- Αναλογικό σήμα
- Διάχυση των δεδομένων σε ευρεία ζώνη φάσματος
- Κάνει δυσκολότερη την παρεμβολή και την υποκλοπή
- Αναπήδηση συχνότητας (Frequency hopping)
  - ✓ Το σήμα εκπέμπεται σε φαινομενικά τυχαία σειρά συχνοτήτων
- Άμεση ακολουθία
  - ✓ Κάθε bit αντιπροσωπεύεται με πολλά bits στο σήμα εκπομπής

## Η έννοια του διάχυτου Φάσματος

- Είσοδος που τροφοδοτεί τον κωδικοποιητή καναλιού
  - ✓ Παράγει αναλογικό σήμα με στενό εύρος ζώνης γύρω από την κεντρική συχνότητα
- Σήμα που διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας μια ακολουθία ψηφίων
  - ✓ κώδικας διάχυσης / ακολουθία
  - ✓ συνήθως παράγεται από μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων α αριθμών
- αυξάνει σημαντικά το εύρος ζώνης
  - ✓ Διαχέει το φάσμα
- Ο δέκτης χρησιμοποιεί την ίδια ακολουθία για να αποδιαμορφώσει το σήμα
- Το αποδιαμορφωμένο σήμα τροφοδοτεί τον αποκωδικοποιητή

## Γενικό πρότυπο συστήματος διάχυτου φάσματος



## Κέρδη

- 'Ανοσία' στους διάφορους θορύβους και την παραμόρφωση λόγω πολλαπλών διαδρομών
  - ✓ Συμπεριλαμβανομένου της παρεμβολής παρασίτων (jamming)
- Μπορείτε να κρύψετε/κρυπτογραφήσετε τα σήματα
  - ✓ Μόνο ο δέκτης που ξέρει τον κώδικα διάδοσης μπορεί να ανακτήσει το σήμα
- Διάφοροι χρήστες μπορούν να μοιραστούν το ίδιο υψηλότερο εύρος ζώνης με λίγη παρεμβολή
  - ✓ Κυψελοειδή τηλέφωνα
  - ✓ Πολυπλεξία Διαίρεσης κώδικα (CDM)
  - ✓ Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA)

## Ψευδοτυχαίοι αριθμοί

- Παράγονται από αλγόριθμο που χρησιμοποιεί έναν αρχικό σπόρο
- Αιτιοκρατικός αλγόριθμος
  - ✓ Όχι πραγματικά τυχαίοι αριθμοί
  - ✓ Εάν ο αλγόριθμος είναι καλός, το αποτέλεσμα περνά τις δοκιμές τυχαιότητας
- Πρέπει να είναι γνωστός ο αλγόριθμος και ο σπόρος για να προβλέψει κανείς την 'τυχαία' ακολουθία

## Διάχυτο φάσμα αναπήδησης συχνότητας

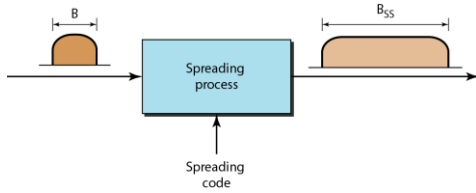
(FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)

- Εκπομπή σήματος με φαινομενικά τυχαία σειρά συχνότητων
- Ο δέκτης αναπηδά μεταξύ των συχνοτήτων σε συγχρονισμό με τον εκπομπό
- Οι ωτακουστές ακούν ακατανόητα bits
- Η παρεμβολή παρασίτων (jamming) σε μια συχνότητα έχει επιπτώσεις μόνο σε μερικά bits

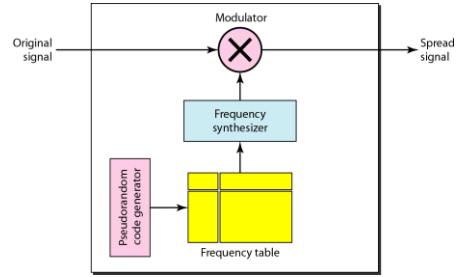
## Βασική λειτουργία

- Τυπικά,  $2^k$  φέρουσες συχνότητες σχηματίζουν  $2^k$  κανάλια
- Η απόσταση μεταξύ καναλιών αντιστοιχεί με το εύρος ζώνης της εισόδου
- Κάθε κανάλι χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο διάστημα
  - ✓ 300 mses στο IEEE 802.11
  - ✓ Κάποια bits μεταδίδονται με τη χρησιμοποίηση κάποιου σχήματος κωδικοποίησης
    - Μπορεί να είναι μέρος bit (βλ. αργότερα)
- Η ακολουθία υπαγορεύεται από τον κώδικα διάχυσης

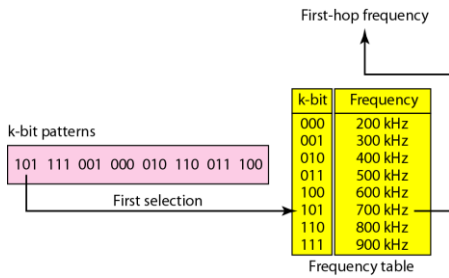
Διάχυση Φάσματος Spread spectrum



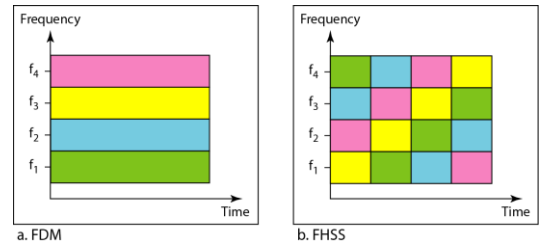
Frequency hopping spread spectrum (FHSS)



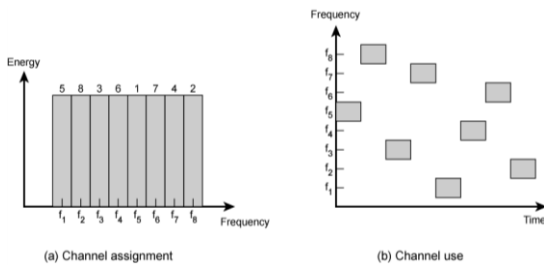
Επιλογή συχνότητας στο FHSS = Παράδειγμα



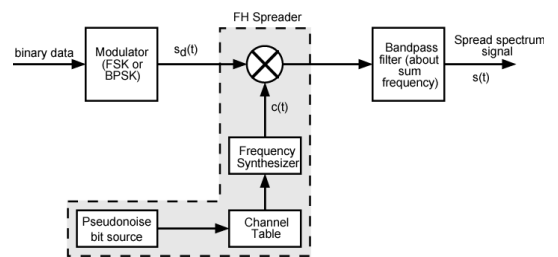
Διαμοιρασμός Εύρους Ζώνης Bandwidth sharing



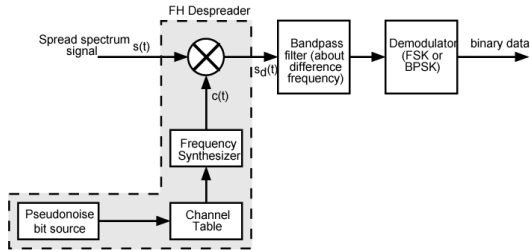
Παράδειγμα αναπήδησης συχνότητας



Σύστημα διάχυτου φάσματος αναπήδησης συχνότητας (εκπομπή)



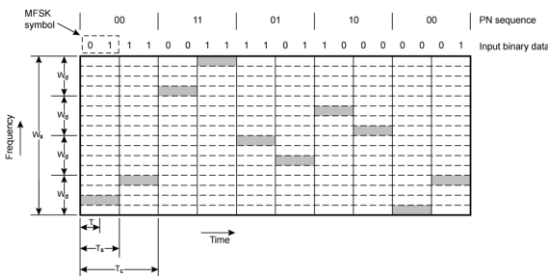
### Σύστημα διάχυτου φάσματος αναπήδησης συχνότητας (λήψη)



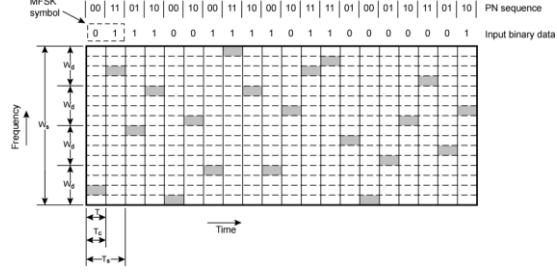
### Αργό και γρήγορο FHSS

- Συχνότητα μεταποτισμένη κάθε  $T_c$  δευτερόλεπτα
- Η διάρκεια του σήματος είναι  $T_s$  δευτερόλεπτα
- Αργό FHSS έχει το  $T_c \geq T_s$
- Γρήγορο FHSS έχει το  $T_c < T_s$
- Γενικά, γρήγορο FHSS δίνει βελτιωμένη απόδοση στο θόρυβο (ή την παρεμβολή παρασίτων)

### Αργή αναπήδηση συχνότητας διάχυτου φάσματος MFSK (M=4, k=2)



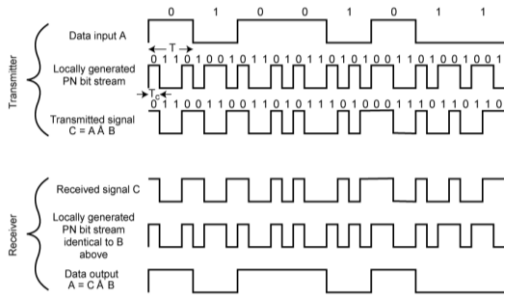
### Γρήγορη αναπήδηση συχνότητας διάχυτου φάσματος MFSK (M=4, k=2)



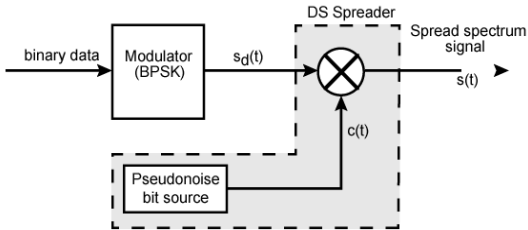
### Άμεση ακολουθία διάχυτου φάσματος (DSSS)

- Κάθε bit αντιπροσωπεύεται από τα πολλαπλά bits χρησιμοποιώντας διάχυτο κώδικα
- Ο διάχυτος κώδικας διαδίδει το σήμα σε ευρύτερη ζώνη συχνότητας
  - ✓ Αναλογικά με τον αριθμό bits που χρησιμοποιούνται
  - ✓ διάχυτος κώδικας 10 bit διαχέει το σήμα σε 10 φορές το εύρος ζώνης του κώδικα 1 bit
- Μια μέθοδος:
  - ✓ Συνδυάζει την είσοδο με διάχυτο κώδικα χρησιμοποιώντας XOR
  - ✓ Είσοδος 1 bit αναστρέφει το bit κώδικα διάχυσης
  - ✓ Είσοδος 0 bit δεν αλλάζει το bit κώδικα διάχυσης
  - ✓ Ο ρυθμός δεδομένων ίσος με τον αρχικό διαχέοντα κώδικα
- Απόδοση παρόμοια με FHSS

