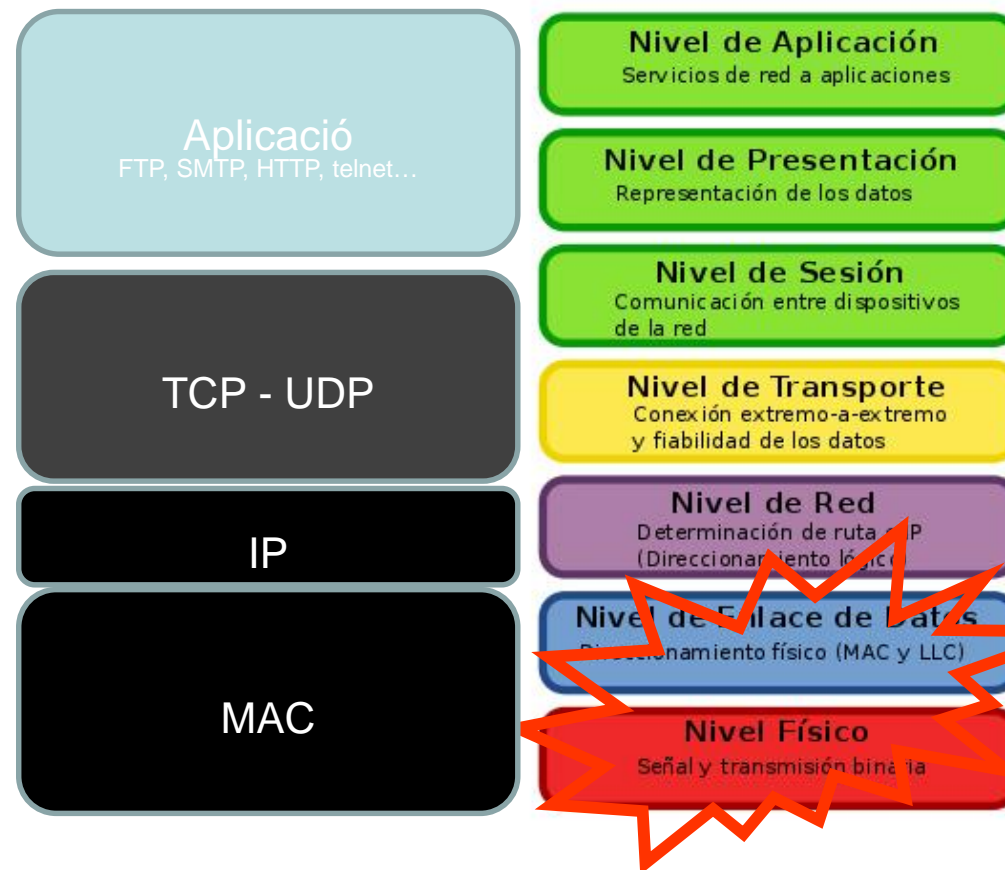


# La capa MAC



# 1. Introducció

Actualment hi ha una gran diversitat de sistemes de comunicacions digitals de dades i veu:

## -Telefonia digital

- Telefonia digital fixa RDSI (ISDN), xDSL
- Tecnologia i estàndars de comunicació sense fil
  - 3G
  - 4G
  - 5G

## -Radioenllaços terrestres

...

# 1. Introducció

altres sistemes digitals de dades

- Xarxes personals (PAN)
  - a) Bluetooth
- Xarxes d'ordinadors d'àrea local (LAN)
  - a) Wi-Fi
  - b) Ethernet
- IoT i M2M
- Xarxes d'accés (WAN)
  - a) xDSL
  - b) HFC ("cable")
  - c) Serveis de TV: TDT, DVB-x
  - d) Radioenllaços i Satèl·lit (again)
- Xarxes de comunicacions nacionals i internacionals
  - a) DWDM
- Comunicacions via satèl·lit

# 1. Introducció

La majoria dels protocols de comunicacions contenen als nivells inferiors algun tipus d'especificació definida normalment per (Institute of Electrical & Electronics Engineering) IEEE

Aquest tipus d'especificació ve associada al tipus de medi on es farà la comunicació, tipus de transmissió/recepció, tipus de dispositius, com s'empaquetaran les dades...

És el que es coneix com capa MAC

# 1. Introducció

Exemples de protocols MAC:

Ethernet => IEEE 802.3

WiFi => IEEE 802.11

Bluetooth => IEEE 802.15.1

WIMAX => IEEE 802.16

Xarxes Àrea Metropolitana => IEEE 802.6

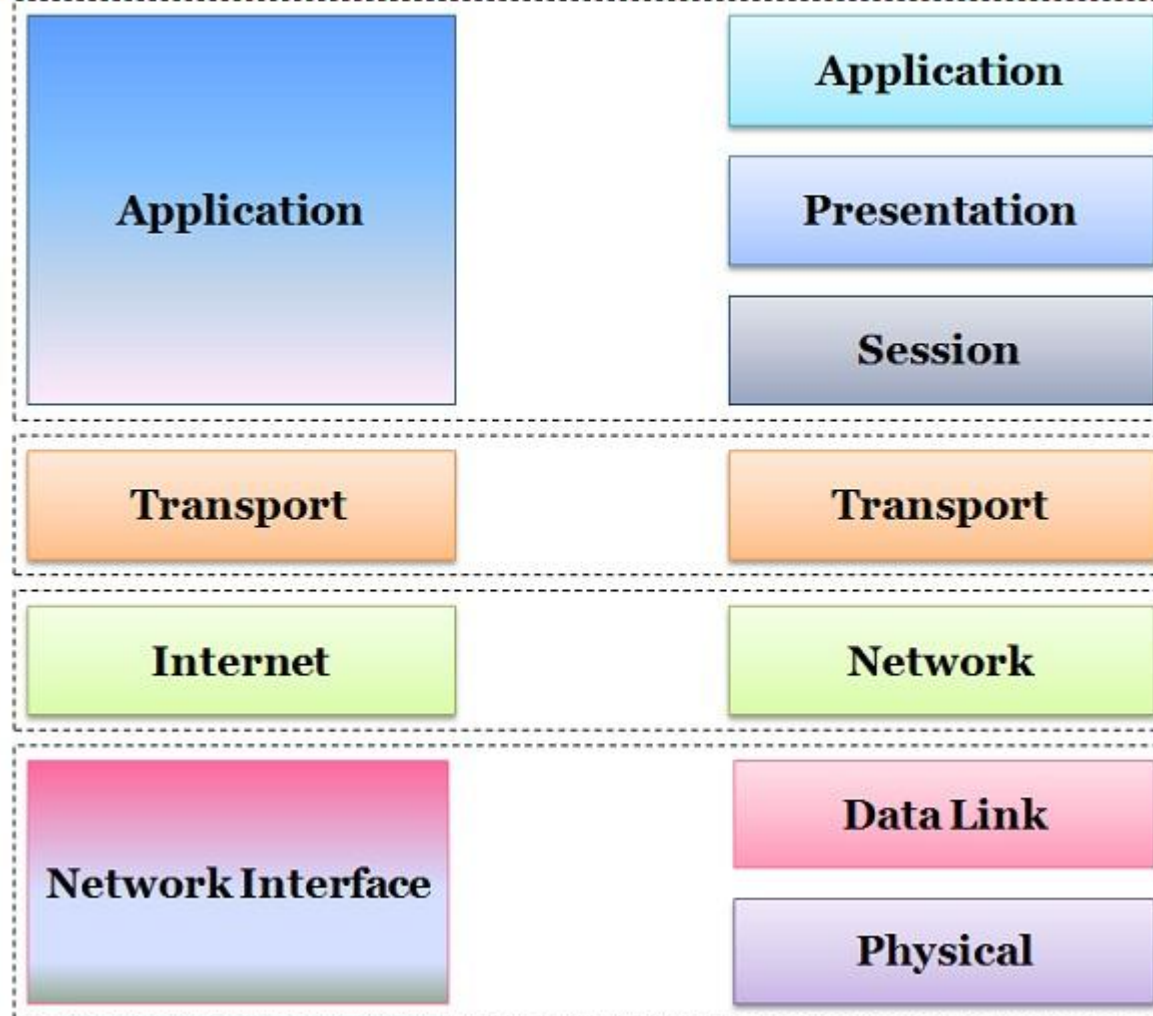


## MAC

Formació de la trama, control d'errors,  
Adreses origen i destí...

Transmissió de les dades, codificació,  
ample de banda, BER...

## TCP/IP MODEL Vs OSI MODEL

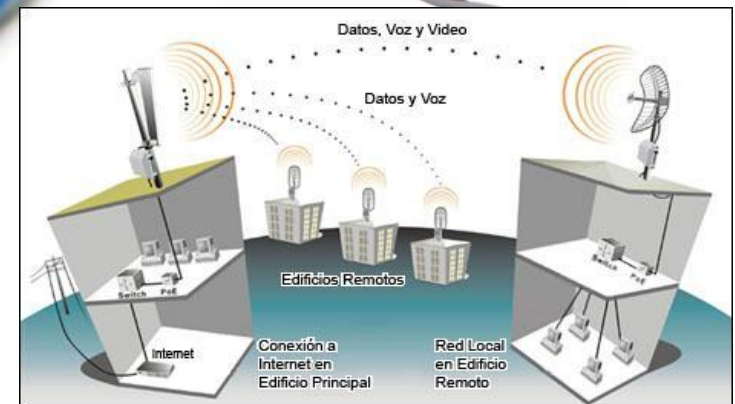


# 1. Introducció

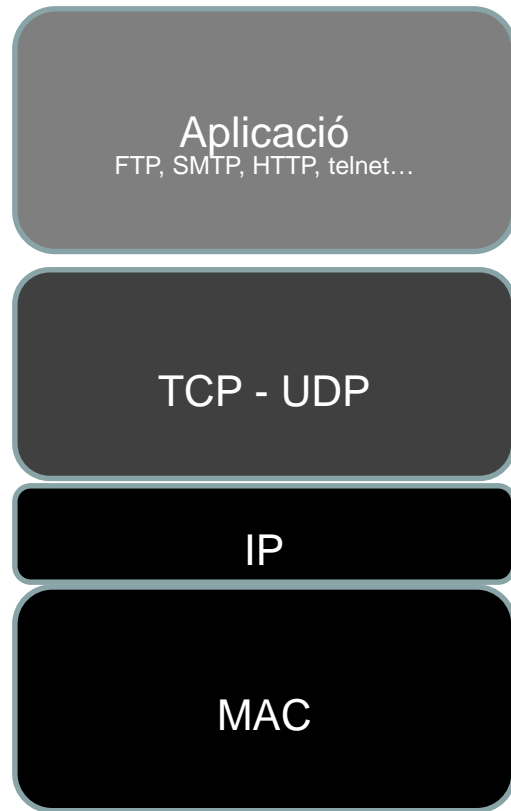
## MAC

Formació de la trama, control d'errors,  
Adreses origen i destí...

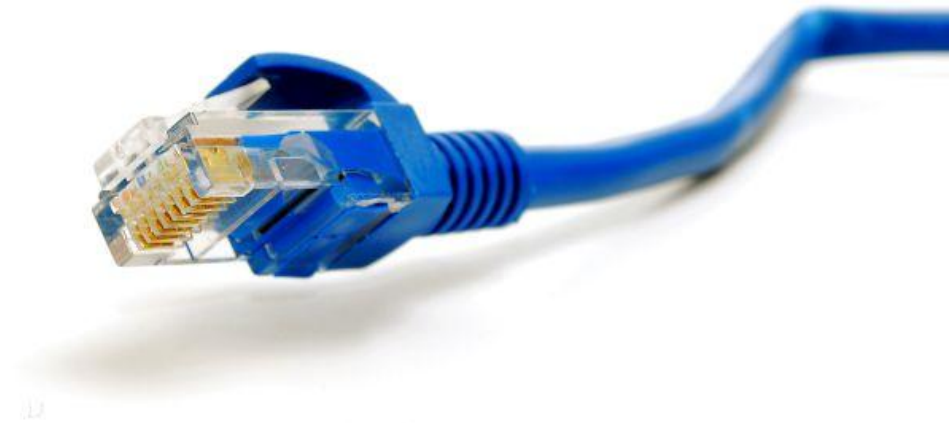
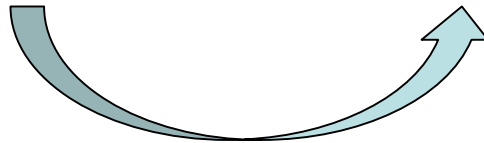
Transmissió de les dades, codificació,  
ample de banda, BER...



# 1. Introducció



LA CAPA FÍSICA





# 1. Introducció: Primers conceptes

## **Pregunta:**

-Què ha de fer la capa física??

## **Resposta:**

- Controla el medi físic de transmissió (com funciona, què fer, ...)
- Permetre la transferència de dades al canal  
(disponibilitat, ...)
- Vigilar que no es canviï la informació enviada

## **Pregunta:**

-Què és el medi de transmissió??

## **Resposta:**

-És el sistema (material o no) per on viatja la informació que transmetem.

## **Pregunta:**

-Què és un enllaç?

## **Resposta:**

-És el conjunt de *Transmissor*, *Receptor* i *Medi* per on es transmet informació.

## 2. Classificació enllaços

Un enllaç és, el conjunt de *Transmissor*, *Receptor* i *Medi* per on es transmet informació.

Els enllaços es poden classificar com:

a) **Directe** vs. **Indirecte**

El senyal es propaga entre emissor i receptor sense dispositius intermitjos que no siguin amplificadors de senyal o repetidors per augmentar la potència

El senyal pateix algun tipus de modificació i cal que sigui regenerat

## 2. Classificació enllaços

### b) Punt a punt vs. Multipunt (dedicat)

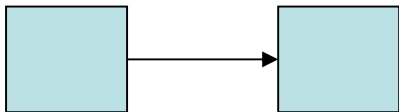
Dos únics equips que comparteixen l'enllaç

Diferents equips que comparteixen el mateix enllaç (difusió)

### c) En funció del sentit en que viatja la informació

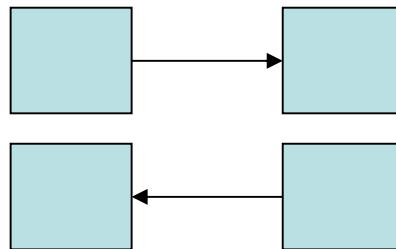
#### *Simplex*

Sentit únic de transmissió



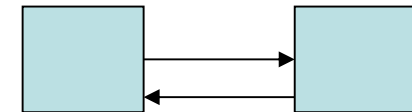
#### *Half duplex*

canal bidireccional, només un extrem cada vegada



#### *Duplex*

canal bidireccional. Poden transmetre simultàniament



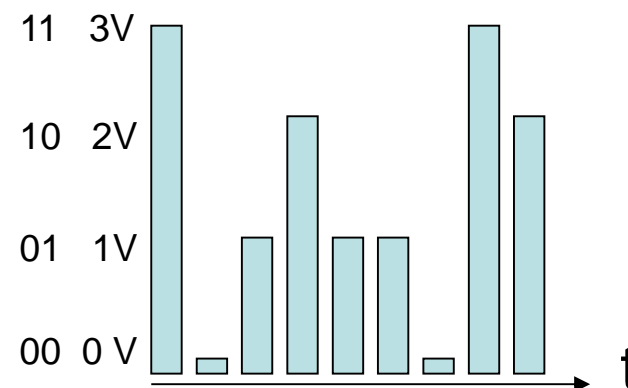
### 3. Ample de banda / Velocitat de Transmissió

Les dades amb les que ens podem trobar són:

- Continues o discretes* (veu .vs. senyal binari)
- Periòdic vs. Aperiòdic*

Velocitat de transmissió:  $\text{bps}$  *bits per second*  
 $\text{bauds}$  *simbols per second*

Si  $v = 1$  baud, amb aquesta  
codificació  $\longrightarrow$  2 bps



### 3. Ample de banda / Velocitat de Transmissió

-En el cas de un senyal binari, el nombre de nivells de tensió ( $N_{iv} = 2$ ) correspon a  $n_{bits} = 1$ , per tant, la vel. en bauds és igual a la vel. en bps

$$V_{TRX} [bps] = V_{TRX} [bauds] \times n_{bits} = V_{TRX} [bauds] \times \log_2 N_{iv}$$

-Si tenim 256 nivells ( $N_{iv}$ ), i la velocitat és de 8 bps, tindrem  $2^8 = 256$  i per tant 1 baud.

