

INFRAESTRUCTURA I TECNOLOGIA DE XARXES

Curs 2016/2017

COMUNICACIÓ DE DADES

DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS (10a Edició)

William Stallings. PRENTICE-HALL, 2012

COMPUTER NETWORKS. A TOP-DOWN APPROACH

Behrouz A. Forouzan, Firouz Mosharraf. McGRAW-HILL, 2012

DATA COMMUNICATIONS AND NETWORKING (5a Edició)

Behrouz A. Forouzan. McGRAW-HILL, 2013

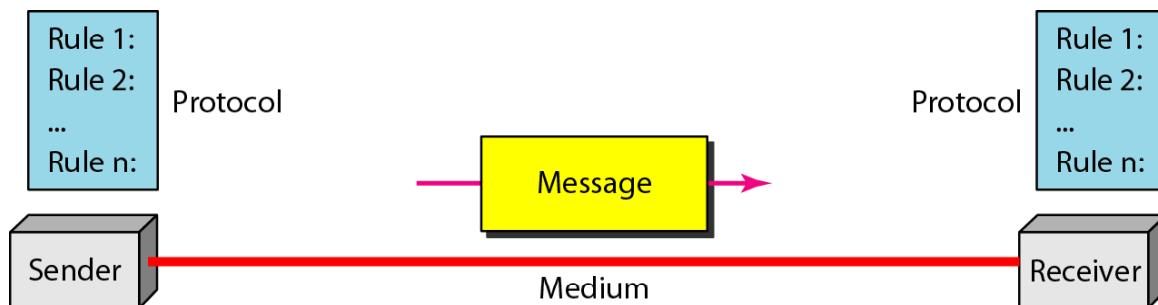
Continguts

- Dades i senyals
- Transmissió digital
- Transmissió analògica
- Ús de l'ample de banda
- Medis de transmissió

Dades i senyals

- **Problema:**

Moviment d'informació digital entre dos punts físicament distants mitjançant un sistema de transmissió basat en senyals electromagnètics (elèctrics, ones, òptics)



3

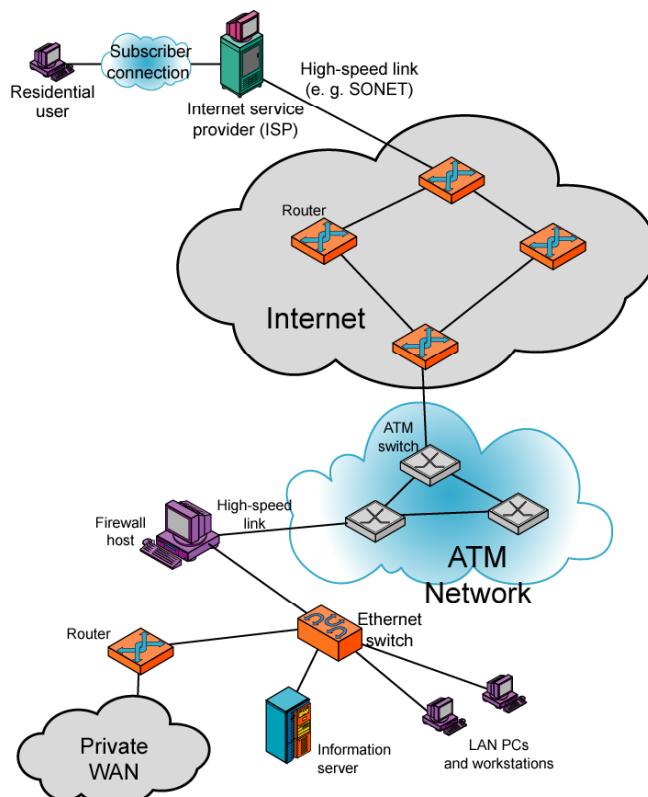
Dades i senyals

- **Múltiples punts:**

Xarxa de comunicació de dades

- Si els punts són computadors o equips informàtics:

Xarxa de computadors

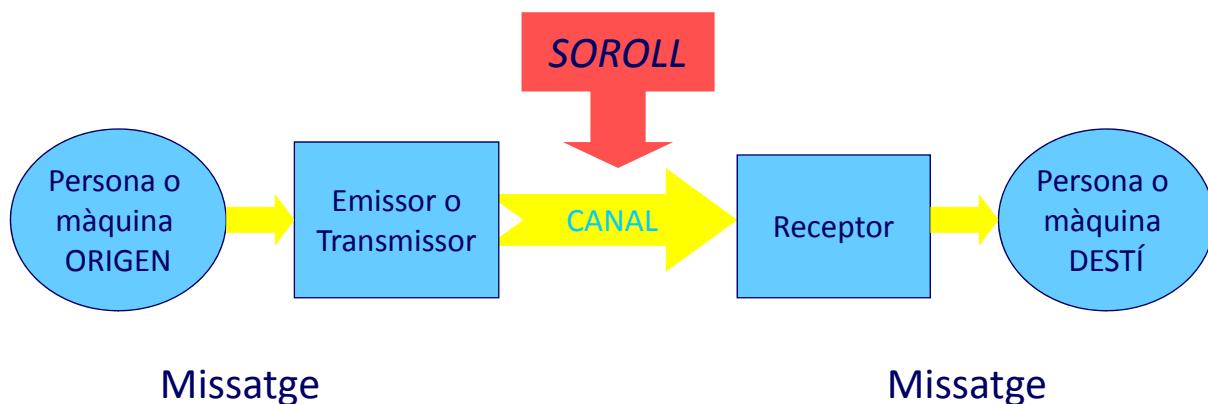


4

Dades i senyals

- **Sistema de comunicació:** conjunt de components que permeten la transmissió d'informació des d'un lloc (Emissor o Transmissor) a un altre (Receptor).

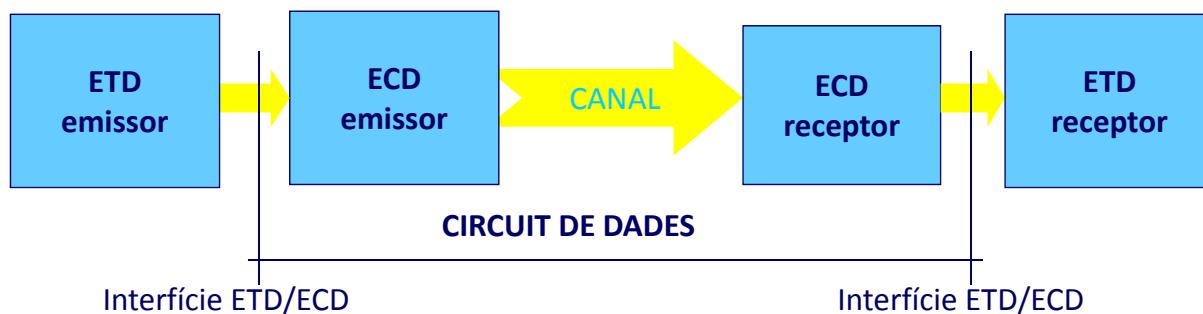
Informació → MISSATGE



5

Dades i senyals

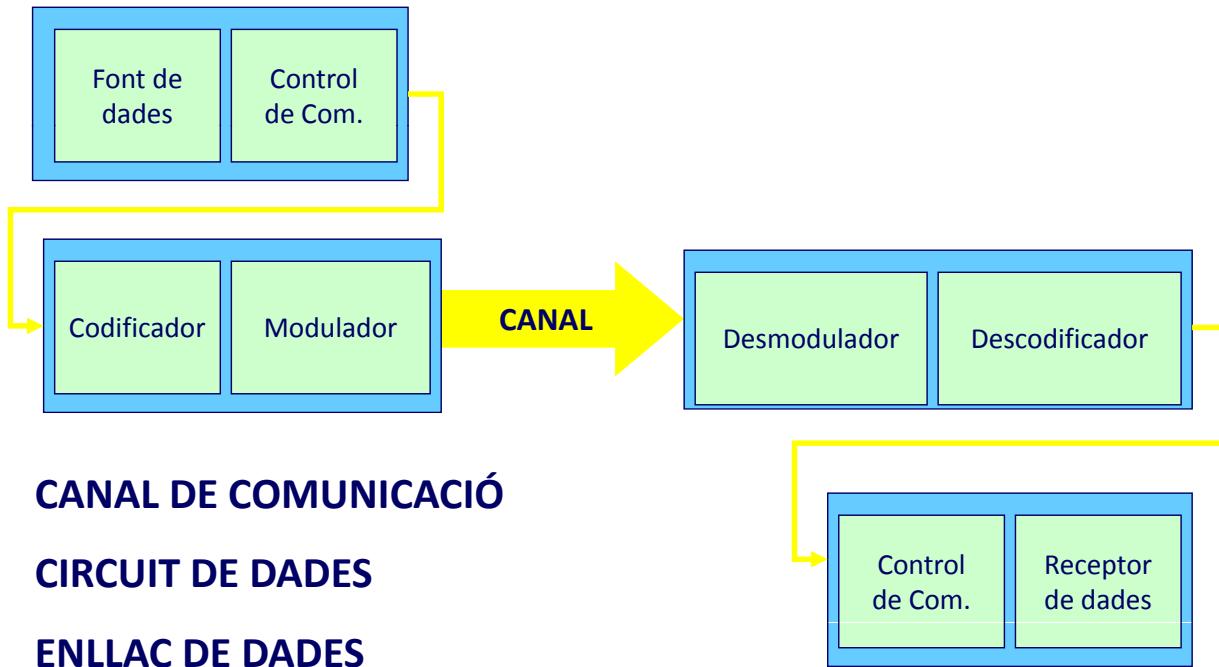
- Sistema de comunicació per la TD:
 - **Equip Terminal de Dades (ETD):** element origen o destí final de la informació.
 - **Equip de Comunicació de Dades (ECD):** encarregat d'adaptar el missatge per a la seva transmissió i posterior recepció.



6

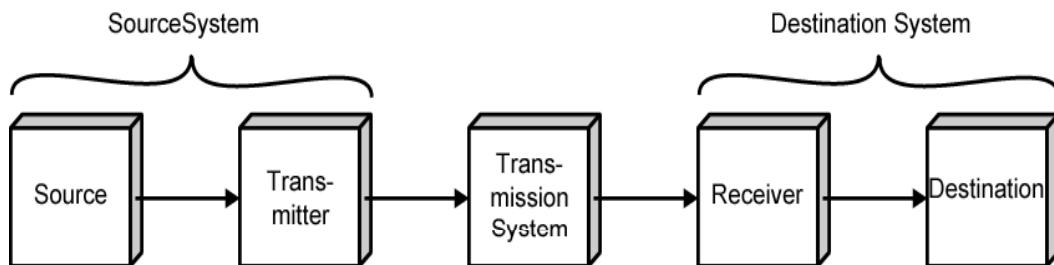
Dades i senyals

- Diagrama de blocs detallat:



7

Dades i senyals



(a) General block diagram

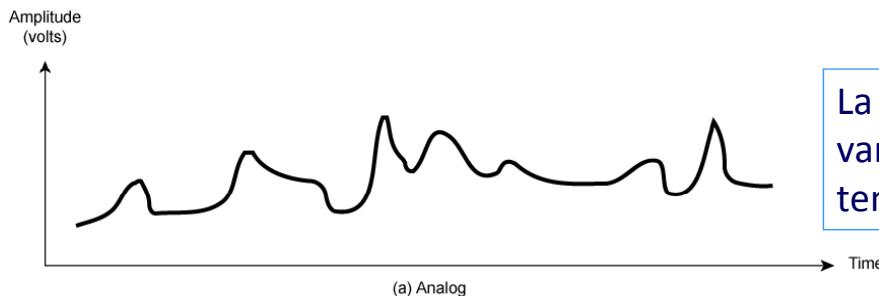


(b) Example

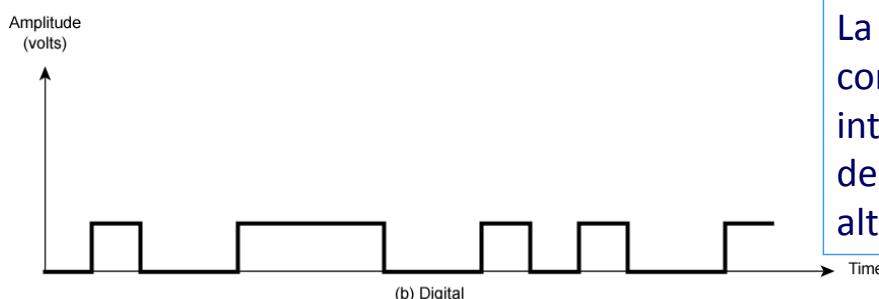
8

Dades i senyals

- Abans de transmetre les dades s'han de convertir en senyals electromagnètics. Tant **missatges** com **senyals** transmesos poden ser **digitals** o **analògics**.



La intensitat del senyal varia suavament en el temps, sense salts.



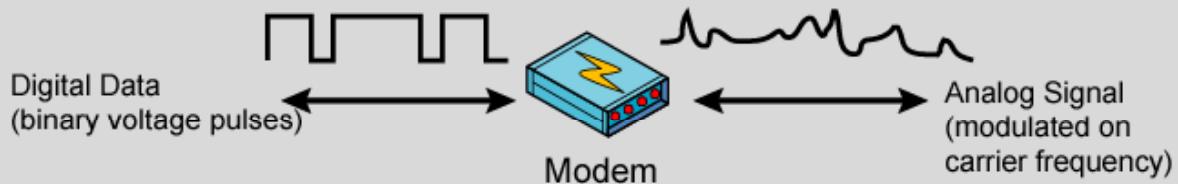
La intensitat es manté constant durant un interval de temps i després canvia a un altre valor constant.

9

Dades i senyals

Senyals analògics

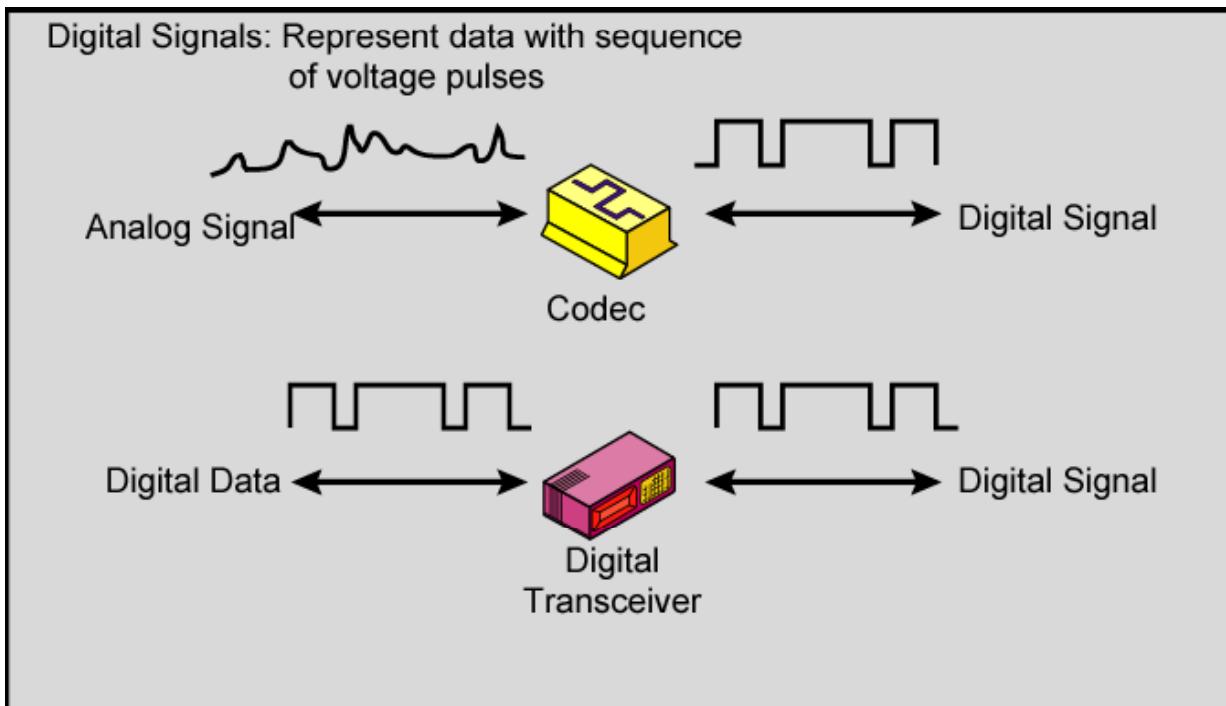
Analog Signals: Represent data with continuously varying electromagnetic wave



10

Dades i senyals

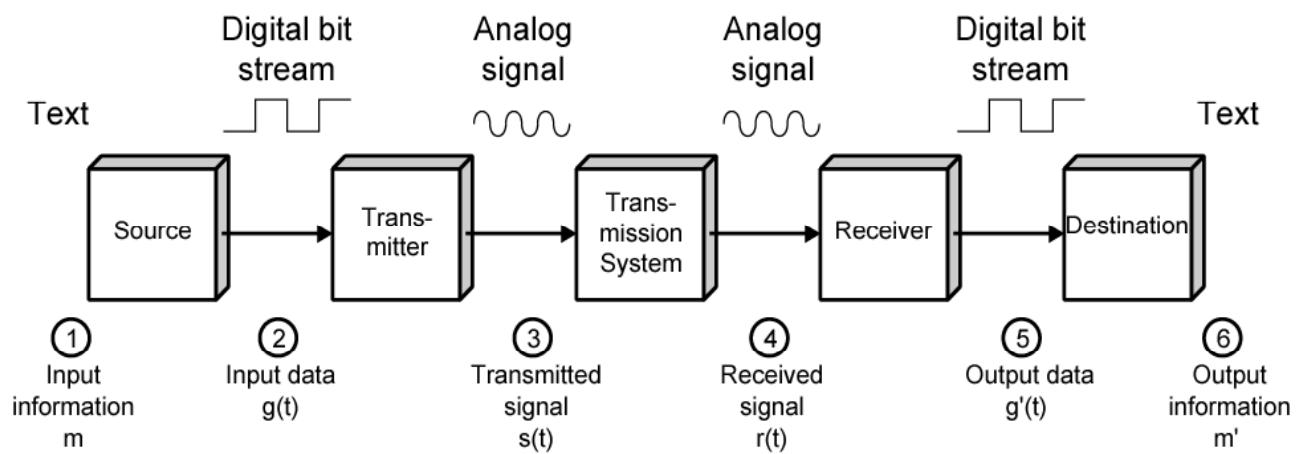
Senyals digitals



11

Dades i senyals

Tornem al model simplificat per a la comunicació de dades:



12

Dades i senyals

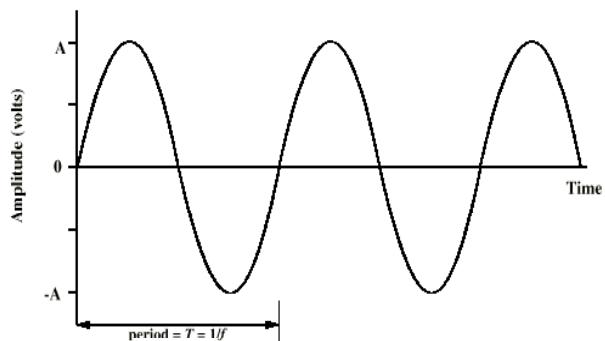
Senyals periòdics:

Patró que es repeteix al llarg del temps.

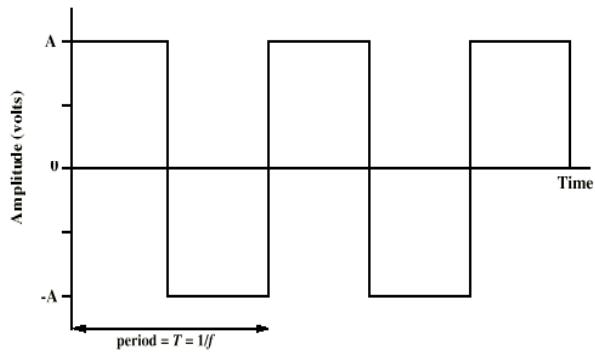
- Cicle / període (T): part del senyal que es repeteix

- Freqüència (f): número de cicles per unitat de temps (un segon) - Hz (Hertz) $T = 1/f$

- Longitud d'ona (λ): distància a la que es desplaça un senyal en un cicle $\lambda = vT$



(a) Sine wave



(b) Square wave

13

Dades i senyals

- Unitats i equivalències utilitzades en transmissió de dades

Unit	Equivalent	Unit	Equivalent
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microseconds (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

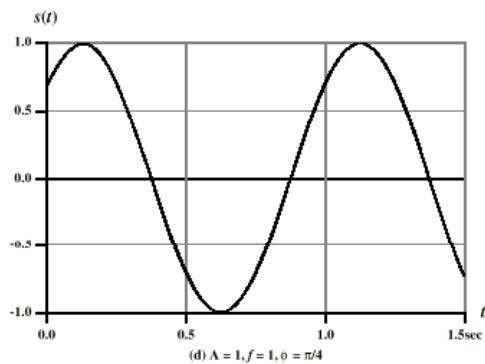
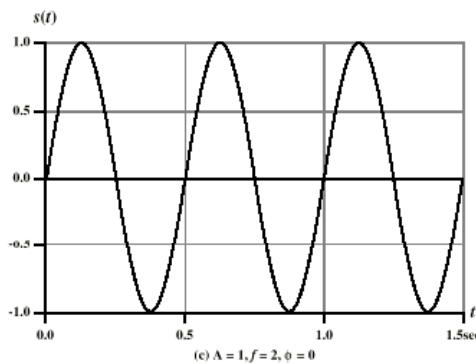
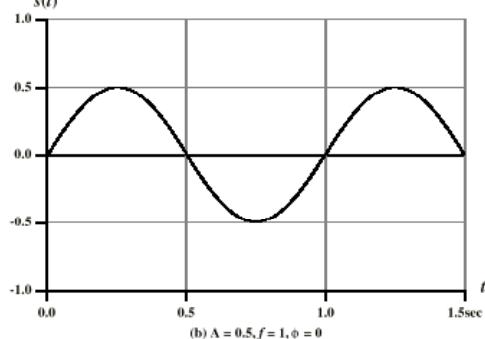
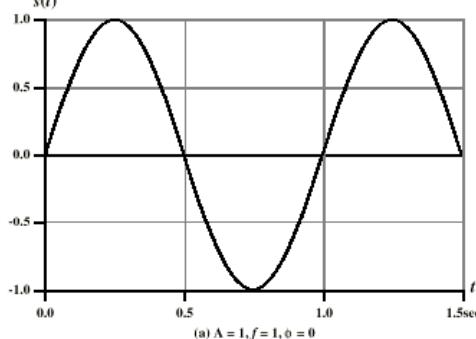
Cal fer-les servir !!!

14

Dades i senyals

Senyals sinusoïdals: $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$

A: Amplada (Volts) / f: Freqüència (Hertz, Hz) / ϕ : Fase (posició relativa)



15

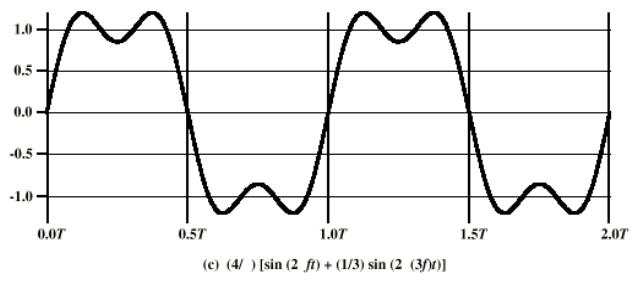
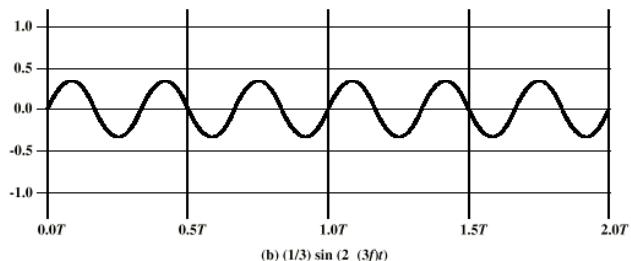
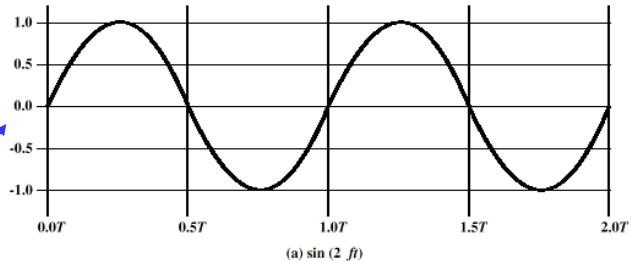
Dades i senyals

Els senyals electromagnètics es componen de moltes freqüències (**components**)

$$s(t) = (4/\pi) [\sin(2\pi ft) + 1/3 \sin(2\pi(3f)t)]$$

freqüència fonamental: f

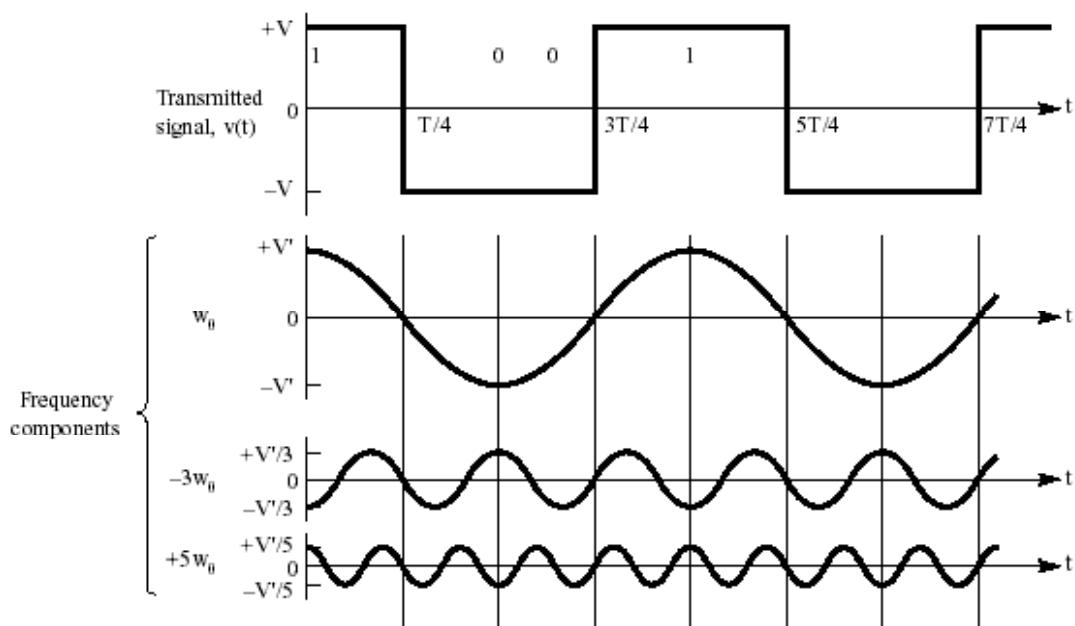
(les freqüències de tots els components són múltiples enters d'aquesta)



16

Dades i senyals

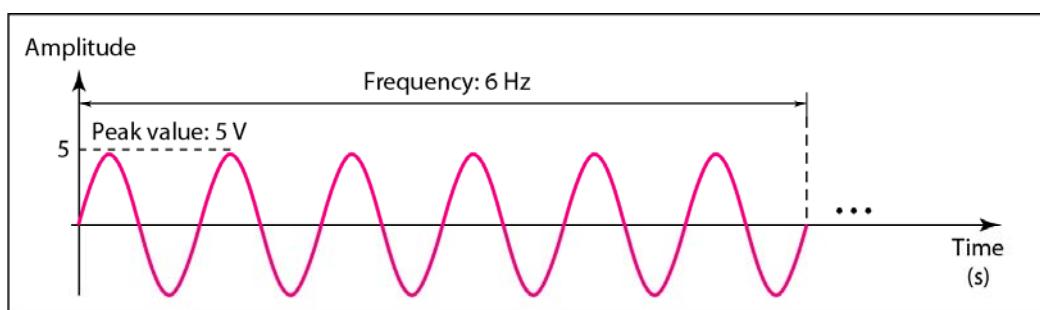
Anàlisi de Fourier: qualsevol senyal està format per components sinusoïdals de diferents freqüències.