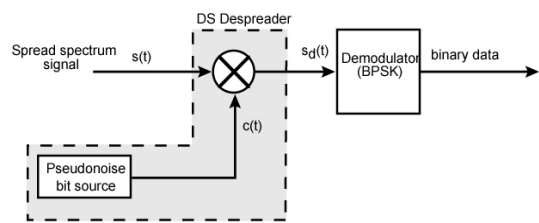
### Παράδειγμα άμεσης ακολουθίας διάχυτου φάσματος



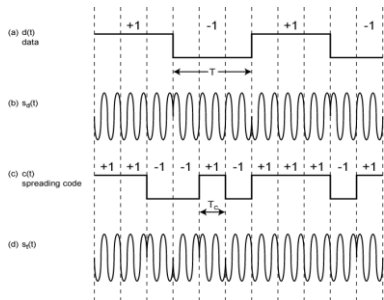
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
**Εκπομπός άμεσης ακολουθίας διάχτυτου φάσματος**



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
**Δέκτης άμεσης ακολουθίας διάχτυτου φάσματος**

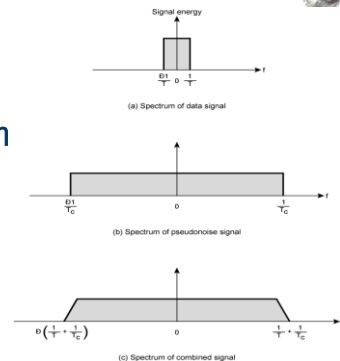


Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
**Παράδειγμα άμεσης ακολουθίας διάχτυτου φάσματος που χρησιμοποιεί BPSK**



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

**Κατά προσέγγιση Φάσμα Σήματος DSSS**



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
**Εφαρμογή του τύπου του Shannon-1**

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

- **S** : Η ισχύς του σήματος υπολογίζεται για το πραγματικό σήμα σήματος. Παραδείγματος χάριν, η ισχύς στα σήματα κυμάτων ημιτόνου είναι ανάλογη προς  $\frac{1}{2} A^2$ , αλλά άλλες μορφές κυμάτων έχουν άλλη ισχύ φυσικά. Τα εγχειρίδια συνήθως σας λένε την αναλογία S/N αλλά δεν πηγαίνουν σε αυτήν την λεπτομέρεια. Το S μπορεί να υπολογιστεί ως RMS ή μέγιστη ισχύ αλλά τα αποτελέσματα θα είναι διαφορετικά.
- **N** : Ο τύπος του Shannon εξετάζει μόνο το θερμικό θόρυβο. Αυτός είναι ο θόρυβος λόγω της τυχαίας μοριακής κίνησης που παράγει τον τυχαίο λευκό θόρυβο, που κατανέμεται ομοιόμορφα στο εύρος ζώνης. Δίνεται ως τιμή RMS δεδομένου ότι ο λευκός θόρυβος δεν έχει καμία συνεχή συνιστώσα.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
**Εφαρμογή του τύπου του Shannon-2**

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

- **S/N**: Μόλις S και N είναι γνωστά μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος τους. Σημειώστε, φυσικά, ότι πρέπει να μετατρέψετε σε λόγο εάν σας δίνεται το S/N σε dB, και το N είναι ΜΟΝΟ από το θερμικό θόρυβο.
- Εάν το S ορίζεται ως μέγιστη ισχύς, τότε πρέπει να υπολογίσετε την RMS τιμή του που θα χρησιμοποιήσετε στον τύπο. Αυτό μπορεί να είναι ενοχλητικό εκτός αν ξέρετε τα πραγματικά χαρακτηριστικά του κύματος. Ευτυχώς, πολλά σχήματα παλμών θα παραγάγουν το αποτέλεσμα ότι το RMS είναι  $\frac{1}{2}$  αυτής της μέγιστης ισχύος. Τα ακουστικά σήματα μπορούν να είναι αρκετά διαφορετικά.
- Ευτυχώς, ο λόγος S/N είναι όλο που νοιάζεστε όταν χρησιμοποιείτε τον τύπο Shannon δεδομένου ότι ο τύπος είναι πιο χρήσιμος για τη σύγκριση των καναλιών απ' ό,τι ως πραγματικό εργαλείο σχεδίασης.



## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-3

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

- **B:** Είναι το εύρος ζώνης του καναλιού σε Hertz. Πάλι, προσοχή στη λεπτομέρεια. Ο Shannon διαμόρφωσε την ανάλυση του σύμφωνα με ένα εξιδανικευμένο **τετραγωνικό** εύρος ζώνης καναλιού, κάτι αδύνατο να επιτύχει στην πραγματική ζωή. Θεωρείται ότι **το B** αντιπροσωπεύει μια χαρακτηριστική φίλτρου με ένα χαμηλότερο και ανώτερο όριο συχνότητας όπου καμία ενέργεια δεν μπορεί να περάσει έξω από αυτή την περιοχή. Τα πραγματικά χαρακτηριστικά εύρους ζώνης μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ χαμηλότερες χωρητικότητες.
- Π.χ., εάν χρησιμοποιείτε τον τύπο Shannon για την ανάλυση μιας αναλογικής σύνδεσης τηλεφωνικών βρόχων, να θεωρήσετε **το B** μια περιοχή 3 kHz, ακόμα κι αν το πραγματικό κανάλι είναι πιο περίπλοκο. Η απάντησή σας θα είναι ανακριβής, αλλά ο κανόνας Shannon είναι ένας καλός τρόπος να συγκρίνετε τι συμβαίνει, για παράδειγμα, εάν το εύρος ζώνης διπλασιάζεται: παίρνετε δύο φορές την χωρητικότητα ανεξάρτητα από το θόρυβο. Αλλά θυμηθείτε ότι η αναλογία S/N υπολογίζεται για το νέο εύρος ζώνης.

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-4

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

- **C:** Αυτό είναι το αποτέλεσμα που περιμένετε, δηλ., ο ρυθμός δεδομένων που το (πολύ θεωρητικό) κανάλι μπορεί να υποστηρίξει. Το C δίνεται σε bits/δευτερόλεπτο όταν είναι το B σε Hertz, Mbps εάν το B είναι σε MHz, κ.λπ.
- Παράδειγματος χάριν, εάν S/N είναι 1000 (30 dB), (δηλ., λόγος της τάσης σήματος 32 φορές ισχυρότερος από το θόρυβο), και το B είναι 3 kHz, τότε η χωρητικότητα καναλιού βγαίνει να είναι περίπου 30 kbps. Αυτό ταυριάζει με την εμπειρία μας ότι μια αναλογική τηλεφωνική γραμμή μπορεί να υποστηρίξει τέτοιους ρυθμούς.
- Εάν η RMS τάση του θορύβου είναι μόνο 1% του σήματος, τότε το S/N θα είναι 10.000 (40 dB), και το κανάλι θα υποστηρίξει 40 kbps. **Δηλαδή, η αύξηση της ισχύος του σήματος κατά μια τάξη μεγέθους (όταν είναι ήδη μεγάλη), παραδειγματικός χάριν, δεν αυξάνει την χωρητικότητα κατά τόσο πολύ. Η αύξηση του εύρους ζώνης είναι πολύ καλύτερη λύση, όμως...**

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-5

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

- **ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ για το B:** Φυσικά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον τύπο για να υπολογίσετε τη θεωρητικά απαραίτητη χωρητικότητα εύρους ζώνης ή ισχύ σήματος που απαιτείται παρουσία **γνωστής ισχύος θορύβου** εάν χρειάζεστε μια δεδομένη (θεωρητικά) χωρητικότητα ρυθμού δεδομένων.
- Εντούτοις, πρέπει να καταλάβετε ότι **το B δεν είναι κάποια ασφαής αξιοσημείωτη χωρητικότητα καναλιού που αγοράζετε από ένα κατάστημα εύρους ζώνης**. Πρέπει πραγματικά **ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕΤΕ** το εύρος ζώνης για να πάρετε την αύξηση του ρυθμού δεδομένων που προβλέπεται από τον Shannon.
- Δηλαδή **δεν θα πάρετε οποιαδήποτε αύξηση στο C εάν αυξήσετε μόνο το εύρος ζώνης** μιας τηλεφωνικής γραμμής από 3 kHz σε, για παράδειγμα, 5 kHz εάν δεν αυξήσετε το σχήμα σηματοδότησης ώστε να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο εύρος ζώνης. **Το μόνο που θα πετύχετε είναι να έχετε περισσότερη ισχύ θορύβου στο ευρύτερο κανάλι.**
- **ΕΠΟΜΕΝΩΣ, το B ΕΙΝΑΙ το ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΝΑΛΙΩΣ ΚΑΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ ΕΚ ΝΕΟΥ το ΘΟΡΥΒΟ ΠΡΩΤΑ!**

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-6

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Ας μιλήσουμε λίγο περισσότερο για το "χρησιμοποιημένο" εύρος ζώνης.

Πέστε ότι πρόκειται να χρησιμοποιήσετε ένα σχήμα συνδυασμού διαμόρφωσης συχνότητας και πλάτους να στείλετε τα δεδομένα σας. Αποφασίζετε σχετικά με μια απόκλιση 5 KHz για μια μορφή δεδομένων που να είναι σε ζώνη που περιορίζεται σε 1 KHz. Σύμφωνα με τον κανόνα Carson, το διαμορφωμένο σήμα πρέπει να απαιτήσει ένα κανάλι περίπου 12 KHz, και το κανονικό AM θα προσθέσει κάποια χωρητικότητα λόγω των πλευρικών ζωνών συνηθιστων AM. Το συνολικό εύρος ζώνης που θα απαιτηθεί ίσως να είναι 14 KHz. Εάν μπορείτε να στείλετε αυτό το σήμα με μια αναλογία RMS S/N 30 dB, για παράδειγμα, τότε ο Shannon προβλέπει ότι ένας θεωρητικός ρυθμός δεδομένων μπορεί να είναι μέχρι 140 Kbps. Υπάρχουν δύο πολύ σημαντικές επιπτώσεις από τη χρησιμοποίηση του τύπου Shannon από αυτό το παράδειγμα.

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-7

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Όταν αυξανόμενο **το B δεν έχει αποτέλεσμα:**

Η χωρητικότητα 140 Kbps που υπολογίστηκε στην προηγούμενη διαφάνεια βασίστηκε σε ένα σχήμα διαμόρφωσης σήματος που παρήγαγε ένα εύρος σήματος 14 kHz. Εάν αυξήσετε μόνο το εύρος ζώνης καναλιού στον τύπο Shannon —πέστε διπλάσιο σε 28 kHz— και δεν αλλάξετε το σήμα από καμιά άποψη, δεν παίρνετε αύξηση στο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων. Στην πραγματικότητα, παίρνετε μια ΜΕΙΩΣΗ στο ΡΥΘΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ εκτός αν αυξήσετε την απόκλιση της συχνότητας διαμόρφωσης ή αυξήσετε το ρυθμό του αρχικού σήματος έτσι ώστε το αυξανόμενο εύρος ζώνης να είναι πραγματικά κατελημμένο.