**Ample de Banda:** Rang de freqüències on està compresa la major part de l'energia d'un senyal.

Un senyal quadrat (digital) té un rang espectral infinit. Sol seleccionar-se només la part més significativa del rang de freq., rebutjant aquelles que tenen menor energia

### 3. Ample de banda / Velocitat de Transmissió

#### Relació entre l'ample de banda i la velocitat de transmissió

-La velocitat a que podem transmetre no pot ser tan elevada com vulguem. Ha de respectar uns límits imposats per l'ample de banda (BW) [Hz] que disposem.

$$V_{\text{TRX}} [\text{bps}] = 2 \text{ BW} \times n_{\text{bits}} = 2 \text{ BW} \times \log_2 N_{\text{iv}}$$

on N és el nombre de nivells discrets que disposem. Una codificació amb 2 bits ( $n_{\text{bits}} = 2$ ) implicaria una  $N_{\text{iv}}$  de 4.

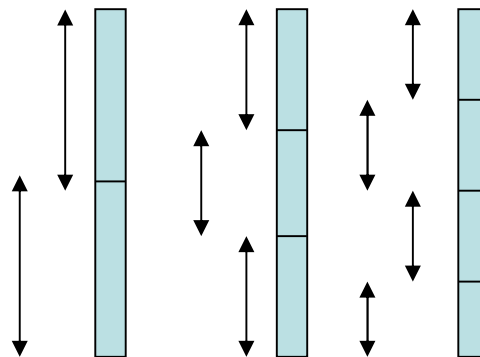
W és l'ample de banda del filtre passa-baixos amb el que es filtra el senyal (en Hz), senyal que per tant pot ser recuperada prenen un mínim de 2 BW mostres per segon (T. de Nyquist)

## 4. Intro al Soroll

Teòricament, la taxa de transferència que podem introduir per un canal es pot augmentar tant com volem incrementant el nombre de bits amb els que fem la codificació

$n_{\text{bits}}$	$N_{\text{iv}}$	$V_{\text{TRX}}$ [bps]
1	2	1 Mb/s (inicial)
3	8	3 Mb/s
4	16	4 Mb/s
...		

Marge de soroll



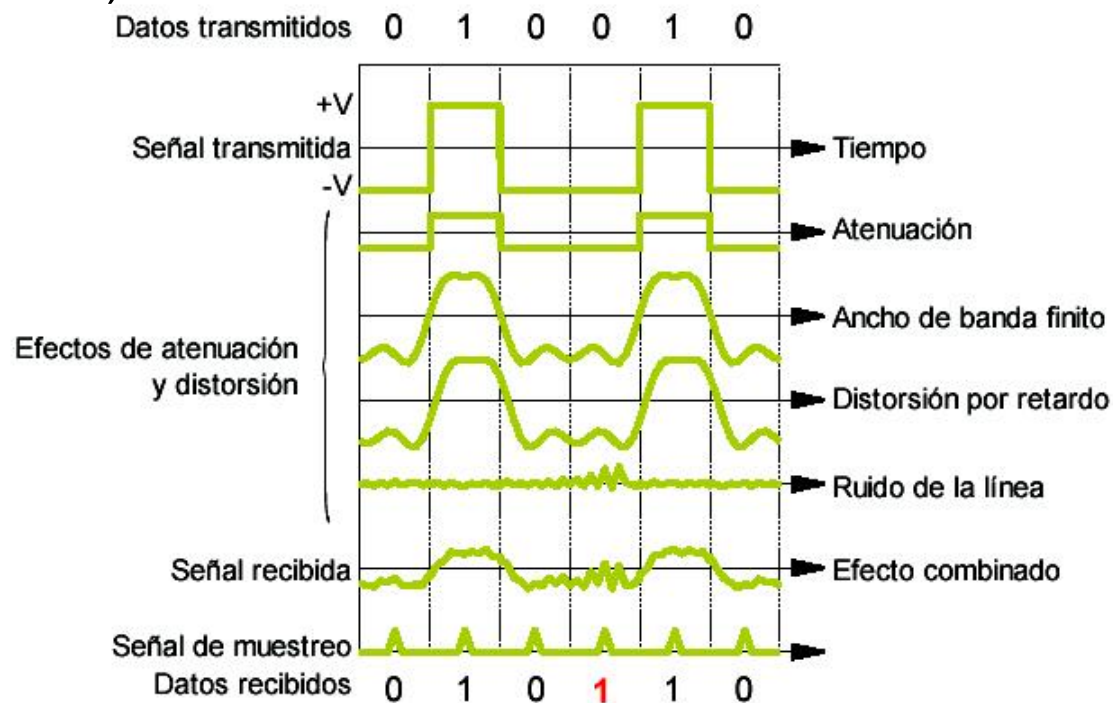
Aquí tenim la limitació!!

## 5. Teorema de Shannon

**Shannon** relaciona la tasa de transferència màxima sense errors i l'ample de banda per a un canal amb soroll gaussià

$$V_{\text{TRX}} [\text{bps}] = \text{BW} \log_2(1 + S/N)$$

on  $S$  és la potència del senyal  $[W]$  i  $N$  és la potència del soroll  $[W]$  al canal ( $S/N = \text{SNR}$ ). AQUESTA EXPRESSIÓ ENS INDICA EL LÍMIT MÀXIM





## 5. Soroll / Teorema de Shannon (exemple 1)

### Exemple 1

L'espectre d'un canal es troba entre 3 i 4 MHz. Tenim una SNR = 24dB. Suposant que podem arribar al límit teòric, quants nivells de senyalització necessitarem?

Recordeu el pas de Potència a dB

$$x/y_{[\text{dB}]} = 10 \log_{10} (x/y_{[\text{W}]})$$

## 5. Soroll / Teorema de Shannon

Tenim 4 tipus de soroll que poden afectar el senyal:

**1.- Tèrmic:** *És uniforme en l'espectre, proporcional a la temperatura i no és possible d'eliminar.*

Pot modelar-se de la següent forma (Johnson):

$$N_T [\text{watt}] = n_{T0} \times BW = K_B T \times BW$$

on  $K_B$  : ct. de Boltzmann  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K

$T$  [K] : temperatura absoluta

$BW$  [Hz] : Ample de banda

Una forma més còmoda d'expressar-ho és:

$$N_T(\text{dB}_W) = -228.6 \text{ dB}_W + 10 \log T + 10 \log BW$$

## 5. Soroll / Teorema de Shannon

El coeficient  $E_b/n_{T0}$

$E_b$  : energia del senyal per bit

$n_{T0}$  : densitat de potència de soroll per Hz ( $= K_B \cdot T$ )

- Paràmetre relacionat amb la SNR més adequat per relacionar la taxa d'error i la velocitat de transmissió.

- Coneguda la potència de transmissió ( $P$ ) i el temps de bit ( $t_b$ )

$$E_b/n_{T0} = P \cdot t_b/n_{T0}$$

- Però  $t_b = 1/V_{TRX}$ , on  $V_{TRX}$  és la velocitat de transmissió del senyal (en bps)

$$E_b/n_{T0} = P \cdot t_b/n_{T0} = P / (K_B T V_{TRX})$$

## 5. Soroll / Teorema de Shannon (exemple 2)

### Exemple 2

Una modulació usual en sistemes de comunicacions és la coneguda com codificació digital binària o PSK (Phase Shift Keying). La modulació bàsica **codifica un bit per símbol**.

Volem una probabilitat d'error en un bit =  $10^{-4}$  (BER, un bit erroni cada 10.000) i, per aconseguir-ho, es necessita una energia de senyal per bit ( $E_b$ ) respecte a la potència de soroll per Hz ( $n_{T0}$ ) de 115 dB.

Si la temperatura efectiva és de 20°C i la velocitat de transmissió és de 2400 bps, quina és la potència necessària del senyal emès? Amb 1 mW tindríem prou?

## 5. Soroll / Teorema de Shannon

**2.- Intermodulació:** Es detecta quan el sistema de transmissió és no lineal. Provoca l'aparició de noves freqüències que sumen o resten amb les originals o be donen lloc a components freqüencials que no existien i que distorsionen el senyal.

**3.- Diafonia:** El senyal d'una línia s'acobla a una altra línia propera distorsionant el senyal que circula per aquesta.

**4.- Soroll Impulsiu:** Pics de soroll no predicible i difícil de modelar. Afecta notablement el senyal.

## 5.1 Distorsió del senyal

1. La velocitat de propagació del senyal a través d'un medi depèn de la seva freqüència
2. Això provoca diferències de velocitat entre les ones d'un paquet
3. El resultat final és una modificació de la ona rebuda
4. Això pot afectar la mesura de determinats símbols en el que es coneix com INTERFERÈNCIA INTERSIMBÒLICA

## 5.1 Distorsió del senyal

### DIAGRAMA D'ULL

Senyal 11010

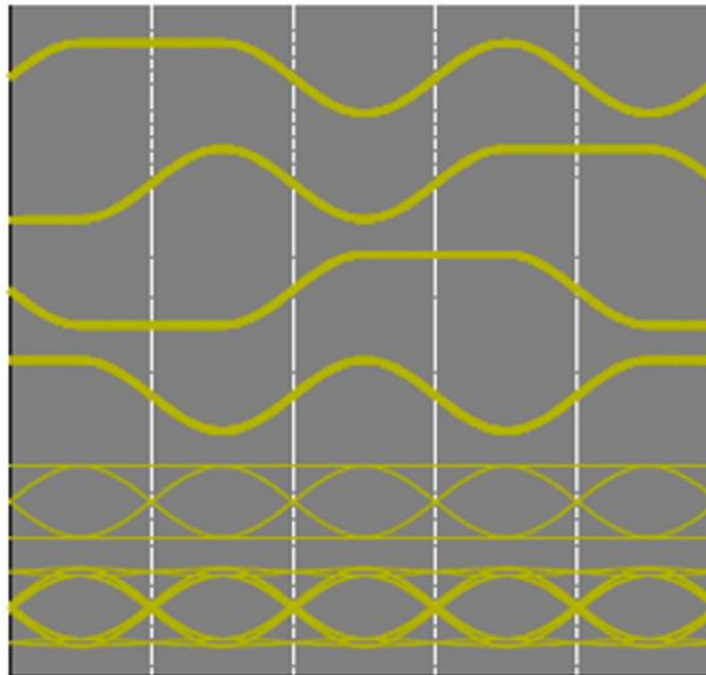
Senyal 01011

Senyal 00110

Senyal 10101

Diagrama d'ull ideal

Diagrama d'ull real



## 6. Medis de transmissió de la informació

### Medis de transmissió de la informació

1.- És el canal físic utilitzat per transmetre les dades d'un *emissor* cap a un *receptor*.

2.- Distingim entre guiats i no guiats

**a) Medi guiat:**

- i) cable elèctric, bifilar
- ii) parell trenat (STP, UTP)
- iii) coaxial
- iii) F.O.

**b) Medi no guiat:**

- i) Aire/Buit



## 6. Medis de Transmissió: Ample de banda finit

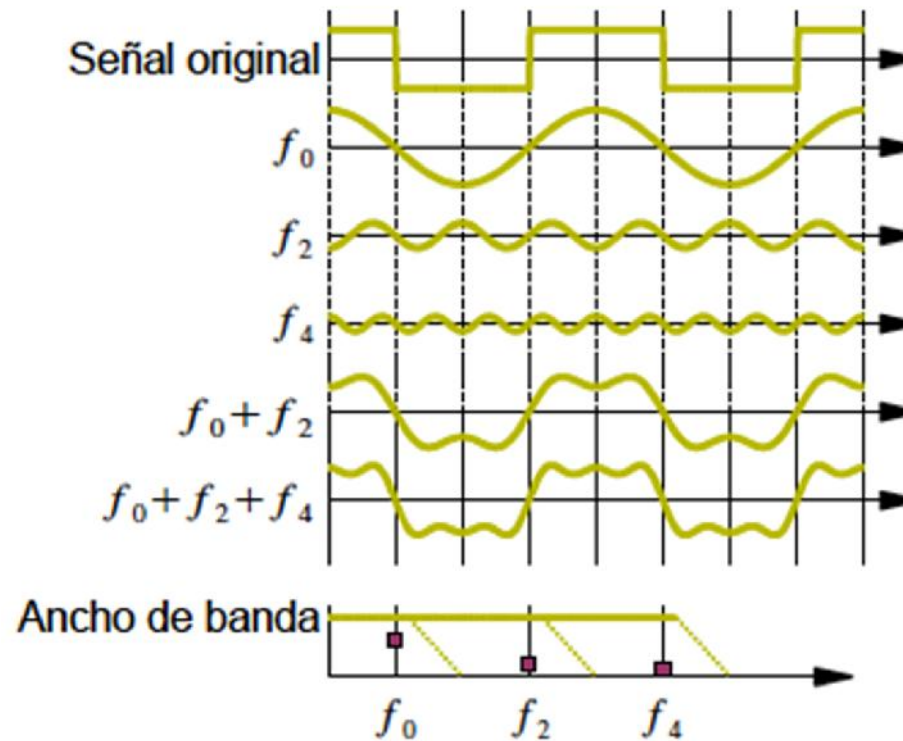
1. Indica el conjunt de freqüències que el canal pot transmetre sense atenuació
2. Tot senyal es pot descompondre en components sinusoidals
3. El procés que es segueix per obtenir-les és la transformada de Fourier
4. Les fórmules associades són:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$F^{-1}[F(\omega)] = f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

## 6. Medis de Transmissió: Ample de banda finit

Exemple: Senyal quadrat



## 6. Medis de transmissió de la informació

### i) Cable elèctric. Cable bifilar

- És el medi més senzill
- Utilitza dos cables paral·lels aïllats entre si
- Transmet informació mitjançant un canvi de tensió
- ... o canvis de corrent.
- *Molt susceptible al soroll electromagnètic*



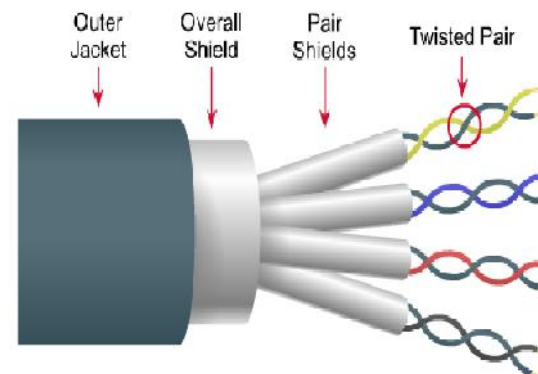
## 6. Medis de transmissió de la informació

### ii) Parell trenat

- Presenta els cables trenats cosa que incrementa la immunitat al soroll electromagnètic
- En funció del soroll que hi ha al medi, tenim dos tipus de parells trenats comercials:

#### a) **STP** (shielded Twisted Pair)

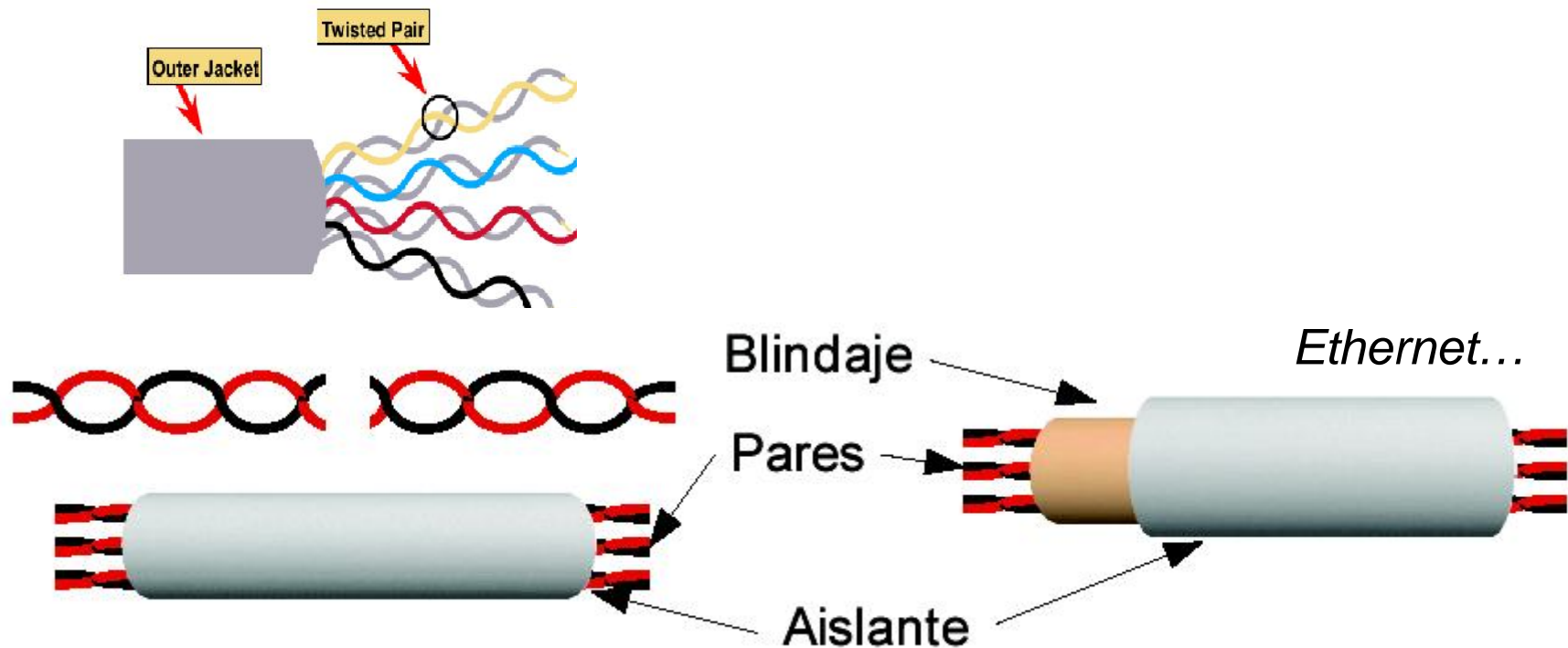
- Està format per 4 parells de cables trenats.
- Cada parell trenat està apantallat
- Es torna a apantallar els 4 parells trenats conjuntament



## 6. Medis de transmissió de la informació

### b) **UTP** (Unshielded Twisted Pair)

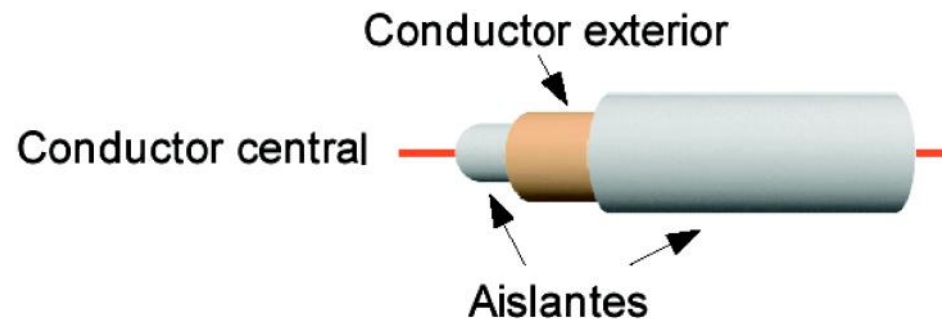
- Format per 4 parells de cable trenat
- No hi ha apantallament individual
- Hi ha un apantallament dels 8 cables



## 6. Medis de transmissió de la informació

### iii.- Cable coaxial

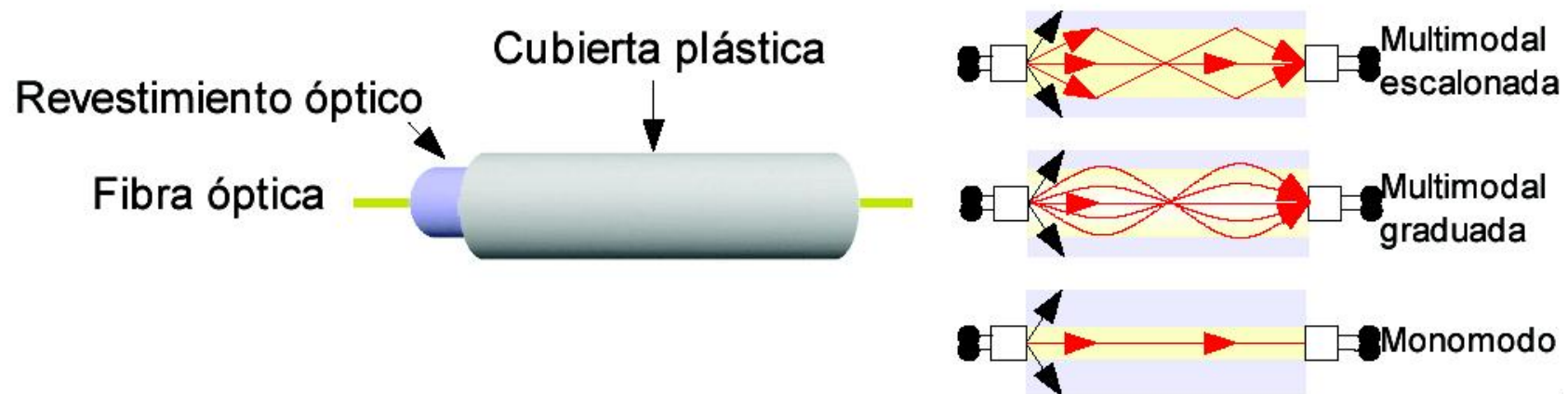
- Permet gran velocitat i *llargues distàncies*
- Immunitat al soroll extern*
- És el primer medi utilitzat per xarxes
- Actualment no es fa servir per LAN's
- La seva utilitat actual és el de les xarxes HFC



## 6. Medis de transmissió de la informació

### iv.- Fibra Òptica

- Immunitat al soroll molt elevada*
- Increment de la taxa de transmissió notable*
- Actualment s'arriba a velocitats de transmissió superiors a 2.4 Gb/s (SDH)



# Examples of Channels



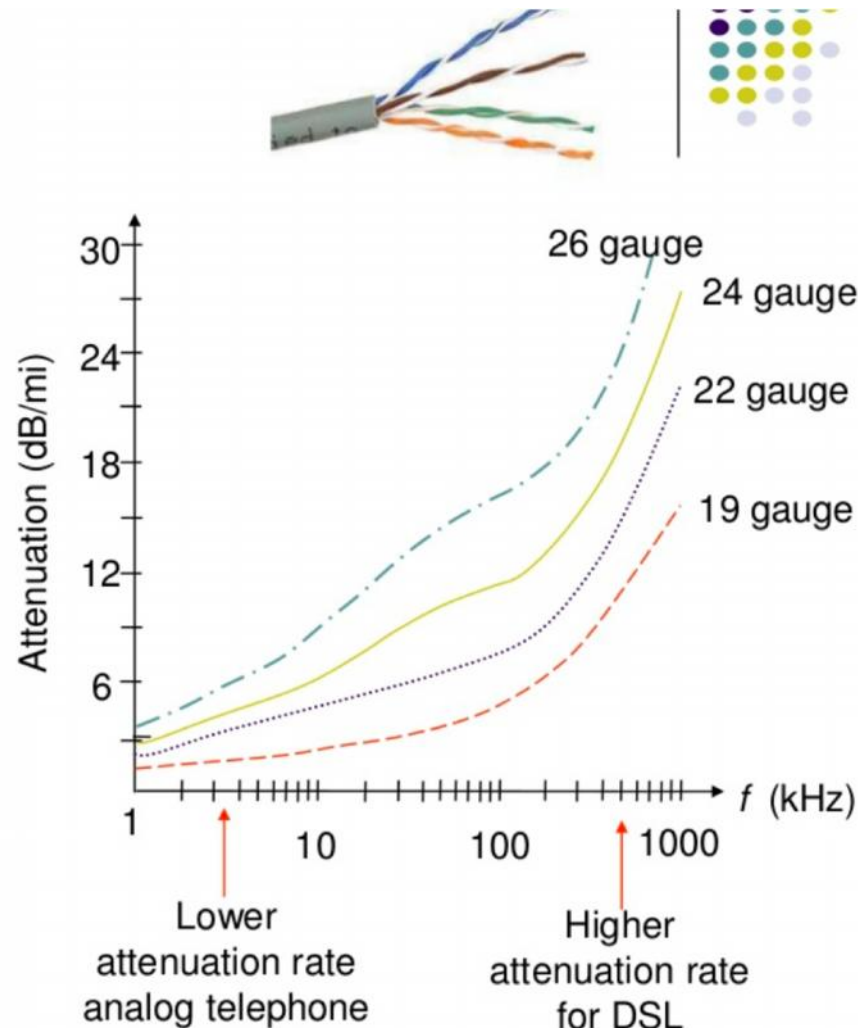
Channel	Bandwidth	Bit Rates
Telephone voice channel	3 kHz	33 kbps
Copper pair	1 MHz	1-6 Mbps
Coaxial cable	500 MHz (6 MHz channels)	30 Mbps/ channel
5 GHz radio (IEEE 802.11)	300 MHz (11 channels)	54 Mbps / channel
Optical fiber	Many TeraHertz	40 Gbps / wavelength



# Twisted Pair

## Twisted pair

- Two insulated copper wires arranged in a regular spiral pattern to minimize interference
- Various thicknesses, e.g. 0.016 inch (24 gauge)
- Low cost
- Telephone subscriber loop from customer to CO
- Old trunk plant connecting telephone COs
- Intra-building telephone from wiring closet to desktop
- In old installations, loading coils added to improve quality in 3 kHz band, but more attenuation at higher frequencies

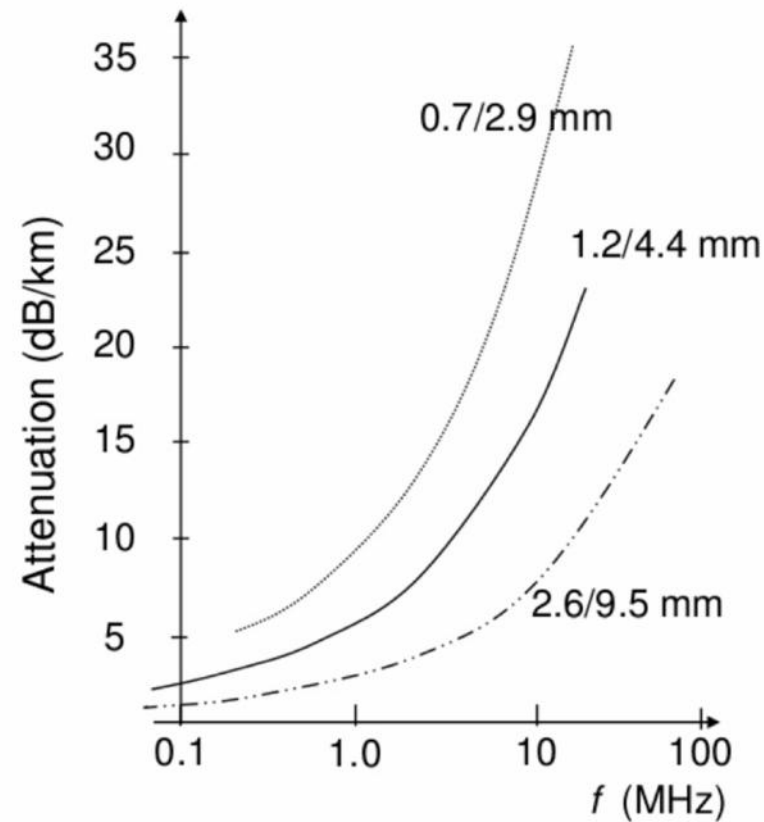


# Coaxial Cable

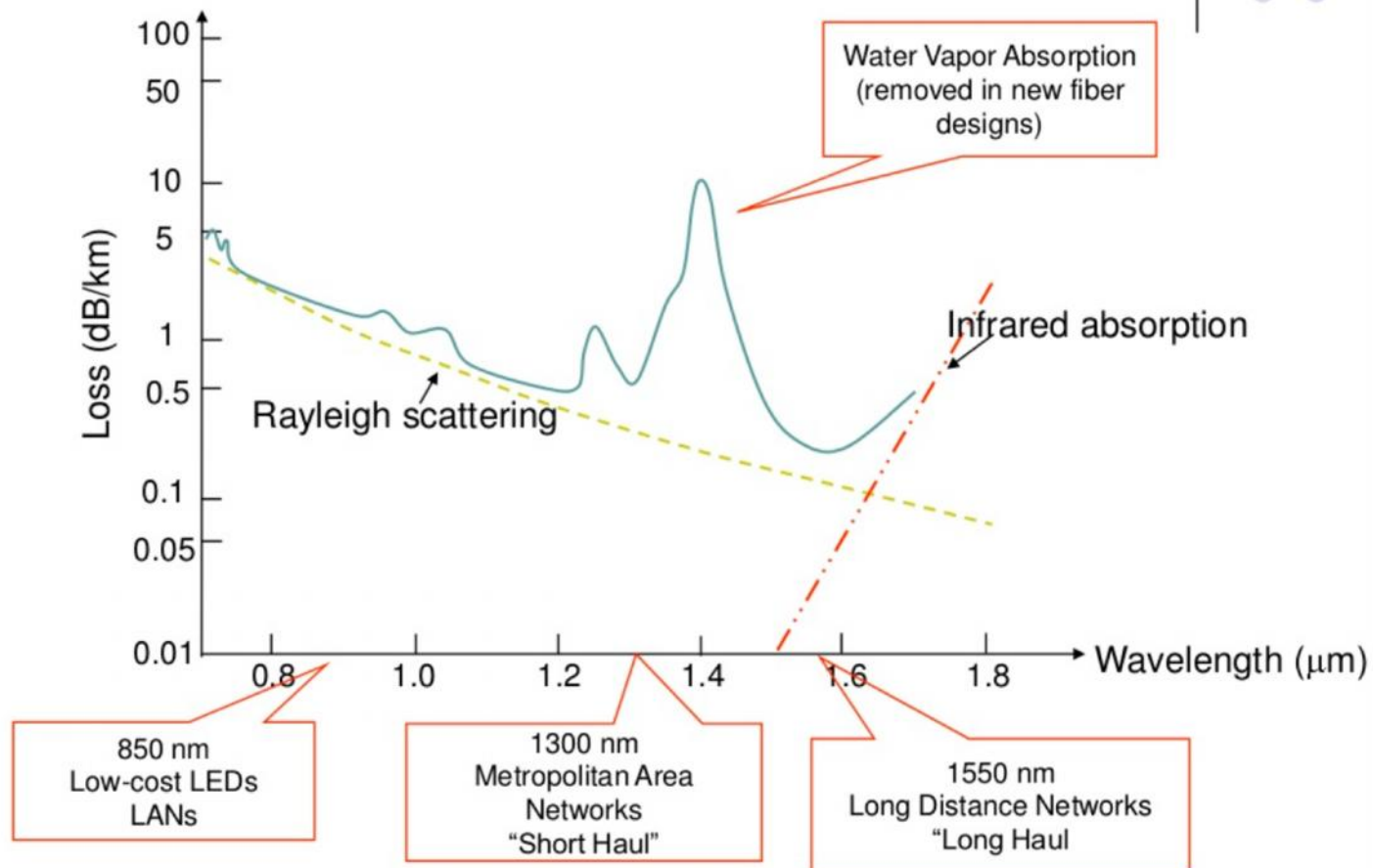


## Twisted pair

- Cylindrical braided outer conductor surrounds insulated inner wire conductor
- High interference immunity
- Higher bandwidth than twisted pair
- Hundreds of MHz
- Cable TV distribution
- Long distance telephone transmission
- Original Ethernet LAN medium



# Very Low Attenuation



## 6. Medis de transmissió. Atenuació del senyal

1. Quan un senyal es desplaça per un medi, la seva amplitud disminueix.
2. Per aquest motiu, sol establir-se una distància màxima que pot recórrer el senyal
3. Això garanteix la recepció de la mateixa
4. Si el cable és més llarg, s'hauran d'incloure amplificadors o repetidors

$$Atenuación = 10 \log_{10} \frac{P_{entrada}}{P_{salida}} dB$$

$$Amplificación = 10 \log_{10} \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} dB$$

## 6. Medis de transmissió de la informació (exemple 3)

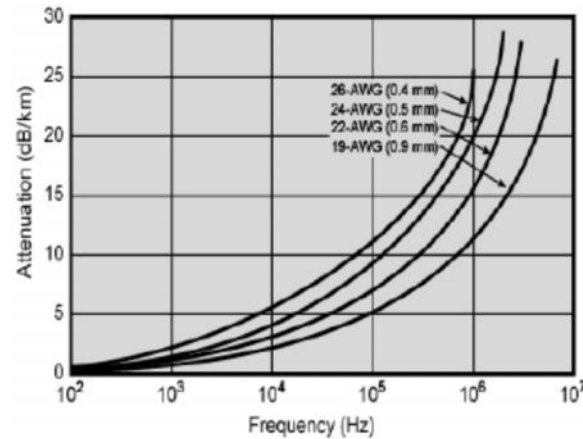
### Exemple 3

La figura indexada del problema presenta les atenuacions típiques que presenten diversos mitjans de comunicacions. Suposem que tenim un node transmissor i un node receptor units per una línia de coaxial. La transmissió es realitza en una banda centrada en 1 Mhz i amb un ample de banda de 100KHz. La distància entre els nodes és de 50 km. La potència de transmissió (per node) és de 30 dBm (decibels miliwatt) i la sensibilitat que tenen els nodes és de -10 dBm. El nivell de soroll només depèn de la temperatura, que té com a valor mig 23 graus Celsius.