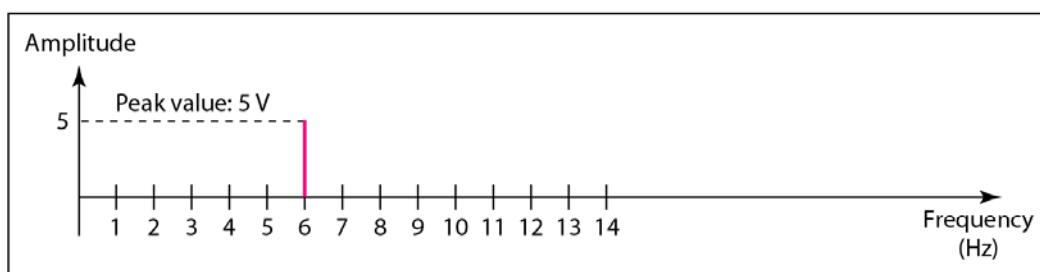
17

Dades i senyals

Representació de senyals en el domini freqüencial:
(especifica les amplades per les diferents freqüències)



a. A sine wave in the time domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

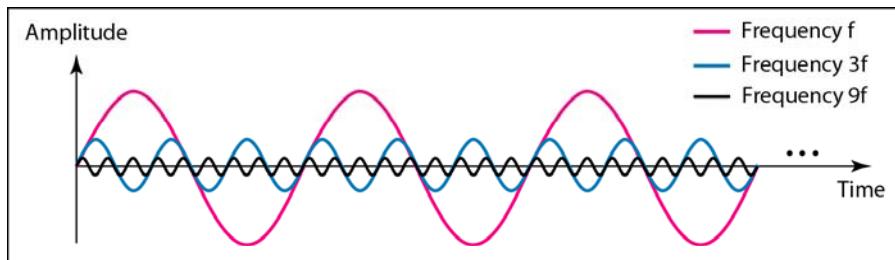
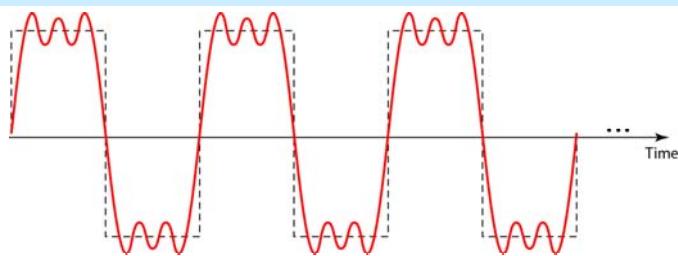


b. The same sine wave in the frequency domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

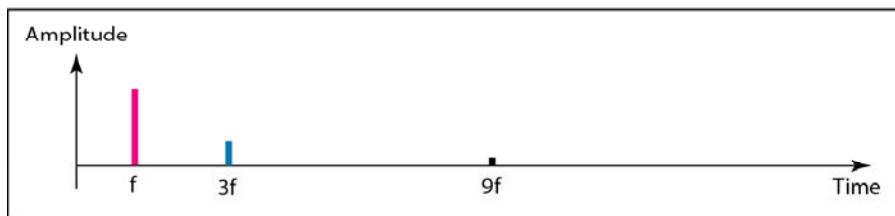
18

Dades i senyals

Anàlisi de Fourier:



a. Time-domain decomposition of a composite signal



b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

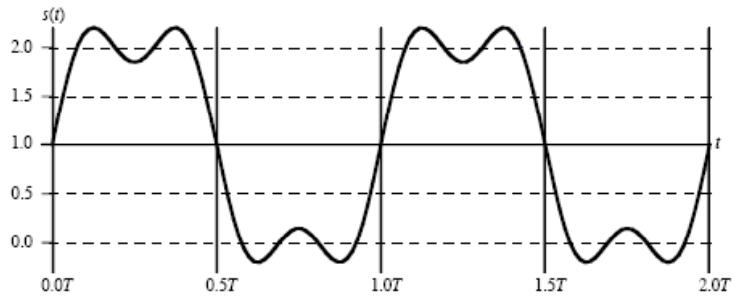
19

Dades i senyals

Component contínua

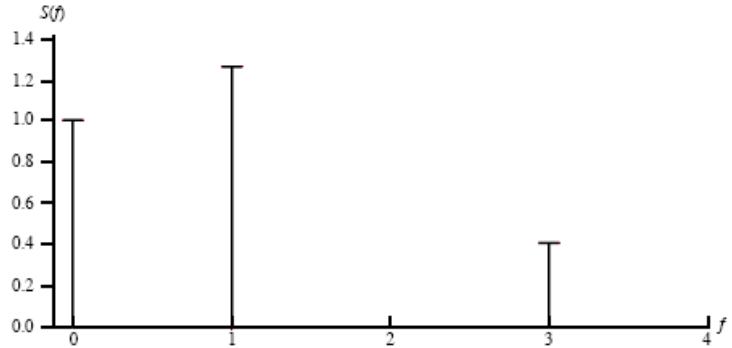
(*direct current, dc*):

Component de freqüència zero.



$$(a) s(t) = 1 + (4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t)]$$

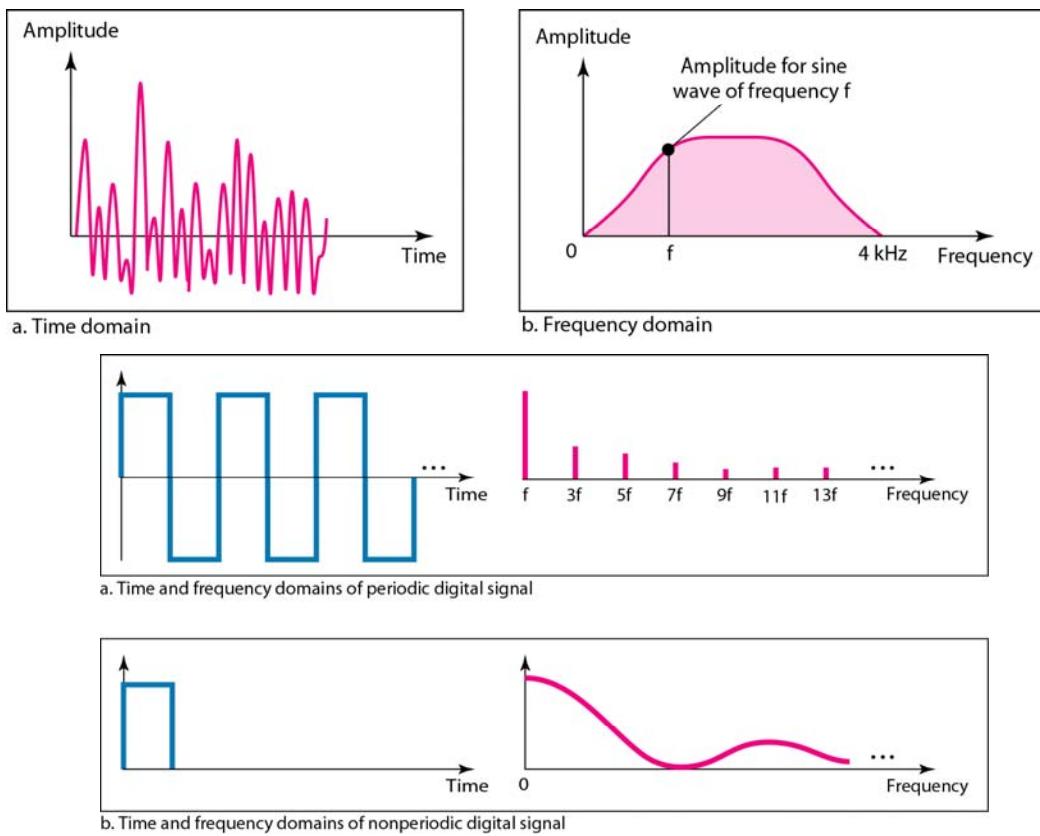
(Si un senyal té **dc**,
l'amplada promig serà
diferent de zero)



$$(b) S(f)$$

20

Dades i senyals



21

Dades i senyals

- **Espectre d'un senyal:**
 - Conjunt de freqüències que constitueixen un senyal.
 - Rang de freqüències sota les que un senyal pot ser emès i reconegut posteriorment pel receptor.
 - Veu humana: de 100 Hz a 8 kHz (de 500 Hz a 3 kHz).
- **Ample de banda (BW) (quan parlem de senyals):**
 - Marge de freqüències ocupat per un determinat fenomen.
 - Marge de freqüències que suporta una determinada línia o canal de comunicacions.
 - Ample de banda **absolut**: amplada de l'espectre.
 - Ample de banda **efectiu**: banda de freqüències que concentra la major part de l'energia del senyal.

22

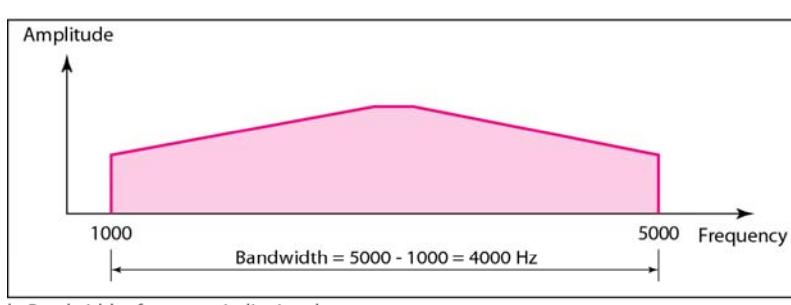
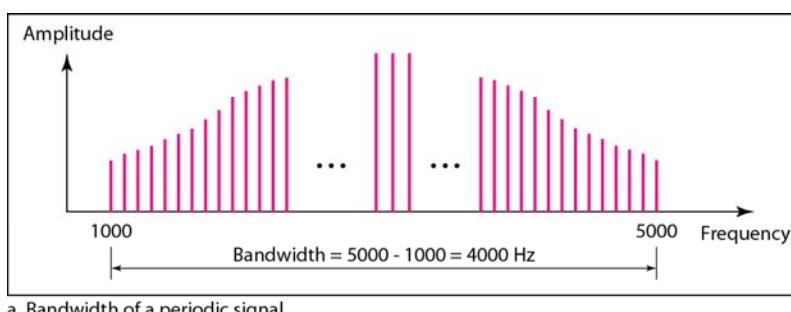
Dades i senyals

- **Ample de banda (BW) (quan parlem de computació):**
 - Sinònim de “*Velocitat de transmissió*” de la xarxa.
 - Quantitat d’informació o de dades que es pot transmetre per una connexió de xarxa en un període de temps.
 - S’indica generalment en bits por segon (bps), kilobits per segon (kbps, 10^3), Megabits per segon (Mbps, 10^6) o Gigabits per segon (Gbps, 10^9).

23

Dades i senyals

Ample de banda: diferència entre la freqüència més alta i la més baixa contingudes en el senyal.



Exemple: Xarxa Telefònica Commutada (XTC)

- Espectre de freqüències: [300Hz, 3400Hz]
- Ample de banda: $3400 - 300 = 3100\text{Hz}$

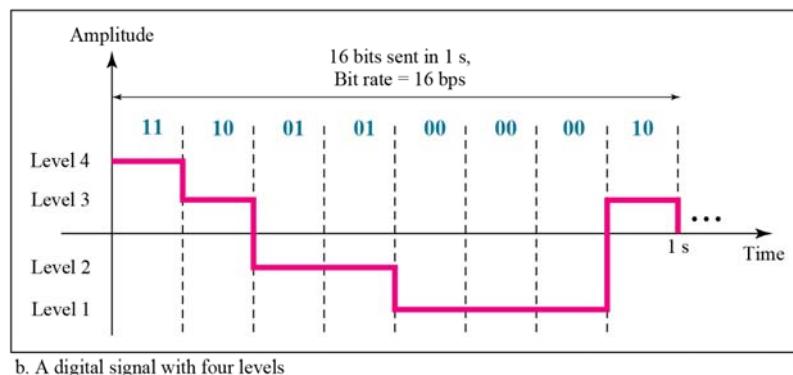
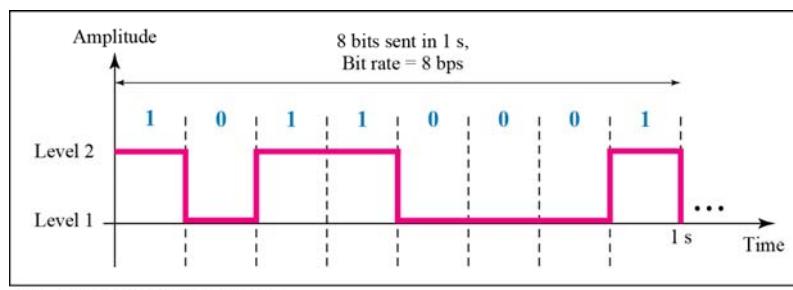
24

Dades i senyals

- Taxa de bits (velocitat): nombre de bits enviats en un segon (**bps**).

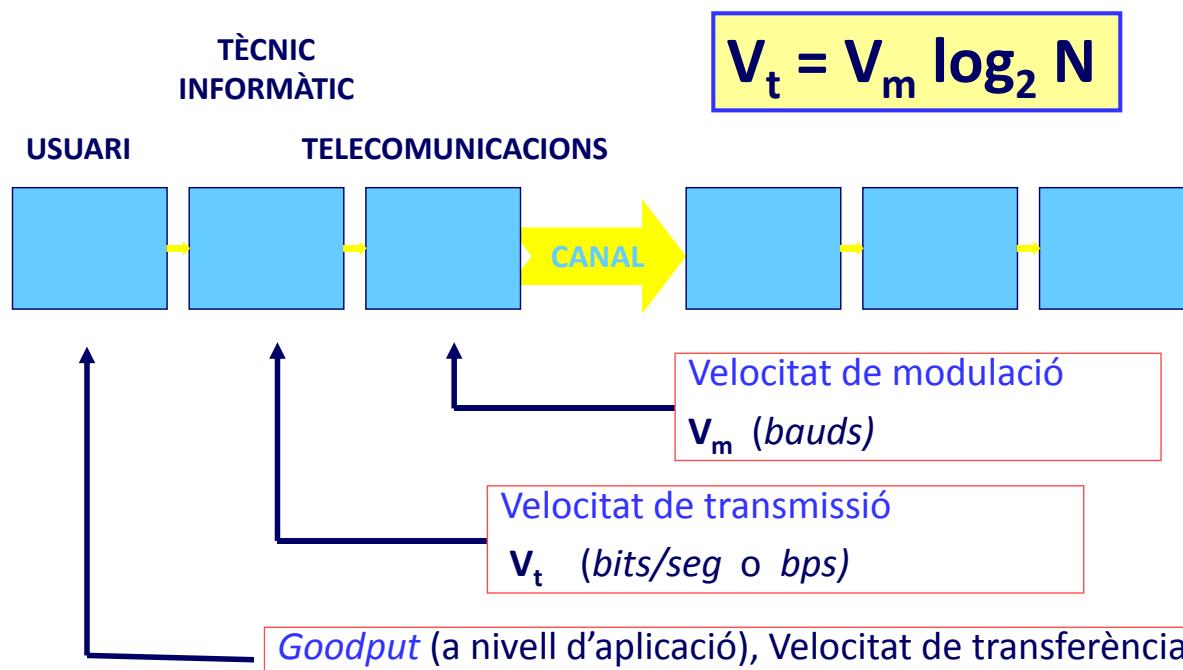
Durada del bit: temps que es triga en enviar un bit ($1/\text{taxa de bits}$).

Interval de bit: distància que ocupa un bit en el medi de transmissió.
(velocitat de propagació * durada del bit)



Dades i senyals

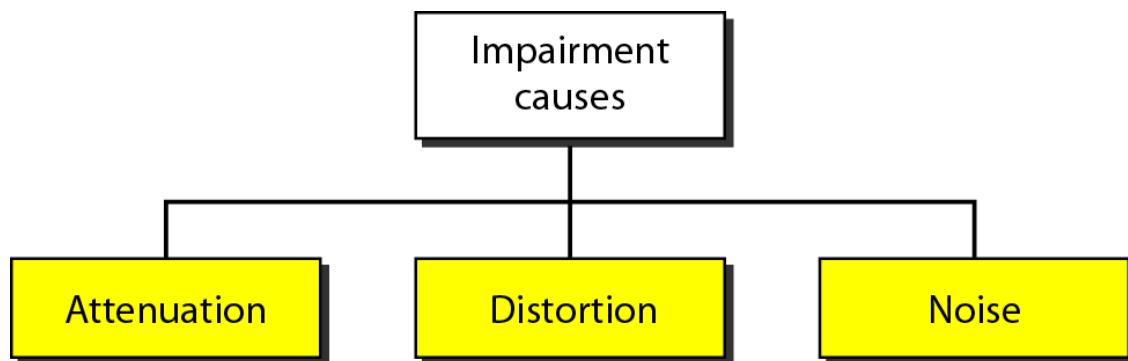
- El concepte de velocitat:



Dades i senyals

Dificultats en la transmissió.

Medis de transmissió no perfectes: el senyal emès al principi del medi no és el mateix que el que arriba al final.



27

Dades i senyals

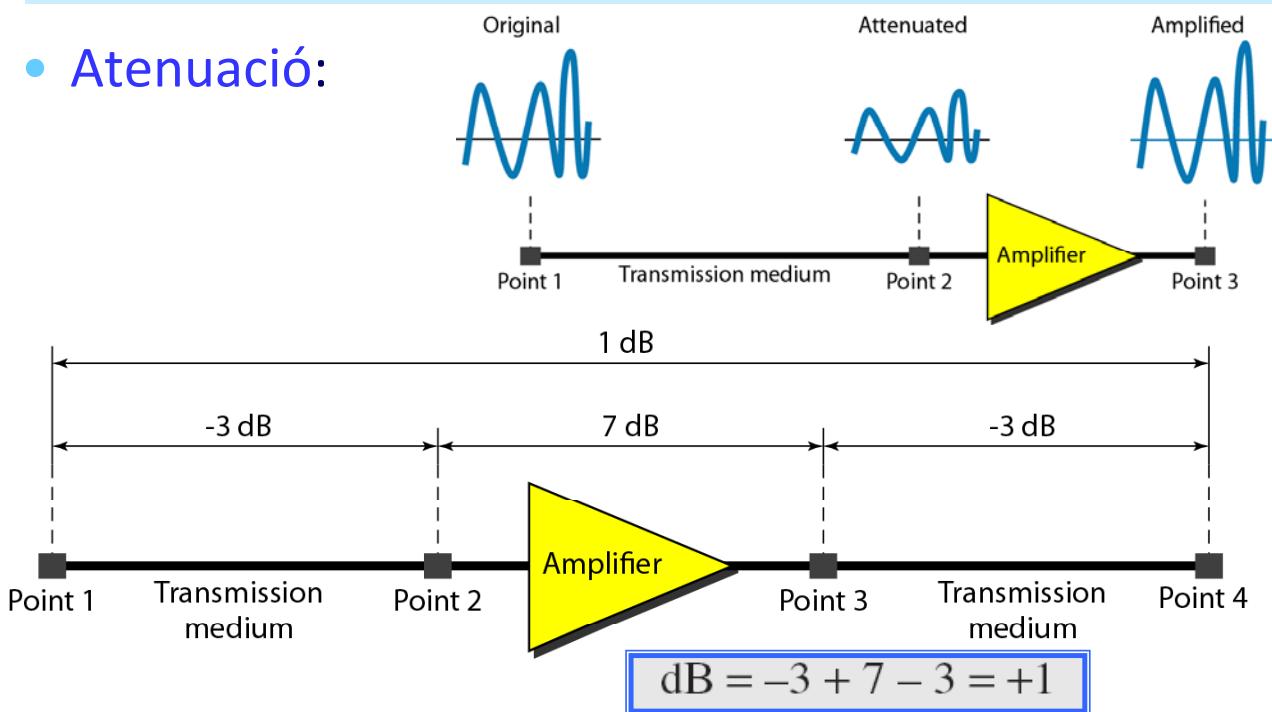
- Atenuació: l'energia del senyal decau amb la distància
 - El senyal rebut ha de tenir suficient energia per a que la circuiteria del receptor pugui detectar i interpretar el senyal.
 - Per a que no hi hagi error, el senyal ha de conservar un nivell superior al nivell del soroll.
 - Funció creixent amb la freqüència.

Ús d'AMPLIFICADORS i “EQUALITZADORS”

28

Dades i senyals

- Atenuació:



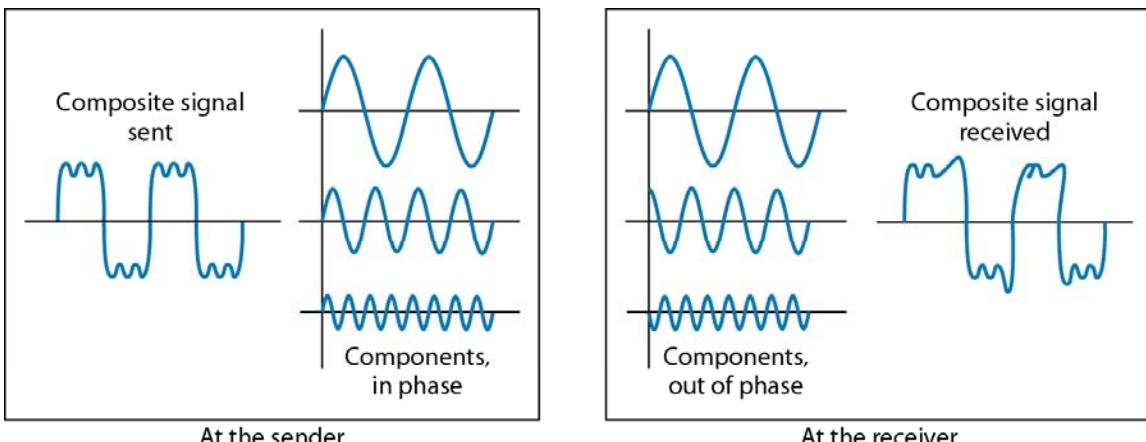
Decibels (dB): concepte utilitzat per mesurar les pèrdues o guanys de potència. Mesura potències relatives: $\text{dB} = 10 \log_{10} (P_2/P_1)$

29

Dades i senyals

- Distorsió de retard: la velocitat de propagació en el medi varia amb la freqüència → Desplaçaments en fase entre les diferents freqüències → Interferències entre símbols. Limita la taxa de transmissió màxima en un canal.