Δηλαδή θα πρέπει να αυξήσετε την απόκλιση FM ή/και το φασματικό περιεχόμενο του σχήματος κωδικοποίησης δεδομένων για να αυξήσετε πραγματικά το B, το πραγματικό χρησιμοποιημένο "κανάλι". Αυτό που καθιστά το C χειρότερο είναι ότι ο διπλασιασμός του πραγματικού εύρους ζώνης καναλιού χωρίς αύξηση της διαμόρφωσης θα διπλασιάσει το ποσό θορύβου. Το S/N θα μειωθεί, μειώνοντας κατά συνέπεια το C στον υπολογισμό. Ή θα μπορούσατε ακριβώς να διπλασιάσετε τη ισχύ σήματος αλλά έπειτα προκαλείτε περισσότερο crosstalk και μειώνετε την ικανότητα των κοντινών καναλιών!!!

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-8

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Περισσότερα στο όταν το αυξανόμενο B δεν έχει αποτέλεσμα...

Το B μπορεί να θεωρηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους κατά την εφαρμογή του κανόνα Shannon.

1. Όπως είδαμε στις προηγούμενες δύο διαφάνειες, το B μπορεί να θεωρηθεί ότι ήταν η φασματική κατοχή του πραγματικού σχήματος του σήματος που στέλνεται. Έχετε την υποχρέωση να παρέχετε σε ένα κανάλι το κατάλληλο εύρος ζώνης, αλλά τίποτε περισσότερο, δεδομένου ότι ο θερμικός θόρυβος θα είναι παρών σε όλο εκείνο το εύρος ζώνης. Στην πραγματικότητα, ο θερμικός θόρυβος υπολογίζεται ως "φασματική πυκνότητα ισχύος" σε Watts ανά Hertz. Πάλι, ο διπλασιασμός του εύρους ζώνης και η μη αλλαγή του σχήματος σήματος απλά θα μειώσουν την χωρητικότητα του καναλιού δεδομένου ότι ο λόγος S/N θα είναι μικρότερος!

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-9

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Περισσότερα επάνω στο όταν δεν έχει το αυξανόμενο B κανένα αποτέλεσμα...

2. Ο άλλος τρόπος για το  $C$  να είναι να χρησιμοποιηθεί ο κανόνας Shannon όταν δεν ξέρετε πραγματικά τι ακριβώς είναι το  $S/N$  και απλά υποθέτετε ότι έχετε ένα βέλτιστο σχήμα για να μεταβιβάσετε το  $S$  πάνω από το παρεχόμενο εύρος ζώνης καναλιού,  $B$ .

Σε αυτήν την περίπτωση (που είναι ο τρόπος που καθένας μαθαίνει Shannon αλλά δεν το έχει καταλάβει πολύ καλά) αυξανόμενο το  $B$  πράγματι δεν σας δίνει μια θεωρητική ανάλογη αύξηση στα πιθανά bits ανά δευτερόλεπτο στο ρυθμό δεδομένων.

Χρησιμοποιώντας τον τύπο με αυτόν τον τρόπο, υποθέτετε ότι ένα βέλτιστο —πραγματικά πολύ καλύτερο— σχήμα θα επινοηθεί για να στείλετε τα δεδομένα πάνω από ένα παρεχόμενο εύρος ζώνης καναλιού,  $B$ . Σε αυτήν την περίπτωση ο Shannon σας λέει, το  $C$ , το μέγιστο ρυθμό δεδομένων που εσείς μπορείτε να πάρετε.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 200

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Εφαρμογή του τύπου Shannon-10 (1)

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Περισσότερα στο **όταν το αυξανόμενο B έχει κακή επίδραση...**

Η αύξηση του εύρους ζώνης του καναλιού οδηγεί συνήθως σε περισσότερο θόρυβο να προστίθεται στο κανάλι μετάδοσης. Ο θερμικός «λευκός θόρυβος» έχει ισχύ ανάλογη προς το εύρος ζώνης, ή ίσως ένα ευρύτερο εύρος ζώνης θα δεχθεί περισσότερο crosstalk ή παρεμβολή.

Η αλλαγή σε ένα σχήμα μετάδοσης δεδομένων που αυξάνει την κατάληψη του καναλιού (π.χ. με τη χρησιμοποίηση της τεχνικής «διάχτυτου φάσματος») που απαιτεί ένα κανάλι ευρύτερης ζώνης ΘΑ ΜΕΙΩΣΕΙ τον λόγο  $S/N$ . Η χρησιμοποίηση του κανόνα Shannon σε αυτήν την περίπτωση θα δώσει λανθασμένα αποτελέσματα. Ο τύπος Shannon προορίζεται να σας πει ποια χωρητικότητα είναι δυνατή για ένα δεδομένο εύρος ζώνης και μια αναλογία  $S/N$ .

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 201

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Εφαρμογή του τύπου Shannon-10 (2)

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

Περισσότερα στο **όταν το αυξανόμενο B έχει κακή επίδραση...**

• Αλλά εάν το πραγματικό κανάλι πρέπει ΝΑ ΑΥΞΗΘΕΙ στο εύρος ζώνης κατά έναν παράγοντα  $A$  (όπου  $A > 1$ ) από ένα κανάλι στενής ζώνης για π.χ., να χωρέσει το  $S$  ευρέως φάσματος, τότε η ισχύς του λευκού θορύβου θα αυξηθεί και επομένως ο λόγος  $S/N$  μειώνεται σε  $S/AN$  όταν διαχέεται η ισχύς του σήματος.

• Ο νέος ρυθμός δεδομένων δίνεται τώρα από:

$$C_n = B \log_2(1+S/AN)$$

• Θα δούμε σε λίγο πιο αναλυτικά τον ρόλο της σωστής κωδικοποίησης των δεδομένων πριν την μετάδοσή τους.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 202

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Εφαρμογή του τύπου του Shannon-11

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

**Τα θαυμάσια αποτελέσματα του κανόνα Shannon.**

Η ομορφιά και η κομψότητα του κανόνα Shannon είναι ακριβώς ότι δεν μας λείπει πια σχήμα δεδομένων χρειάζεται. Προβλέπει μόνο τι το καλύτερο μπορείτε να κάνετε. Αυτό αφήνεται για τους τεχνικούς — και τα σύγχρονα συστήματα φαίνονται να έρχονται αρκετά κοντά.

Τα αποτελέσματα είναι θαυμάσια. Ο Shannon μας διδάξε ότι τα σήματα παρουσία φανταστικών επιπέδων θορύβου —όπου το  $S/N$  είναι αόρατο σε έναν παλμογράφο λόγω όλου αυτού του θορύβου— μπορούν να διαβιβαστούν και να ανιχνευθούν επιτυχώς εάν:

1. Το  $S/N$  χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης αρκετά μεγάλο, ή
2. Δεχόμαστε ένα ρυθμό δεδομένων αρκετά χαμηλό ακόμη και παρουσία πολύ θορύβου.

Με αυτό εξηγούνται και τα τρία είδη τεχνικών διάχτυτου φάσματος, *boxcar* τεχνικών *συσχετισμού*, ραδιο αστρονομίας, και δορυφορικών επικοινωνιών.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 203

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μια συνέπεια του τύπου του Shannon

GPS - Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης



Το GPS χρησιμοποιεί 24 δορυφόρους σε υψηλή γήινη τροχιά, κατά προσέγγιση 11.000 μίλια ύψος, για να στείλει το χρόνο και τη θέση από 3 ή περισσότερους δορυφόρους στους μικρούς δέκτες — όπως αυτή η €100 μονάδα στο βόρειο πόλο. Ο δέκτης συσχετίζει τις πληροφορίες (λαμβάνοντας υπόψη και τη γενική και ειδική σχετικότητα!) για να επιδείξει μια αναπροσαρμογή στη θέση κάθε δευτερόλεπτο —με μια ακρίβεια μερικών μέτρων.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει περίπου 50 Watt στα 1575.42 MHz. Προφανώς, αυτή η  $\frac{1}{4}$  κεραιά δεν λαμβάνει πάρα πολύ το σήμα. Σκεφτείτε την απολαβή των κεραιών-πίπτων για σήμα TV από τους πολύ ισχυρότερους δορυφόρους σε μόλις διάλυτο ύψος του GPS. Η αναλογία  $S/N$  βγαίνει να είναι λιγότερο από 0,1 (-10 DB), ο θόρυβος είναι περισσότερο από 10 φορές ισχυρότερος από το σήμα! Αλλά το ρυθμικό δεδομένων είναι μόνο μερικά bits το δευτερόλεπτο. Ο τύπος του Shannon είπε ότι αυτό θα λειτουργήσει, και πράγματι

λειτουργεί. Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 204

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Κώδικες διόρθωσης λαθών και όριο Shannon

- **Κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών**
  - ✓ Η προσθήκη του πλεονασμού σε ένα μήνυμα μέσω της κωδικοποίησης πριν από τη μετάδοση
- **Ρυθμός κώδικα**
  - ✓ Αναλογία των bits δεδομένων / συνολικά bits που μεταδίδονται
- **Χωρητικότητα καναλιού Shannon**
  - ✓ Η κωδικοποίηση οδηγεί σε μικρότερη πιθανότητα λαθών, πράγμα που σημαίνει *μεγαλύτερο SNR*, με *αντάλλαγμα* την αύξηση του εύρους ζώνης, όχι όμως εκθετικά, όπως συμβαίνει π.χ., στην QAM
- **Υπάρχουν σχήματα κωδικοποίησης που αυξάνουν την απόσταση μεταξύ κωδικών λέξεων, χωρίς να αυξάνουν το εύρος ζώνης!**

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 205

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Χωρητικότητα Shannon και ρυθμός κώδικα

Shannon Limit versus Code Rate

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 206

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Γιατί η χρήση κωδικών διόρθωσης λαθών;

- Μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ επιπέδου βελτιωμένης αξιοπιστίας των δεδομένων, μειωμένου κόστους συστήματος ή αυξημένης περιοχής κάλυψης
- 3 dB απόδοση στην κωδικοποίηση
  - μειώνει το εύρος ζώνης κατά 50% ή
  - αυξάνει τη ρυθμό δεδομένων 2 φορές ή
  - αυξάνει τη περιοχή κατά 40% ή
  - μειώνει το μέγεθος κεραίων κατά 30% ή
  - μειώνει τη ισχύ του πομπού 2 φορές
- Συμπερασματικά: έχουμε μείωση του κόστους ή αύξηση της ποιότητας

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 207

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Ικανότητα διόρθωσης λαθών

- Η ελάχιστη απόσταση ή το "Dmin" ενός κώδικα διορθώσεων λαθών χαρακτηρίζει τη δύναμη του κώδικα.
- Η ικανότητα διόρθωσης λαθών, "t", ενός κώδικα ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός εγγυημένα διορθώσιμων λαθών ανά κωδική λέξη:

$$t = \left\lfloor \frac{D_{min} - 1}{2} \right\rfloor$$

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 208

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Απόσταση Hamming

- Απόσταση Hamming μεταξύ δύο κωδικών λέξεων είναι το πλήθος των θέσεων στις οποίες διαφέρουν.
- Ελάχιστη απόσταση κώδικα είναι η ελάχιστη Hamming απόσταση μεταξύ των κωδικών λέξεών του.
- Για την **ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ** n λανθασμένων bits απαιτείται μια απόσταση Hamming τουλάχιστον n + 1 μεταξύ των κωδικών λέξεων που στέλνονται πραγματικά.
- Για τη **ΔΙΟΡΘΩΣΗ** n λανθασμένων bits απαιτείται μια απόσταση Hamming τουλάχιστον 2n + 1 μεταξύ των κωδικών λέξεων που στέλνονται πραγματικά.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 209