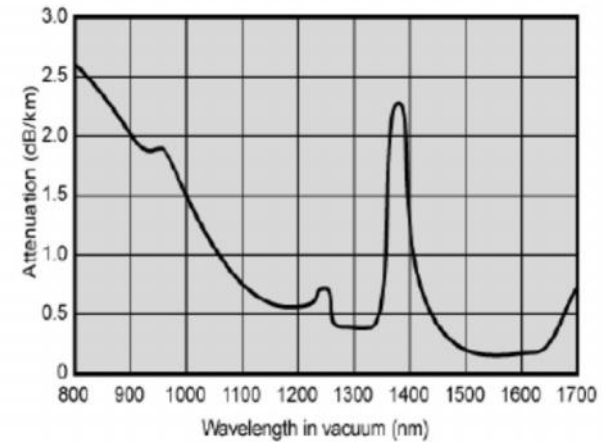
- i) és necessari col·locar nodes intermitjos per regenerar el senyal?
- ii) Quants nodes?
- iii) Que passa si enlloc de coaxial fem servir parell trenat?
- iv) Que s'hauria de fer per transmetre amb F.O?

## 6. Medis de transmissió de la informació (exemple 3)

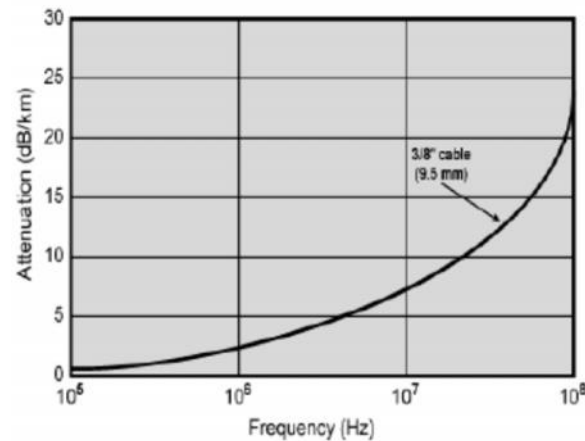
### Exemple 3



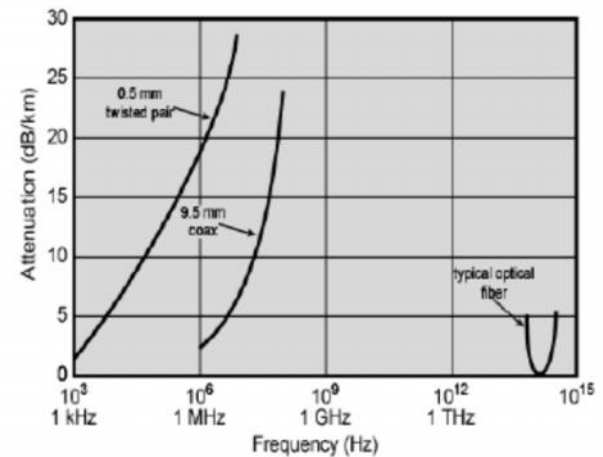
(a) Twisted pair (based on [REEV95])



(c) Optical fiber (based on [FREE02])



(b) Coaxial cable (based on [BELL90])



(d) Composite graph

## 6. Medis de Transmissió: Atenuació del Senyal

- Exemple 4: El canal de transmissió entre dos equips està dividit en dos seccions. La primera introdueix una atenuació de 16 dB, la segona de 10 dB. Entre aquestes dues hi ha un repetidor que amplifica 20 dB el senyal. Si es transmet un senyal inicial de 500 mW, Quina és la potència de recepció?

## 7. Medis no guiats

### b) Referent als medis no guiats...

- i) Fonamentats en comunicacions sense fils
- ii) Utilitzen l'aire/buit com medi de transmissió.

### iii) En funció de la direccionalitat tenim:

- Transmissions omnidireccionals (Telef. mòbil)
- Transmissions direccionals (Satèl·lit)

### iv) En funció de la freqüència tindrem:

- |                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| • <i>Infraroig</i>            | } | 3x10 <sup>11</sup> – 200THz (direccional) |
| • <i>Microones terrestres</i> |   | 2-40 GHz (direccional)                    |
| • <i>Satèl·lit</i>            |   |   |
| • <i>Ones de radio</i>        |   | 30MHz -1GHz (omnidireccional)             |



## 7. Medis no guiats

Banda	Freqüències	Símbolo	Nombre	Freqüència
L	1 - 2 GHz	VLF	Very Low Frequency	3-30KHz
S	2 - 4 GHz	LF	Low Frequency	30-300KHz
C	4 - 8 GHz	MF	Mid Frequency	300-3000KHz
X	8 - 12 GHz	HF	High Frequency	3-30MHz
Ku	12 - 18 GHz	VHF	Very High Frequency	30-300MHz
K	18 - 27 GHz	UHF	Ultra High Frequency	300-3000MHz
Ka	27 - 40 GHz	SHF	Super High Frequency	3-30GHz
		EHF	Extra High Frequency	30-300GHz 300-3000GHz

Divisió de l' espectre microones

Espectre de freqüències genèric

## 7. Medis no guiats

### **Microones terrestres** ( $\lambda \sim \mu\text{m}$ )

- Antena parabòlica direccional (diàmetre  $\sim 3\text{m}$ )
- El feix de potència és molt estret. Molt direccional.
- A més alçada, millor per evitar obstacles

$$d = 7.14 \times (k \cdot h)^{1/2}$$

$d$  = distància (km)

$h$  = alçada (m)

$k$  = constant igual a 1 si no considerem gravetat. Normalment pren el valor 3/4

## 7. Medis no guiats

- El problema principal d'aquest tipus de comunicacions és l'atenuació.
- L'atenuació dependrà de la longitud d'ona que fem servir així com les condicions meteorològiques. (i.e.: l'atenuació a partir dels 10MHz augmenta molt amb la pluja).
- L'expressió de l'atenuació  $L$  és:

$$L \text{ (dB)} = 10 \log (4 \pi d / \lambda)^2$$

on  $d$  és la distància a l'emissor i  $\lambda$  la longitud d'ona emprada (mateixes unitats!!!)

## 7. Medis no guiats

La potència del senyal rebut a través de medis no guiats dependrà per tant de la potència de transmissió, dels guanys de les antenes de transmissió i recepció, de la longitud d'ona i, evidentment de la distància

$$P_{Rx} = G_{Rx} \cdot G_{Tx} \cdot P_{Tx} \cdot \left( \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2$$

## 7. Medis no guiats (exemple 4)

### Exemple 4

Una comunicació sense fils transmet a una potència de sortida de 0dBm (decibels miliwatt). El guany de l'antena de transmissió és igual al de recepció i igual a 2 dB. Si la sensibilitat del sistema de recepció és de -90 dBm, determineu quina serà la distància màxima que pot cobrir aquest enllaç si la freqüència de portadora és de 10 GHz.

## 7. Medis no guiats (exemple 5)

### Exemple 5

La potència aparent radiada d'un determinat emissor és de 10mW.  
Determineu la distància màxima a la que podem posar un receptor que té una antena amb un guany de 0 dB si la sensibilitat del detector és de -60dBm i la freqüència de portadora es de 2.4GHz.

## 7. Medis no guiats

### **Microones Via Satèl·lit ( $\lambda \sim \text{mm}$ )**

- El satèl·lit es comporta com una estació repetidora
- Recull el senyal d'algun transmissor de terra i ho retransmet a una o varies estacions receptores
- El senyal pot regenerar-se o simplement limitar-se a transmetre
- Les freqüències ascendent i descendent són diferents

$$f_{\text{asc}} < f_{\text{desc}}$$

- Per evitar interferències entre satèl·lits està normalitzada una separació mínima de  $3^\circ$  (en la banda 12/14GHz) o  $4^\circ$  (en la banda 4/6GHz)

## 7. Medis no guiats

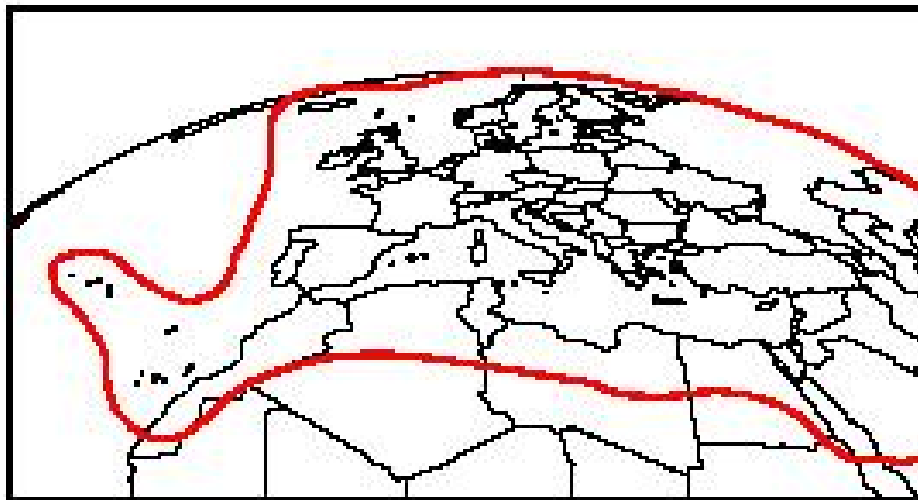
- L'accés de les dades al satèl·lit està dividit en slots freqüencials anomenats “*transponders*”. L'ample de banda del *transponder* és de 36.72 MHz
- Cada *transponder* pot transportar un determinat n<sup>o</sup> de portadores que dependrà de les característiques del senyal modulat així com de l'estació transmissora i receptora
- El satèl·lit té la capacitat de difondre la informació a qualsevol punt de la seva zona d'influència (cobertura del satèl·lit)
- Permet comunicacions punt-a-punt i punt-multipunt
- Presenta facilitats per reconfigurar el trànsit i arribar a determinades zones aïllades



## 7. Medis no guiats

### Cobertura del satèl·lit:

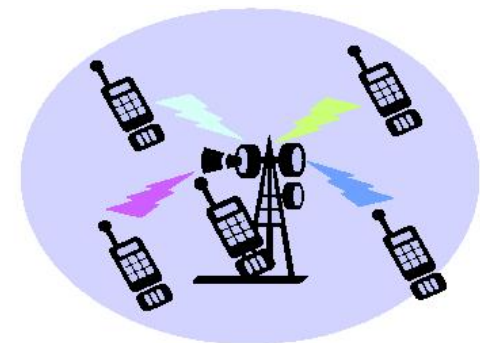
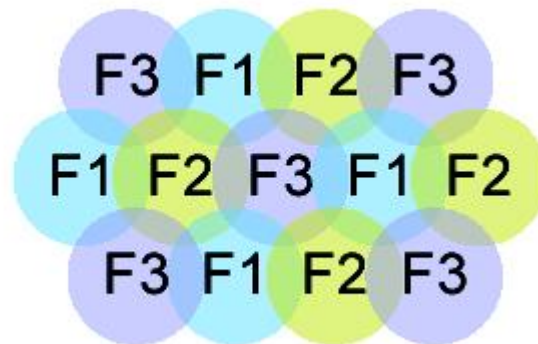
Serà aquella zona on el nivell de senyal rebut pel satèl·lit es degrada  $X$  dB respecte a uns nivells màxims per sota dels quals es considera que el senyal no es rep amb suficientment bones condicions



## 7. Medis no guiats

### **Ones de radio** (longitud d'ona ~ m)

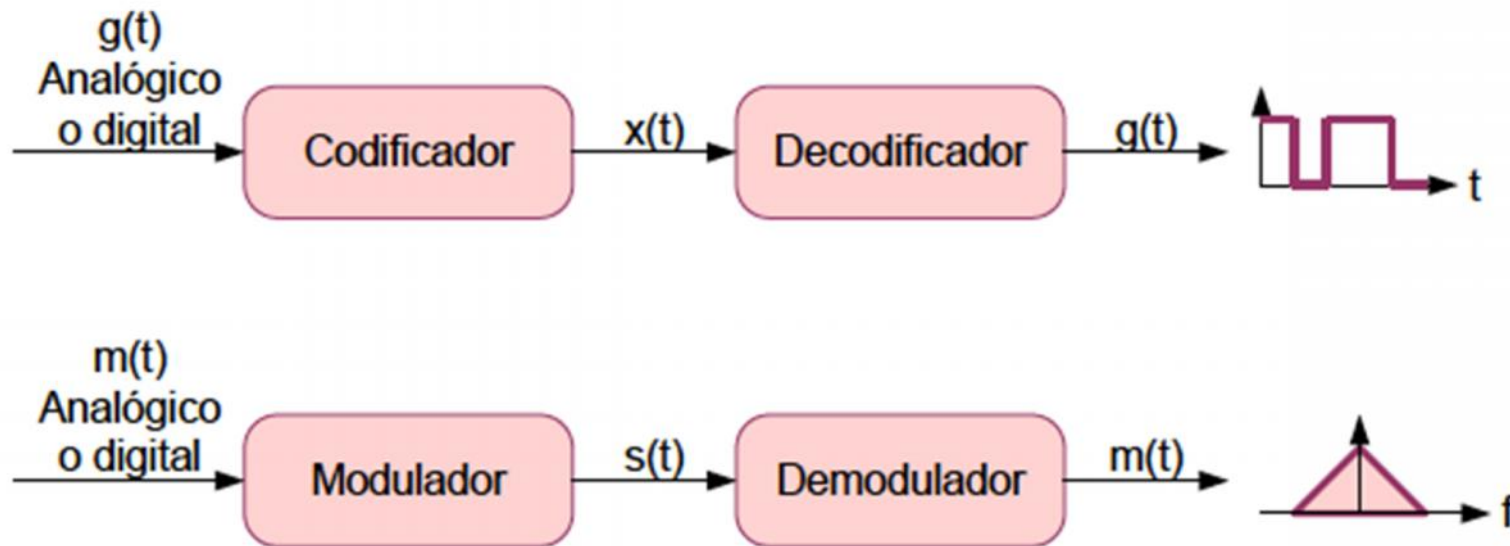
- Són omnidireccionals
- Utilitzen una banda compresa entre els 30MHz i 2GHz
- Utilitzat en telefonia i xarxes d'ordinadors
- Interferències ocasionades a reflexions i interferències multitrajecte.
- Per cobrir distàncies majors es fan servir enllaços concatenats



## 10. Modulació i codificació

1. Per transmetre informació per un medi és necessari modular-la o codificar-la
2. La modulació implica la modificació dels paràmetres del senyal portador
  1. Amplitud
  2. Freqüència
  3. Fase
3. La codificació transfereix símbols digitals adequats al medi utilitat

## 10. Modulació i codificació



## 10. Modulació i codificació

Existeixen quatre alternatives segons les dades i el senyal:

1.Dades digitals, senyal digital. Sol implicar una recodificació de les dades, i adaptació dels senyals, resulta senzill i econòmic.