Ús "EQUALITZADORS"



30

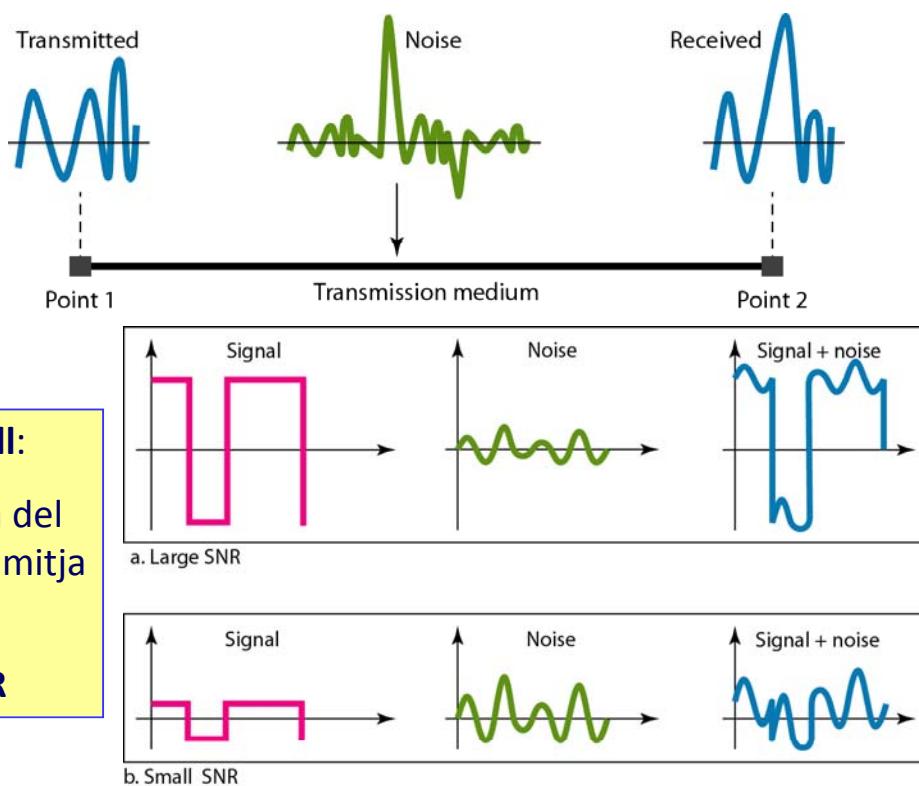
Dades i senyals

- **Soroll:** senyals no desitjats que s'afegeixen al senyal transmès en qualsevol punt entre E i R
 - **Soroll tèrmic (blanc):** moviment dels electrons en funció de la temperatura. No es pot eliminar.
 - **Soroll d'intermodulació:** senyals de diferents freqüències que comparteixen el mateix medi de transmissió i que provoquen l'aparició de senyals a altres freqüències.
 - **Diafonia:** acoblament no desitjat entre les línies que transporten els senyals (*crosstalk*).
 - **Soroll impulsiu:** polsos o pics irregulars de curta durada i amplada relativament gran. Causes externes.

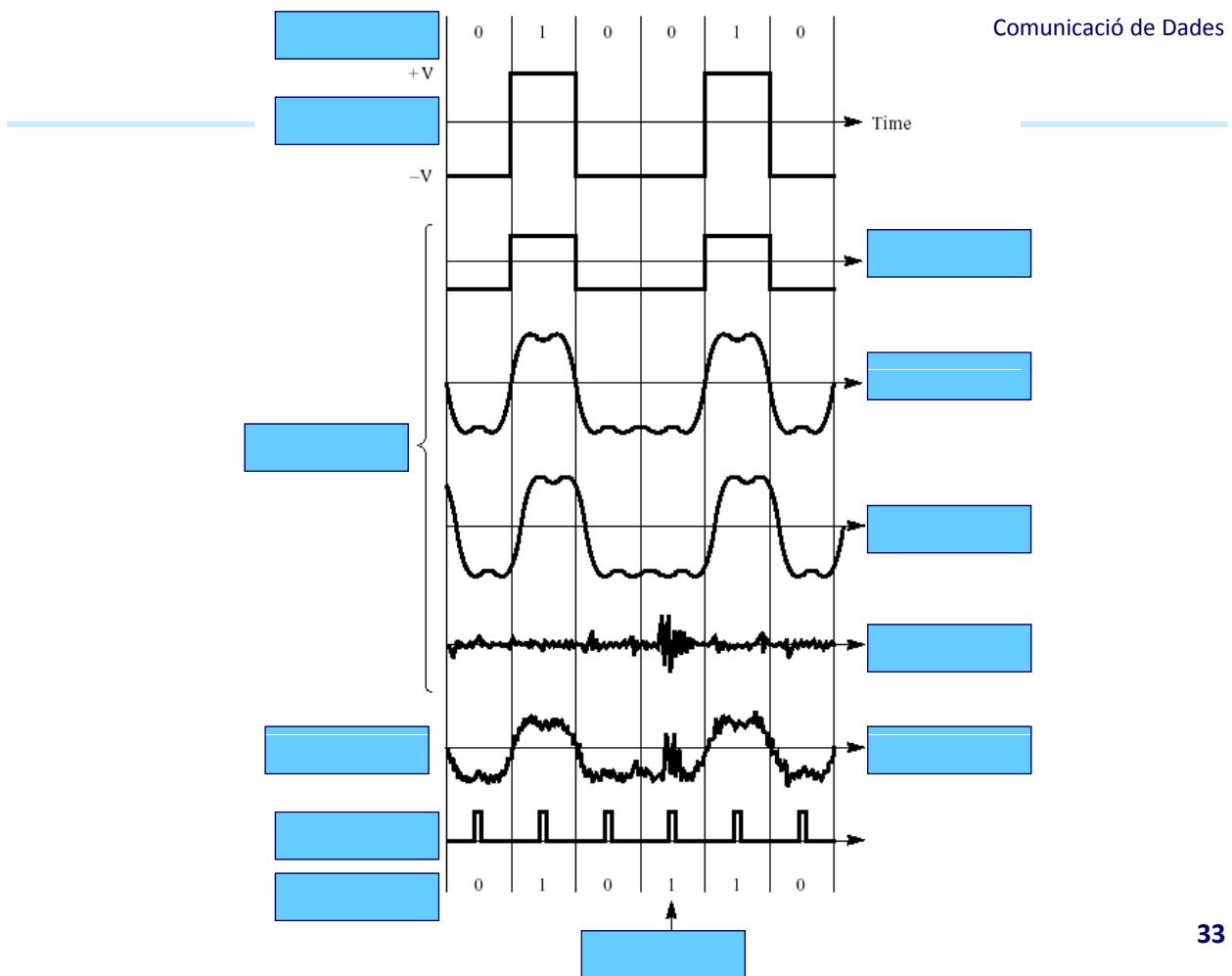
31

Dades i senyals

- **Soroll:**



32



Comunicació de Dades

Dades i senyals

Capacitat del Canal – Taxa de transmissió:

- Màxima velocitat a la que es poden transmetre les dades en un canal (bits per segon).

- Factors dels que depèn:
 - Ample de banda disponible (tots els canals estan limitats en banda).
 - Nivells de senyal que s'utilitzen en la transmissió.
 - Qualitat del canal (nivell de soroll)

Dades i senyals

Canal sense soroll (missatge lliure d'errors):

Taxa de bits de *Nyquist*:

Canal amb ample de banda **B** → es poden transmetre **símbols** fins a una velocitat de **2B** (però no més).

$$C = 2B \log_2 L \text{ (bps)}$$

L: nombre de nivells de senyalització

Per transmetre informació a **C bps**, per un canal sense soroll, cal un ample de banda:

$$B = C / (2 \log_2 L) \text{ (Hz)}$$

35

Dades i senyals

Canal amb soroll (situació real):

Capacitat de *Shannon*: Taxa de dades màxima teòrica (poden haver-hi altres factors que redueixin aquest valor)

$$C = B \log_2 (1 + SNR) \text{ (bps)}$$

SNR = Potència mitja del senyal (S) / Potència mitja del soroll (N) = S/N

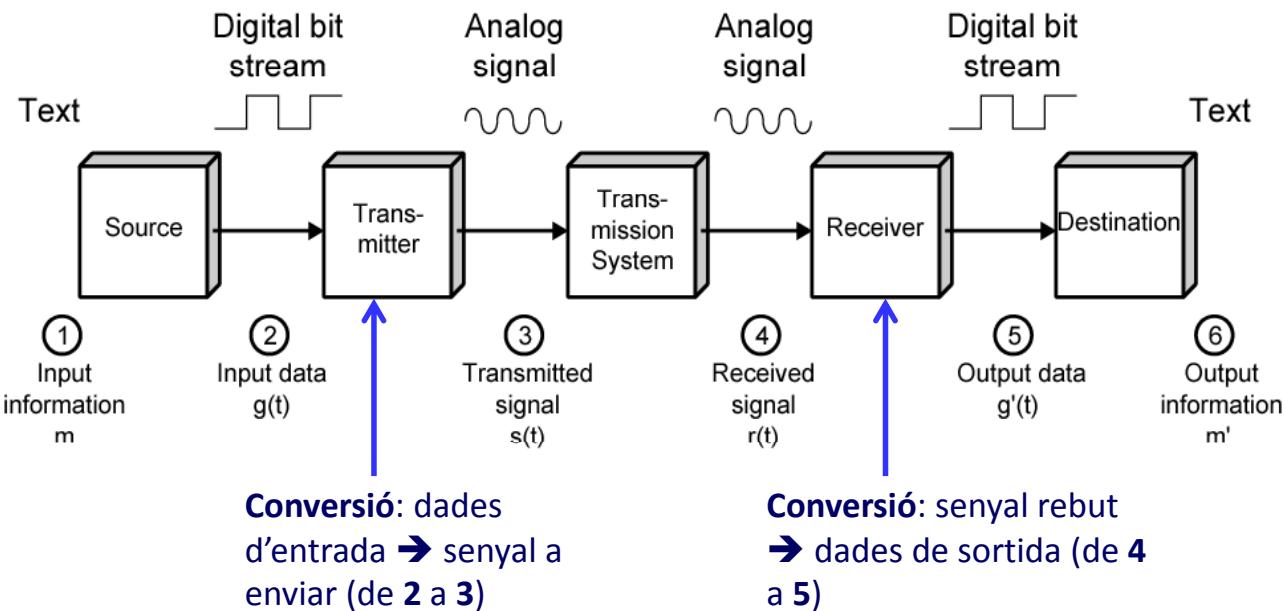
$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} (SNR) \text{ (dB)}$$

Normalment coneixem SNR_{dB} i cal calcular SNR

36

Transmissió digital

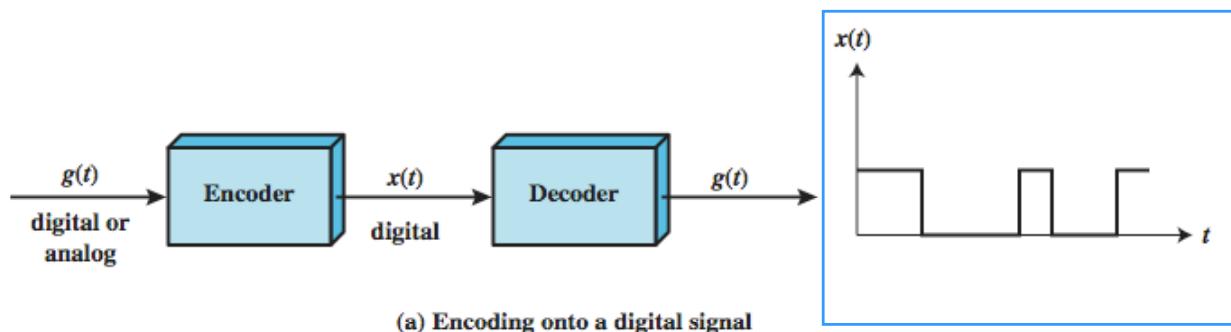
Objectiu: comunicació fiable i eficient de la informació a través del canal de comunicacions. Cal convertir les dades a un senyal analògic o a un senyal digital per la seva transmissió. **Dependrà del format original i del utilitzat pel hardware de comunicacions.**



37

Transmissió digital

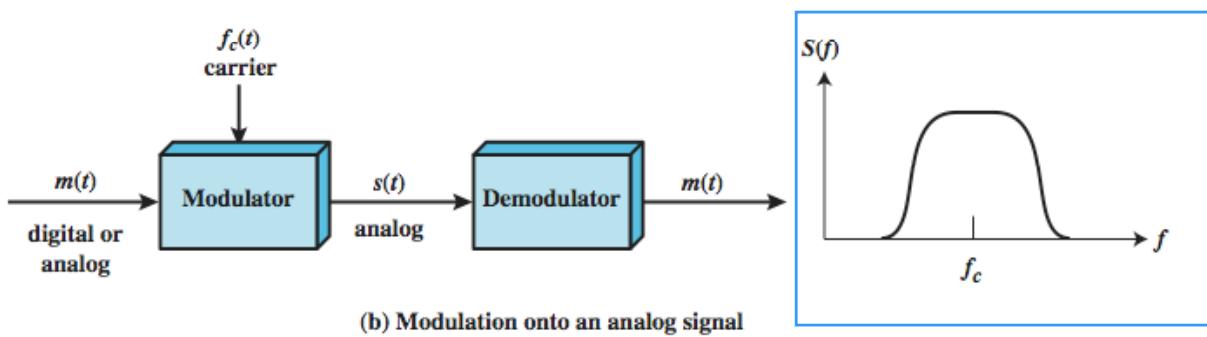
CODIFICACIÓ (Senyalització digital): Una font de dades, que pot ser analògica o digital, es codifica en un senyal digital.



38

Transmissió digital

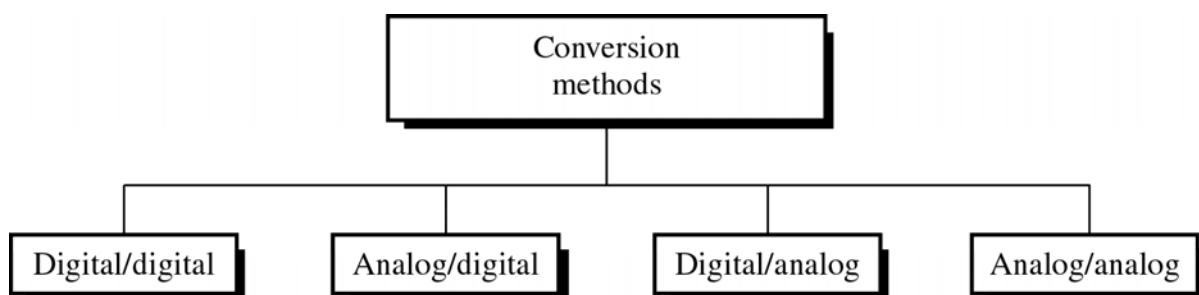
MODULACIÓ (Transmissió analògica): Ús d'un senyal portador analògic continu de freqüència constant que es modifica en funció de les dades generades per la font. Modificació d'un o més dels tres paràmetres del senyal portador: amplada, freqüència i fase.



39

Transmissió digital

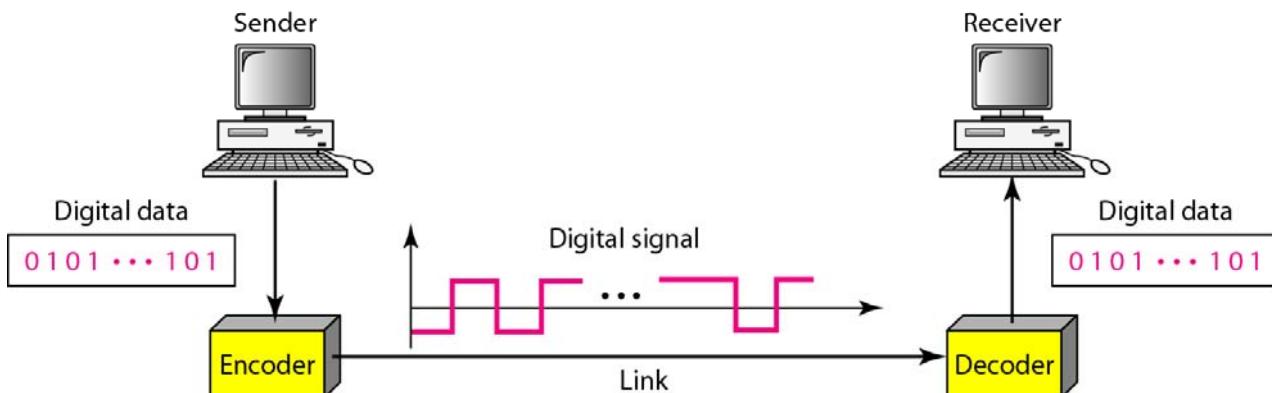
- Tipus de dades d'entrada (missatge):
 - Analògiques: veu, senyal TV, ..
 - Digitals: dades computador, ..
- Tipus de senyals portadors:
 - Analògics: senyal sinusoïdal
 - Digitals: tren de polsos



40

Transmissió digital

Codificació digital de senyals digitals



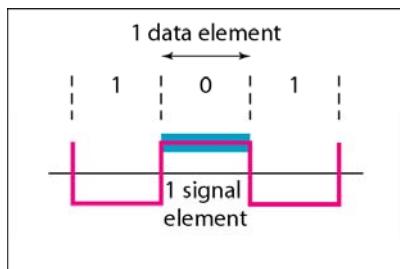
Senyal digital:

- Seqüència de polsos de tensió discrets i discontinus
- Element de senyal → **Pols** de tensió d'amplitud constant
- Es codifica cada bit de dades en cada element del senyal

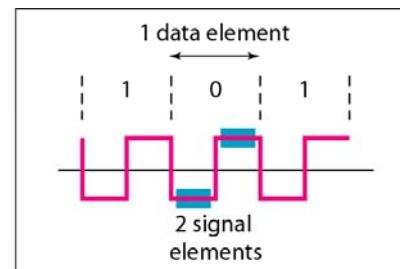
41

Transmissió digital

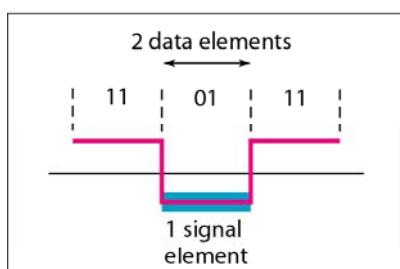
El nombre de bits a transmetre (dades) no sempre es corresponen amb el nombre de senyals (polos) generats:



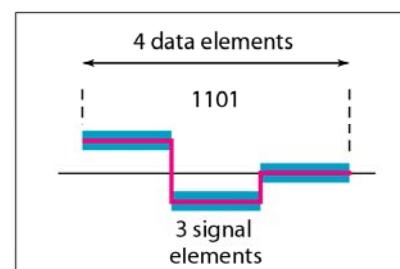
a. One data element per one signal element ($r = 1$)



b. One data element per two signal elements ($r = \frac{1}{2}$)



c. Two data elements per one signal element ($r = 2$)

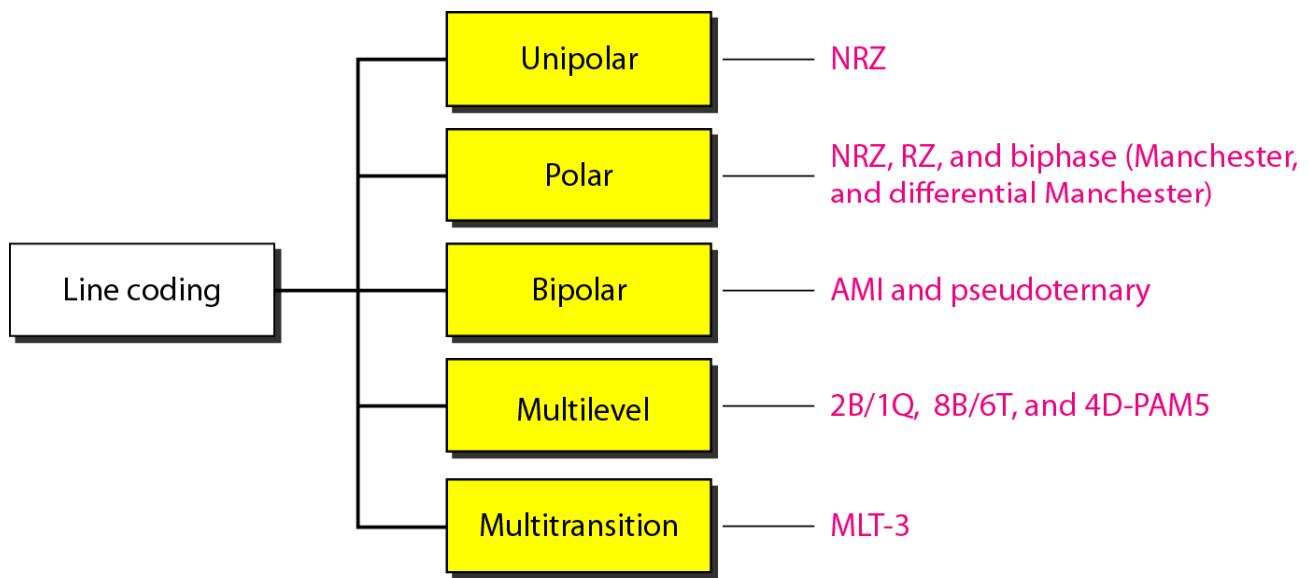


d. Four data elements per three signal elements ($r = \frac{4}{3}$)

42

Transmissió digital

- Esquemes de codificació (la seva elecció influeix en la millora de les prestacions del sistema de comunicacions):



43

Transmissió digital

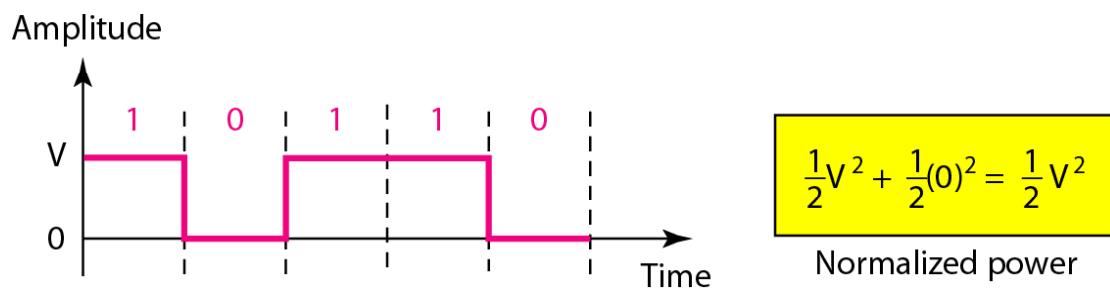
- Aspectes a considerar a l'hora d'avaluar-los i comparar-los:
 - **Espectre del senyal:**
 - Components a altes freqüències (-)
 - Component de contínua (-)
 - Concentració de la potència a la part central de l'ample de banda (+)
 - **Sincronisme:**
 - Proporcionar sincronisme amb el senyal transmès (+)
 - **Detecció d'errors:**
 - Incorporació de capacitats de detecció d'errors (+)
 - **Immunitat al soroll i interferències**
 - **Cost i complexitat:**
 - A major velocitat de transmissió per a una velocitat de modulació donada → major cost

44

Transmissió digital

Unipolar (NRZ) - tots els elements del senyal tenen el mateix signe.

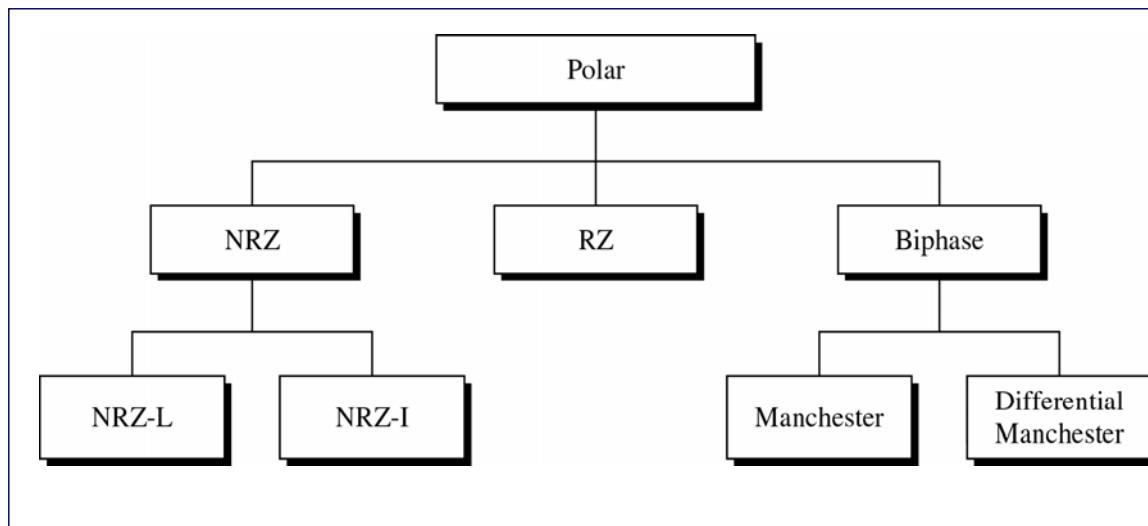
Problemes: Component DC i Sincronització



45

Transmissió digital

Polar: Nivells de voltatge positiu o negatiu per representar els dos estats lògics.