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Συμπύση ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

$2^k$   $2^n = k+r$

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των "κωδικών λέξεων" τόσο δυσκολότερο είναι για τον θόρυβο να προκαλέσει λάθη. Δηλαδή:

- Όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις του κωδικού χώρου, (και επομένως μεγαλύτερο το μήκος n των κωδικών λέξεων)
- και όσο πιο τυχαία είναι η κατανομή των κωδικών λέξεων μέσα στο χώρο
- τόσο περισσότερο θα πλησιάζουμε προς τον ιδανικό κώδικα

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 210

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Είδη κωδικών

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 211

## Πλησιάζοντας τον τέλειο κώδικα

Οι Turbo-κώδικες και η επανάσταση των επαναληπτικών τεχνικών

- Προσεγγίζουν έως και 0,7 dB το όριο του Shannon για μικρό SNR
- Δυο βασικοί τύποι:
  - ✓ Turbo συνελκτικοί κώδικες
  - ✓ Turbo κώδικες γινομένου

## Turbo κώδικες-Εφαρμογές

- Ως πρώτες εφαρμογές προσφέρθηκαν οι **δορυφορικές ζεύξεις** και οι επικοινωνίες πολύ μεγάλων αποστάσεων.
  - Στη συνέχεια ήρθε η σειρά εφαρμογής τους στις **νέες γενεές κινητών** (οπότε εκατομμύρια άνθρωποι θα τους έχουν στα χέρια τους).
  - Τέλος σε όλες τις ασύρματες επικοινωνίες, όταν φάνηκε πως η τεχνική turbo μπορεί να επεκταθεί με εξαιρετικά αποτελέσματα σε **turbo-εξισωτές, turbo-modem, "Turbo-Trellis-Code-Modulation" και "turbo-MIMO"**. Ήδη μελετάται η χρήση τους στην **ψηφιακή ραδιοφωνία και τηλεόραση**.

## Τι επέτυχαν και πώς οι κώδικες Turbo;

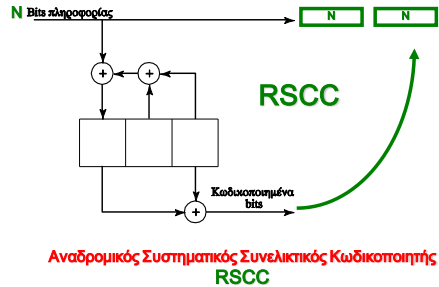
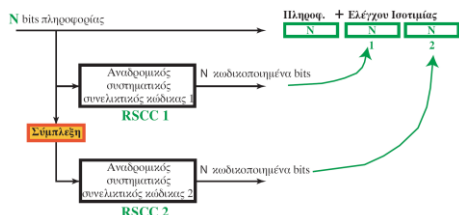
Τι στεκόταν εμπόδιο στη βελτίωση των κωδίκων και κρατούσε ανεκπλήρωτο πάνω από 40 χρόνια το στόχο επίτευξης του ορίου του Shannon;

- ✓ Τους ειδικούς περί τους κώδικες τους κατέδραξε ένα πρόβλημα υπολογιστικής πολυπλοκότητας που έθετε στην πράξη φράγματα όσο μεγάλωνε το μήκος της κωδικής λέξης (όσο διευρυνόταν ο κωδικός χώρος) γιατί μεγάλωνε εκθετικά ο όγκος των υπολογισμών που απαιτούνται κατά την αποκωδικοποίηση, δηλαδή για την ανασήτηση της "πιθανότερης" αυθεντικής κωδικής λέξης που βρίσκεται κοντύτερα στη "λερωμένη" ληφθείσα λέξη.
- ✓ Για παράδειγμα, για λέξεις μήκους μόλις 3 bit έχουμε σύγκριση με  $2^3=8$  κωδικές λέξεις. Για να πλησιάσετε όμως τη χωρητικότητα χρειάζεστε λέξεις τουλάχιστον των 1000 bit, οπότε ο αποκωδικοποιητής σας θα πρέπει να ψάξει σε ένα αφάνταστο μεγάλο πλήθος  $2^{1000}$  δηλαδή περίπου  $10^{300}$  κωδικών λέξεων για να βρει την εγγύτερη κωδική προς τη ληφθείσα λέξη. Έχει υπολογιστεί ότι το πλήθος των ατόμων στο ορατό σύμπαν είναι περίπου  $10^{80}$  άτομα!!! Έτσι μερικοί σημαντικοί επιστήμονες κατέληξαν, περί το 1980, στο συμπέρασμα ότι η υπολογιστική πολυπλοκότητα των ιδεωδών κωδίκων δεν αφήνει καμία ελπίδα.

Οι κώδικες Turbo έλυσαν το πρόβλημα της πολυπλοκότητας!

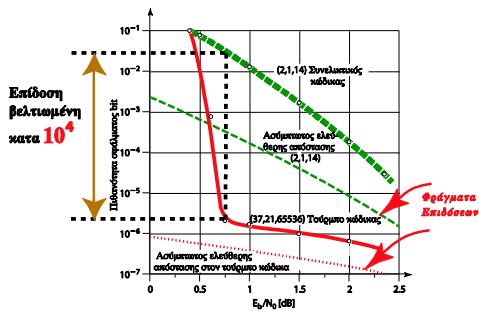
Αλλάζοντας τελείως την αντίληψη της αποκωδικοποίησης (με έναν επαναληπτικό τρόπο) και χρησιμοποιώντας όχι ένα αλλά δύο (ή περισσότερα) ζεύγη κωδικοποιητών-αποκωδικοποιητών οι οποίοι εργάζονται διαδοχικά συνεργαζόμενοι, ενώ μεσολαβεί και η χρήση "συμπλεκτών" (interleavers) προκειμένου να δοθεί στις κωδικές λέξεις ένας χαρακτήρας "τυχαιότητας", κάτι που προέβλεπε η μεθοδολογία ιδανικής κωδικοποίησης του Shannon.

## ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ TURBO



Αναδρομικός Συστηματικός Συνελκτικός Κωδικοποιητής RSCC

Σύγκριση Επιδόσεων του Κωδ. Τουμπο ως προς ένα συνεπικτικό Κώδικα



ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ - MULTIPLEXING

- Η Πολυπλεξία μπορεί να οριστεί ως «η νομή μιας επικοινωνιακής υποδομής από περισσότερους από ένα χρήστη»

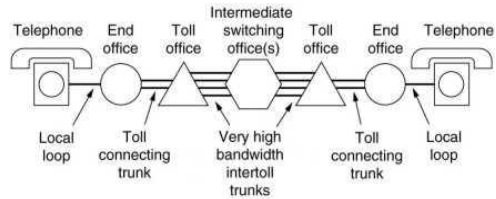


Εφαρμογή της Πολυπλεξίας στην Τηλεφωνία/1



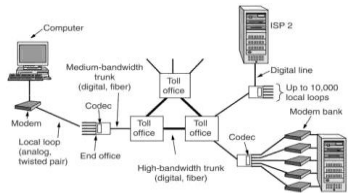
Νομή των δικαιωμάτων διόδου από πολλά κυκλώματα: γραμμές στύλων, τάφοι και αγωγοί, καλώδια: οι δαπάνες για το δικαίωμα διόδου, περιβαλλοντικές και κυβερνητικές άδειες να ανατατοθεί η κυκλοφορία, οι τρύπες, έξω το σκάψιμο και μια ασφαλή θέση για τους ανθρώπους, κ.λπ., ήταν ο περισσότερο δαπανηρός ότι αυτό των πραγματικών καλωδίων και των ηλεκτρονικών σε πολλές περιπτώσεις.

Εφαρμογή της Πολυπλεξίας στην Τηλεφωνία/2



Η νομή του ίδιου ηλεκτρικού κυκλώματος από πολλούς χρήστες ή τηλεφωνικές κλήσεις: οι συνδέσεις στους απόμακρους τελικούς χρήστες (γραμμές συμβαλλόμενων μερών) και οι συνδέσεις μεταξύ των τηλεφωνικών κέντρων (κορμού) μοιράζονται στη βάση τηλεφωνήματος.

Εφαρμογή της Πολυπλεξίας στην Τηλεφωνία/3



Η νομή της σύνδεσης από πολλούς χρήστες ή τηλεφωνικές κλήσεις: σχήματα πολυπλεξίας συχνότητας ή χρόνου για να χρησιμοποιηθεί το εύρος ζώνης από πολλούς χρήστες. Τα παραδείγματα αυτού είναι η πολυπλεξία του βρόχου συνδρομητών για να εξαλείψει την ανάγκη για εξοχριστές γραμμές συμβαλλόμενων μερών, τα σχήματα FDM και TDM — συμπεριλαμβανομένου του T- φέροντος — να μοιραστεί η καλωδίωση, μέχρι το VoIP είναι παραδείγματα πολυπλεξίας στην τηλεφωνία.

Υπάρχουν διάφορα είδη Πολυπλεξίας

1. Πολυπλεξία Χώρου - Space Division Multiplex (σειρές τηλεφωνικών στύλων, χωριστά ζευγάρια καλωδίων ή ίνες στα καλώδια, κέντρα μεταγωγής, αποτιπώματα δορυφορικών επικοινωνιών, χωριστές διαδρομές μικροκιμάτων)
2. Πολυπλεξία Χρόνου - Time Division Multiplex 1. (μεταγωγή κυκλώματος, γραμμές συνδρομητών, τοπικά δίκτυα, διακόπτες διαμόρφωσης κώδικα παλμών, PCM, σύγχρονοι και στατιστικοί πολυπλέκτες, διαποδιαμορφωτές DOCSIS, TDMA κινητών: ασύρματο τηλέφωνο/τηλεφωνία PCS)
3. Η ολυπλεξία Συχνότητας - Frequency Division Multiplex (AM, FM, ραδιοφωνικές μεταδόσεις TV, καλωδιακή τηλεόραση, παλαιού τηλεφώνου "συστήματα φέροντος", DSL, ασύρματα LANs, ασύρματα τηλέφωνα, κινητά: κύτταρο/τηλεφωνία "κανάλια" PCS, OFDM: IEEE 802.11a/g, "Hi-Fi" ραδιόφωνο, HDTV, QAM: καλωδιακή τηλεόραση, σχήματα διαποδιαμορφωτών καλωδίων, HDTV πάνω από το καλώδιο, VSB-AM: b'cast αναλογική TV, HDTV b'cast στην Αμερική)
4. Η ολυπλεξία Κώδικα Διάχυτου Φάσματος - Spread Spectrum (xDSL,
5. Πολυπλεξία Turbo κωδικών (wireless,

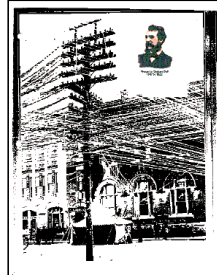
## Πολυπλεξία χώρου (SDM)

SDM είναι το "αρχικό" σχήμα για το χωρισμό των σημάτων για μετάδοση και μεταγωγή—παράδειγματος χάριν, σε ένα αναλογικό κέντρο τηλεφωνικής μεταγωγής (όπου ο πίνακας ραβδομεταγωγής μετάγει χωριστές τηλεφωνικές γραμμές σε μια μήτρα καλωδίων, χρησιμοποιώντας τα χωριστά καλώδια σε μια γραμμή τηλεφωνικών στύλων), ή για εντοπισμό ραδιοσταθμών στην ίδια συχνότητα χώρα μακριά. Τα τηλεφωνικά συστήματα κυψέλων στηρίζονται σε SDM με να επαναχρησιμοποιήσουν τα κανάλια σε μη-διπλανές κυψέλες.