2.Dades analògiques, senyal digital. Aquesta conversió (analògic a digital) sempre permet millorar la transmissió

3.Dades digitals, senyal analògic. Segons quina tecnologia només permet aquests tipus de senyals (fibra òptica, medis no guiats)

4.Dades analògiques, senyal analògic. És el mètode utilitzat antigament pel telèfon

## 10. Modulació i codificació

Dades digitals, senyal digital

1. Un senyal digital és una seqüència discreta de polsos de voltatge

2. La forma més senzilla de transmissió és una correspondència directa entre un 1 que és el nivell alt i un 0 que és el nivell baix

3. Aquesta codificació es denomina NRZ. Sol utilitzar-se en comunicacions asíncrones

# 11. Codificació del senyal

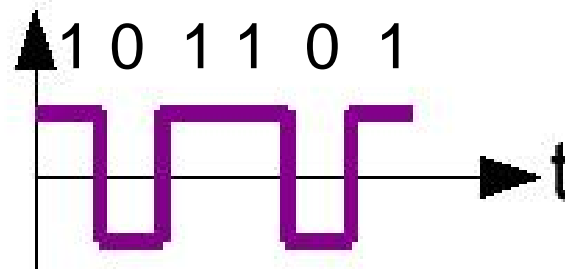
Els sistemes de codificació més coneguts per codificar senyal digital són els següents

- Nonreturn to Zero-Level (NRZ-L)
- Nonreturn to Zero Inverted (NRZI)
- Bipolar -AMI
- Pseudoternary
- Manchester
- Differential Manchester
- B8ZS
- HDB3

## 11. Codificació del senyal (NRZ)

### Nonreturn to Zero

Partim de la base del sistema NRZ. És el que tothom coneix, on un “0” ve representat per absència de senyal i un “1” per un pols positiu.



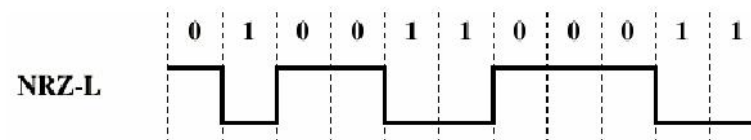


## 11. Codificació del senyal (NRZ)

### **Nonreturn to Zero-Level (NRZ-L)**

A diferència de NRZ, NRZ-L considera el “0” com senyal o pols positiu i el “1” com un pols negatiu. Les seves característiques són:

- Dos nivells de tensió diferents per 0 i 1
- Tensió constant durant l'interval de bit
- No hi ha transició i.e. no hi ha un retorn a la tensió de zero
- Exemple típic d'això: RS232. Tensió de sortida associada al 0 = 15V. Tensió de sortida associada al 1 = -15V

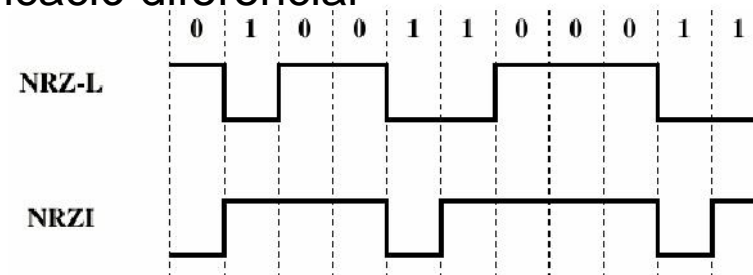


# 11. Codificació del senyal (NRZ)

## Nonreturn to Zero Inverted

Aquest sistema és una variació del NRZ. NRZI ( Non Return to Zero Invert on Ones). Les seves característiques són:

- Tensió constant durant la duració del cicle de bit. Codificació Diferencial
- Codificació de les dades en funció de presència o absència de senyal al començament del temps de bit
- Transició de 1 a -1 ó -1 a 1 denota un “1” binari
- Aquest és el primer exemple de codificació diferencial
- No transicions implica un “0”



# 11. Codificació del senyal (NRZ)

## **Differential Encoding**

---

Aquests tipus de senyals, introduïdes en la transparència anterior, és caracteritzen per les següents propietats

- Les dades venen representades per canvis de nivell més que pels nivells en sí
- La transició del canvi de nivell és més fiable que la detecció del nivell.
- En sistemes de transmissió complexes, pot produir-se una pèrdua del sentit de la polaritat de la senyal

# 11. Codificació del senyal (NRZ)

## **NRZ pros and cons**

---

Pros:

- Fàcil de dissenyar
- Fa un bon ús de l'ample de banda

Contres:

- Implica una certa component en DC
- Pèrdua de la sincronització en algunes situacions particulars

Utilitzades per sistemes de gravació magnètica

***No utilitzades normalment com sistemes de transmissió digital***

# 11. Codificació del senyal (multilevel)

## Multilevel Binary

Son aquells sistemes de codificació que fan servir més de dos nivells de senyal

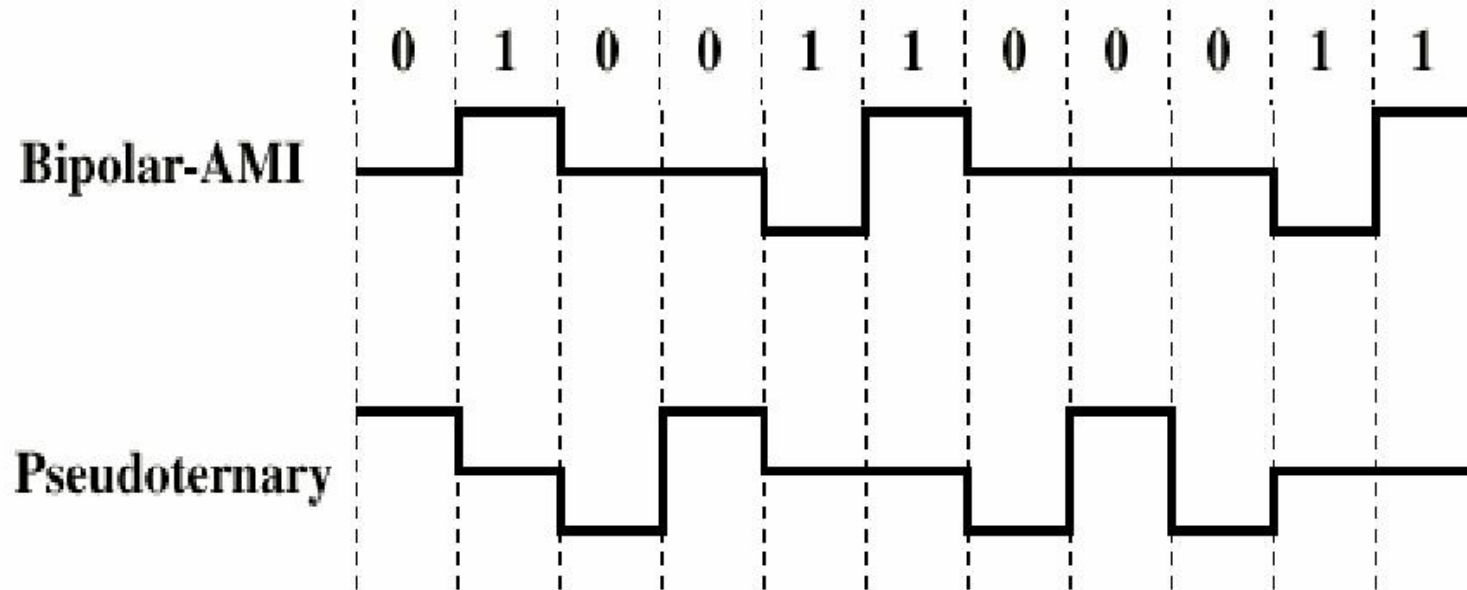
### Ex. Bipolar-AMI

- El "0" es representa com absència de senyal
- L'"1" es representa com canvis de nivell de positiu a negatiu
- Aquests polsos s'alternen en la polaritat. No hi ha nivell en DC
- No tenim pèrdua de sincronisme si tenim una gran quantitat de "1" a la trama (el "0" encara és un problema)
- Ample de banda mínim garantit
- Fàcil detecció d'errors

### Ex. 2 Pseudoternaria:

- Igual que Bipolar-AMI però invertint els "0" per els "1".
- El "1" es representa ara com absència de senyal i el "0" com canvis de nivell

## 11. Codificació del senyal (multilevel)



NO és tant eficient com el NRZ donat que

- Cada element de senyal només representa un bit
- Un sistema de tres nivells podria representar  $\log_2 3 = 1.58$  bits
- El receptor ha de distingir entre tres nivells (-A, 0, +A)
- Requereix aprox. 3dB de potència per la mateixa probabilitat de error de bit

# 11. Codificació del senyal (biphase)

## Biphase

Dos tipus de codificació Bifase es solen fer servir actualment:

### Manchester:

- Transició en mig de cada període de bit
- La transició serveix com a rellotge i dades
- La transició “low-to-high” representa un “1”
- La transició “high-to-low” representa un “0”
- Utilitzada per IEEE 802.3

### Manchester Diferencial:

- La transició del mig del bit és només per extreure el clock
- La transició a l'inici de un bit representa un “0”
- Si no hi ha transició a l'inici de bit representa un “1”
- NOTA: Aquest és un esquema de codificació diferencial
- Utilitzada per IEEE 802.5

## 11. Codificació del senyal (biphase)

### **Biphase Pros and Cons**

---

#### **Pros:**

- Sincronització en la meitat del bit. Implica que porta el clock intrínsec
- No porta component en DC
- Detecció de errors a nivell físic

#### **Contres:**

- Com a mínim tenim una transició al mig del bit i possiblement tindrem 2
- La modulació implica el doble d'ample de banda que NRZ



## 11. Codificació del senyal (altres)

# Scrambling

L'scrambling s'utilitza per substituir seqüències de "1" o "0" que introduirien un Valor de la tensió constant i que impliquen una pèrdua del sincronisme

La seqüència introduïda ha de complir:

- Produir suficients transicions per no perdre sync.
- Reconeguda al receptor per tornar a introduir els valors inicials
- Mateixa longitud que la original

A més:

- No ha de tenir component en DC
- Introduir la possibilitat de detecció de errors
- No reduir la velocitat de les dades

# 11. Codificació del senyal (altres)

## B8ZS

---

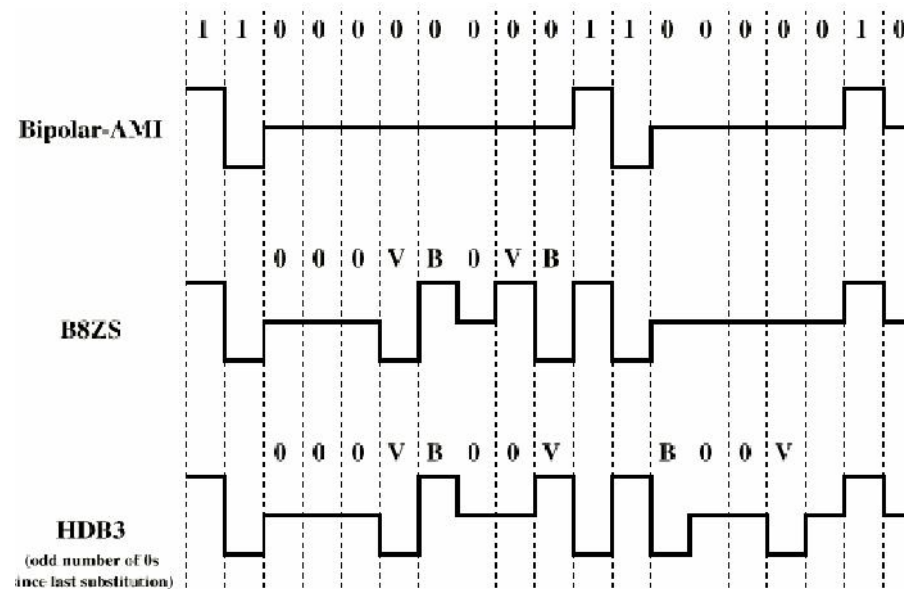
- Acrònim de Bipolar with 8 Zeros Substitution
- Basat en bipolar-AMI
- Donat un octet amb 8 zeros, i l'últim pols introduït era positiu, aleshores la substitució serà:  
 $000+-0-+$
- Donat un octet amb 8 zeros, i l'últim pols introduït era negatiu, aleshores la substitució serà:  
 $000-+0+-$
- Causa dos violacions del codi bipolar-AMI
- El receptor detecta això i ho interpreta com una seqüència de 8 zeros
- Els errors només podrien ser deguts a soroll

# 11. Codificació del senyal (altres)

## HDB3

Acrònim de High Density Bipolar 3 zeros

- Basat en bipolar AMI
- Les cadenes de quatre zeros es substitueixen per un o dos polsos



## 12. Modulació de dades digitals

- En general es modifica algun paràmetre de la portadora:
  - Amplitud (ASK, Amplitude-shift keying)
  - Freqüència (FSK, Frequency-shift keying)
  - Fase (PSK, Phase-shift keying)
- En els tres casos, el senyal ocupa una banda centrada sobre la portadora

## 12. Modulació de dades digitals

- Amplitud
  - Es fan servir dos amplituds per transmetre el senyal
  - Generalment sol ser:

$$ASK = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & 1 \text{ binario} \\ 0 & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- En línies de veu, es solen utilitzar com a màxim els 1200 bps

## 12. Modulació de dades digitals

- Freqüència

- Es fan servir dues freqüències per transmetre el senyal

$$FSK = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2\pi f_0 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- És més immune al soroll que ASK
- S'utilitza en telefonia com a màxim fins als 1200 bps i en transmissió per radiofreqüència en la banda dels 3-30 MHz

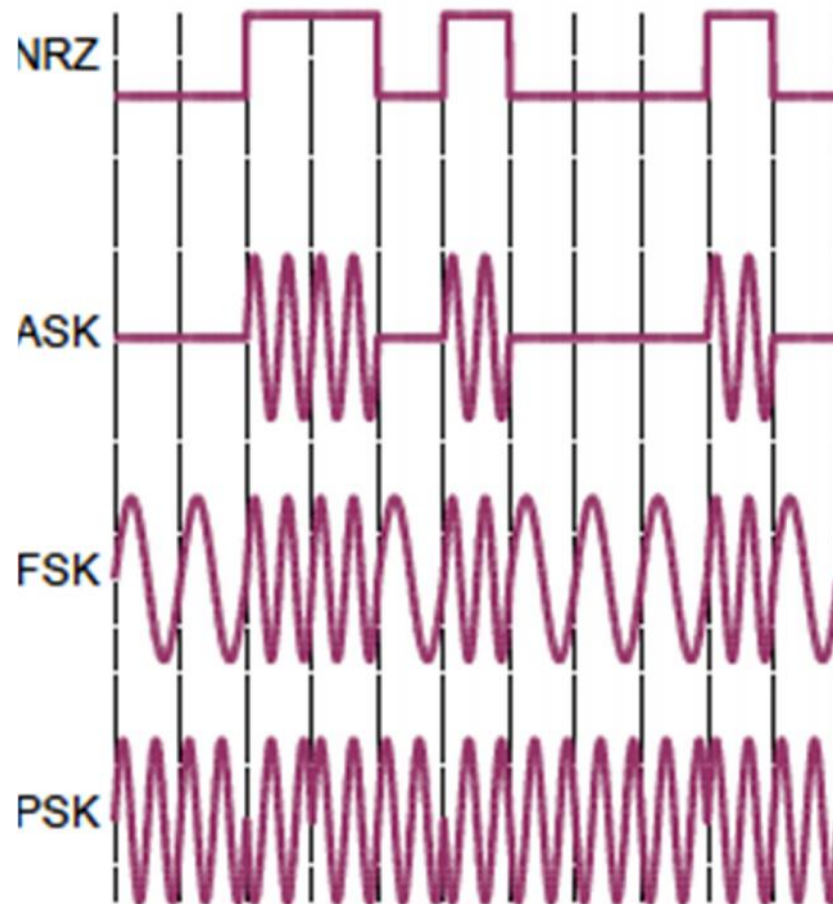
## 12. Modulació de dades digitals

- Fase
  - La fase del senyal es modifica per mostrar les dades

$$PSK = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \pi) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2\pi f_c t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- Si el valor és 1 se modifica la fase respecte al símbol anterior (PSK diferencia)
- És més immune al soroll