46

Transmissió digital

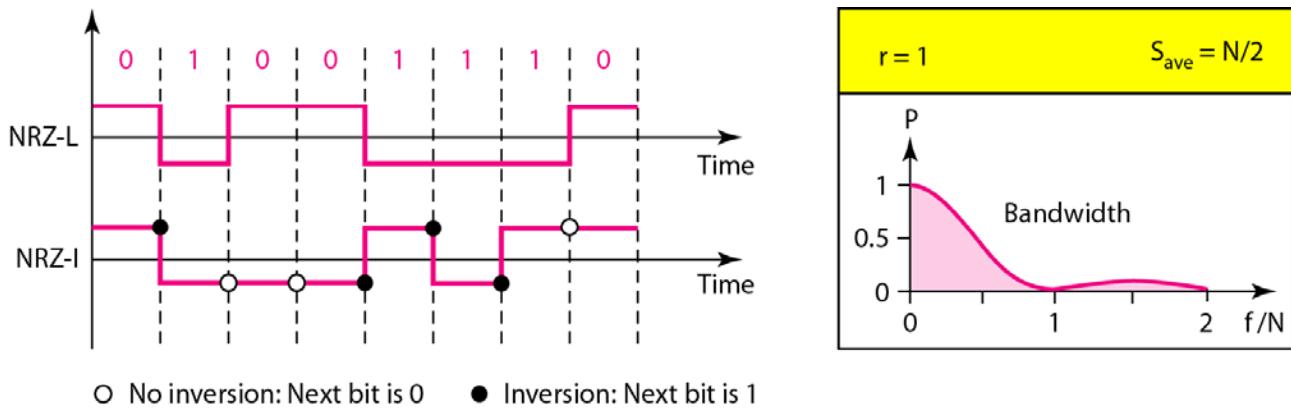
NRZ: Sense retorn a zero (NRZ-L i NRZ-I)

- El nivell del senyal és sempre positiu o negatiu

NRZ-L: Nivell del senyal en funció de l'estat del bit

NRZ-I: El senyal s'inverteix si es troba un 1. (Codificació Diferencial)

Problemes: Component DC i Sincronització

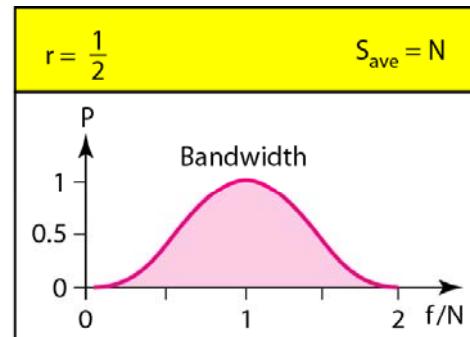
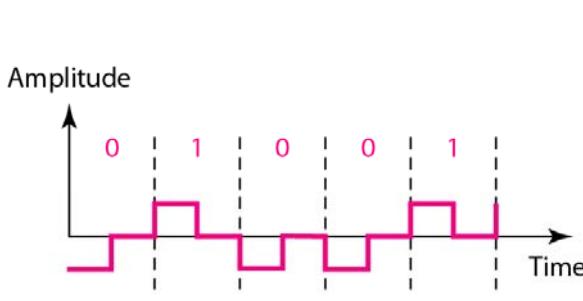


47

Transmissió digital

RZ: Amb retorn a zero

- Canvis de voltatge per cada bit → Ús de tres valors: positiu, negatiu i zero.
- Inconvenient: necessita dos canvis de senyal per codificar un bit → Ús de més ample de banda.

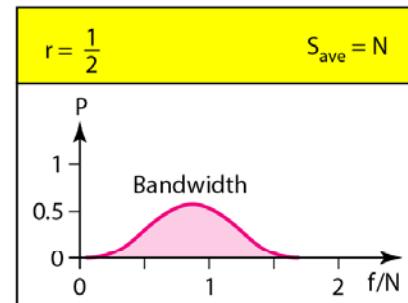
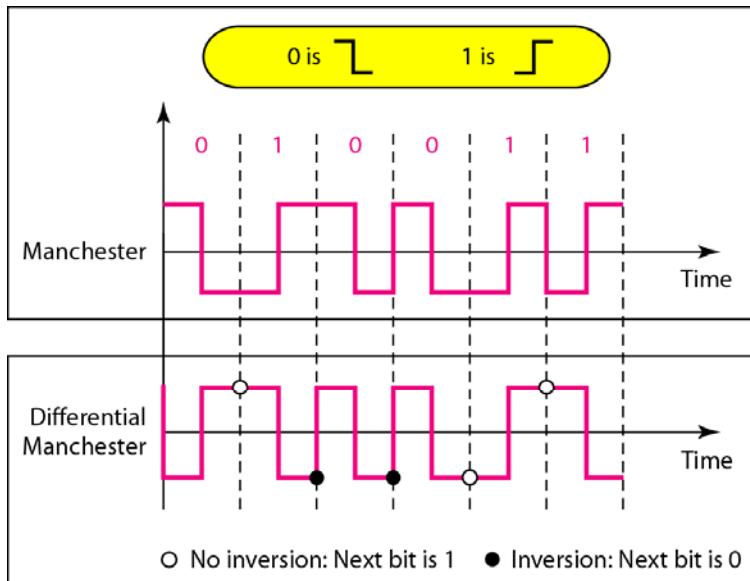


48

Transmissió digital

Bifase: (Manchester i Manchester diferencial)

- El senyal canvia a meitat de l'interval de bit, però sense tornar a zero → Útil per a la sincronització i la detecció d'errors.



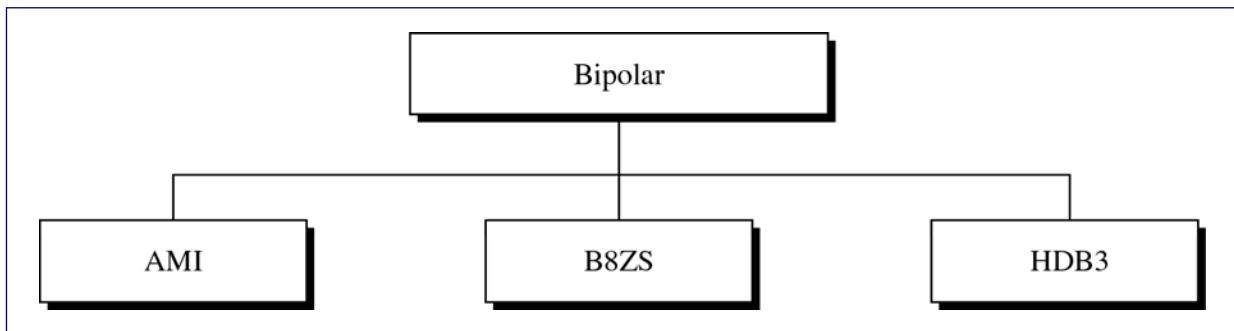
Necessitem més ample de banda que a NRZ

49

Transmissió digital

Bipolar:

- Ús de tres nivells de voltatge, on el zero s'utilitza per representar el **0** binari.
- Els **1s** es representen alternant voltatges positius i negatius.



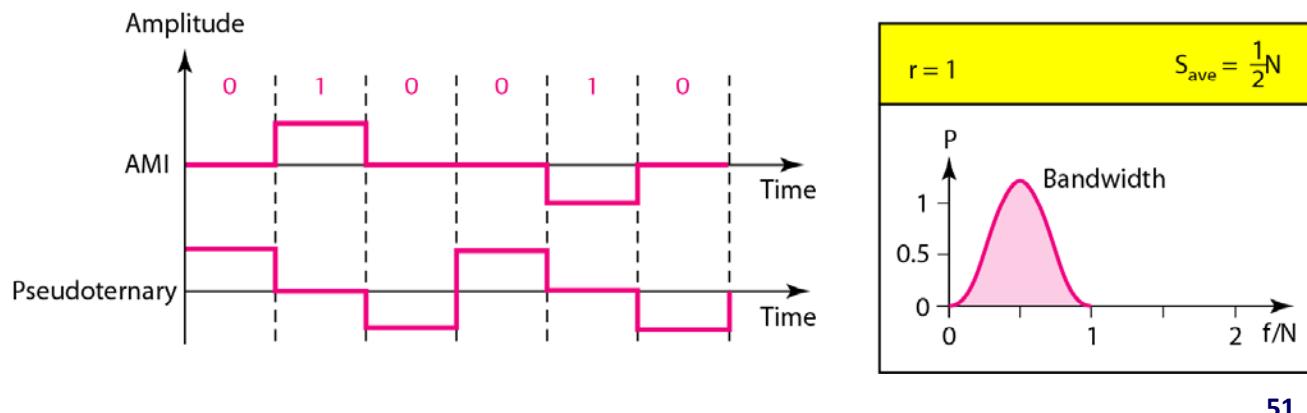
50

Transmissió digital

AMI: Bipolar amb inversió de marca alternada → Ús de tres valors: positiu, negatiu i zero.

Seqüència d'1s sincronitzada, no component DC, amplada de banda inferior a NRZ i possibilitat de detecció d'errors. Però necessita més nivells.

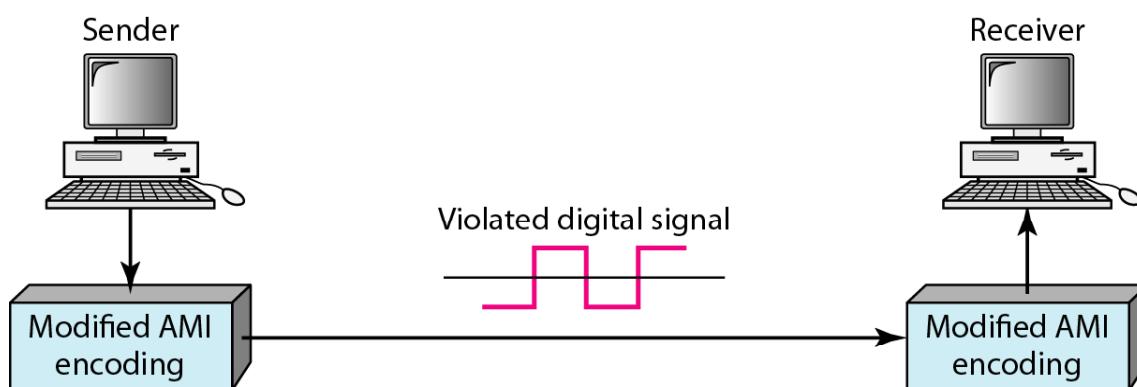
Pseudoternari: Invers de l'AMI



51

Transmissió digital

Tècniques d'aleatorització (scrambling): Substitució de cadenes de bits que donin nivells de tensió constants per altres que ofereixin suficients transicions.

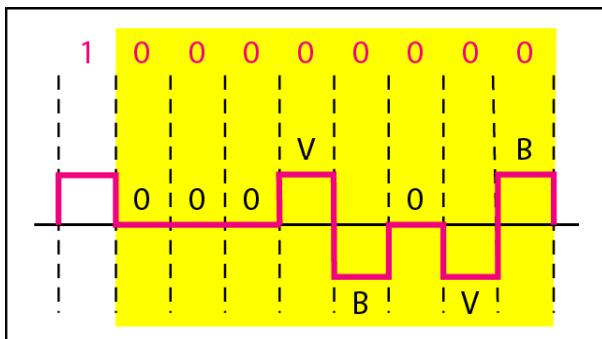


52

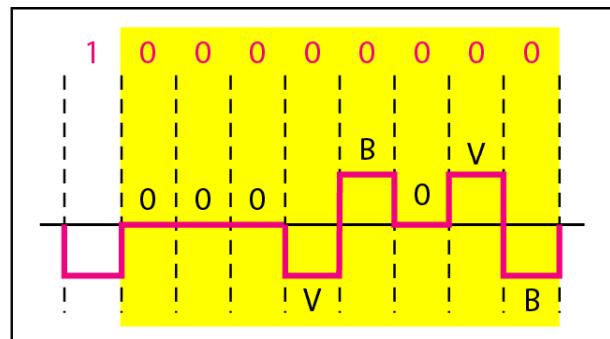
Transmissió digital

B8ZS: Bipolar amb substitució de 8 zeros

- Basat en l'AMI
- Per resoldre sincronització en seqüències de 0s.
- Canvis del senyal (violacions) al trobar una cadena de 8 zeros, en funció de la polaritat del **1** anterior (000VB0VB).



a. Previous level is positive.



b. Previous level is negative.

EEUU

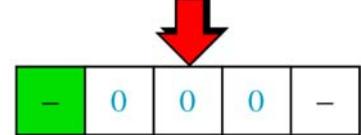
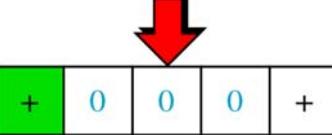
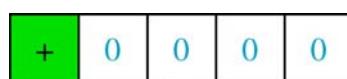
53

Transmissió digital

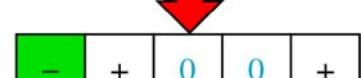
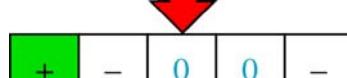
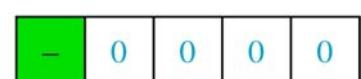
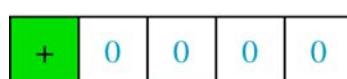
HDB3: Bipolar d'alta densitat de 3 zeros

- Per resoldre sincronització en seqüències de 0s

Canvi de patró quan hi ha quatre zeros seguits, en funció de la polaritat de l'**1** anterior i del nombre d'**1s** des de la darrera substitució



(a) If the number of 1s since the last substitution is odd



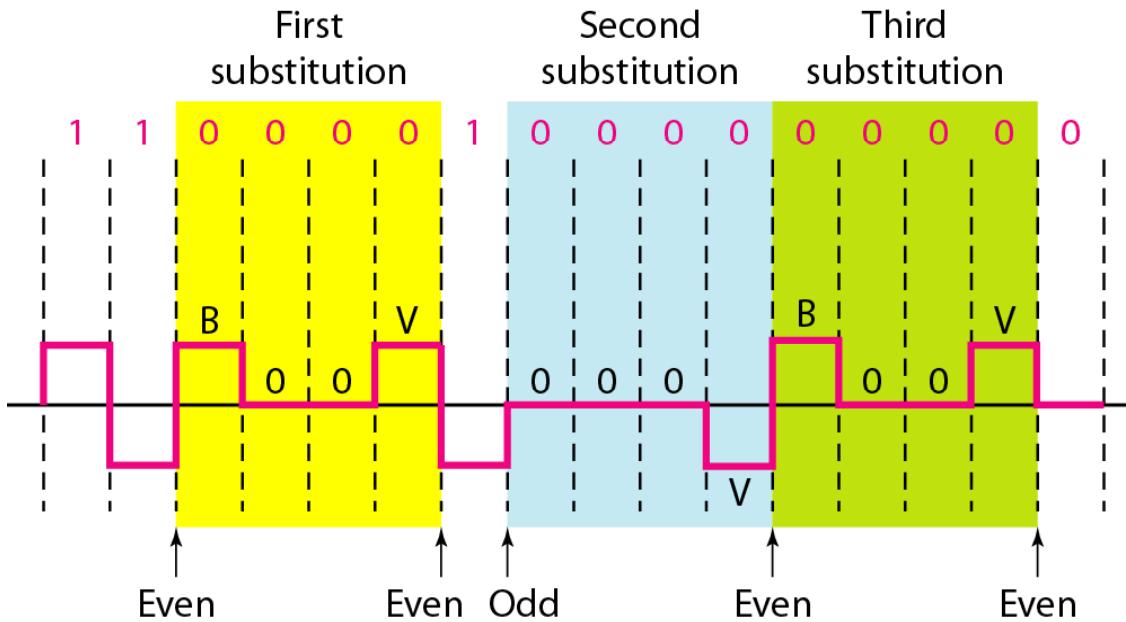
(b) If the number of 1s since the last substitution is even

Europa i Japó

54

Transmissió digital

HDB3: Bipolar 3 d'alta densitat



55

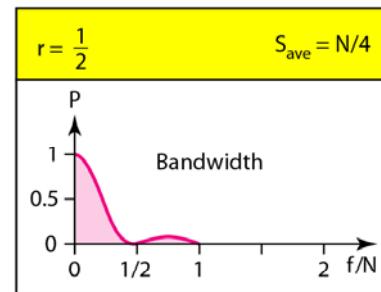
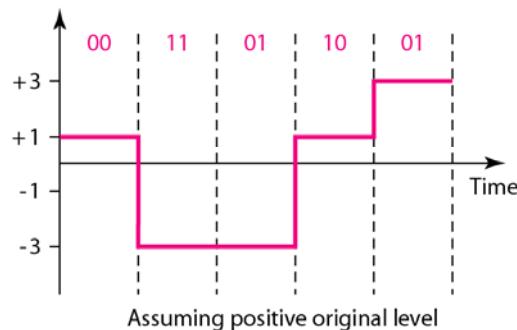
Transmissió digital

Codis mBnL: Una seqüència de ***m*** bits es representa amb ***n*** polsos, cadascun dels quals té ***L*** nivells, on ($2^m \leq L^n$).

2B1Q

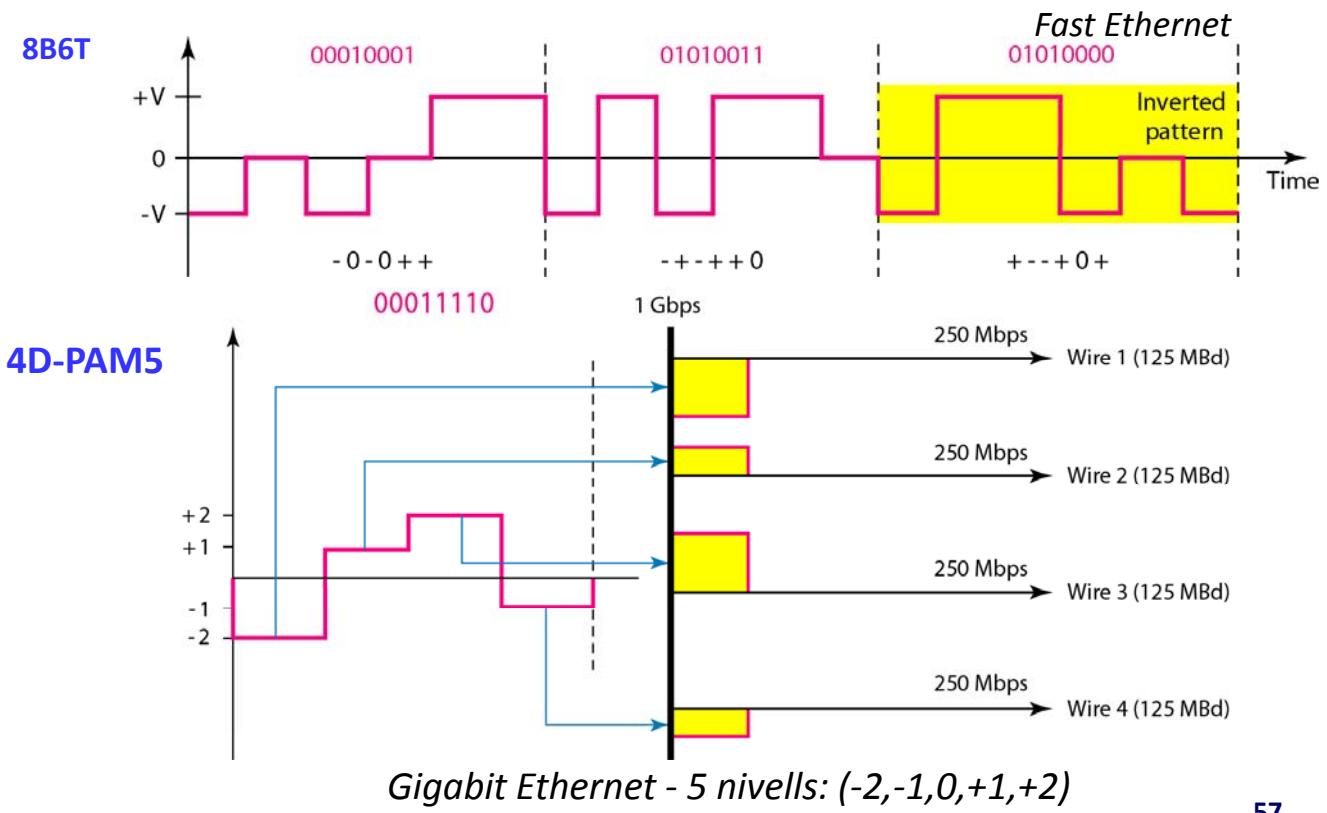
		Previous level: positive	Previous level: negative
		Next bits	Next level
		00	+1
		01	+3
		10	-1
		11	-3

Transition table



56

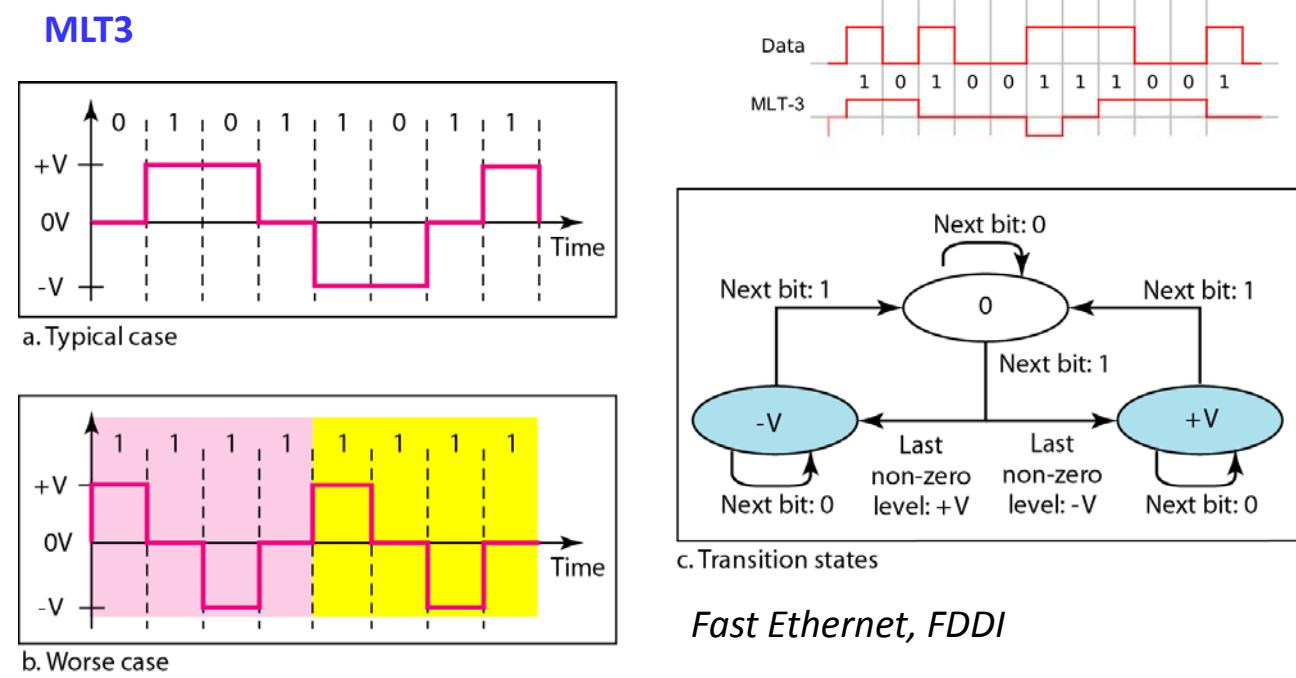
Transmissió digital



57

Transmissió digital

Codis multitransició:



58

Transmissió digital

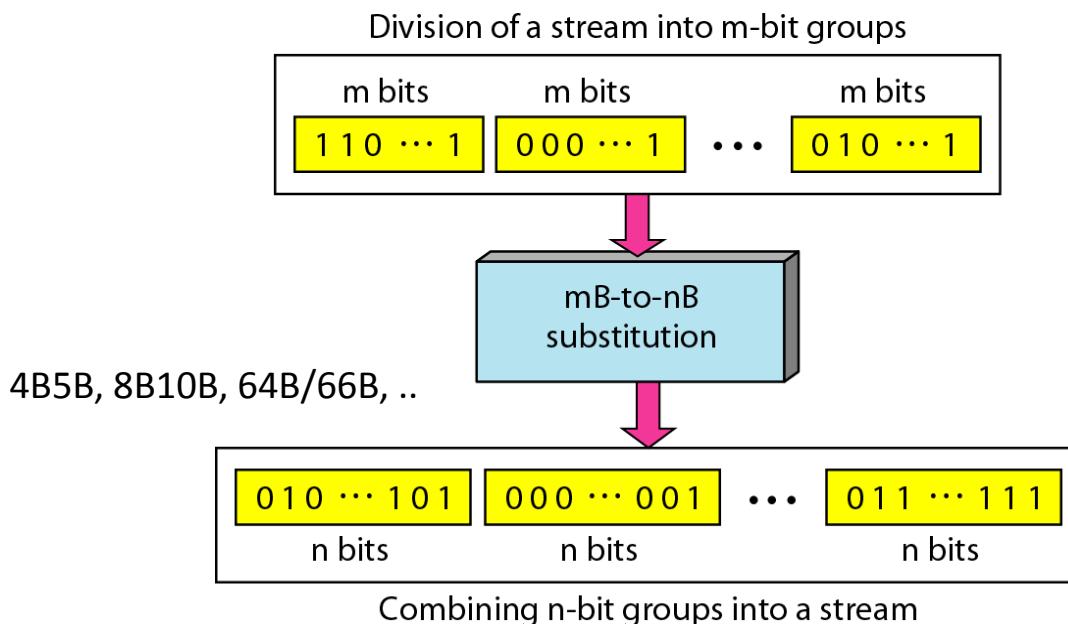
Quadre resum:

Category	Scheme	Bandwidth (average)	Characteristics
Unipolar	NRZ	$B = N/2$	Costly, no self-synchronization if long 0s or 1s, DC
Unipolar	NRZ-L	$B = N/2$	No self-synchronization if long 0s or 1s, DC
	NRZ-I	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
	Biphase	$B = N$	Self-synchronization, no DC, high bandwidth
Bipolar	AMI	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
Multilevel	2B1Q	$B = N/4$	No self-synchronization for long same double bits
	8B6T	$B = 3N/4$	Self-synchronization, no DC
	4D-PAM5	$B = N/8$	Self-synchronization, no DC
Multiline	MLT-3	$B = N/3$	No self-synchronization for long 0s

59

Transmissió digital

Codis de bloc (**mBnB**): substitució de grups de m bits per grups de n bits.