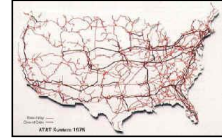
•Μια υποδομή ορίζεται συνήθως ως μια επικοινωνιακή σύνδεση αλλά μπορεί επίσης να είναι μια σειρά στύλων ή το δικαίωμα διάδευσης καλωδίου όπως στην περίπτωση SDM.

•Ας δούμε μερικά παραδείγματα SDM

## Παραδείγματα Πολυπλεξίας Χώρου



1. Νομή σειράς στύλων

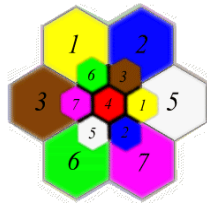
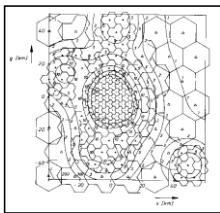


2. Νομή των ίδιων ραδιοκαναλιών και διαδεύσεων καλωδίων μέσω χωριστών δικαιωμάτων διαδρομής



3. Νομή των ίδιων ραδιοκαναλιών μέσω διαφορετικών δορυφορικών αποτυπωμάτων

## Πολυπλεξία χώρου στην κινητή τηλεφωνία

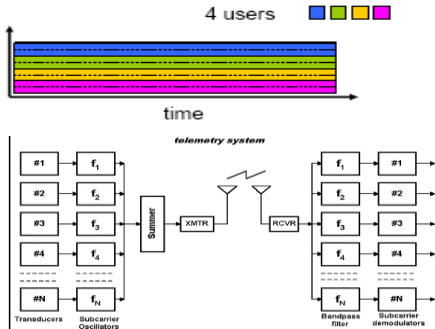


4. Το κινητό τηλέφωνο επαναχρησιμοποιεί τα ίδια κανάλια σε μη-διπλανές κυψέλες. Όσο μικρότερες οι κυψέλες, τόσο περισσότεροι μπορούν να συνομιλούν σε μια περιοχή.

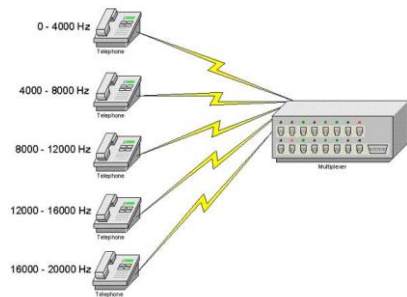
## Πολυπλεξία Συχνότητας (FDM)

- Η έννοια είναι να χρησιμοποιεί κανείς ημιτονοειδή κύματα ως φέροντα
- Κάθε φέρον διαμορφώνεται από ένα διαφορετικό σήμα χρησιμοποιώντας διαμορφώσεις AM, FM, PM, ή συνδυασμούς AM και FM ή AM και PM, όπως είναι η QAM
- Τα σχήματα διαμόρφωσης από τη φύση τους παράγουν ενέργεια μέσα στις χωριστές περιοχές του φάσματος που είναι είτε ή κοντά στις συχνότητες κάθε συχνότητας φέροντος
- Ζωνοπερατά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίσουν κάθε διαμορφωμένο σήμα
- Σχήματα ανίχνευσης χρησιμοποιούνται για να αναπαράγουν κάθε διαφορετικό σήμα

## Παραδείγματα FDM



## Αρχική FDM στην Τηλεφωνία



## Πολυπλεξία Χρόνου (TDM) – Βασικοί τύποι

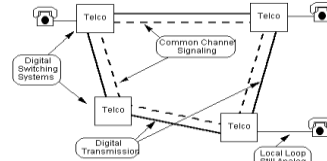
### 1. LANs and WANs: Μεταγωγή Πακέτων

LANs και WANs επιτρέπουν πολλές πηγές και προορισμούς να έχουν πρόσβαση σε κοινή δικτυακή υποδομή κατά τρόπο ανταγωνιστικό. Και τα δύο επιτρέπουν σε τεμάχια πιο μεγάλων ψηφιακών μηνυμάτων να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο και τα δύο στηρίζονται στις ενδιάμεσες συσκευές (π.χ. διακόπτες, δρομολογητές, κ.λπ...) για να ελέγξουν ή/και να κατευθύνουν τις πορείες που τα μηνύματα παίρνουν για τον προορισμό τους. LANs και WANs στηρίζονται συνήθως σε πολλά προγράμματα που τρέχουν στις τερματικές συσκευές — αποκαλούμενα **πρωτόκολλα** — για να εξασφαλίσουν την ακεραιότητα της μετάδοσης καθώς επίσης και για να ανιχνεύσουν και να διορθώσουν τα λάθη στη μετάδοση.

Στην περίπτωση των δικτύων μετάδοσης πακέτων πληροφοριών, πολλές ενδιάμεσες συνδέσεις νέμονται από ένα πακέτο τη φορά (**μεταγωγή πακέτου**) αλλά χρησιμοποιούνται από πολλούς χρήστες. Η διαδρομή που το πακέτο παίρνει είτε είναι στατική είτε μπορεί να είναι δυναμική. Αυτό είναι η βάση των X.25 και ATM δικτύων μεταγωγής κυκλώματος και του Διαδικτύου.

## Πολυπλεξία Χρόνου (TDM) – Βασικοί τύποι

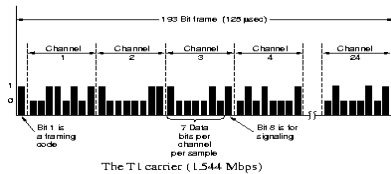
### 2. Μεταγωγή κυκλώματος:



Η επικοινωνιακή υποδομή – κάθε ανεξάρτητη σύνδεση - καταλαμβάνεται από έναν χρήστη κατά τη διάρκεια μιας συνόδου επικοινωνίας. Τέτοια σχήματα μεταγωγής κυκλώματος μπορούν να αφερώσουν το όλο μονοπάτι έως ότου ολοκληρωθεί το μήνυμα. Αυτή είναι η αρχή για τους τηλεφωνικούς κορμούς ή τις γραμμές των συνδρομητών. Το μονοπάτι μετάδοσης αφαιρώνεται έως ότου τελειώσει η σύνδεση. Ο καθένας πρέπει να περιμένει ή να πάρει μια άλλη πορεία εάν είναι διαθέσιμη δεδομένου ότι σε τέτοια σχήματα ένα τηλεφώνημα τη φορά χρησιμοποιεί το κύκλωμα.

## Πολυπλεξία Χρόνου (TDM) – Βασικοί τύποι

### 3. Διαμόρφωση πλάτους παλμών, (PAM) & διαμόρφωση κώδικα παλμών (PCM)



Με τα σχήματα PAM και PCM, τα δείγματα σημάτων ή τα ψηφιακά κωδικοποιημένα δείγματα διανέμονται σε "χρονοθυρίδες" μιας γραμμής επικοινωνίας. Αυτό είναι η βάση των Πολυπλεκτών Διαίρεσης Χρόνου (TDM Muxes) και πολλών συστημάτων τηλεφωνίας.

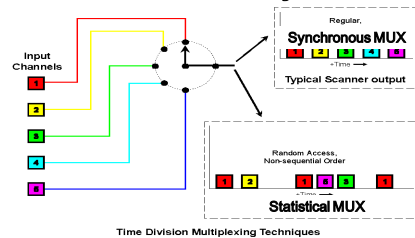
## Πολυπλέκτες Χρόνου

- Αναλογική διαμόρφωση πλάτους παλμών: δεν γίνεται καμία να κβάντιση ή ψηφιακή μετατροπή. Τα σχήματα PAM χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στα κέντρα τηλεφωνικής μεταγωγής και PBXs στη δεκαετία του '70 και αργότερα.
- Οι ψηφιακές μέθοδοι TDM περιλαμβάνουν το συνδυασμό των ψηφιακών σημάτων από τις διάφορες πηγές πάνω σε μια μόνο σύνδεση.
- Οι αρχικές χρήσεις των πολυπλεκτών TDM ήταν να επιτρέψουν τα χαμηλού ρυθμού δεδομένου απλά "τερματικά" να νέμονται ένα ομοαξονικό καλώδιο ή ένα συνεστραμμένο ζεύγος.
- Γενικά, τα τερματικά δεν παράγουν δεδομένα όλη την ώρα.
- Το σχήμα ελέγχου καθορίζει τους **δύο βασικούς τύπους** πολυπλεκτών TDM, **σύγχρονους** και **στατιστικούς**.

## Πολυπλέκτες Χρόνου

- Οι πολυπλέκτες είναι εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συγκεκριμένα μεταξύ των τερματικών σημείων μιας ψηφιακής σύνδεσης για να ελέγξει και να μορφοποιήσει τη νομή των σημάτων για να μοιραστούν το ψηφιακό μονοπάτι μετάδοσης.
- Θα ακούσετε επίσης τον όρο "mux" και για σύγχρονους και στατιστικούς πολυπλέκτη.
- Η αρχική χρήση "των mux" ήταν για πολλά τερματικά να μοιραστούν μια σύνδεση επικοινωνιών αποτελεσματικότερα.
- Οι σύγχρονους mux παρέχουν αποκλειστικές χρονοθυρίδες σε κάθε πηγή με ελάχιστη επιβάρυνση και καθυστέρηση.
- Χρονοθυρίδες των στατιστικών mux διαθέτονται όπως απαιτείται αντί να δίνονται μόνιμα σε κάθε τερματικό.
- Και στα δύο είδη mux, οι χρονοθυρίδες διαθέτονται στις ψηφιακές αναπαραστάσεις των δειγμάτων ή τα πλαίσια κάθε πηγής σημάτων κατά ένα κυκλικό τρόπο.

## Πολυπλέκτες



Η μέθοδος επιλογής και κατανομής των χρονοθυρίδων στους σύγχρονους και στατιστικούς πολυπλέκτες είναι διαφορετική. Η επιλογή των χρονοθυρίδων σε Synchron Mux καθορίζεται, σύμφωνα με το φυσική είσοδο στη συσκευή πολυπλεξίας. Ο STAT Mux διαθέτει τις χρονοθυρίδες ανάλογα τη ζήτηση. Το T-1 είναι ένα παράδειγμα ενός Sych Mux. Οι διαποδιαμορφωτές καλωδίων είναι ένα παράδειγμα STAT Mux.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Πολυπλεξία Χρόνου Πολλαπλής Πρόσβασης (TDMA)

### Time Division Multiple Access (TDMA)

Temporal Multiplexing -- Synchronous Telegraphy

Schematic allocation of subscriber channels within an assigned frequency band (range).