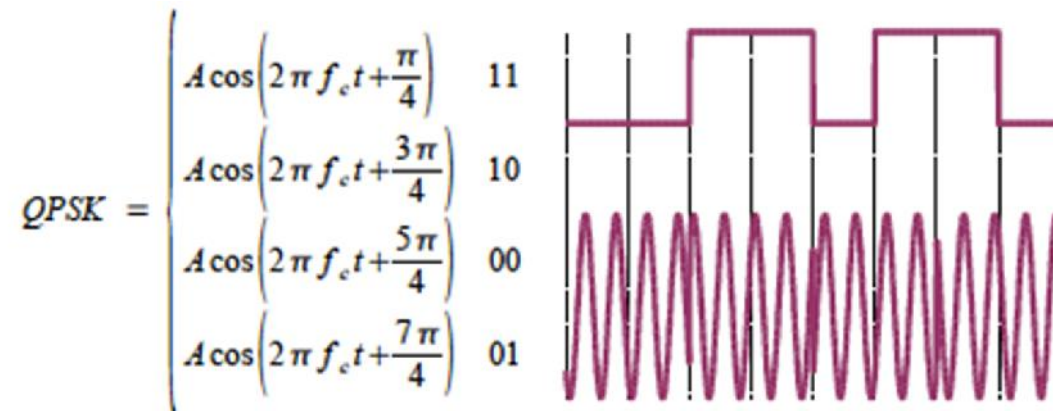
## 12. Modulació de dades digitals





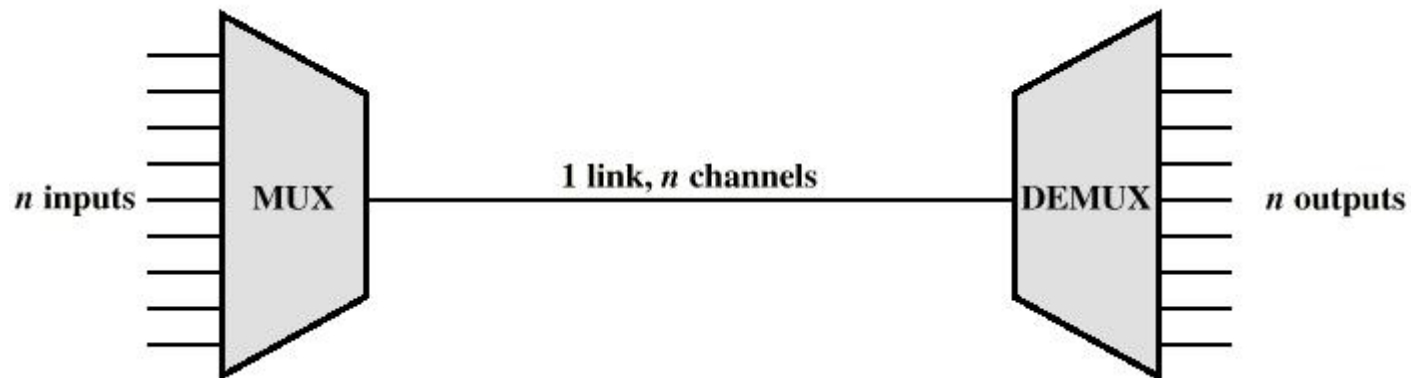
## 12. Modulació de dades digitals

- Es pot fer servir un mateix símbol per enviar més d'un bit
- Com a exemple, QPSK utilitza variacions de fase múltiples de  $\pi/2$



## 13. Multiplexació

- Multiplexem per aprofitar al màxim l'ample de banda del canal.



# 13. Multiplexació

## Tècniques de Multiplexació

- a. Multiplexació per Divisió en Freqüència (FDM)
- b. Multiplexació per Divisió en el Temps (TDM)
- c. Multiplexació per Accés Múltiple per Divisió de Codi (CDMA)

## 13. Multiplexació

### Exemples de Multiplexació

FDM  $\longrightarrow$  xDSL

TDM  $\longrightarrow$  RDSI, JDS (SDH), SONET

CDMA  $\longrightarrow$  UMTS

...FDM + TDM  $\longrightarrow$  DWDM

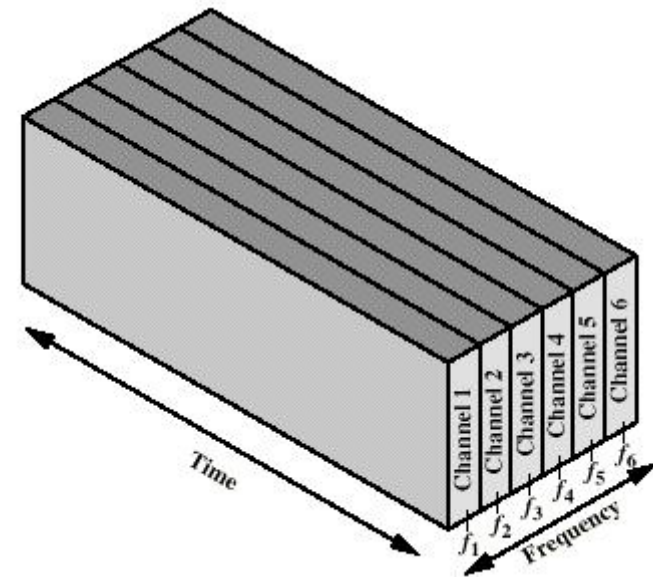
## 13.a Multiplexació (FDM)

### Multiplexació per Divisió de Freqüència

**FDM:** Accés a un “slot” freqüencial durant tot el temps.

L'ample de banda útil del medi de transmissió,  $W$  ha de complir el següent

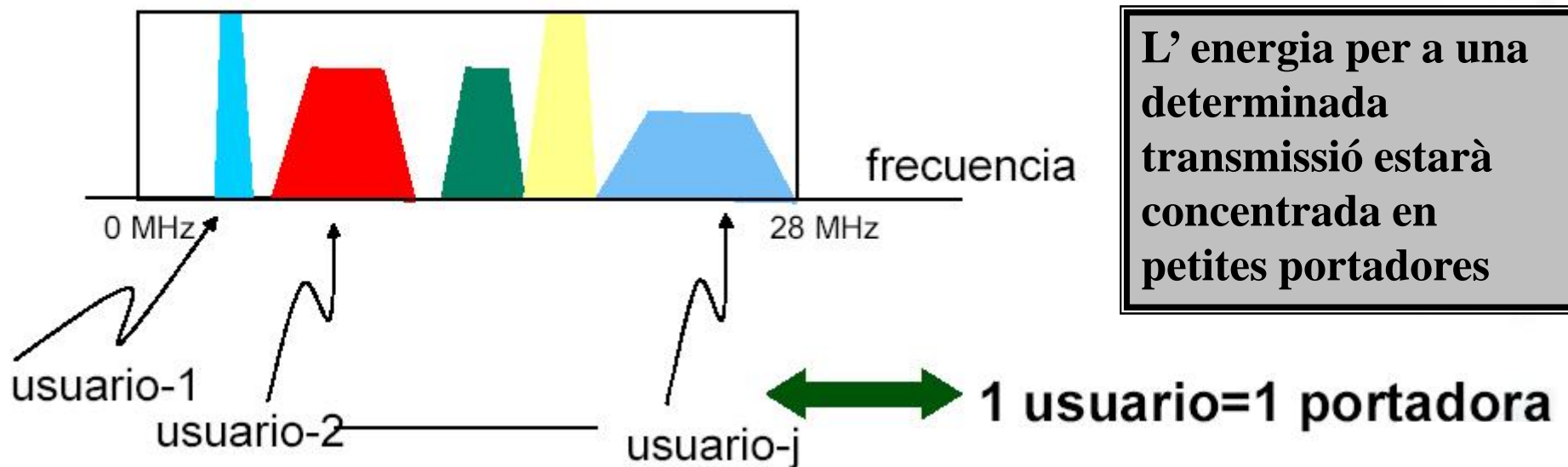
$$W > \sum_i \Delta f_i$$



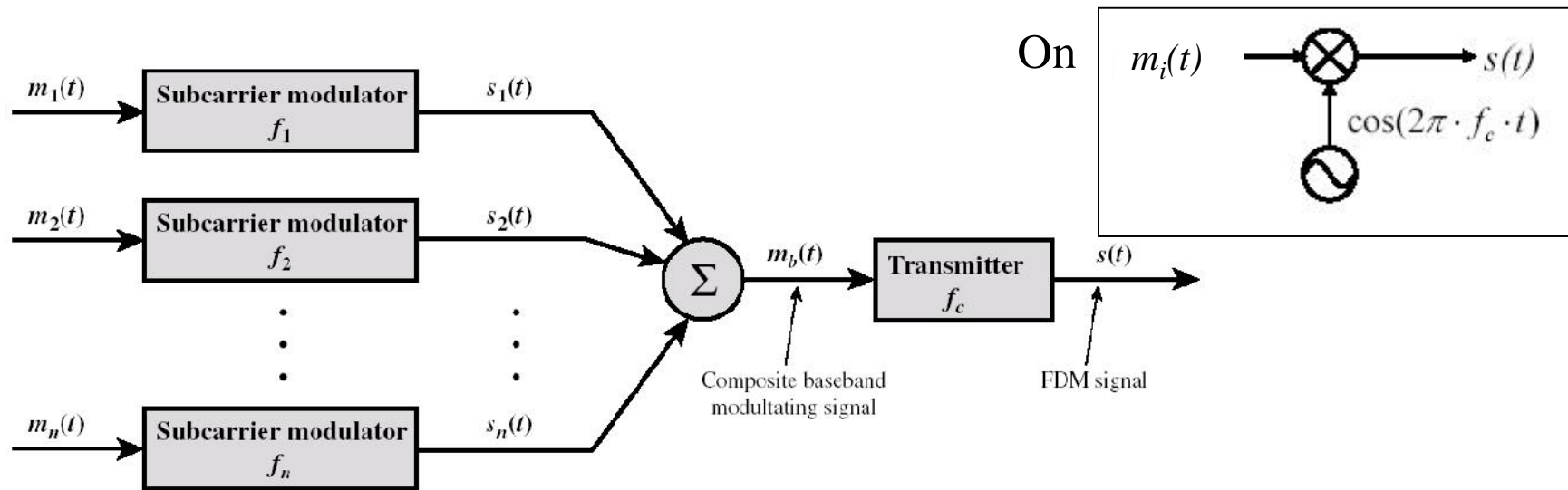
El senyal compost transmés al medi és ANALÒGIC

## 13.a Multiplexació (FDM)

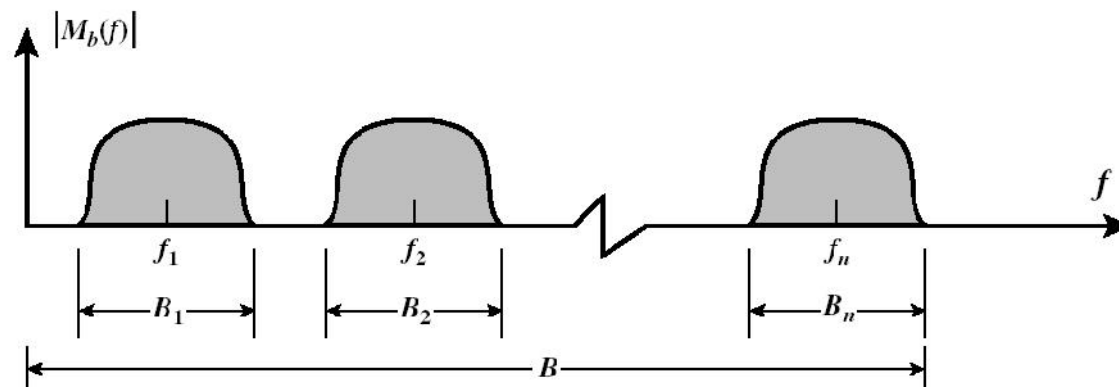
*Com és l'espectre del senyal analògic transmès?*