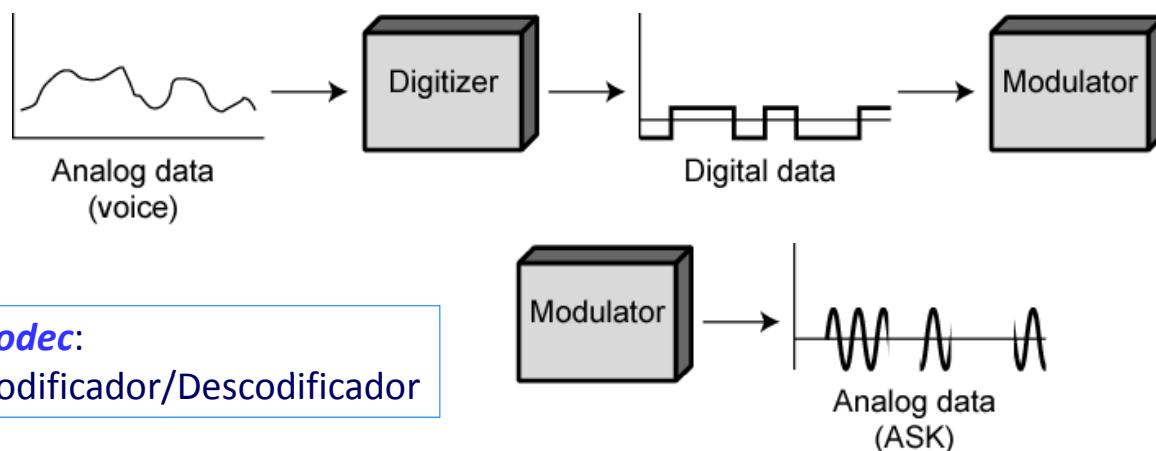


60

Transmissió digital

Digitalització de senyals analògics

- Conversió de dades analògiques a un senyal digital (ex: transmissió de veu).
- Les dades obtingudes es poden transmetre utilitzant qualsevol mètode de codificació digital o es poden convertir a senyals analògics.



61

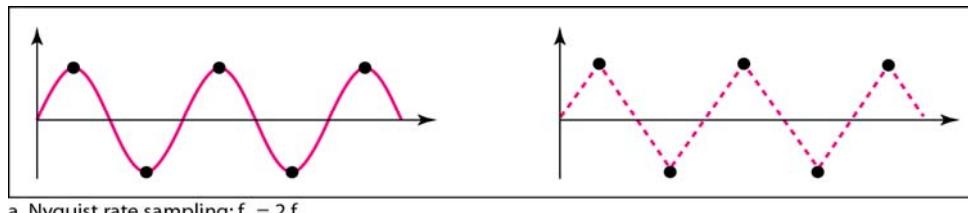
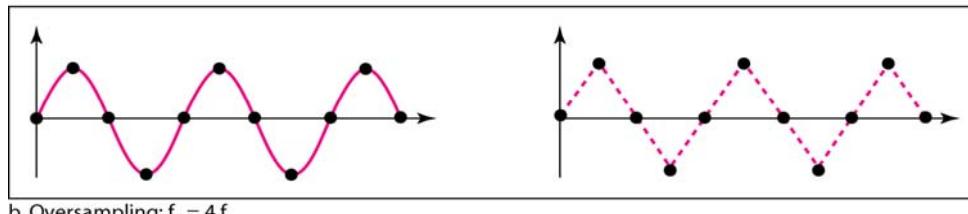
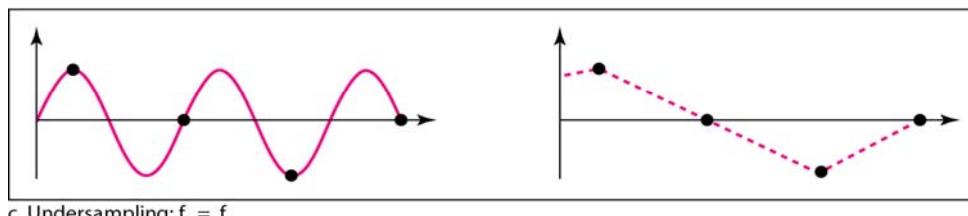
Transmissió digital

Teorema de mostreig (Nyquist)

— Si es prenen mostres d'un senyal a intervals regulars de temps a una velocitat superior al doble de la freqüència més alta del senyal, les mostres contenen tota la informació del senyal original.

- Es pot reconstruir el senyal original a partir de les mostres utilitzant un filtre passa-baixes.
- El senyal s'ha de mostrejar cada $1/(2f_m)$ segons, on f_m és la freqüència més alta del senyal.
- Exemple: Veu humana amb una **freqüència màxima** de 4000 Hz
→ velocitat de mostreig = 8000 mostres per segon.

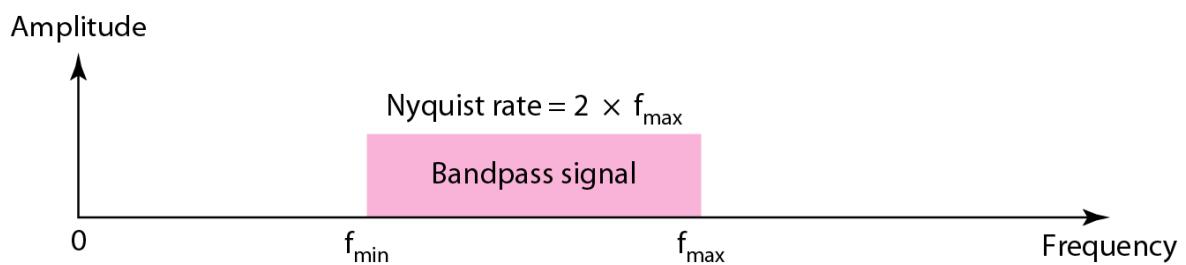
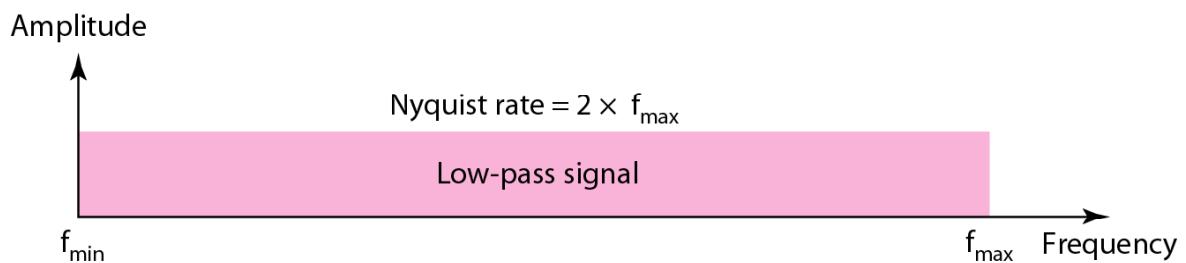
Transmissió digital

a. Nyquist rate sampling: $f_s = 2 f$ b. Oversampling: $f_s = 4 f$ c. Undersampling: $f_s = f$

Recuperació del senyal amb diferents velocitats de mostreig

63

Transmissió digital

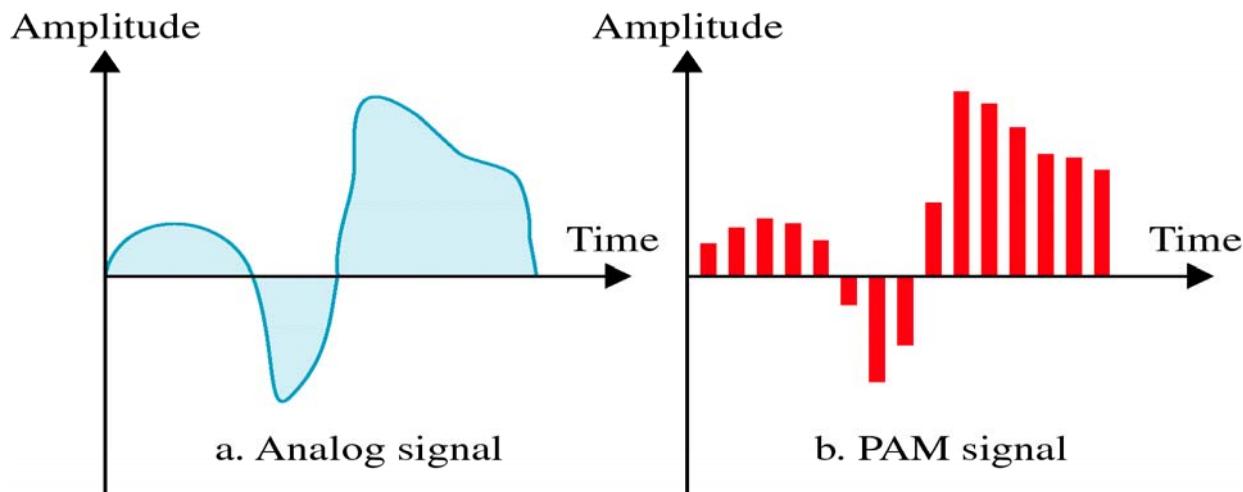


Només es pot aplicar si és un **senyal limitat en banda**, i cal **conèixer la freqüència màxima** (no l'ample de banda del canal).

64

Transmissió digital

- **PAM (Modulació per Amplada del Pols)**
 - Mostreig de l'amplada del senyal a intervals iguals

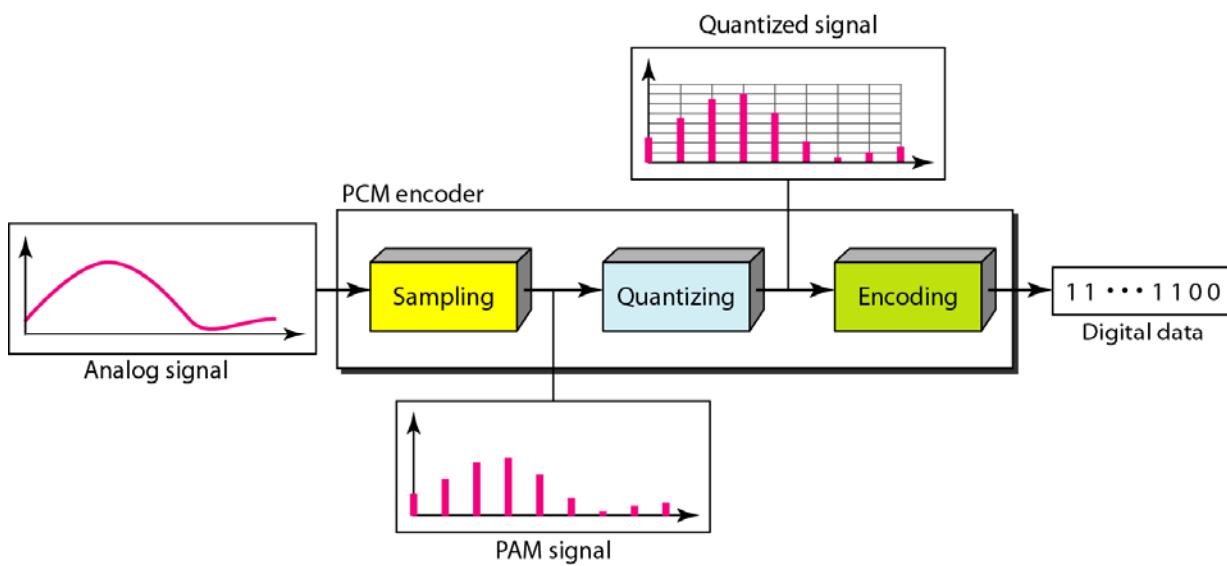


- No utilitzat per la transmissió de dades (polsons que no prenen valors discrets, mostres analògiques)

65

Transmissió digital

- **PCM (Modulació per Codificació en Polsons)**
 - 1r. Mostreig del senyal analògic (PAM)
 - 2n. Quantificació dels polsons PAM. Assignació de valors dins d'un rang discret.
 - 3r. Codificació de les mostres com un flux de bits.



66

Transmissió digital

Quantificació:

- S'assumeix que el senyal original té amplades entre V_{min} i V_{max}
- Es divideix el rang en L zones (d'amplada D)
- S'assignen valors quantificats de 0 a $L-1$ al punt mig de cada zona
- S'aproxima el valor de l'amplada de la mostra als valors quantificats

Nivells de quantificació:

- Rang d'amplada dels senyals analògics
- Precisió amb la que es vulgui recuperar el senyal.

Error o soroll de quantificació: és impossible recuperar el senyal original exacte.

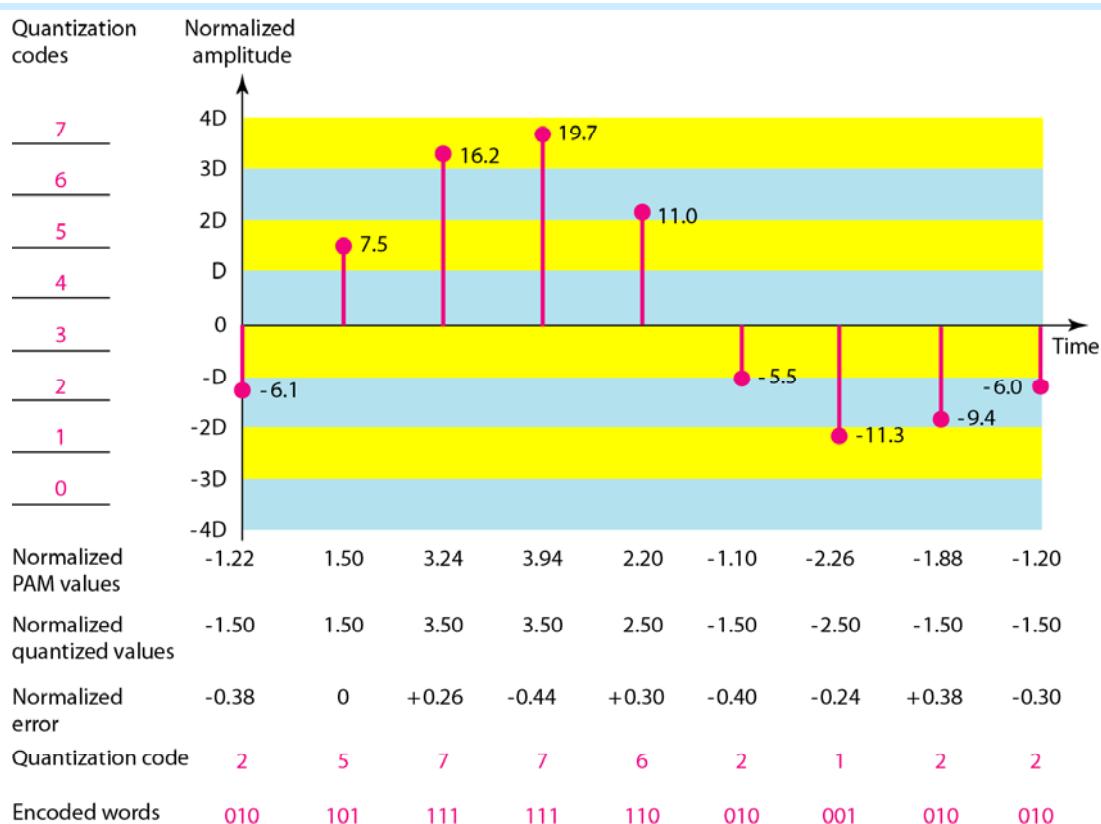
El nombre de nivells marcarà el nombre de bits necessaris per **codificar les mostres**.

Exemple: Digitalització d'àudio

- Si codifiquem les mostres amb 8 bits → 256 nivells
- 8.000 mostres per segon de 8 bits cadascuna dóna 64kbps

67

Transmissió digital

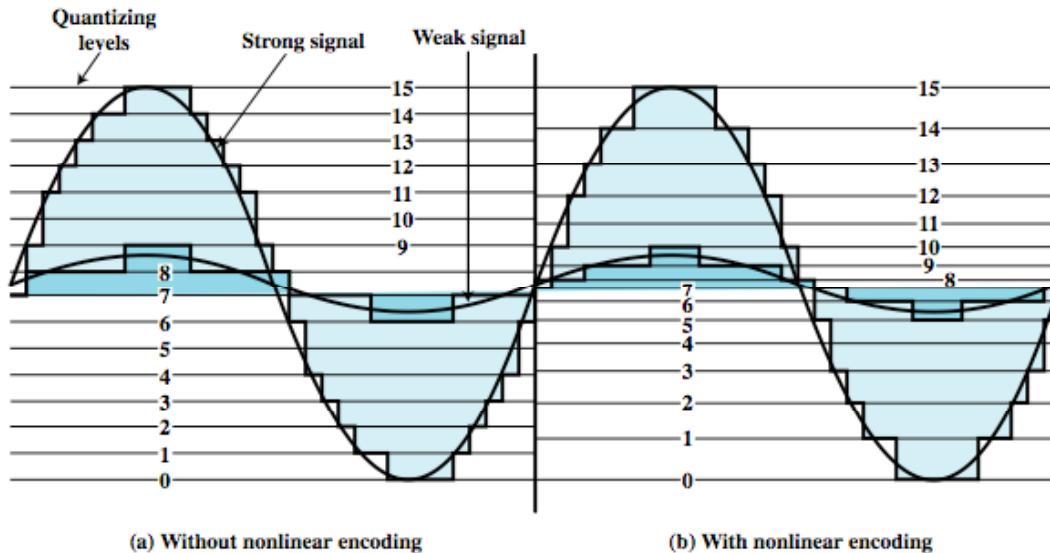


68

Transmissió digital

Millora del sistema: **Codificació no lineal** (nivells de quantificació amb espaiat no uniforme)

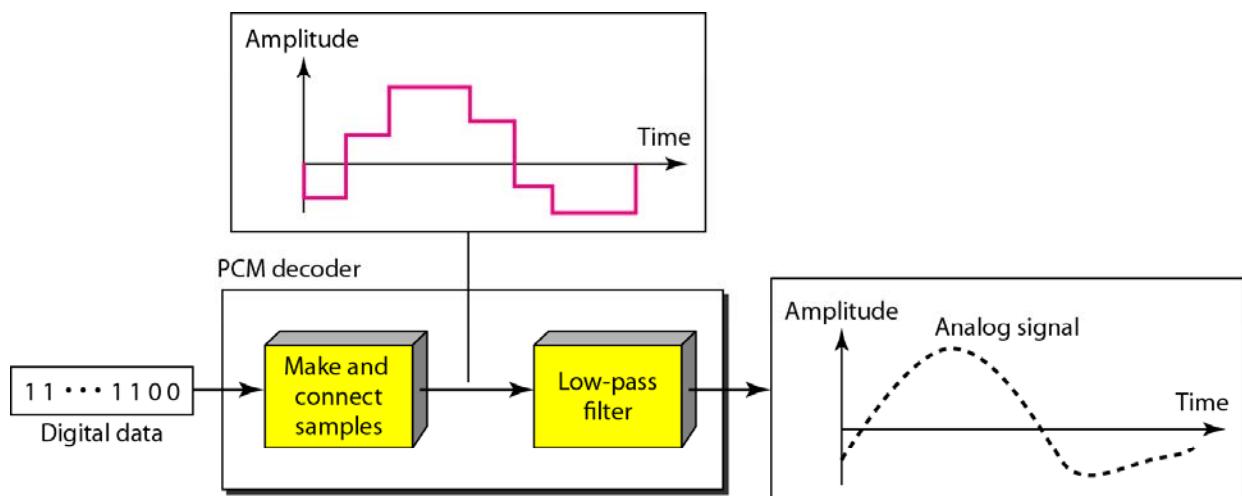
- Reducció en la distorsió mitja del senyal.



69

Transmissió digital

Decodificador PCM.



70

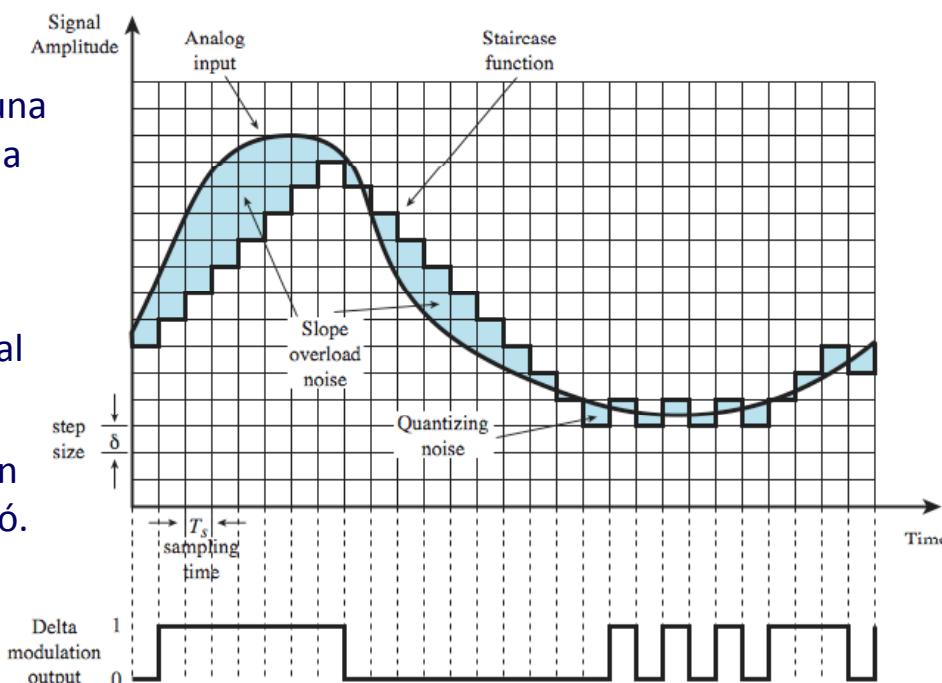
Transmissió digital

- **DM (Modulació Delta)**

Aproximació amb una funció “escala” de la forma d’ona del senyal original: amunt o avall un nivell a cada interval de mostreig.

Només necessita un bit per la codificació.

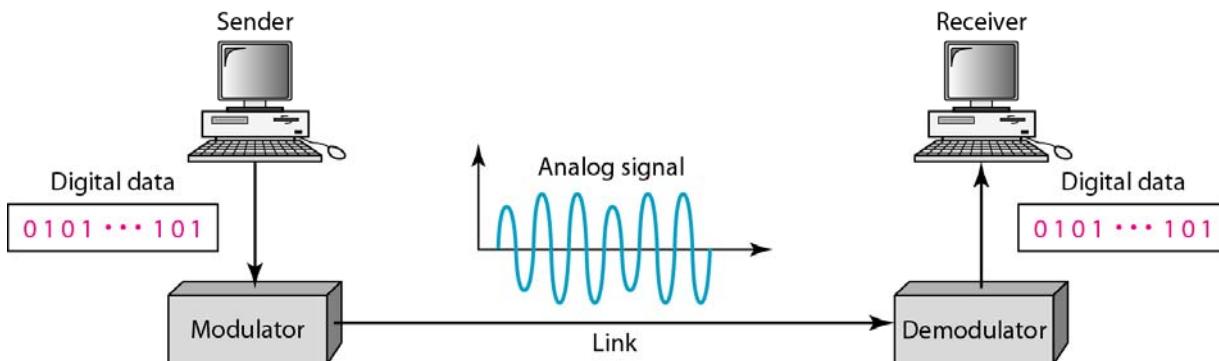
Senzill d’implementar.



71

Transmissió analògica

Modulació analògica de senyals digitals



- Senyal portador sinusoïdal: amplada, freqüència i fase
 $[f(t)=A \sin(\omega_0 t + \delta)]$.
- Modulacions bàsiques:
 - *Amplitude shift keying (ASK)*
 - *Frequency shift keying (FSK)*
 - *Phase shift keying (PSK)*

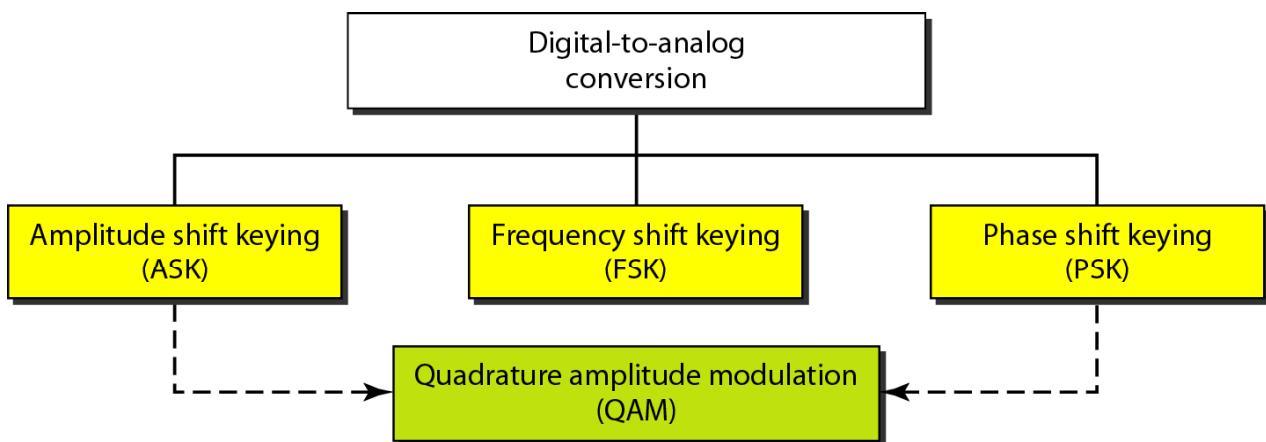
72

Transmissió analògica

Aplicació: Xarxa telefònica commutada [300, 3400 Hz] → Ús de mòdems

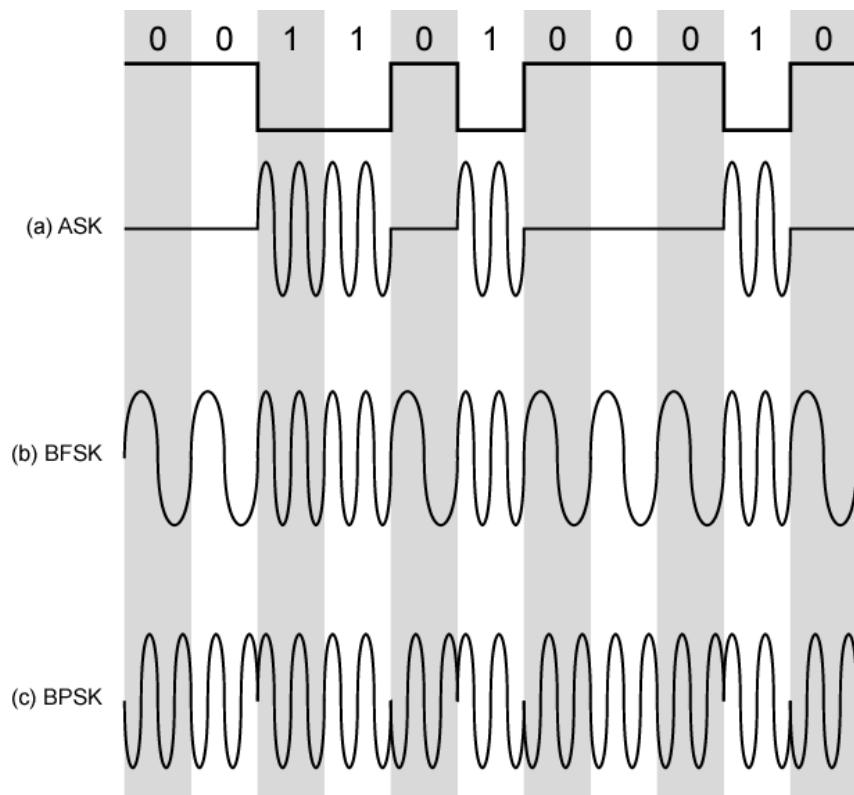
Modulació de dos nivells (ASK, BPSK, BFSK) i modulació multinivell (mQAM, mPSK)

Cal diferenciar Velocitat de modulació (taxa de senyals, *bauds*) de Velocitat de transmissió (taxa de bits, *bps*).