\*Σημειώστε ότι TDMA είναι "σύγχρονη τηλεγραφία" στο σύστημα T-1, αλλά τα κινητά τηλέφωνα TDMA λειτουργούν με στατιστικό σύστημα πολυπλεξίας.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 236

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Πολυπλεξία πολλαπλής πρόσβασης διαιρέσης κώδικα

(Code Division Multiple Access)

- Τεχνική Πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται με διάχυτο φάσμα
- Ξεκινάμε με τον ρυθμό D του σήματος των δεδομένων
- Ας το πούμε ρυθμό δεδομένων, bits/sec
- Σπάμε κάθε bit σε k bits σύμφωνα με κάποιο το σταθερό σχήμα συγκεκριμένο για κάθε χρήστη
- Που είναι ο Κώδικας χρήστη
- Το νέο κανάλι έχει ρυθμό kD bits/sec
- Π.χ. για k = 6, τρεις χρήστες (A, B, C) που επικοινωνούν με τη βάση λήψης R
  - ✓ Κώδικας για A = < 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1 > για το '1'
  - ✓ Κώδικας για B = < 1, 1, -1, -1, 1, 1, 1 > για το '1'
  - ✓ Κώδικας για C = < 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1 > για το '1'

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 237

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Παράδειγμα CDMA

Code Message "1101" Encoded

User A

User B

User C

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 238

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Εξήγηση CDMA

- Έστω ο A επικοινωνεί με τη βάση R
- Η βάση ξέρει τον κώδικα του A
- Υποθέστε ότι η επικοινωνία έχει ήδη συγχρονιστεί
- ο A θέλει να στείλει ένα 1
  - ✓ Στείλνετε το < 1, -1, -1, 1, -1, 1 >
  - ✓ Που είναι ο κώδικας του A
- ο A θέλει να στείλει 0
  - ✓ Στείλνετε το < -1, 1, 1, -1, 1, -1 >
  - ✓ που είναι το Συμπλήρωμα του κώδικα του A
- ο αποκωδικοποιητής αγνοεί τις άλλες πηγές κατά χρησιμοποίηση του κώδικα του A για να αποκωδικοποιήσει
  - ✓ Ορθογώνιοι κώδικες

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 239

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## CDMA για Άμεση Ακολουθία Διάχυτου Φάσματος(DSSS)

- N χρήστες που κάθε ένας χρησιμοποιεί διαφορετική ορθογώνια ακολουθία Ψευδοθορύβου PN
- Διαμόρφωση την ροή δεδομένων κάθε χρήστη
  - ✓ Χρησιμοποιώντας BPSK
- Πολλαπλασιάζετε με τον κώδικα διάχυσης του χρήστη

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 240

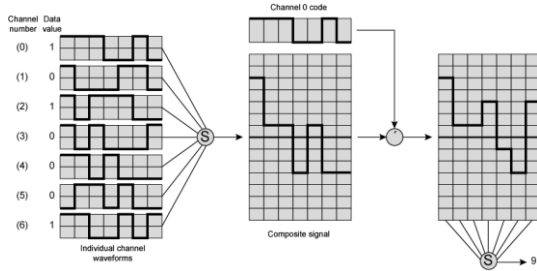
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## CDMA σε ένα περιβάλλον DSSS

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 241



## Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση επτά καναλιών CDMA

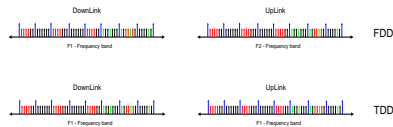


## Ορθογώνια Πολυπλεξία Πολλαπλής Πρόσβασης Συχνότητας και Χρόνου

### OFDMA/TDMA

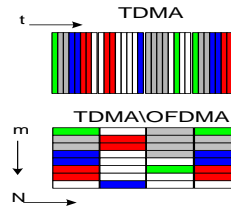
## Αρχή Αμφίδρομης μετάδοσης Duplexing

- FDD (Frequency Division Duplexing) Χρησιμοποιεί μια συχνότητα για την μια κατεύθυνση ( DownLink) και μια δεύτερη για την άλλη (Uplink).
- TDD (Time Division Duplexing) Χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα και για τις δύο κατευθύνσεις (Downlink και Uplink).
- Το σχήμα είναι το OFDMA/TDMA.



## Αρχή του OFDMA-TDMA

Χρησιμοποιώντας OFDMA/TDMA, τα υπο- κανάλια διατίθενται στην περιοχή συχνότητας, και τα σύμβολα OFDM διατίθενται στη χρονική περιοχή.

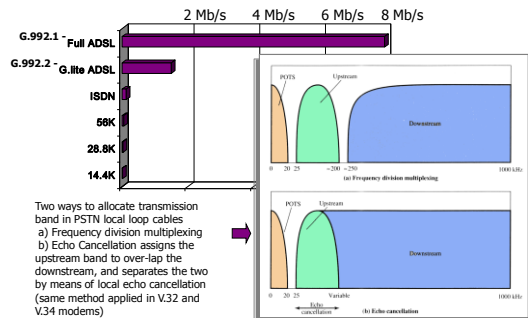


## Παράδειγμα - ADSL Κίνητρα / Ιδιότητες

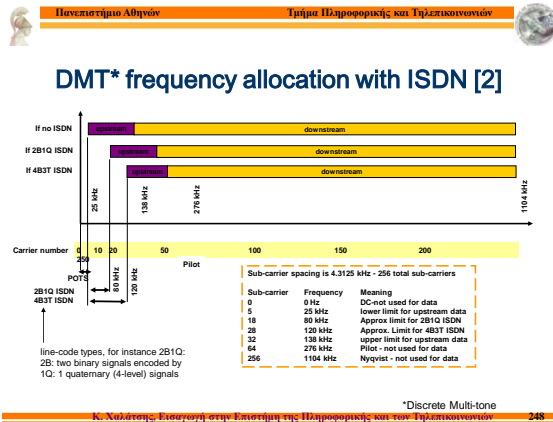
- Need for high-speed Internet access - Telephone modem have only moderate rates (56 kb/s) and cable modems have service problems if number of users is large
- ADSL Transmits high speed data to local loop by using unshielded 2-wire twisted pairs (often no repeaters required)
- DSL allows rates varying from 160 kb/s up to 100 Mb/s on down link (DL) depending on technology used!
- In the most popular commercial ADSL (G.992.1) maximum rate 640 kbit/s upstream and 8 Mb/s downstream
- Different xDSL techniques developed to serve symmetric and asymmetric traffic requirements and different rates (STM and ATM supported by G.992.1 ADSL)

STM-n: Synchronous Transfer Module (of SDH): DS-1,2: 1.544 Mb/s, 6.312 Mb/s  
 ATM: Asynchronous Transfer Mode  
 DL: Down Link - Down stream

## ADSL rates (DL) and channel frequency band allocation in local loop



Two ways to allocate transmission band in PSTN local loop cables  
 a) Frequency division multiplexing  
 b) Echo Cancellation assigns the upstream band to overlap the downstream, and separates the two by means of local echo cancellation (same method applied in V.32 and V.34 modems)



**ADSL modem technology**

The diagram shows the ADSL modem technology flow: Computer -> Interface and check -> Demod. Mod. (with Diagnostics) -> Line unit -> Line.

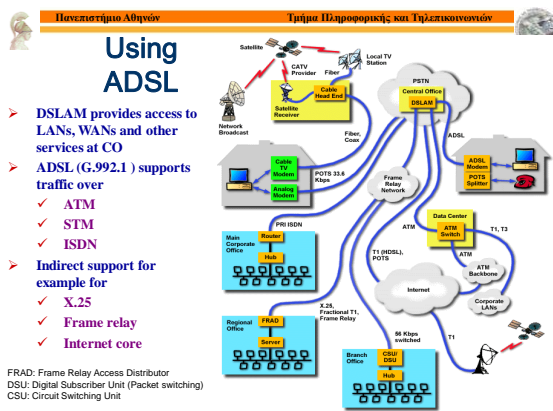
- ADSL provides fast point-to-point connections by modem (modulator/demodulator technology)
- All modems (including xDSL modems) have many common features
  - ✓ Analog parts
    - analog transmit and receiver filters
    - DAC, automatic gain control, ADC
  - ✓ Digital parts
    - modulation/demodulation, constellation mapping
    - coding/decoding (compensation/correction of transmission errors)
      - Reed-Solomon
      - Trellis
    - bit packing/unpacking (compressed transmission)
    - framing
    - interleaving
    - scrambling

**ADSL- modem technology (cont.)**

- xDSL modems apply also more advanced techniques:
  - ✓ Carrierless AM/PM (CAP) or QAM line codes (97% of USA installations apply this method)
  - ✓ Fast Fourier Transforms for Discrete Multi-Tone Modulation (DMT) - the dominant method
    - tone ordering -> water pouring bit allocations (adaptation to transfer function) & peak-to-average ratio (PAPR) decrease
    - channel equalization (tone-by-tone different rates)
    - guard intervals (adaptation to channel delay spread)

**Block diagram of an ADSL modem**

The diagram shows the OFDM Transmitter and Receiver paths. The transmitter path includes: Binary input -> Error correction coding -> Interleaving -> Modulation (QAM) -> Pilot insertion -> Serial to Parallel -> OFDM Transmitter. The receiver path includes: Binary Output -> Error correction coding -> Interleaving -> Demodulation (QAM...) -> Channel Estimation -> Parallel to serial -> OFDM Receiver. A tone ordering graph shows the distribution of bits across tones.



**Η Μηχανική της Τηλεπικοινωνιακής κίνησης**

Η μηχανική τηλεκίνησης καθορίζει το βέλτιστο αριθμό πόρων που απαιτούνται για να επιτύχουμε το απαιτούμενο επίπεδο υπηρεσιών.

Οι πόροι περιλαμβάνουν:

- Κορμούς διάδοσης
- κέντρα
- Κατανομή εύρους ζώνης

Η έννοια της μηχανικής τηλεκίνησης είναι βασισμένη στην υπόθεση μιας συγκεκριμένης στατιστικής κατανομής και ένα πρότυπο της συμπεριφοράς της απαιτούμενης χρήσης.

Κατόπιν οι υπολογισμοί γίνονται για να καθοριστούν το ποσό του ιδιαίτερου πόρου που απαιτείται.

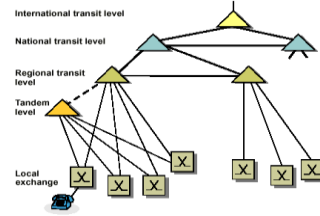
Αφορά και μεταγωγή κυκλώματος και μεταγωγή πακέτων

## Η Μηχανική Τηλεφωνικής Κίνησης

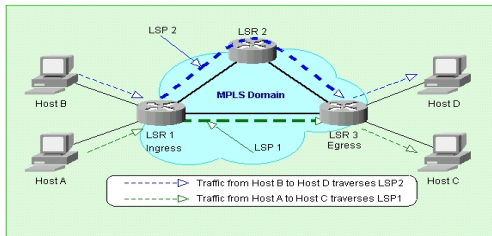
Για κορυφούς μεταγωγής κυκλώματος, πρέπει να γίνουν τα εξής:

- Μέτρηση της υπάρχουσας κίνησης σε ό,τι αφορά την κατανομή της σε ώρες απασχόλησης/ημέρες απασχόλησης/γεωγραφική κατανομή.
- Χαρακτηρισμός της κυκλοφορίας: ποιος είναι ο ρυθμός κλήσεων/, η διάρκεια συνόδου και το είδος της κίνησης.
- Πρόβλεψη του αναμενόμενου επιπέδου κίνησης: χρήση των υπάρχοντων χρονικών σειρών για την πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων βασιζόμενοι σε κάποια μέθοδο.
- Καθορισμός της σχέσης μεταξύ των πόρων και του επιπέδου υπηρεσιών: για αυτό χρειάζεται ένας τύπος ή ένα αξιόπιστο πρότυπο υπολογισμού.
- Καθορισμός της " ώρας απασχόλησης" και του αποδεκτού "βαθμού υπηρεσίας" κατά τη διάρκεια της

## Υπολογισμός της χωρητικότητας των κυκλωμάτων μεταγωγής



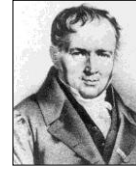
## Υπολογισμός της χωρητικότητας του δικτύου μεταγωγής πακέτων



## Μαθηματικά σχετικά με την Κίνηση – Simeon Poisson

Η εφαρμοσμένη μηχανική κίνησης, γενικά, είναι βασισμένη στη μελέτη τυχαίων γεγονότων.