## 13.a Multiplexació (FDM)

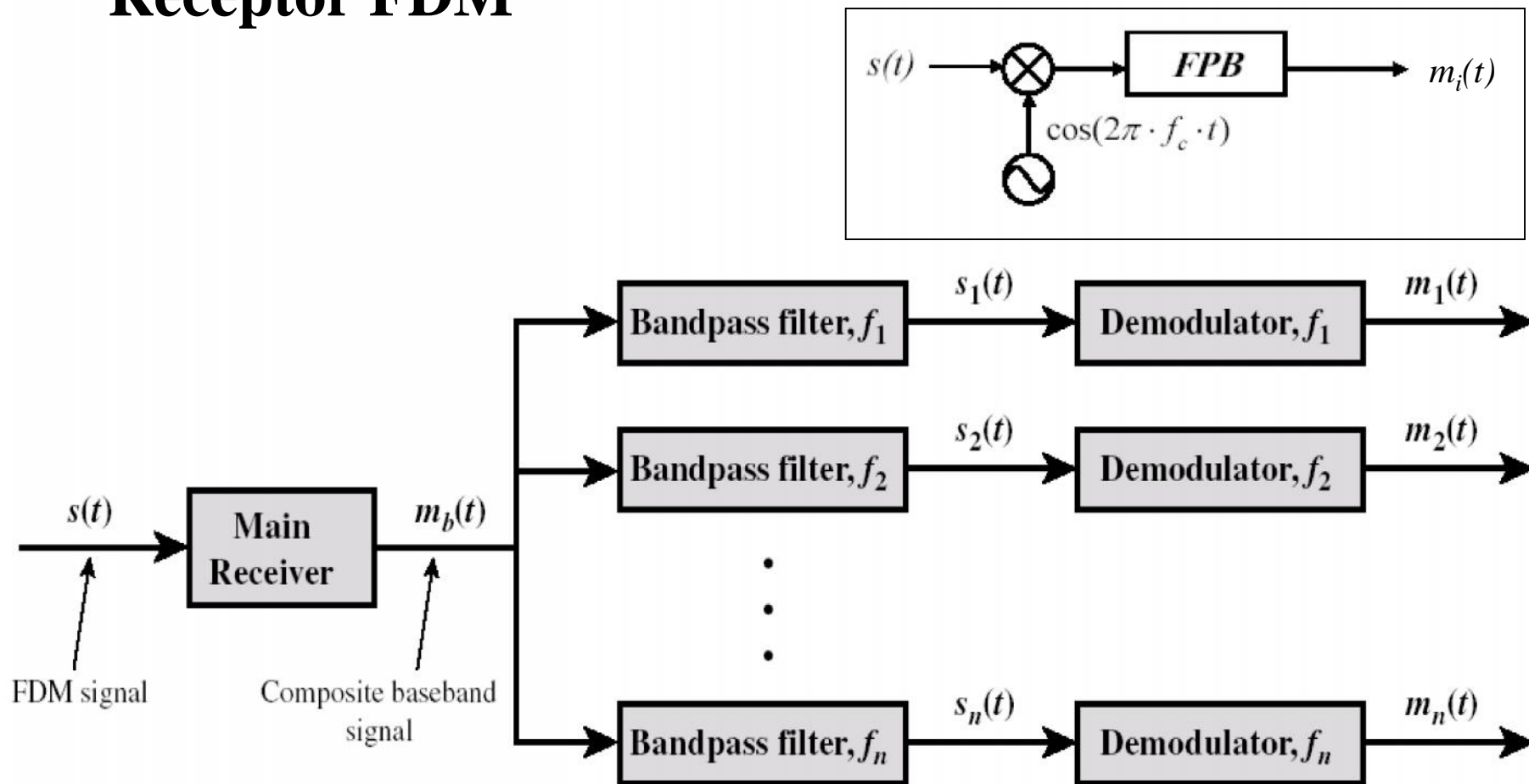


### Transmissor FDM



# 13.a Multiplexació (FDM)

## Receptor FDM



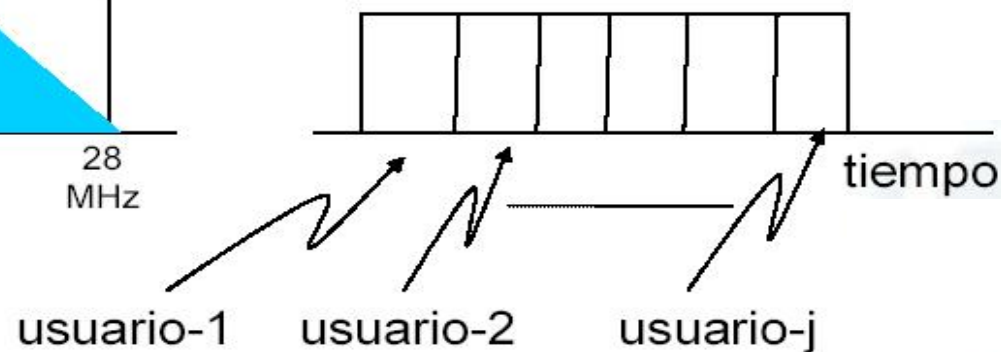
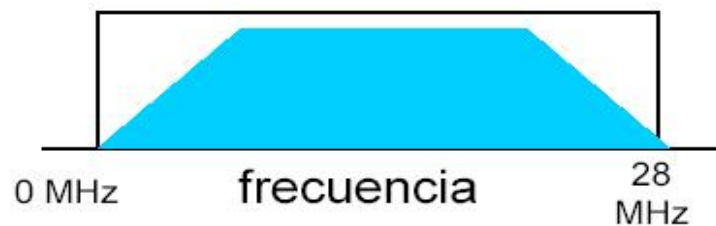
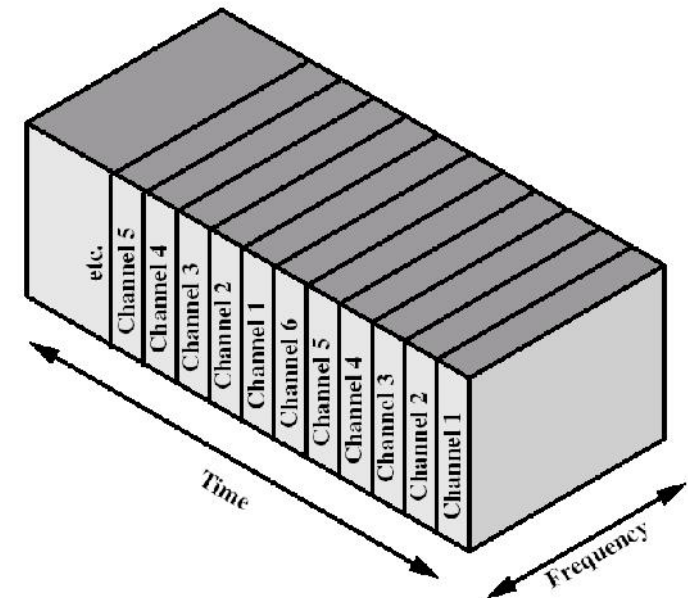


## 13.b Multiplexació (TDM)

### Multiplexació per Divisió de Temps

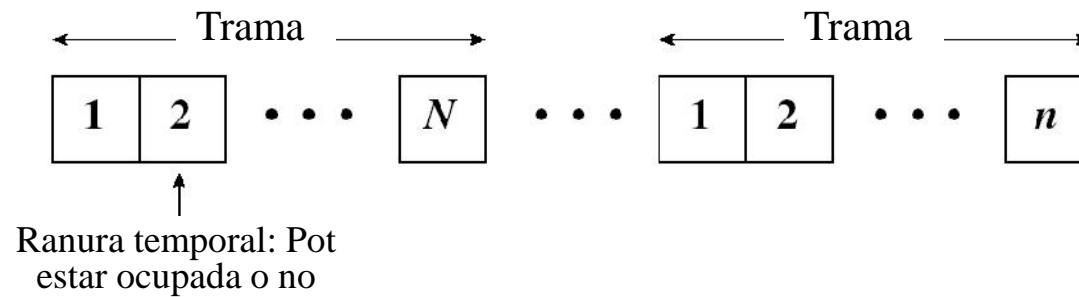
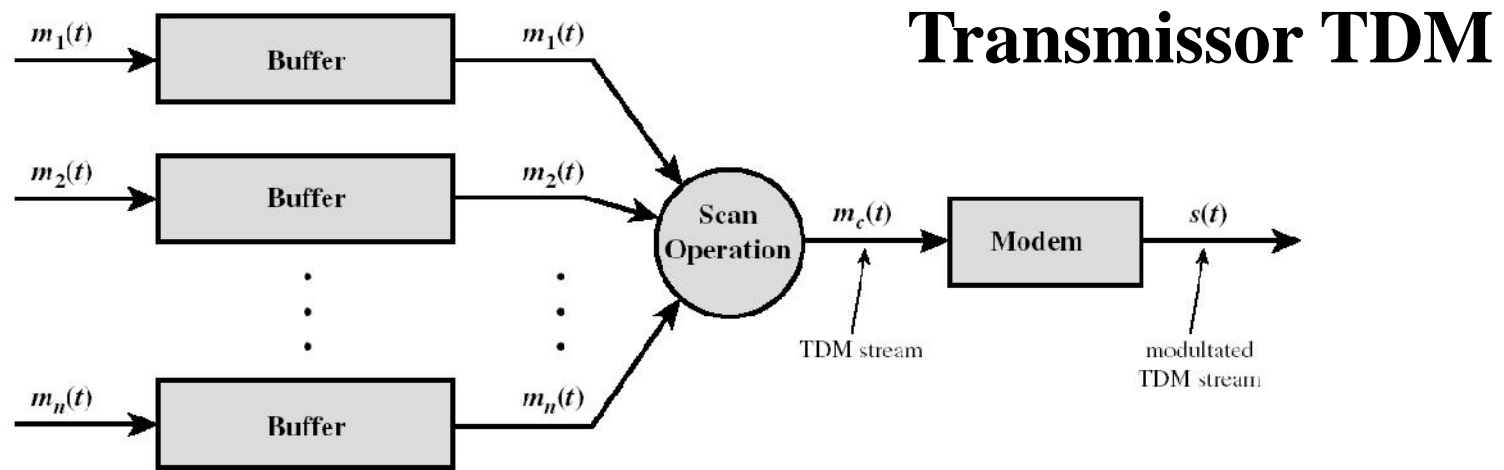
**TDM:** Accés a tota la banda freqüencial accedint a partir de ranures temporals prèviament definides.

La velocitat de transmissió assolible per el medi és major que la suma de velocitats dels senyals a transmetre

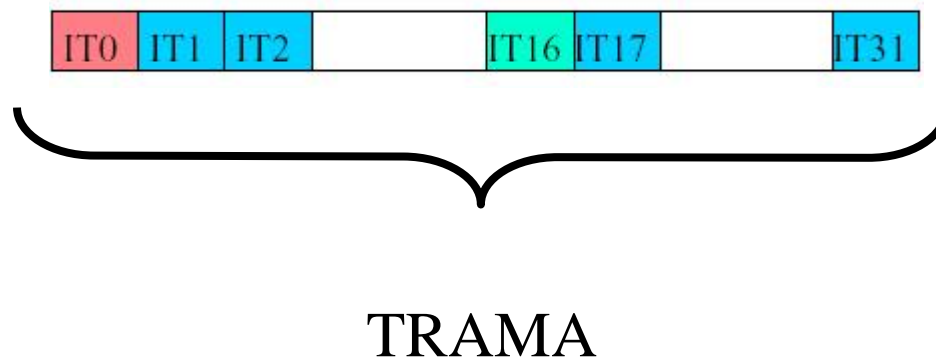


Els senyals són en general **digitals**

## 13.b Multiplexació (TDM)



## 13.b Multiplexació (TDM)



- El període de temps que compren una mostra de cada un dels canals que compren la multiplexació es coneix com a

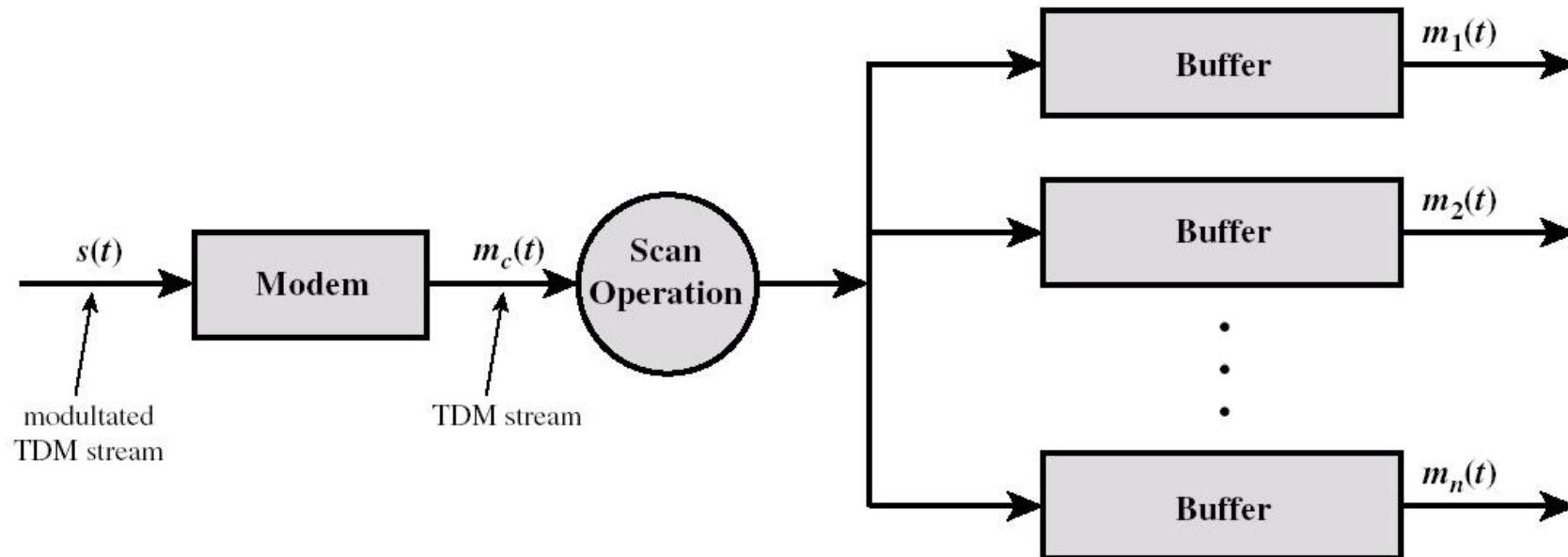
**TRAMA**

- Els primers 8 bits (interval de temps 0) tenen un valor constant i constitueixen la

**Paraula de Alineament de Trama**

## 13.b Multiplexació (TDM)

### Receptor TDM

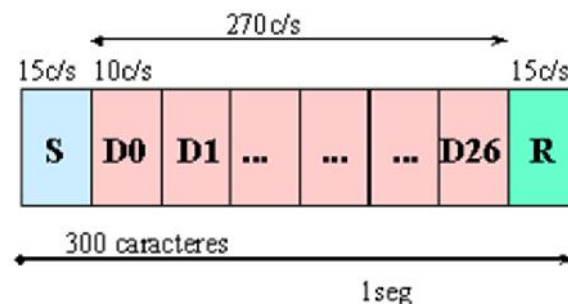


## 13.b Multiplexació (TDM) (exemple 8)

### Exemple 8

Fem servir un multiplexor per divisió de temps (TDM) per tal de multiplexar la comunicació d'una sèrie de canals asíncrons que transmeten a 110 b/s. La línia de sortida, un cop multiplexats els canals és de 2400 b/s. Cada terminal envia caràcters de 7 bits de dades, 1 bit de paritat, 1 bit d'inici de dades i 2 bits de final. El canal multiplexat és síncron, suposem que enviem un caràcter de sincronisme cada 19 caràcters de dades i que al menys el 3 % de la capacitat de la línia es reserva per la inserció de polsos, permetent així diferents velocitats per als diferents terminals. Determineu:

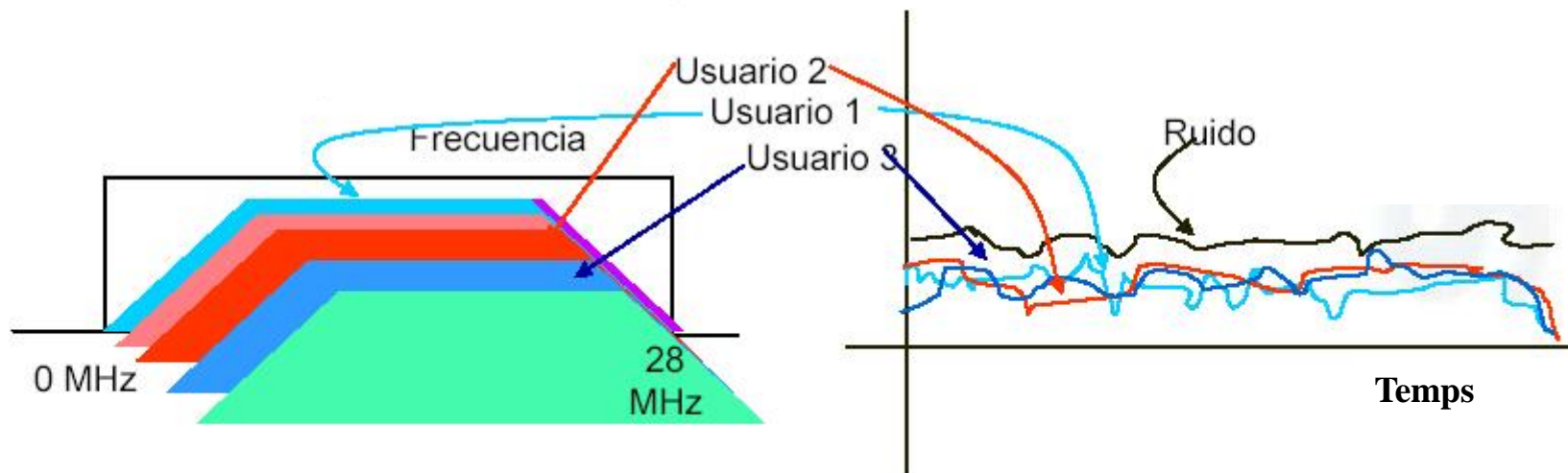
- i) El nombre de bits per caràcter
- ii) El nombre màxim de terminals que podem connectar al multiplexor
- iii) Obtenir un format de trama de les dades multiplexades