73

Transmissió analògica



74

Transmissió analògica

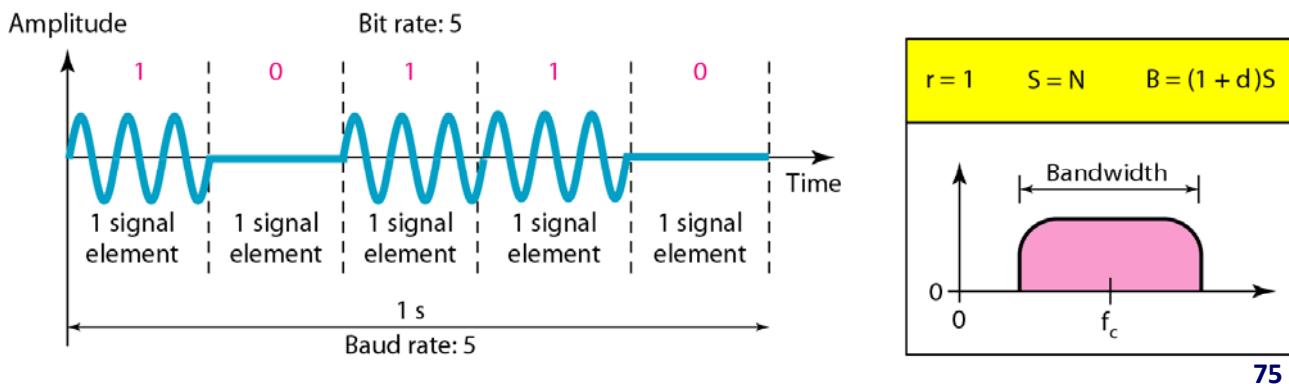
ASK (Modulació per desplaçament d'amplada)

Es canvia la potència del senyal portador per representar el **0** o l'**1** binari.

Implementació habitual: OOK (*on-off keying*)

Inconvenient: Molt susceptible a interferències externes

Aplicació: Fibra òptica



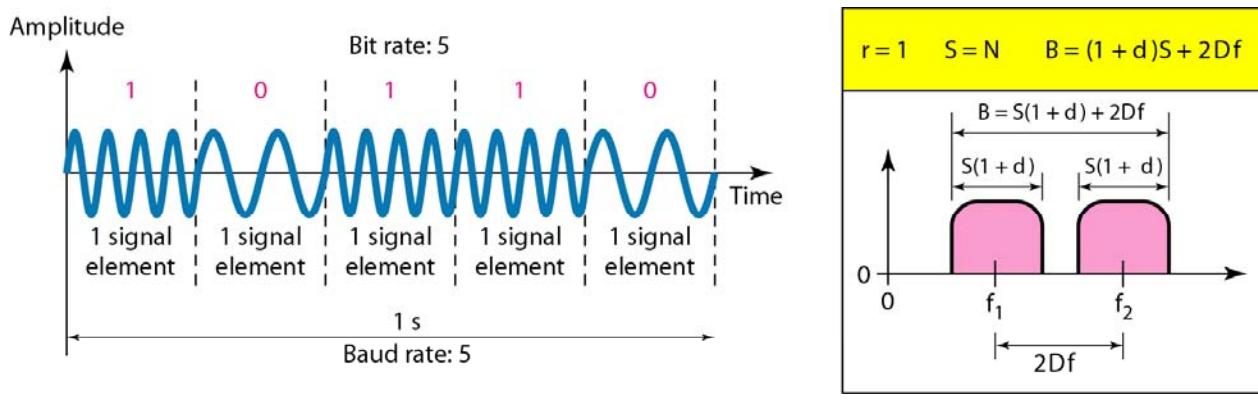
75

Transmissió analògica

FSK (Modulació per desplaçament de freqüència)

- Diferents freqüències per representar els valors binaris (properes a la freqüència portadora).
- Menys susceptible a errors que ASK

Aplicacions: XTC, Ràdio a alta freqüència, LANs (cable coaxial)



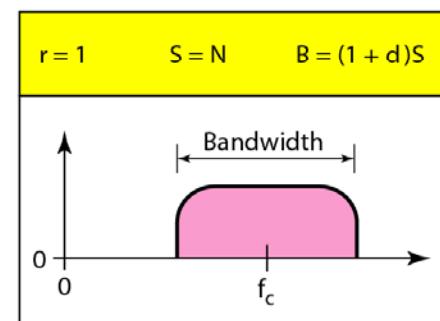
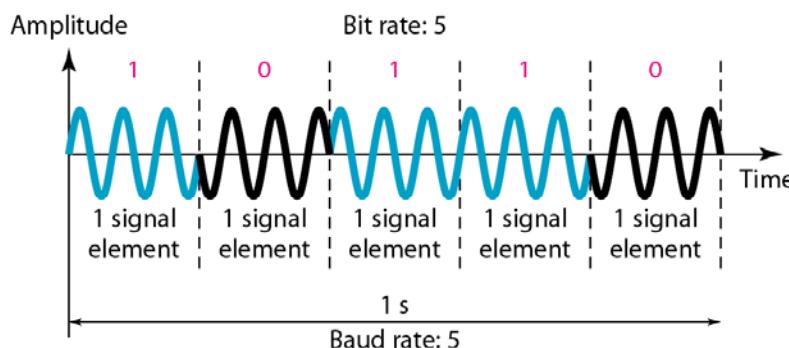
76

Transmissió analògica

PSK (Modulació per desplaçament de fase)

- Canvia la fase del senyal portador per representar les dades.
- BPSK: dos fases diferents (PSK binària).
- Menys susceptible a errors que ASK

PSK-diferencial: desplaçament de fase relatiu al valor previ transmès.

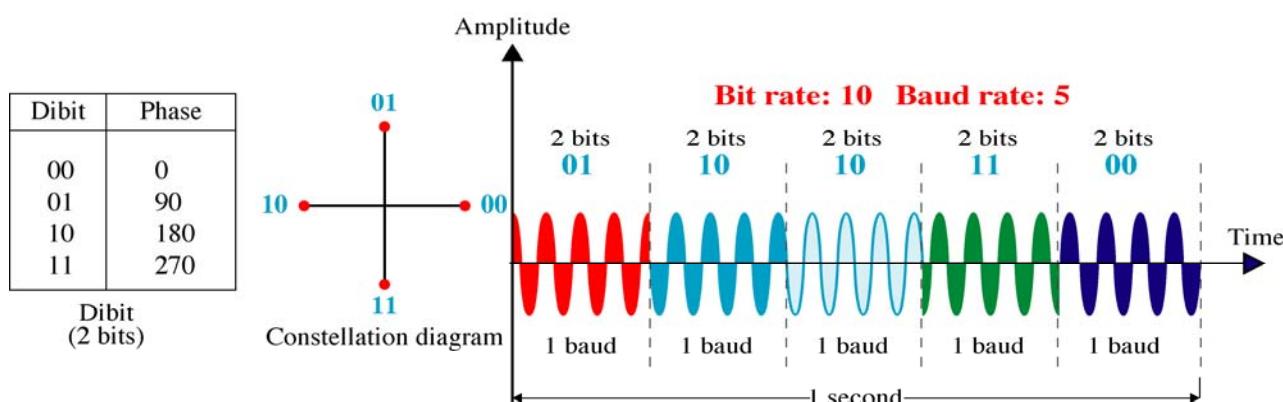


77

Transmissió analògica

QPSK (Modulació per desplaçament de fase en quadratura)

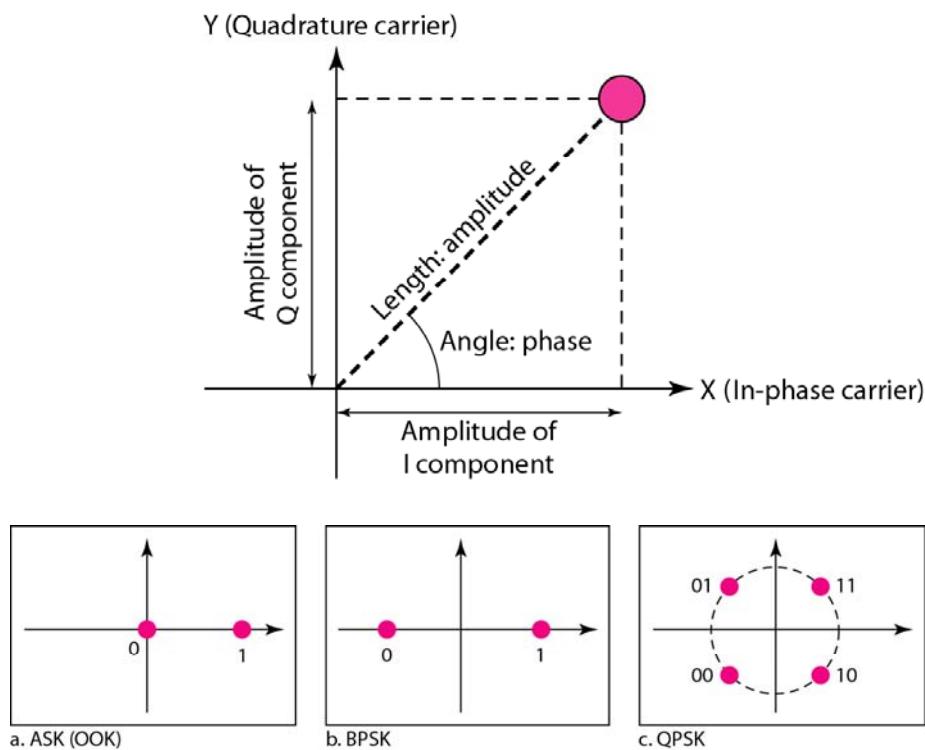
- Utilitza dos BPSK separades: una en fase i l'altra en quadratura.
- Cada element de senyalització representa més d'un bit → Millor aprofitament ample de banda.
- Exemple: desplaçaments de fase corresponents a múltiples de $\pi/2$ (90°) → 2 bits per símbol.



78

Transmissió analògica

Diagrama de constel·lació: representació de l'amplada i la fase.



79

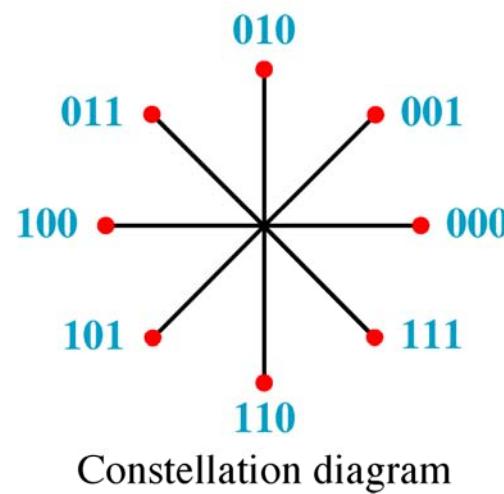
Transmissió analògica

m-PSK (Modulació per desplaçament de fase multinivell)

- Exemple: 8-PSK, desplaçaments de fase corresponents a múltiples de $\pi/4$ (45°) \rightarrow 3 bits per símbol.

Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits
(3 bits)

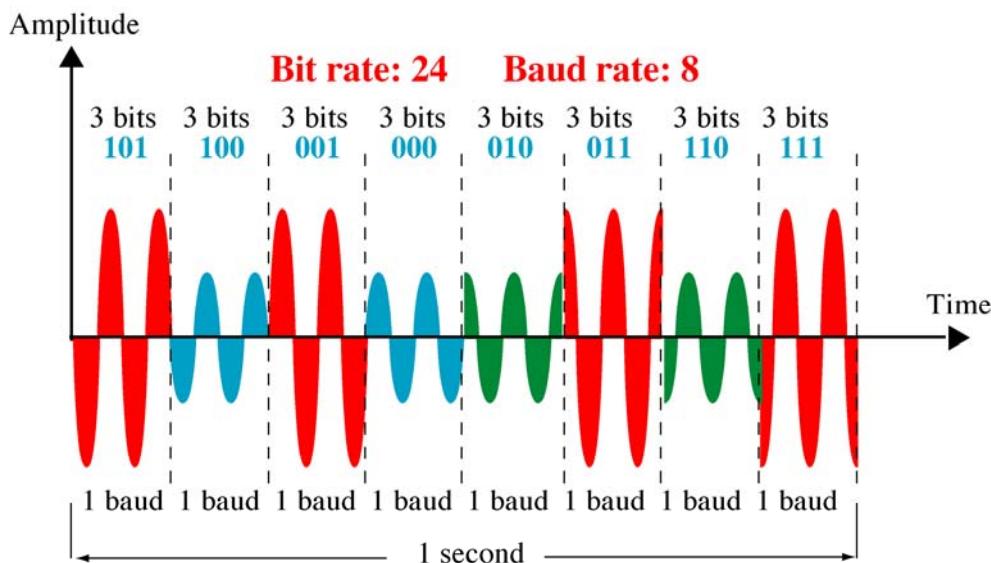


80

Transmissió analògica

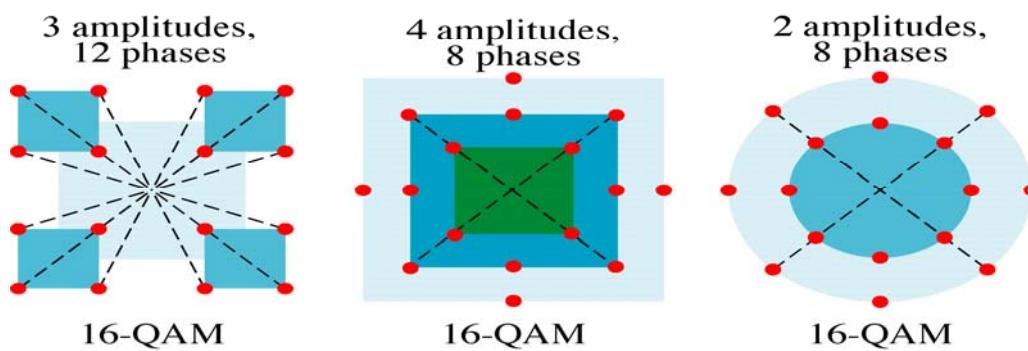
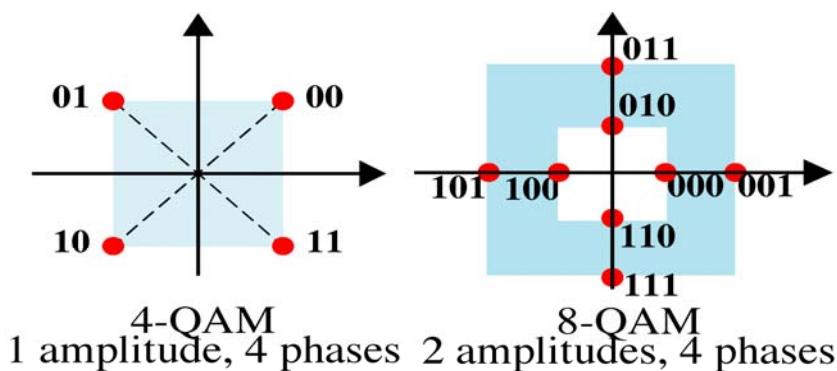
QAM (Modulació d'amplada en quadratura)

- Combinació de les tècniques ASK i PSK.
- Exemples: 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM



81

Transmissió analògica



82

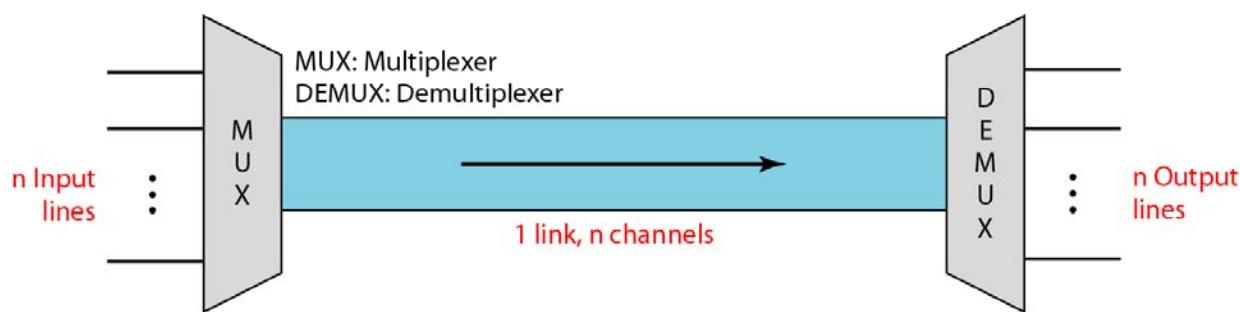
Ús de l'ample de banda

- Tots els canals limiten l'ample de banda.
- Normalment els canals tenen un ample de banda de freqüències superior al necessari per transmetre una “comunicació”.
- Volem fer un millor ús de l'ample de banda del canal:
 - Compartint-lo per diverses comunicacions:
 - MULTIPLEXACIÓ
Millorem: EFICIÈNCIA
 - Afegint privacitat i fiabilitat a la comunicació:
 - ESPECTRE DISPERS (ESCAMPAT, DIFÚS o EIXAMPLAT)
Millorem: EFICÀCIA

83

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

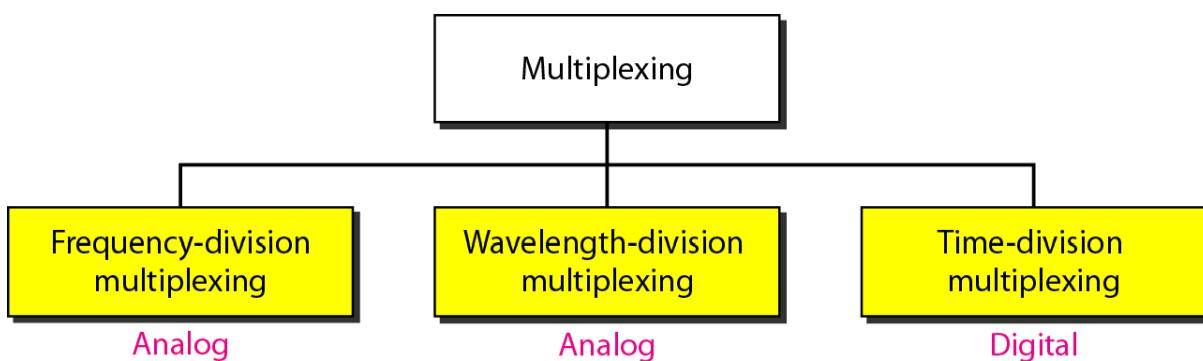
- Compartició d'un enllaç de dades per la transmissió simultània de múltiples comunicacions (senyals). Millora de l'**eficiència** del canal.



- Medis físics: cable coaxial, fibra òptica, enllaços de microones (capacitats superiors a les necessitats individuals).
- Ús en transmissions a llargues distàncies.

84

Ús de l'ample de banda - Multiplexació



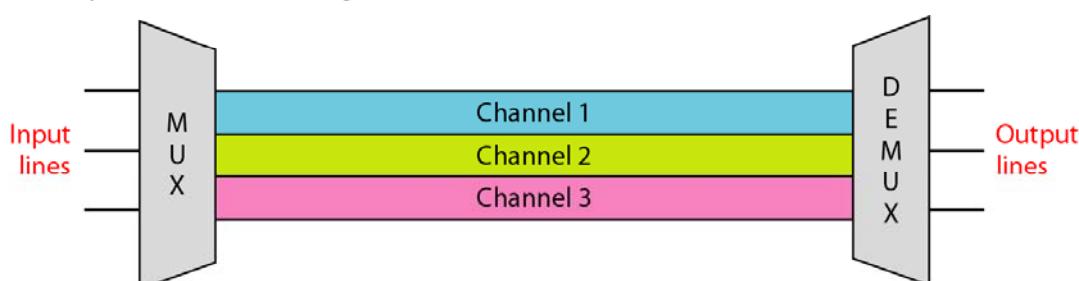
- Multiplexació per divisió de freqüència (**FDM**).
- Multiplexació per divisió de longitud d'ona (**WDM**).
- Multiplexació per divisió en el temps (**TDM**):
 - TDM síncrona.
 - TDM estadística, asíncrona o intel·ligent.

85

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

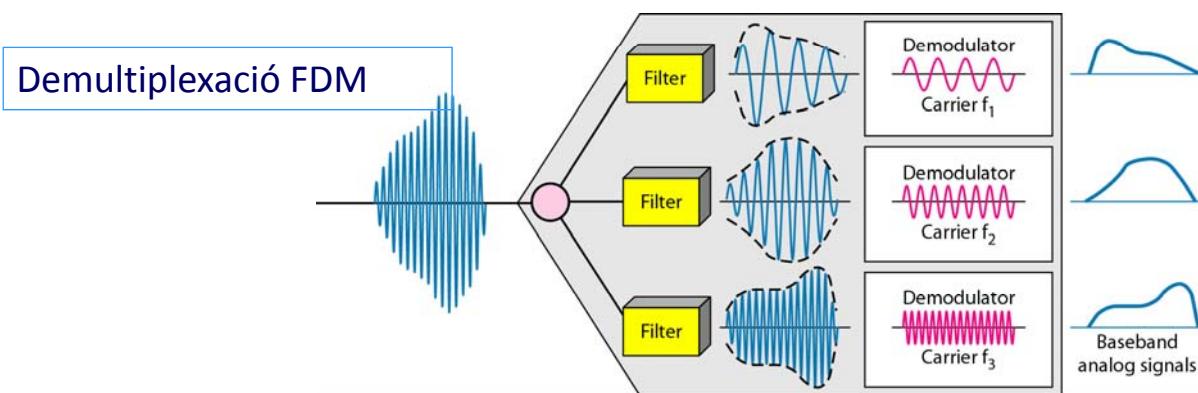
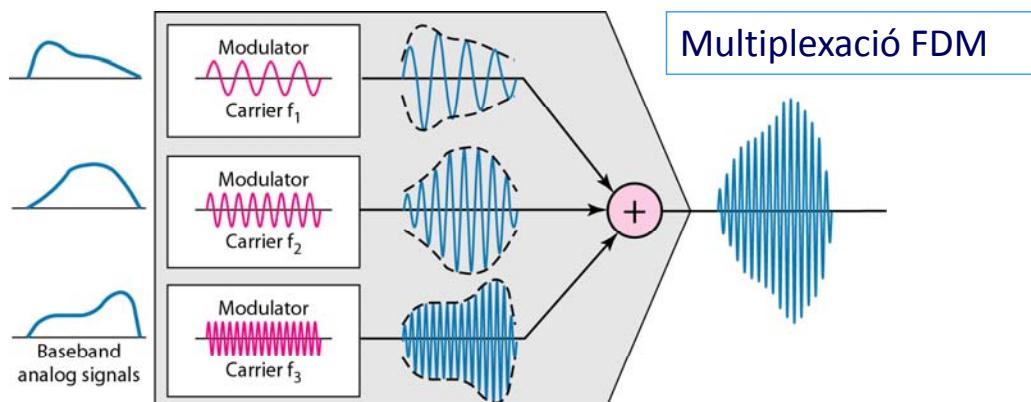
Multiplexació per divisió de freqüència - FDM

- L'ample de banda del canal supera les necessitats d'ample de banda d'una comunicació individual.
- Modulació dels senyals de cada font amb una freqüència portadora diferent i transmesos simultàniament.
- Canals separats per “bandes de seguretat”.
- Canal utilitzat encara que no es transmetin dades.
- Exemples: TV analògica, radio AM i FM, XTC.