Έχω έναν μέσο όρο 10 ταυτόχρονων κλήσεων τις 4 τελευταίες Τρίτες από 10 πμ έως 11 πμ. Ποια είναι η πιθανότητα ότι θα υπάρξουν περισσότερες από 12 ταυτόχρονες κλήσεις μεταξύ 10 πμ και 11 πμ την επόμενη Τρίτη;



Simeon Poisson  
(1781-1840)

Τα Μαθηματικά πίσω από την κλασική εφαρμοσμένη μηχανική κίνησης αναπτύχθηκαν από τον Poisson. Μελέτησε τρόπους χαρακτηρισμού τυχαίων γεγονότων. Δεν ενδιαφέρθηκε για τηλεφωνήματα δεδομένου ότι το τηλέφωνο δεν είχε ακόμη εφευρεθεί (εφευρέθηκε μετά από 37 έτη από τότε).

## Κατανομές

### Διωνυμική κατανομή (Binomial distribution)

Η διωνυμική κατανομή ισχύει όταν υπάρχουν δύο πιθανές εκβάσεις. Ξέρετε την πιθανότητα καθεμιάς έκβασης (παραδοσιακά αποκαλούμενες "επιτυχία" και "αποτυχία") και θέλετε να ξέρετε την πιθανότητα να πάρете ορισμένο αριθμό επιτυχιών σε ορισμένο αριθμό δοκιμών.

### Γκαουσιανή κατανομή (Gaussian distribution)

Η Γκαουσιανή κατανομή ισχύει όταν η έκβαση εκφράζεται ως κλασματικός αριθμός (μεταξύ 0 και 1). Εάν υπάρχουν πολυάριθμοι λόγοι για τους οποίους οποιαδήποτε ιδιαίτερη μέτρηση είναι διαφορετική από το μέσο όρο, η κατανομή των μετρήσεων θα τείνει να ακολουθήσει μια Γκαουσιανή κατανομή σε σχήμα *καμπάνας*. Εάν ξέρετε το μέσο όρο και τη *σταθερά απόκλισης* αυτής της κατανομής, μπορείτε να υπολογίσετε το μέρος του πληθυσμού που είναι μεγαλύτερο (ή λιγότερο) από οποιαδήποτε συγκεκριμένη αξία.

## Κατανομές

### Κατανομή Poisson

Η κατανομή Poisson ισχύει όταν μετράτε τον αριθμό αντικειμένων σε έναν ορισμένο όγκο ή τον αριθμό γεγονότων σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα —όπως τα τηλεφωνήματα. Ξέρετε το μέσο αριθμό των μετρήσεων, και επιθυμείτε να ξέρετε την πιθανότητα να παρατηρήσετε πραγματικά διάφορους αριθμούς αντικειμένων ή γεγονότων.

Η κατανομή Poisson είναι μια διακριτή κατανομή που παίρνει τις τιμές  $X = 0, 1, .2, 3, \dots$ . Χρησιμοποιείται συχνά ως πρότυπο για τον αριθμό γεγονότων (όπως ο αριθμός τηλεφωνημάτων σε μια επζείρηση ή ο αριθμός ατυχημάτων σε μια διασταύρωση) σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Είναι επίσης χρήσιμο στις οικολογικές μελέτες.

Όταν οι πιθανότητες είναι πολύ χαμηλές, κατόπιν η κατανομή Poisson γίνεται η ίδια με τη διωνυμική.

Ένας από τους τρόπους που μπορεί κανείς να πει εάν μια τυχαία συμπεριφορά είναι σύμφωνη με τις στατιστικές Poisson είναι όταν η κατανομή είναι σκεβρωμένη —παρά μια καμπύλη κουδουνιού.

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Κίνηση Erlang

Το 1909, ο Δανός Μαθηματικός Agner Krarup Erlang (1878-1929) στην τηλεφωνική εταιρεία της Κοπεγχάγης έλυσε το βασικό πρόβλημα στη σχεδίαση τηλεφωνικών δικτύων. Ο Erlang ανακάλυψε ότι τηλεφωνική κίνηση ακολουθεί μια κατανομή άφιξης Poisson και δημιούργησε μερικούς έξυπνους πίνακες από τους τύπους Poisson.

Εάν μπορείτε να υπολογίσετε το μέσο αριθμό κλήσεων που αναμένετε μέσα σε μια ώρα - μπορείτε να προβλέψετε την πιθανότητα ότι ο πραγματικός αριθμός σε μια μελλοντική ώρα θα υπερβεί τον αριθμό των διαθέσιμων γραμμών. **Οι πίνακες του Erlang επέτρεψαν στους μηχανικούς να καθορίσουν τον αριθμό γραμμών απαραίτητων να επιτρέψουν οποιαδήποτε απαιτούμενη πιθανότητα επιτυχίας στην πραγματοποίηση μιας κλήσης εάν οι στατιστικές των κλήσεων ήταν γνωστές.**

Συγκεκριμένα, ο Erlang έδωσε διάφορες εκδόσεις των πινάκων του — όλοι σχετικοί με τους διαφορετικούς τρόπους που οι άνθρωποι αντιδρούν όταν δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν μια κλήση, λόγω φόρτου του δικτύου.

Για τον μεγαλύτερο μέρος του 20ού αιώνα, ο τύπος Poisson χρησιμοποιήθηκε άμεσα ως βάση για την εφαρμοσμένη μηχανική κίνησης στις ΗΠΑ, αλλά οι μέθοδοι Erlang χρησιμοποιήθηκαν στην Ευρώπη από πιο φωτισμένους μηχανικούς κίνησης σε σχέση με αυτούς των ΗΠΑ.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 260

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Τύποι Erlang Τηλεφωνικής Κίνησης

- Οι πίνακες Erlang-B μας λένε πόσες γραμμές απαιτούνται εάν οι πελάτες εξαφανίζονται και δεν δοκιμάζουν ξανά να κάνουν κλήση μετά από μια αποτυχημένη προσπάθειά τους να κάνουν μια κλήση. Δηλαδή χρησιμοποιήστε το Erlang-B εάν νομίζετε ότι οι πελάτες όταν δεν μπορούν να πάρουν κατευθείαν, κλείνουν το τηλέφωνο. Αυτό είναι η συμπεριφορά που οι τηλεφωνικές επιχειρήσεις δεν θέλουν να συμβαίνει. Η τηλεφωνική επιχείρηση θα έχανε το εισόδημα για πάντα.
- Οι πίνακες Erlang-C είναι βασισμένοι στην υπόθεση ότι ο πελάτης όταν βρει την πορεία κλήσης κατελημμένη είτε περιμένει στη σειρά (με το χέρι ή αυτόματα συνεχίζοντας την προσπάθεια) ή περιμένει τουλάχιστον λίγο και να κάνει την κλήση αργότερα. Αυτός είναι εντάξει όσον αφορά την τηλεφωνική επιχείρηση δεδομένου ότι το εισόδημα δεν χάνεται. Φυσικά η καλή εξυπηρέτηση πελατών θα υπαγόρευε ότι αυτό δεν συμβαίνει πραγματικά συχνά, ειδικά τώρα που υπάρχουν περισσότερες από μια "τηλεφωνικές εταιρείες".

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 261

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Υποθέσεις Erlang κίνησης

- Οι πίνακες Erlang-B & Erlang-C ισχύουν για οποιαδήποτε κατανομή διάρκειας κλήσης.
- Ο ρυθμός κλήσεων ήταν σε ισχύ για πολύ πριν από την περίοδο που εξετάζεται. Αυτό αποδεικνύεται έγκυρο για τη "κανονική" τηλεφωνική κυκλοφορία όπου μια κλήση υπολογίζεται κατά μέσο όρο 5 λεπτά και είναι βραχεία όταν συγκρίνεται με μια περίοδο παρατήρησης 30 ή 60 λεπτών
- Για τους Erlang-C, περαιτέρω υποτίθεται ότι οι διάρκειες τηλεφωνήματος ακολουθούν συγκεκριμένα μια εκθετική κατανομή. Δηλαδή η πιθανότητα που η κλήση θα ολοκληρωθεί είναι ανεξάρτητη από τον πόσο χρόνο η κλήση είναι ήδη υπό εξέλιξη.
- Αυτή η απίθανη υπόθεση βρέθηκε για να είναι αληθινή στις αρχές της δεκαετίας του '90 και εκπλήσει ότι ισχύει ακόμα σήμερα για τις κλήσεις φωνής.
- Όμως, οι στατιστικές για κλήσεις δεδομένων —όπως τους τηλεφωνικούς διαποδιαμορφωτές, modems— είναι απόλυτος διαφορετικές.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 262

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Υπολογισμός κίνησης τηλεφωνικών κλήσεων

Ισχύει:  $A = C \times T$

Το A είναι η κυκλοφοριακή ροή. Το C είναι ο αριθμός κλήσεων που ξεκινούν κατά τη διάρκεια μιας περιόδου T ώρας, και το T είναι ο μέσος χρόνος διάρκειας μιας κλήσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το C είναι ο αριθμός κλήσεων που προσπαθούν οι χρήστες, όχι αυτές που πέτυχαν. Οι μηχανικοί κίνησης έπρεπε να εξορύξουν αυτές τις πληροφορίες δεδομένου ότι τα στοιχεία κλήσεων είναι συνήθως από την άποψη της επιτυχούς κίνησης και όχι της αιτήσεως. Φυσικά, και οι δύο αριθμοί θα ήταν πολύ κοντά εάν η πιθανότητα φραγής ήταν πολύ μικρή.

Ο χρόνος διάρκειας μιας κλήσης (T) πρέπει να αποτελείται το μέσο χρόνο που μια γραμμή είναι κατελημμένη και πρέπει να λαμβάνει υπόψη και άλλους παράγοντες εκτός από το μήκος μιας συνομιλίας. Αυτό περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτούνται για το σχηματισμό του αριθμού κλήσης, το κωδικοποίηση, το χρόνο να περατωθεί η κλήση, και μια μέθοδο υπολογισμού των για τα σήματα κατελημμένων και τις μη-ολοκληρωμένες κλήσεις. Η προσθήκη 10% έως 16% στο μήκος μιας μέσης κλήσης βοηθά τον απολογισμό για αυτά τα διάφορα τμήματα του χρόνου.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 263

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Μονάδα Erlang κίνησης

60 λεπτά κλήσεων = 3600 δευτερόλεπτα κλήσεων  
 = 36 εκατοντάδες δευτερολέπτων κλήσεων = 36 CCS  
**36 CCS = 1 Erlang of call traffic.**

Σκεφτείτε τις τηλεφωνικές γραμμές ότι γεμίζουν από κίνηση με τη σειρά. Δηλαδή, χρησιμοποιείται η πρώτη γραμμή, μετά η δεύτερη κ.ο.κ. πρώτος κορμό δευτέρος χρησιμοποιείται, έπειτα ' δεύτερος, κ.λπ.