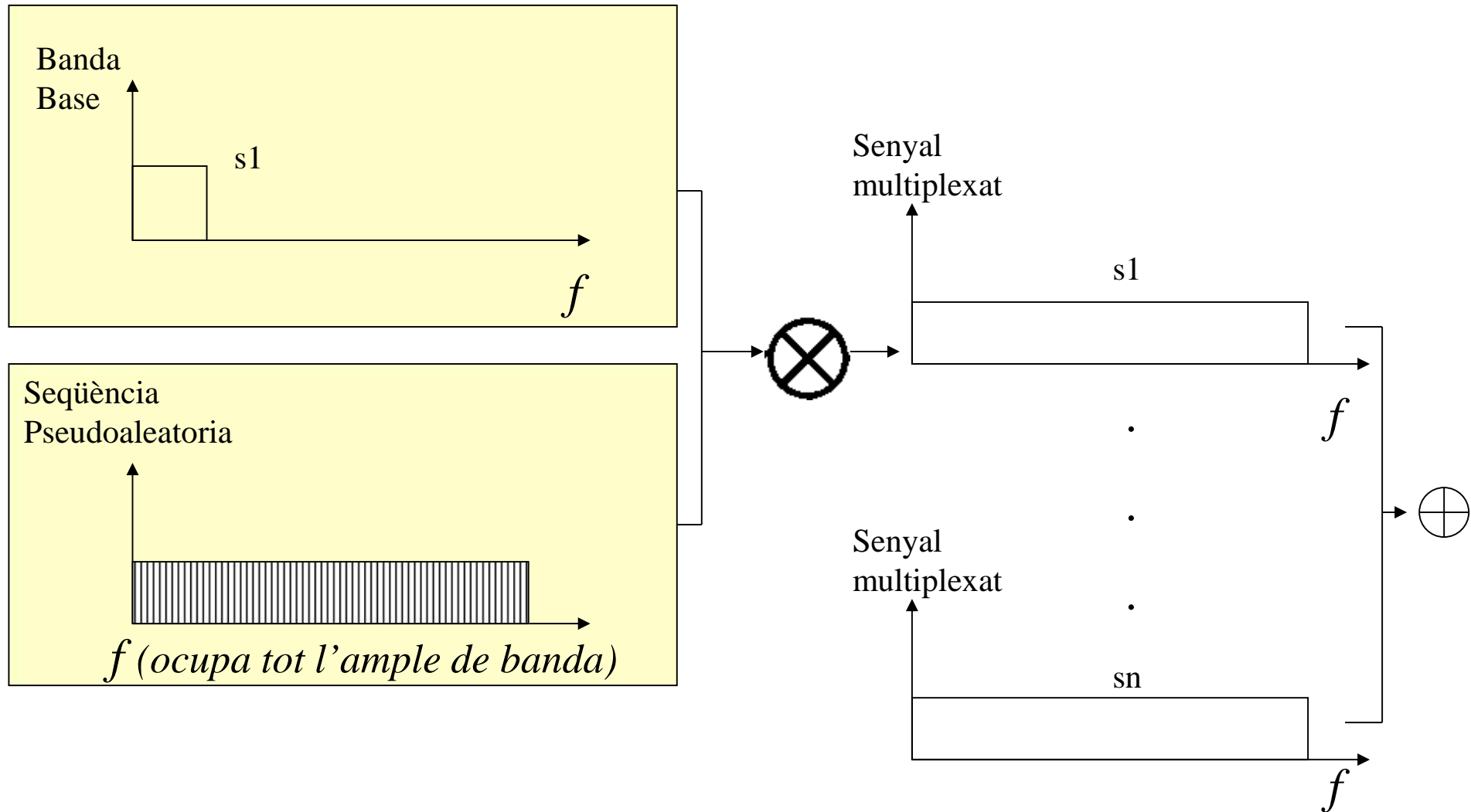
## 13.c Multiplexació (CDMA)

### Multiplexació per Accés Múltiple per Divisió de Codi

- Els sistemes CDMA tenen un origen militar. Han de tenir una resistència importat amb el soroll.
- Els equips que treballen en CDMA poden utilitzar tot l'espectre durant el temps que considerin necessari. No hi ha limitació com succeeix en TDM o FDM



## 13.c Multiplexació (CDMA)



## 13.c Multiplexació (CDMA)

- 1.- Per compartir un canal entre diferents usuaris necessitem separar d'alguna manera les transmissions. Codifiquem el senyal en banda base de tots els usuaris de tal manera que un receptor només podrà decodificar el senyal enviat pel seu transmissor. Matemàticament es defineix com ORTOGONALITAT
- 2.- Existirà ortogonalitat si donat els senyals de dades  $x(t) \dots y(t)$  y les seqüències de codi  $c(t) \dots k(t)$  es compleix que

$$\left. \begin{array}{l} x(t) \cdot c(t) = u(t) \\ \dots \\ y(t) \cdot k(t) = v(t) \end{array} \right\} s_{TX}(t) = u(t) + \dots + v(t) \xrightarrow[n(t)]{} s_{RX}(t) = u(t) + \dots + v(t) + n(t) \left\{ \begin{array}{l} \int s_{RX}(t) \cdot c(t) dt = x(t) \\ \dots \\ \int s_{RX}(t) \cdot k(t) dt = y(t) \end{array} \right.$$

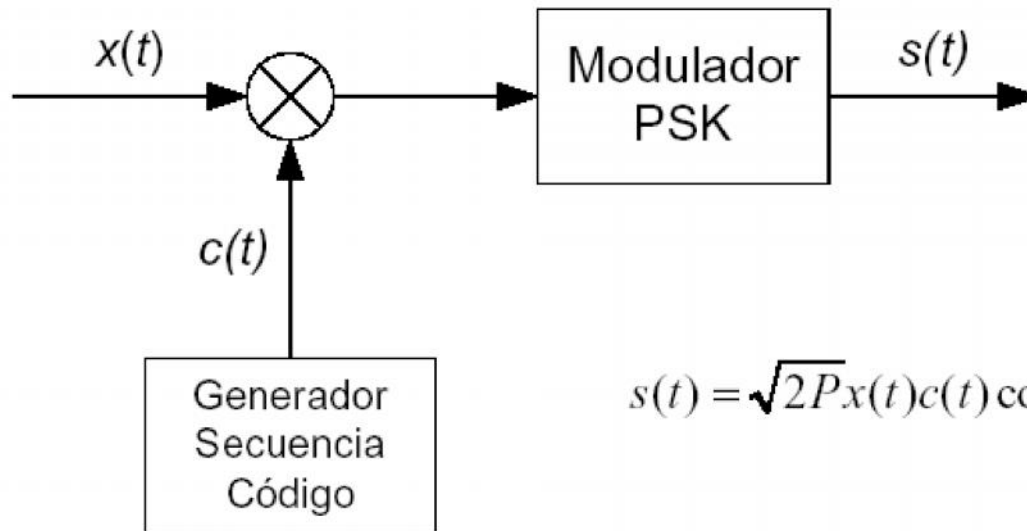
de manera que

$$\left\{ \begin{array}{l} \int u(t) \cdot k(t) dt = 0 \\ \dots \\ \int v(t) \cdot c(t) dt = 0 \end{array} \right.$$



## 13.c Multiplexació (CDMA)

- 2.- La modulació utilitzada en CDMA es PSK
- 4.- L'ample de banda  $W$  de  $c(t)$  és molt superior al del senyal de dades produint-se un ***eixamplament espectral***
- 5.- Si la seqüència de codi  $c(t)$  és digital, als bits d'aquest senyal se'ls hi denota com a chips. El seu període és  $T_c$ . Normalment  $T_c \ll T_b$  y per tant l'ample de banda  $W$  del senyal  $s(t)$  s'incrementa respecte al de  $x(t)$  en un factor anomenat guany de processat o  $G_p$ . ( $T_b$  temps de bit de  $x(t)$ )

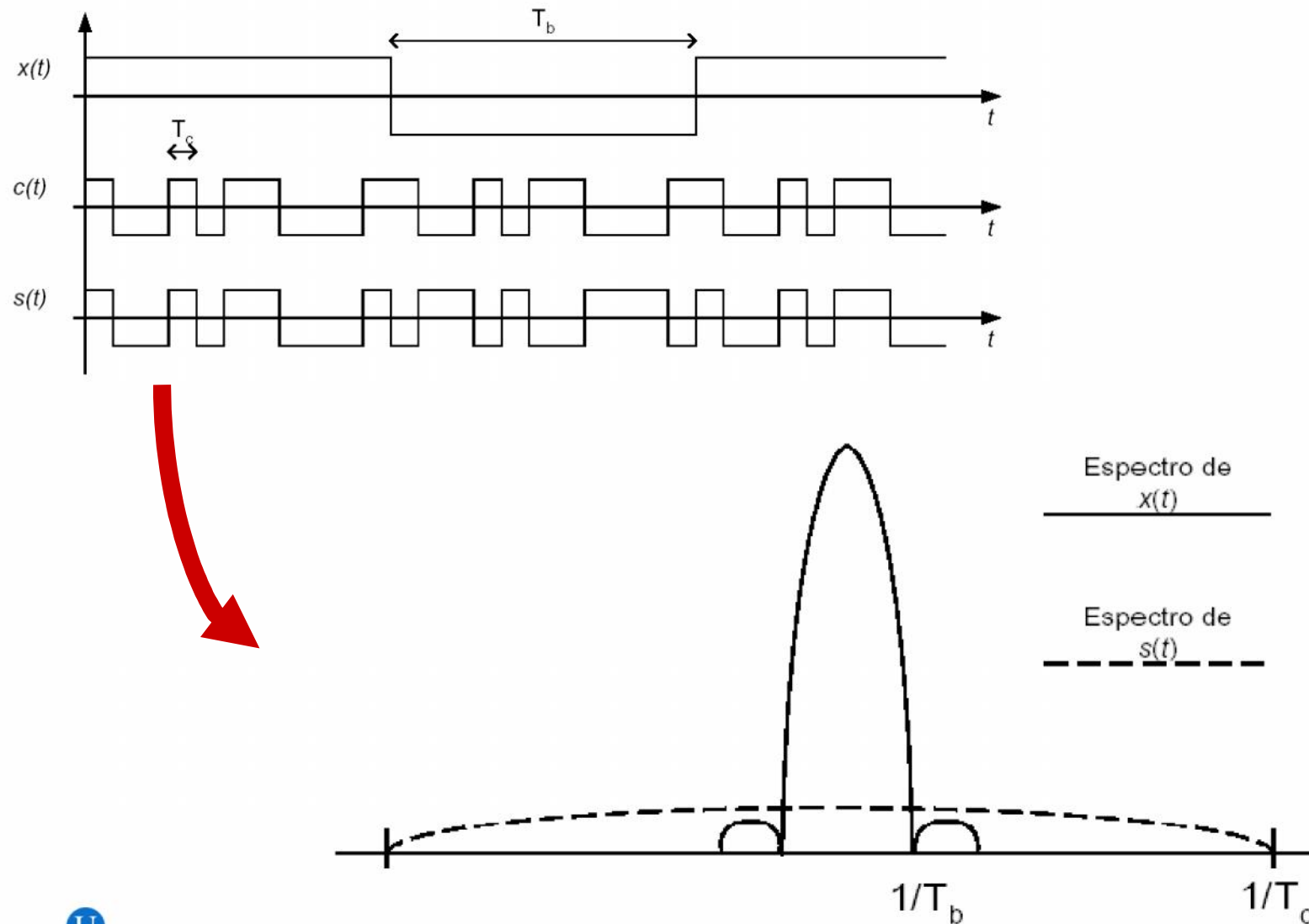


$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

$$s(t) = \sqrt{2P}x(t)c(t)\cos(2\pi f_0 t)$$

donde  $P$  es la potencia transmitida y  $f_0$  la frecuencia portadora.

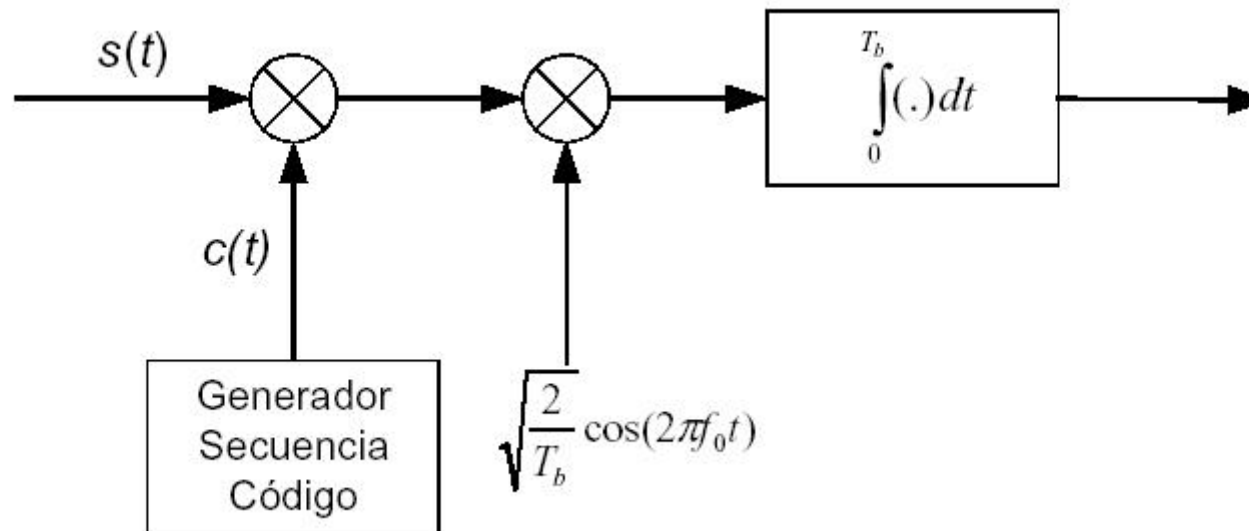
## 13.c Multiplexació (CDMA)



## 13.c Multiplexació (CDMA)

### *Descodificació al receptor.*

- 1.- Si la ortogonalitat és perfecta el receptor podrà separar els diferents senyals sense problema. A la pràctica sempre hi ha certa interferència donat que els senyals no són del tot ortogonals



## 13.c Multiplexació (CDMA)

- 1.- L'espectre del senyal rebut es concentra en un  $W = 1/T_b$ .
- 2.- El senyal interferent no es concentrarà en aquest  $W$  donat que el senyal transmès i per tant el seu espectre continuarà repartit en un  $W = 1/T_c$
- 2.- Per tant, un cop descodificada la relació entre senyal rebut i senyal interferent serà:

$$\Rightarrow \left( \frac{C}{I} \right) = \frac{T_b}{T_c} = G_p$$

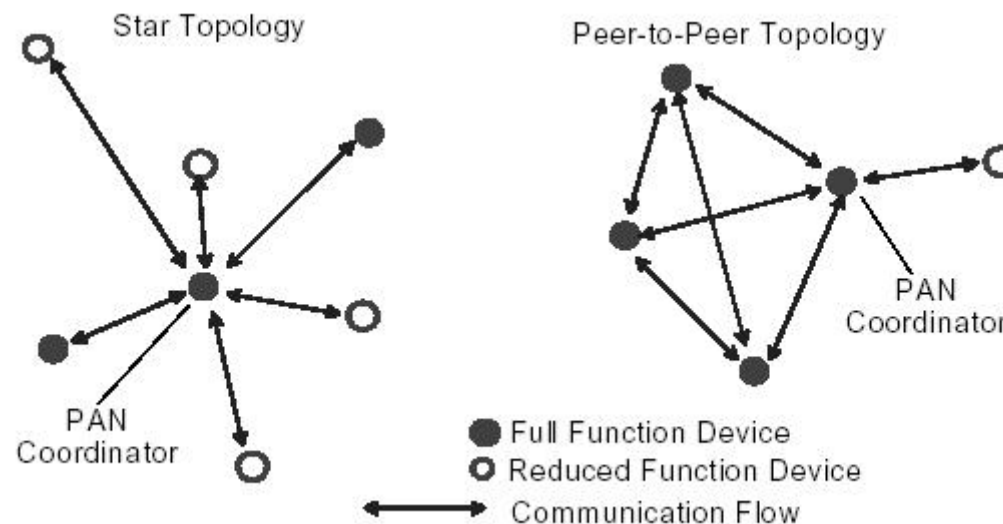
***L'eixamplament en freqüència protegeix els senyals de les Interferències en un grau que depèn del guany de processat.***

## 13.c Multiplexació (CDMA)

Exemple de CDMA's

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Exemple d'aplicació: Xarxes de sensors que segueixen l'especificació IEEE 802.15.4



## 13.c Multiplexació (CDMA)

Dades obtingudes del manual:

$$F_c = 868.3 \text{ in megahertz, for } k = 0$$

$$F_c = 906 + 2 (k - 1) \text{ in megahertz, for } k = 1, 2, \dots, 10$$

$$F_c = 2405 + 5 (k - 11) \text{ in megahertz, for } k = 11, 12, \dots, 26$$

Ens implica, a 2.4GHz (portadora) un ample de banda de 5 MHz

Si  $v = 250 \text{ kb/s}$  i en bauds tenim 62.5 kbauds/s això implica 4 bits per símbol

La taxa de transferència màxima és de 40 Mb/s, molt lluny dels 250Kb/s que utilitzem

## 13.c Multiplexació (CDMA)

La relació chip/bit és:

$$G_P = 32 \div 4 = 2000 \div 250 = 8$$

Data symbol (decimal)	Data symbol (binary) ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ )	Chip values ( $c_0, c_1, \dots, c_{30}, c_{31}$ )
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	01111011100011001001011000000111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001