86

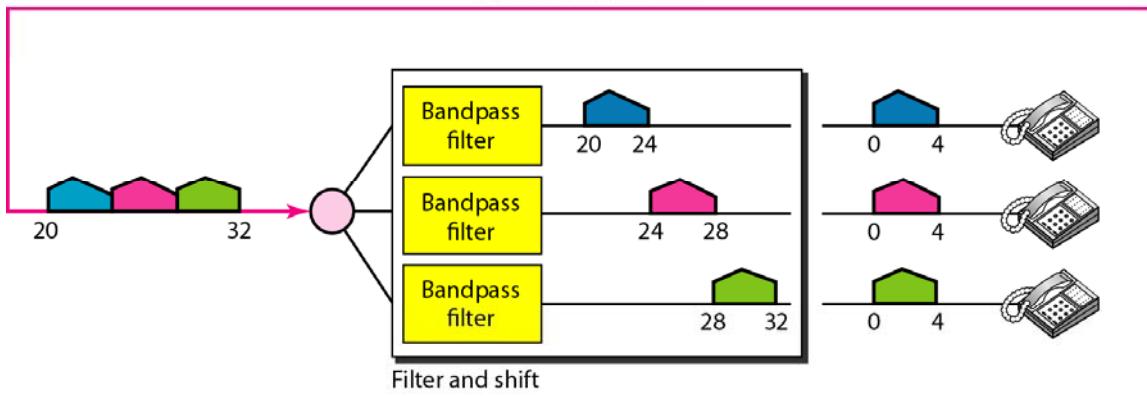
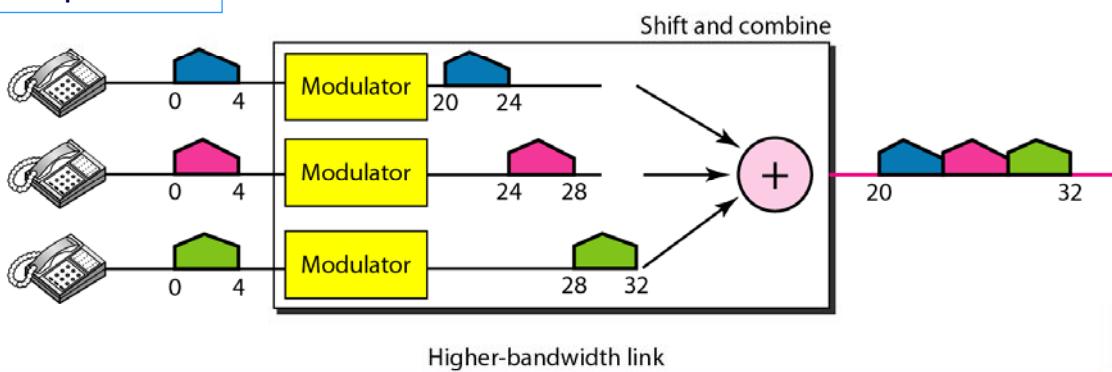
Ús de l'ample de banda - Multiplexació



87

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Exemple FDM

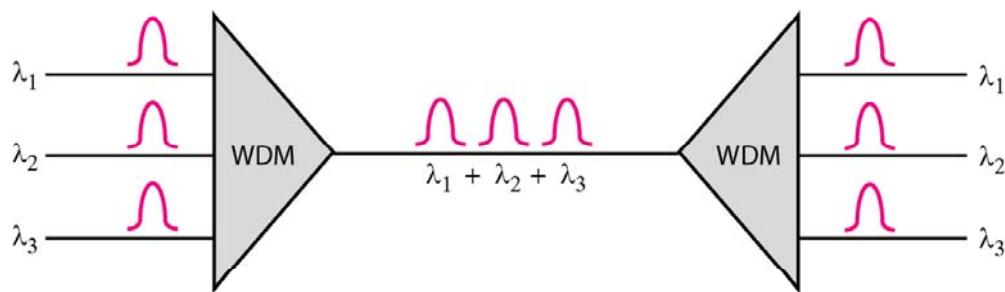


88

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Multiplexació per divisió de longitud d'ona - WDM

- Mateix concepte que FDM, però per senyals lluminosos transmesos a través de fibra òptica.
- ús de diferents longituds d'ona.

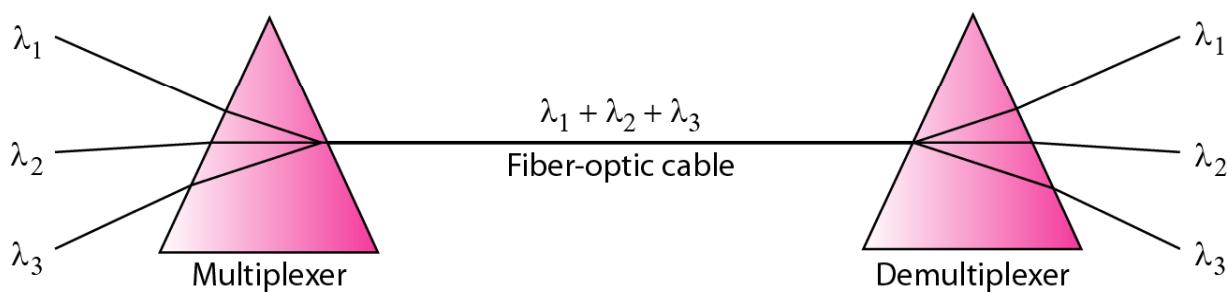


- Combinació de diferents feixos dins d'una única llum.

89

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

- ús de prismes.



DWDM (*Dense*, densa). Major eficiència: més canals i més propers.

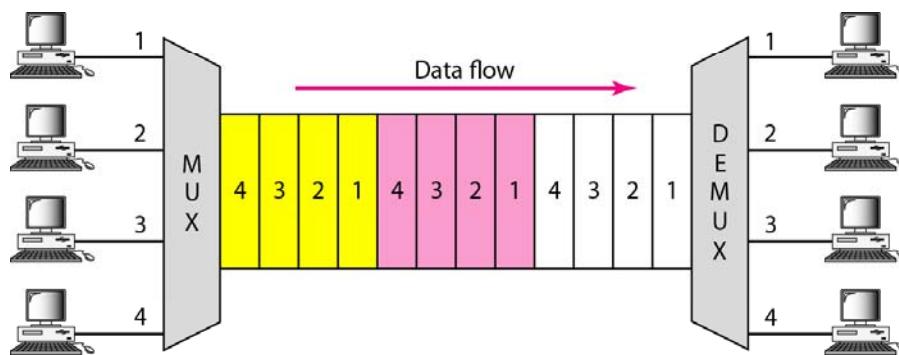
CWDM (*Coarse*, aproximada). Sistemes més econòmics

90

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

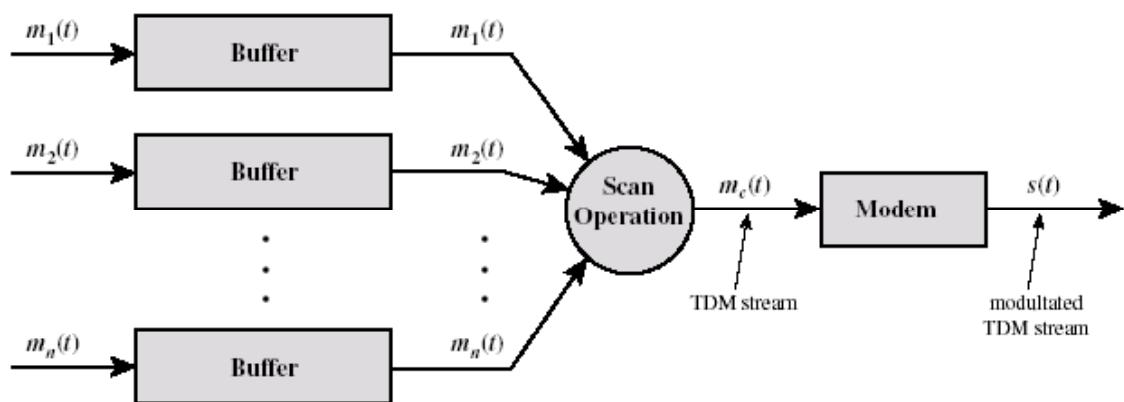
Multiplexació per divisió del temps síncrona - TDM

- Velocitat de transmissió del medi superior a la velocitat del senyal digital a transmetre.
- Ocupació d'un únic enllaç per la transmissió de múltiples comunicacions subdividint i entrelaçant porcions d'elles.
- Mescla a nivell de bit, caràcter o bloc.



91

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

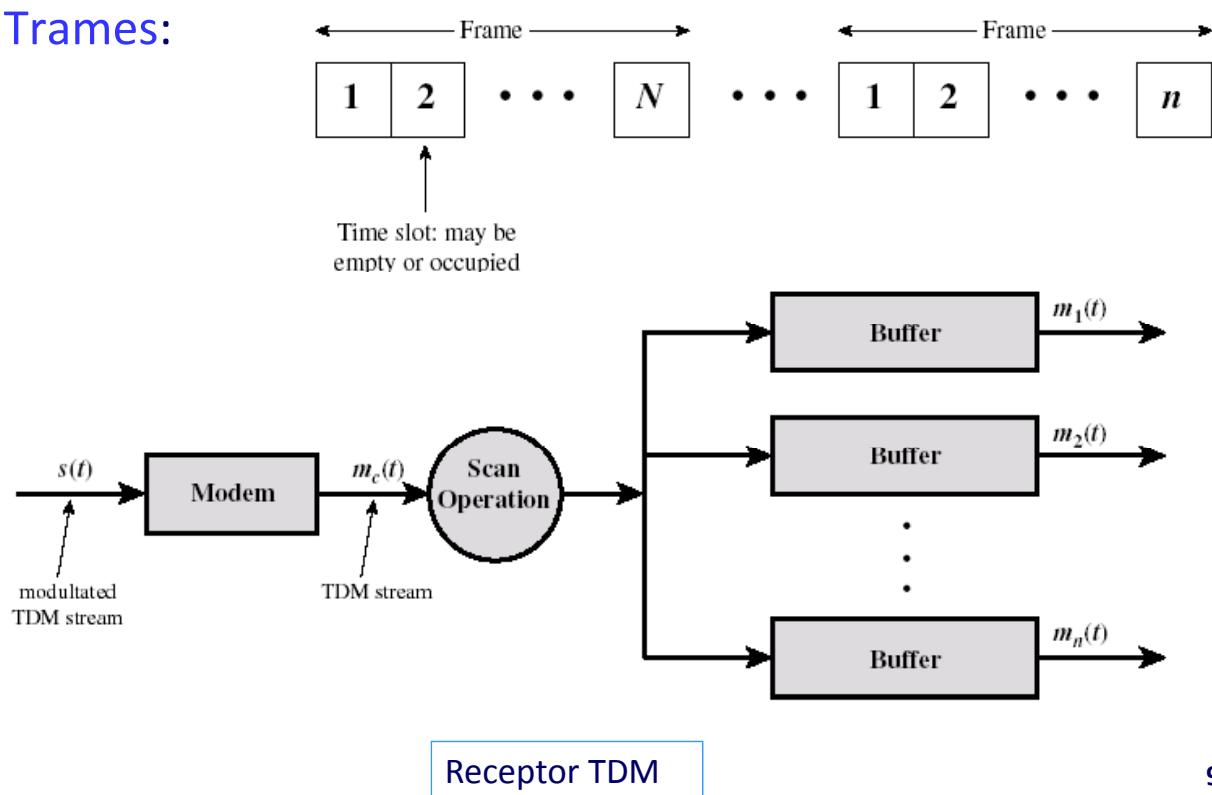


- *Slots* de temps fixes preassignats a les fonts.
- *Slots* ocupats encara que no es transmetin dades.

92

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

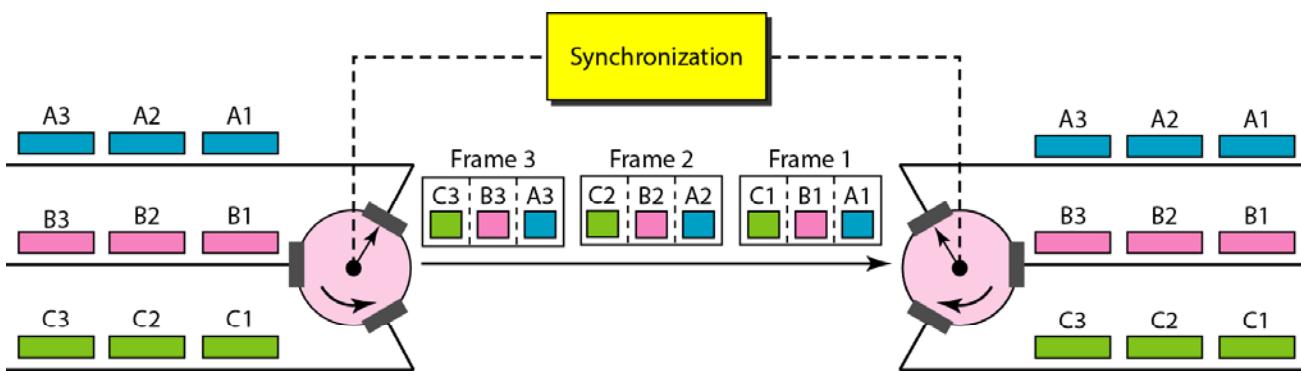
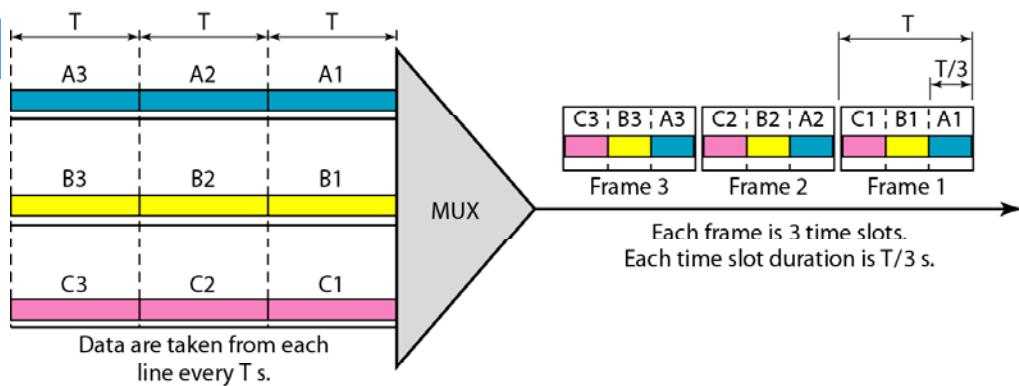
Trames:



93

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

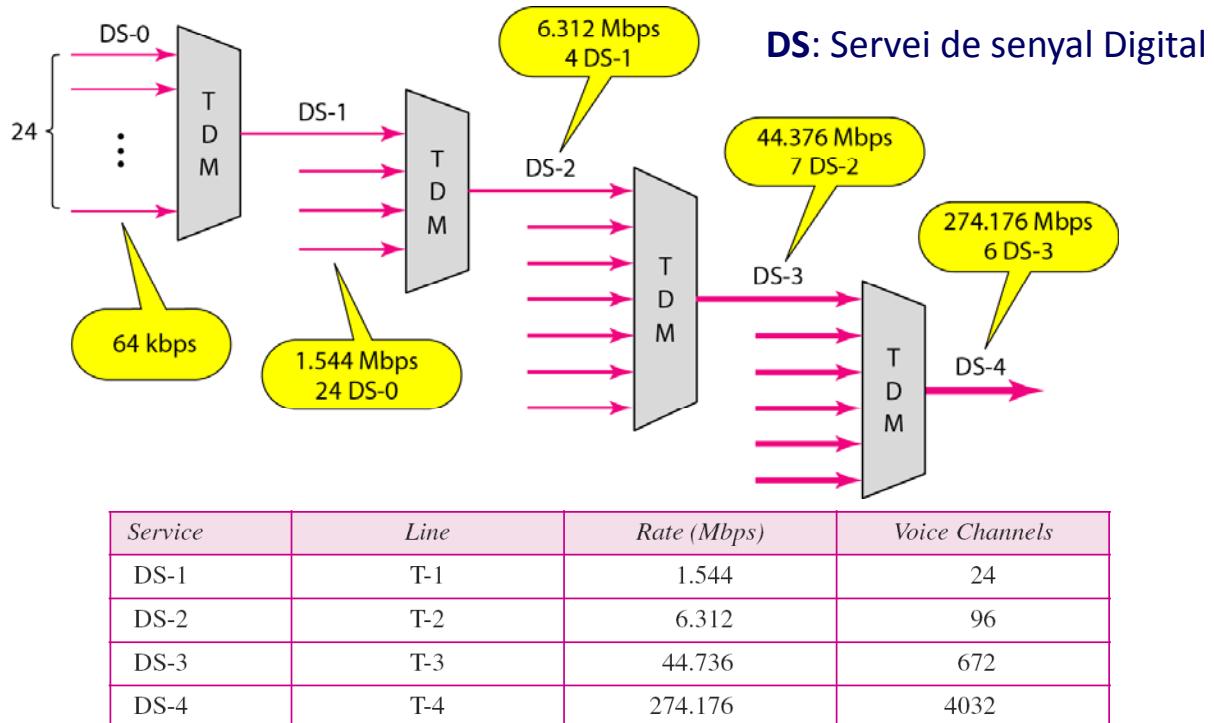
Exemple TDM



94

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Sistema jeràrquic de línies digitals amb TDM

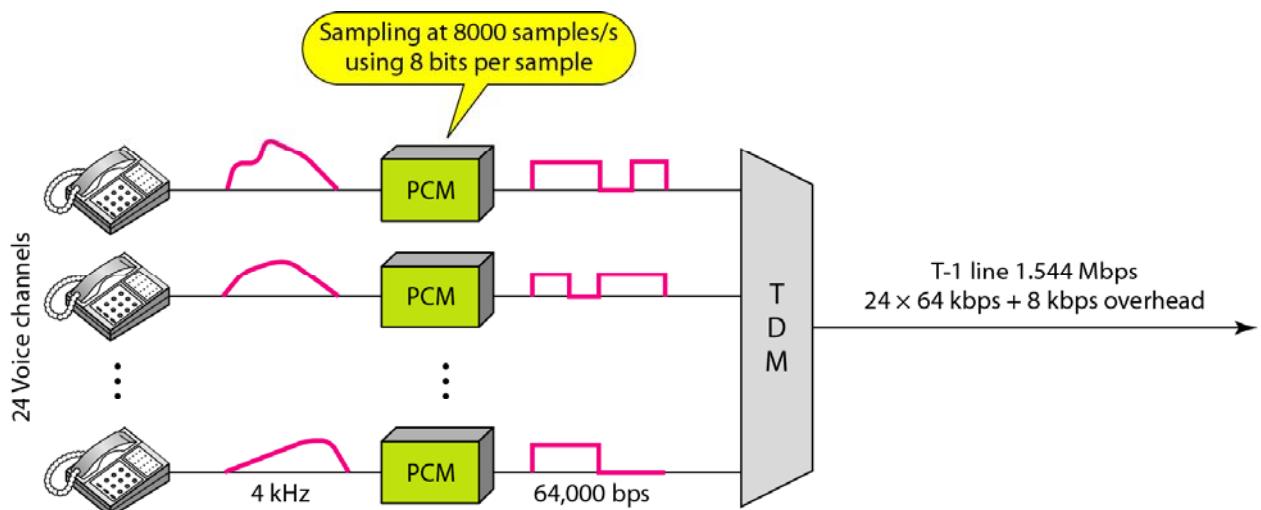


95

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Europa:	Line	Rate (Mbps)	Voice Channels
E-1		2.048	30
E-2		8.448	120
E-3		34.368	480
E-4		139.264	1920

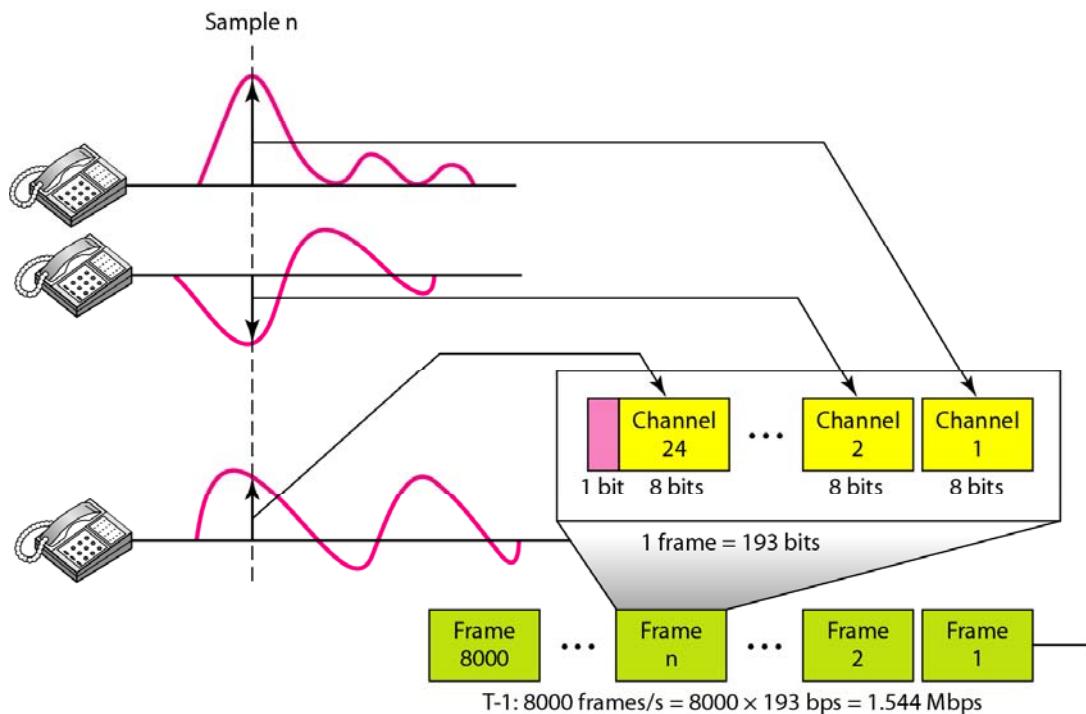
Línies T (o E) pel multiplexat de línies analògiques:



96

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Línies T (o E) pel multiplexat de línies analògiques: estructura de la trama.



97

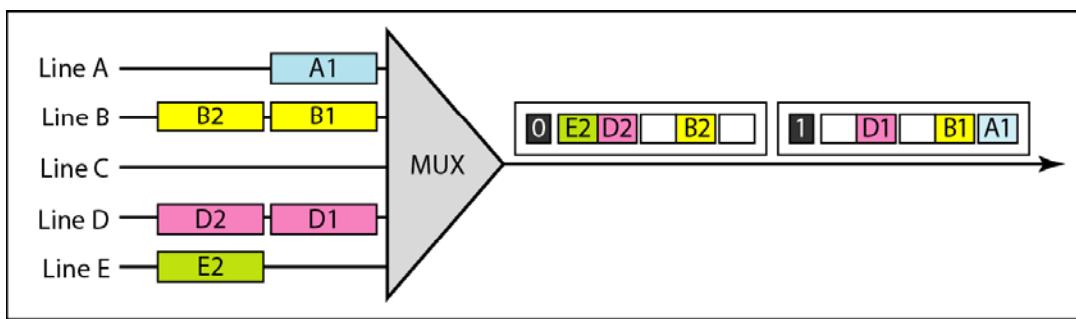
Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Multiplexació estadística per divisió del temps

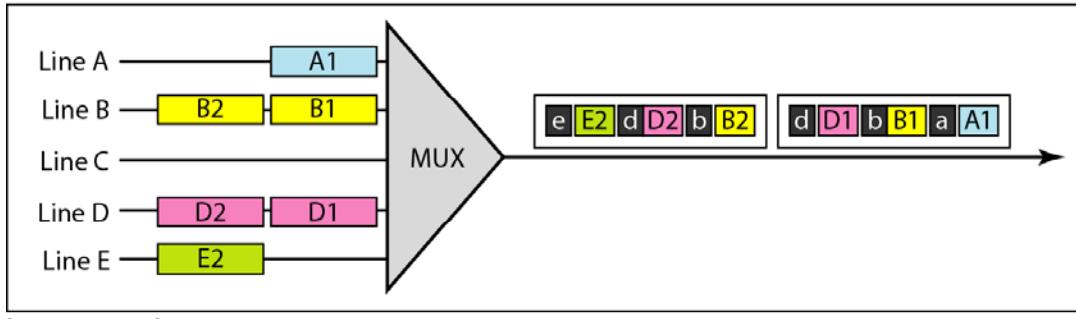
- A TDM síncrona → Desaprofitament de molts *slots* dins de cada trama, quan no s'envien dades.
- A TDM estadística → Ús de la reserva dinàmica de *slots*, sota demanda.
- Cada línia d'E/S té associada una memòria temporal.
- El MUX fa un *scan* de les entrades i agafa dades fins que la trama està plena.
- La velocitat de transmissió de la línia d'alta velocitat és inferior a la suma de velocitats de les línies d'entrada.

98

Ús de l'ample de banda - Multiplexació



a. Synchronous TDM



b. Statistical TDM

No hi ha *slots* temporals buits mentre hi hagi dades.