Επομένως 1 Erlang είναι το ποσό κυκλοφορίας που μια γραμμή μπορεί να χειριστεί σε μια ώρα.

10 Erlangs απαιτεί 10 γραμμές.

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 264

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Κατανομή διάρκειας κλήσεων (για στρεβλωμένη κατανομή Poisson)

Number of calls with specified duration

Number of calls with specific durations over a period of time, which

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 265

## Το Internet αλλάζει τις κατανομές

Δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις κλασικές εξισώσεις εκεί όπου υπάρχει σημαντική κυκλοφορία Διαδικτύου. Οι πολύ μεγάλοι χρόνοι διάρκειας κλήσεων υπερβαίνουν τις 30 ή 60 μικρές περιόδους παρατήρησης.

1. Αυτό είναι μια βασική υπόθεση: η "θεωρία σταθερής κατάστασης".
2. Η εκθετική κατανομή (η βάση της θεωρίας αναμονής/ουράς) δεν ισχύει.

Εάν υπάρχει περιορισμένος αριθμός εισόδων, οι πρώτοι χρήστες θα τις πιάσουν χωρίς καθυστέρηση και οι επόμενοι θα πρέπει να περιμένουν. Η συμπεριφορά των χρηστών Διαδικτύου δεν προσαρμόζεται στα κλασικά πρότυπα των τηλεφωνικών συνδρομητών γραμμών εδάφους.

Η αύξηση της ζήτησης των υπηρεσιών του Διαδικτύου, όπως και αυτή της κινητής τηλεφωνίας με την επερχόμενη ζήτηση ευρυζωνικής πρόσβασης και της τηλεφωνίας πάνω από IP, έχει καταστήσει αμφισβητήσιμες τις κλασικές αναλύσεις κίνησης βασισμένες στους πίνακες Erlang.

## Τηλεφωνία πάνω από το internet Erlang και VoIP

•Ο σκοπός της εφαρμοσμένης μηχανικής κίνησης είναι να σχεδιαστεί επαρκής χωρητικότητα για την "ώρα αιχμής". Οι υποθέσεις είναι βασισμένες σε πολύ καλά κατανοητά σχήματα κλήσεων και μια προβλέψιμη αγορά. Οι μηχανικοί πρέπει επίσης να καταλάβουν τη «τυπική» συμπεριφορά πελατών.

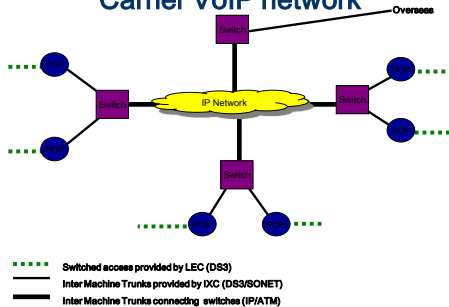
Όμως, ακόμη και στο παραδοσιακό μονοπώλιο μεταγωγής κυκλώματος, η χρήση των προτύπων Erlang-B ή Erlang-C ήταν περισσότερο μια τέχνη παρά επιστήμη.

•Η φωνή πάνω από IP, VoIP, στα δίκτυα δεδομένων και τον σχετικό εξοπλισμό μοιράζεται συχνά τις εγκαταστάσεις με σημαντική κίνηση.

• Τα ζητήματα «ποιότητα υπηρεσιών», QoS, γίνονται ζητήματα «κλάσεων υπηρεσιών»

•Η σηματοδότηση, η επίβλεψη, η τιμολόγηση, η ασφάλεια είναι όλες σημαντικές νέες απαιτήσεις για τη θεωρία και την πρακτική.

## Carrier VoIP network



## What about regular IP traffic?

IP traffic does not follow traditional rules

Does not have exponential holding time

Does not have Poisson arrival time

## Το μοντέλο Erlang-C δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καθυστέρηση πακέτων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η Erlang-C θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει την κυκλοφορία Διαδικτύου όπου θα υπήρχαν buffers σε κάθε δρομολογητή για να ομαλοποιούν την κυκλοφορία.

## Αυτο-όμοια κίνηση (Self-Similar traffic)

- Αυτό που εμφανίζεται είναι ριπές κίνησης με τη μορφή ενός αρχείου ή σελίδας του Web που μεταφέρονται πάνω στο δίκτυο.
- Όταν οι ερευνητές εξέτασαν αρχικά το σχήμα της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο IP, βρήκαν κάτι πολύ περίεργο που από μαθηματική άποψη καλείται Self-Similar κυκλοφορία
- Αυτό σημαίνει είναι ότι η κατανομή κίνησης φαίνεται η ίδια για οποιαδήποτε κλίμακα την κοιτάτε.
- Στην πραγματικότητα, σημαίνει ότι καμία από τις παραδοσιακές εξισώσεις εφαρμοσμένης μηχανικής δεν έχει οποιαδήποτε σχέση.

## Η Μηχανική κίνησης στον αιώνα του IP

Σήμερα δεν υπάρχει εύκολος τρόπος.....

για να χαρακτηρίσει κανείς  
την κυκλοφορία  
ή  
για να κάνει  
υπολογισμούς χωρητικότητας  
σε σχέση με  
το επίπεδο υπηρεσιών

## Πως υπολογίζεται σήμερα, λοιπόν, το μέγεθος των IP συστημάτων;

- Οι μελετητές σας λένε:
  - ✓ να μετρήσεις τη μέγιστη κατάληψη σε όλους τους συνδεδεμένους
    - Με τη χρησιμοποίηση 5λέπτιων μέσων όρων
  - ✓ εάν η μέγιστη χρήση υπερβαίνει 50%
    - Πρόσθεσε περισσότερη χωρητικότητα
- Εγκατέστησε πρωτόκολλα για να εξασφαλίσεις ποιότητα υπηρεσιών, QoS
  - ✓ εγγυηθείτε ότι ορισμένα ρεύματα όπως VoIP παίρνουν προνομιακή μεταχείριση
  - ✓ εξασφαλίστε ότι καμία πηγή δεν μπορεί να κατακλύζει το δίκτυο με πακέτα πέρα από ένα ποσοστό.

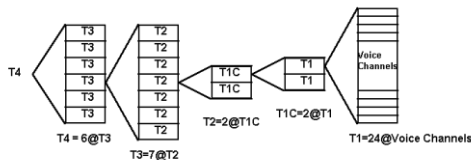
## Τηλεπικοινωνιακές Ζεύξεις

- Από πλευράς τοπολογίας διακρίνονται σε:
  - ✓ Απλές ζεύξεις
  - ✓ Πολυσημειακές ζεύξεις
  - ✓ Δίκτυα
- Από πλευράς τεχνολογίας διακρίνονται σε:
  - ✓ 1ης γενεάς, ζεύξεις χαλκού (ή καλλίτερα όχι ίνας)
  - ✓ 2ης γενεάς, ζεύξεις όπου η ίνα αντικατέστησε τον χαλκό, χωρίς αλλαγή της αρχιτεκτονικής
  - ✓ 3ης γενεάς, ζεύξεις ίνας με νέες αρχιτεκτονικές

## Ζεύξεις 2ης γενεάς

- T-1,
  - DS-1
  - SONET
  - SDH
- Σε όλα τα παραπάνω συστήματα ζεύξεων η βασική πλαισιοθυρίδα είναι των 125μsec (προέρχεται από την κλασική τηλεφωνία όπου για την φωνή χρησιμοποιείται ρυθμός δειγματοληψίας 8000 δείγματα/sec)

## T-1 ΙΕΡΑΡΧΙΑ



## Η ιεραρχία του T-1 Φέροντος

Το ψηφιακό σήμα είναι ένα TDM-PCM 1.544 Mbps ανεξάρτητα από το μέσο που χρησιμοποιείται για να φέρει το σήμα. Η αναφορά T-1 ως DS1 ακούγεται συχνά στη βιομηχανία. Για διευκρίνιση, T-1 είναι το πρώτο επίπεδο του συστήματος T-φορέων. DS1 είναι το πολυπλεγμένο ψηφιακό σήμα, πρώτο επίπεδο, που φέρεται μέσα στον T-φορέα.

DS1C	Two DS1's
DS2	Four DS 1 's multiplexed together
DS3	28DS1's
DS4/NA	Three DS3's
DS4	SixDS3's

## T-1 / DS-1 Ρυθμοί

### ANSI T1.107 Rates

Designator	Capacity	Equiv. DS1	Equiv DSO
DS0	64	-	1
DS1	1,544	1	24
DS1C	3,152	2	48
DS2	6,312	4	96
DS3	44,736	28	672
DS4/NA	139,264	84	2,016
DS4	274,176	168	4,032

## SONET και SONET Ιεραρχία

Σύστημα βασισμένο σε οπτικές ίνες

- Αρχίζει με βασικό ρυθμό 51,84 Mbps που καλείται OC-1 με τα πολλαπλάσια OC-n αυτού του ρυθμού
- Πολύ απλούστερο από τον T-φορέα για να διαχωρίσει τα μεμονωμένα κανάλια του OC

Table 8.4 SONET/SDH Signal Hierarchy

SONET Designation	ITU-T Designation	Data Rate	Payload Rate (Mbps)
STS-1/OC-1	STM-0	51.84 Mbps	50.112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155.52 Mbps	150.336 Mbps
STS-9/OC-9		466.56 Mbps	451.008 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622.08 Mbps	601.344 Mbps
STS-18/OC-18		933.12 Mbps	902.016 Mbps
STS-24/OC-24		1,244.16 Gbps	1,202,688 Gbps
STS-36/OC-36		1,866.24 Gbps	1,804,032 Gbps
STS-48/OC-48	STM-16	2,488.32 Gbps	2,405,376 Gbps
STS-96/OC-96		4,876.64 Gbps	4,810,752 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9,953.28 Gbps	9,621,504 Gbps
STS-768	STM-256	39,813.12 Gbps	38,486,016 Gbps
STS-3072		159,252.48 Gbps	1,539,406.4 Gbps

## Ιεραρχία SONET

Table 1. SONET Hierarchy

Signal	Bit Rate	Capacity
STS-1, OC-1	51,840 Mb/s	28 DS1s or 1 DS3
STS-3, OC-3	155,520 Mb/s	84 DS1s or 3 DS3s
STS-12, OC-12	622,080 Mb/s	336 DS1s or 12 DS3s
STS-48, OC-48	2,488,320 Mb/s	1,344 DS1s or 48 DS3s
STS-192, OC-192	9,953,280 Mb/s	5,376 DS1s or 192 DS3s
STS-768, OC-768	39,813,120 Mb/s	21,504 DS1s or 768 DS3s

STS = Synchronous Transport Signal

OC = Optical Carrier