99

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

- Es perd el significat posicional dels *slots*
- Cal informació d'adreçament dins les trames
- Els blocs de dades són grans (comparats amb les adreces)
- Pics de demanda → memòria temporal al MUX



(a) Overall frame



(b) Subframe with one source per frame



(c) Subframe with multiple sources per frame

100

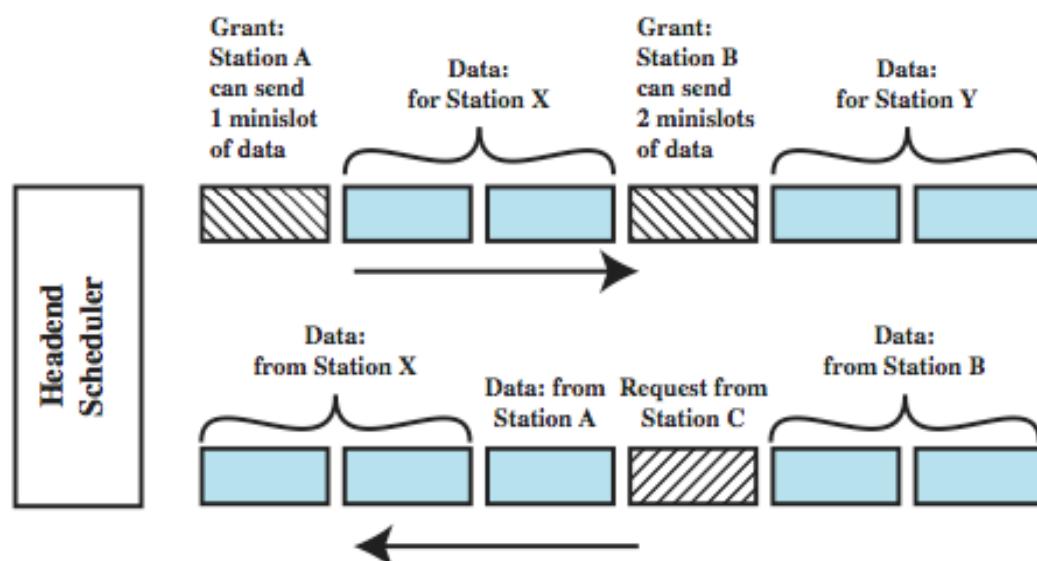
Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Cable-Mòdem

- Proveïdor de TV per cable: dedica dos canals de freqüències diferents per a la transmissió (un en cada sentit)
- Cada canal es comparteix entre els abonats, utilitzant una variant de la TDM estadística.
- Canal descendent (*Downstream*):
 - El planificador arrel envia dades en paquets petits als abonats.
 - Els abonats comparteixen la capacitat descendent.
 - També s'utilitza per concedir *slots* als abonats.
- Canal ascendent (*Upstream*):
 - Els usuaris sol·liciten slots temporals quan han de transmetre
 - Els abonats transmeten quan tenen l'autorització

101

Ús de l'ample de banda - Multiplexació



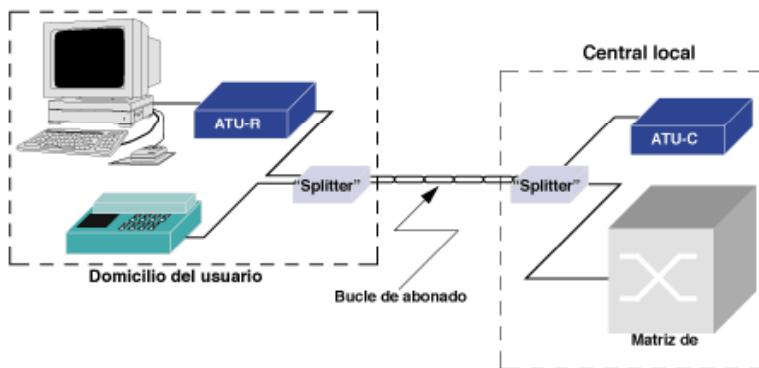
Diferents abonats comparteixen el mateix canal ascendent sense entrar en conflicte

102

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Línia d'abonat digital asimètrica (ADSL)

- Aprofitament del cable de parell trenat del bucle d'abonat (cable telefònic convencional). Optimitzar l'espectre.
- Transmissió simultània de veu i dades.
- Asimètric: més capacitat pel canal descendent.
- Tecnologia adaptativa: la taxa de transmissió depèn de l'estat del bucle local (distància, mida del cable, SNR, ...)

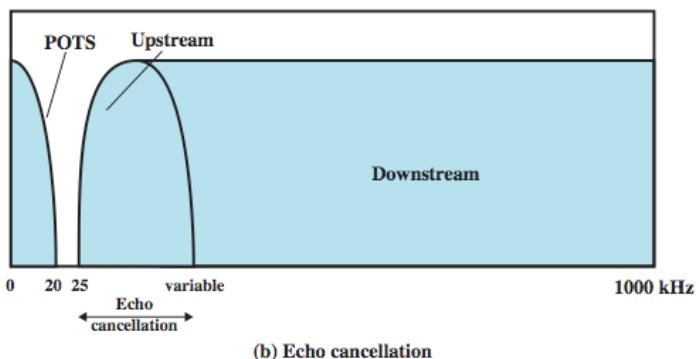
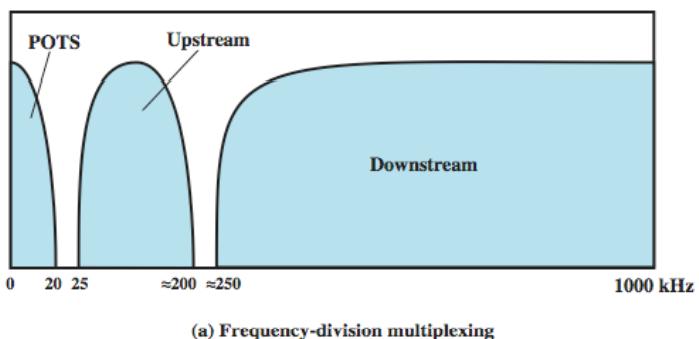


103

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Ús de FDM per aprofitar l'espectre (fins a 1,1 MHz):

- Canal de veu,
- Canal *Upstream*
- Canal *Downstream*

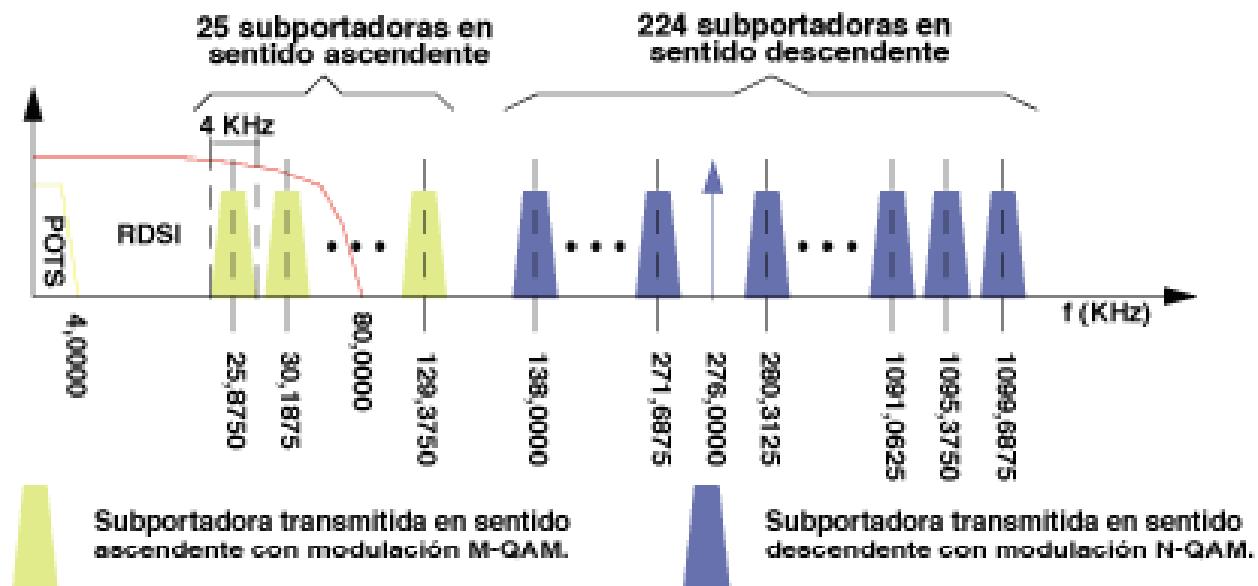


104

Ús de l'ample de banda - Multiplexació

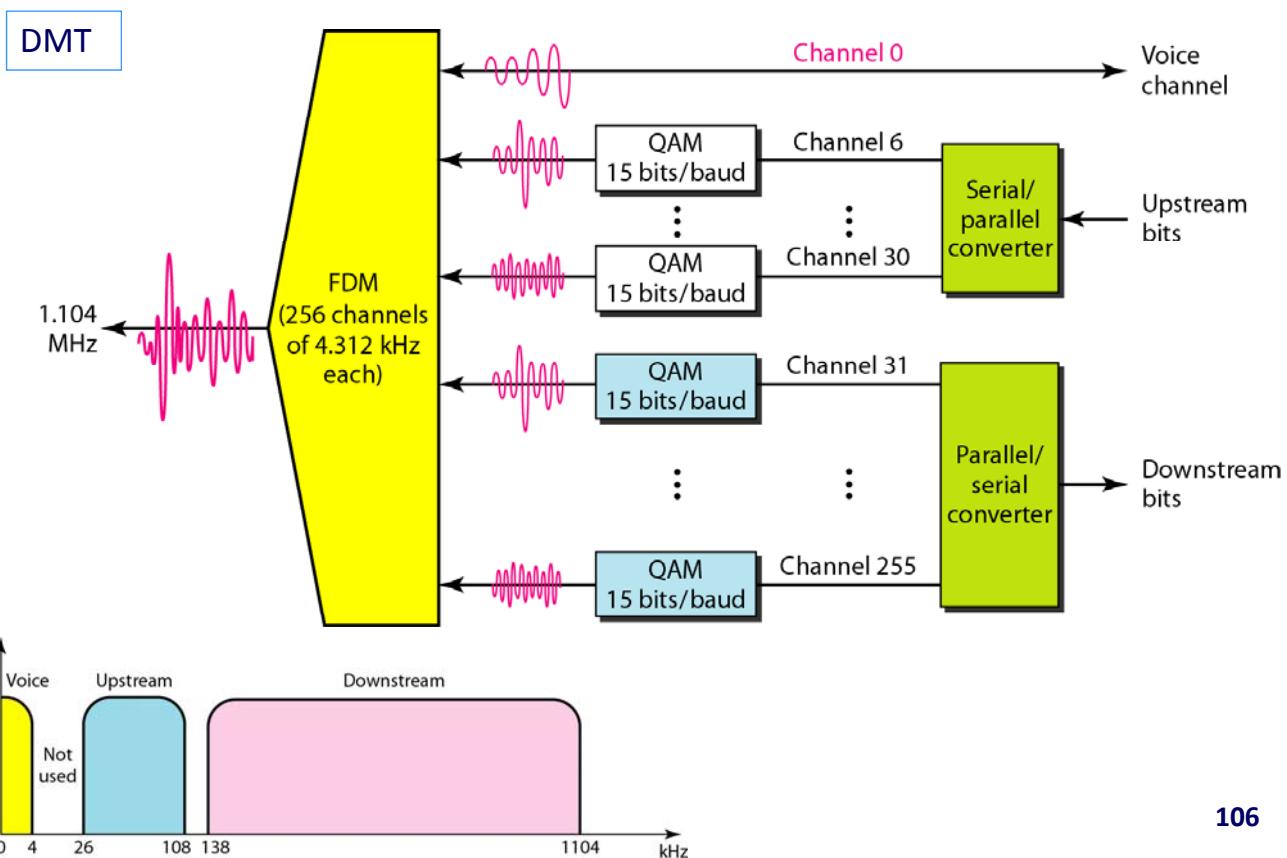
Tècnica Multi-To Discret (**DMT**, *Discrete MultiTone*): combina QAM i FDM.

Ús de múltiples subportadors de 4 KHz modulats en quadratura (QAM) i separats entre sí 4,3125 KHz.



105

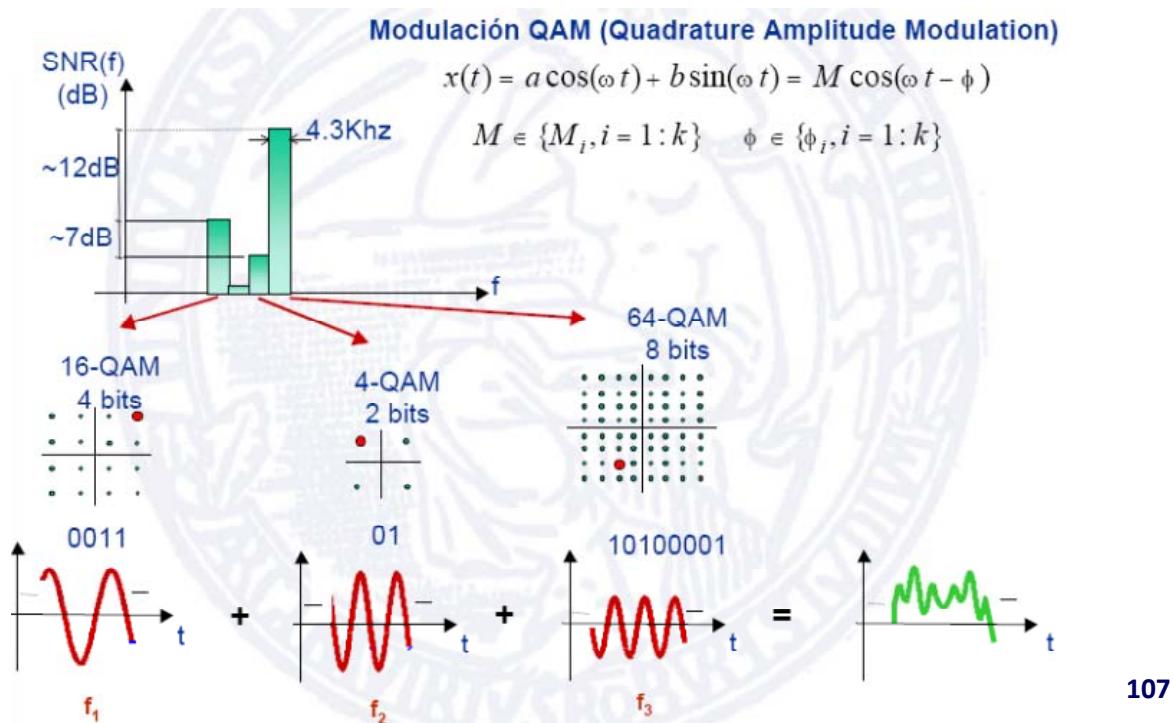
Ús de l'ample de banda - Multiplexació



106

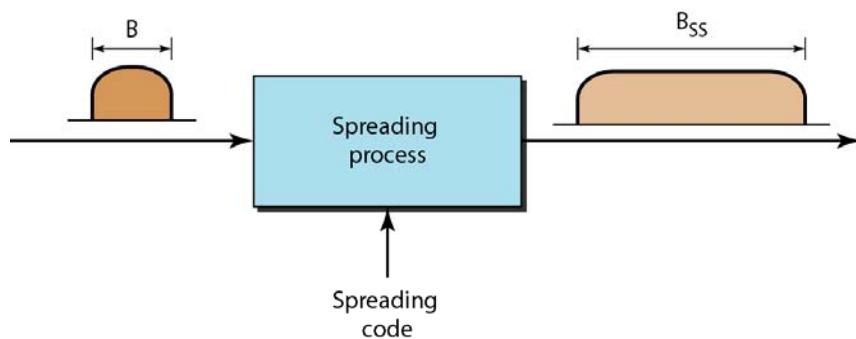
Ús de l'ample de banda - Multiplexació

Procés d'inicialització: el mòdem DMT envia senyals de test, per fer una estimació de la SNR per determinar les capacitats de cada "to".



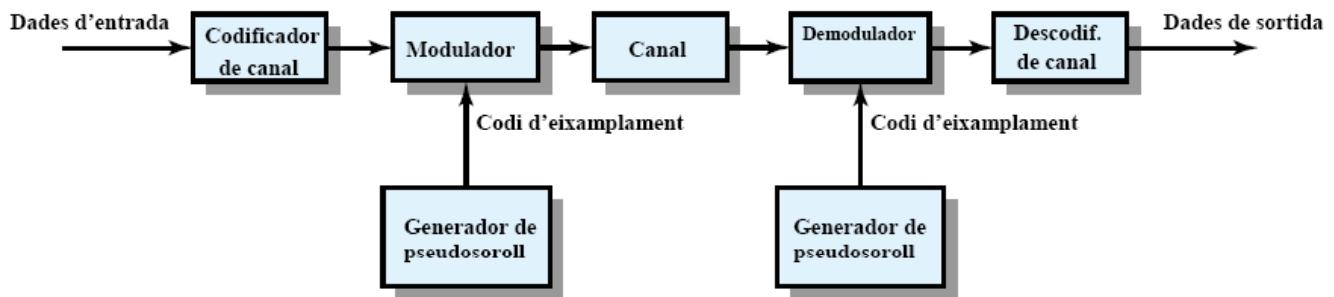
Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

- Dissenyat per l'ús en comunicacions sense fils.
- Per a la compartició del medi dificultant interferències i intercepcions.
- Expansió de l'espectre necessari per a cada estació (afegir redundància).
- El procés d'expansió és independent del senyal original.
- Codi d'expansió: seqüència de números que semblen aleatoris però que segueixen un patró (pseudoaleatoris).



Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

- Dades digitals o analògiques sobre un senyal digital.



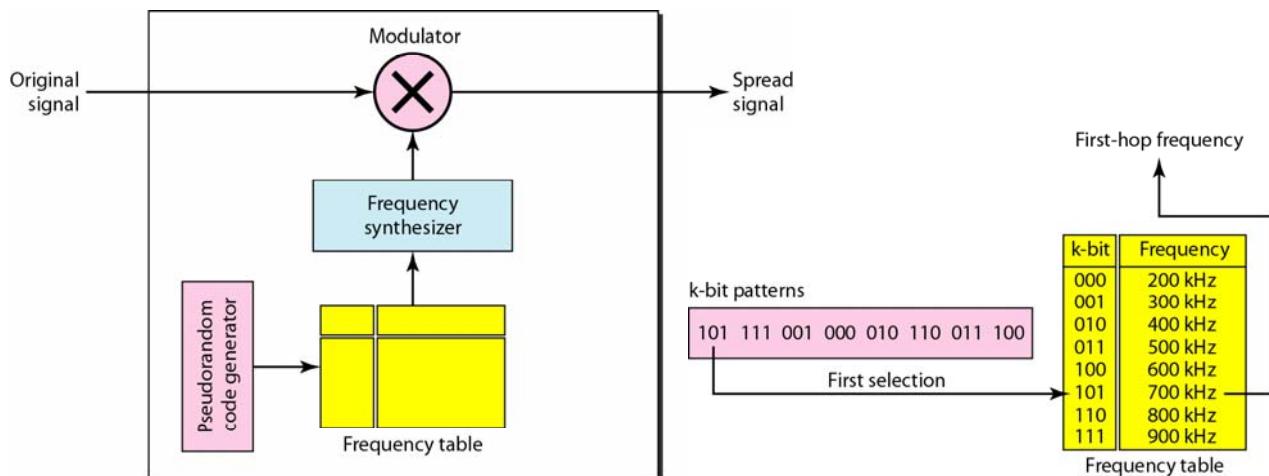
- Avantatges:**
 - Immunitat davant sorolls i distorsions multitrajectòria.
 - Per amagar o xifrar senyals.
 - Compartició de l'ample de banda entre diferents usuaris, sense gaires interferències. Ex: Telefonia cel·lular (CDM, CDMA)
- Tècniques:**
 - FHSS** → Espectre dispers per salt de freqüència.
 - DSSS** → Espectre dispers per seqüència directa.

109

Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

FHSS - Espectre dispers per salt de freqüències

El senyal s'emet sobre una sèrie de radiofreqüències aparentment aleatòria, saltant de freqüència en intervals fixats de temps. El receptor captarà el missatge saltant de freqüències com l'emissor.

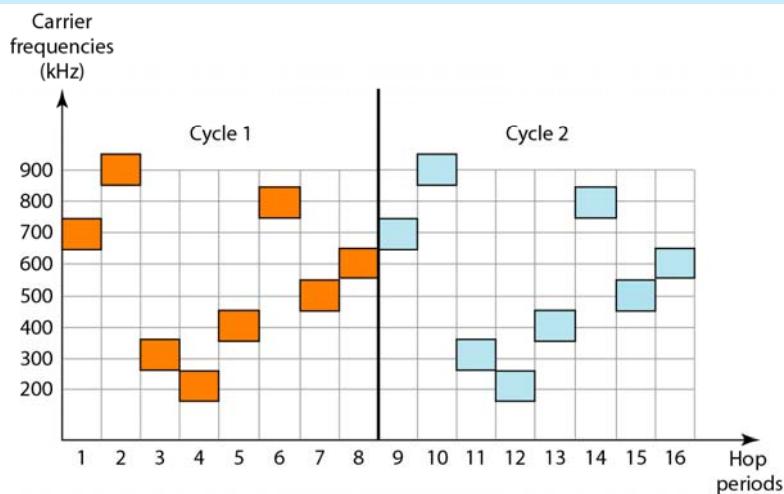


110

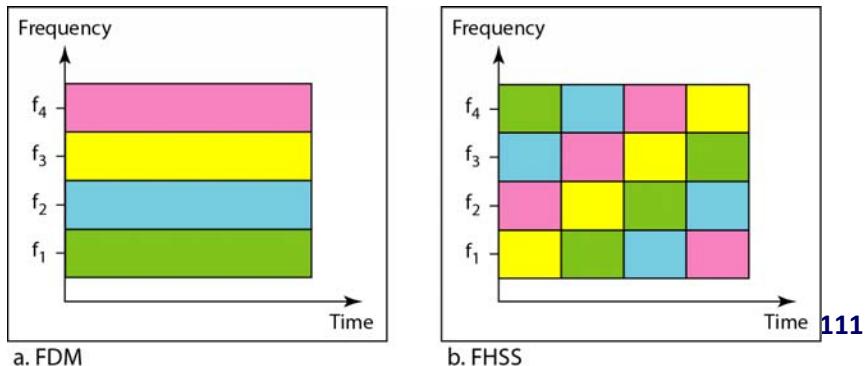
Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

Després d'un nombre determinat de salts el patró es repeteix.

Dwell time: inferior a 400 ms



Possibilitat de compartir l'ample de banda: l'assignació de freqüències canvia a cada salt.

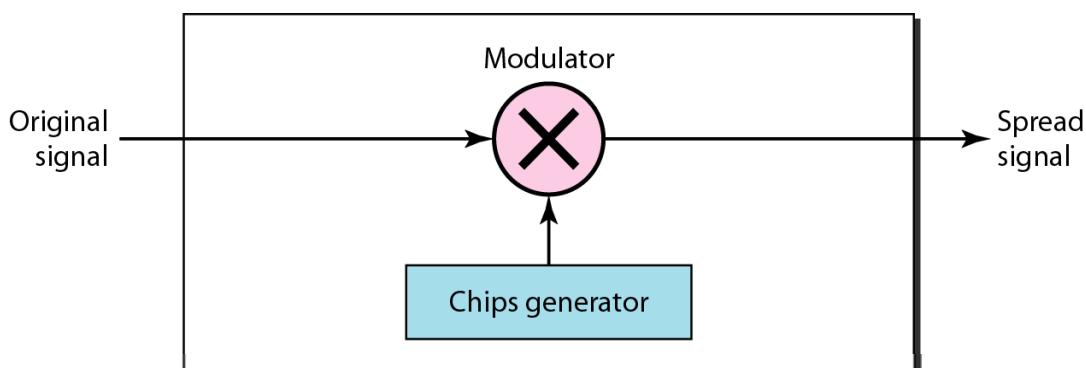


Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

DSSS - Espectre dispers per seqüència directa

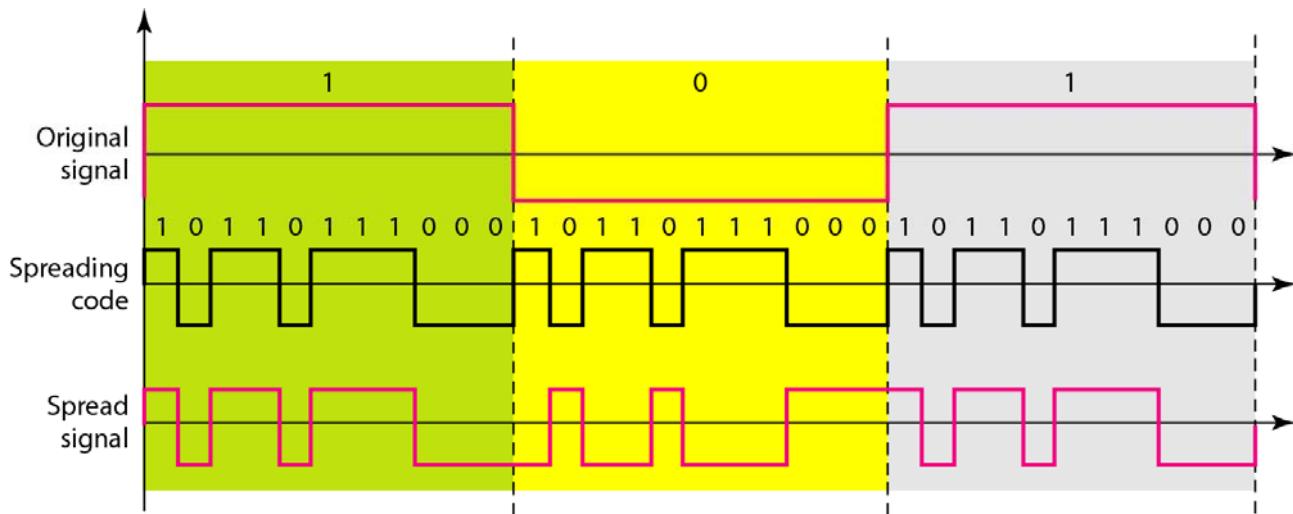
Es substitueix cada bit de dades per n bits utilitzant un **codi d'expansió**. Cada bit té assignat un codi de n bits (**chips**).

Ús d'un ample de banda directament proporcional al nombre de **chips**.



Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

Exemple DSSS: **Seqüència de Barker** (10110111000) en LANs sense fils
($n = 11$)



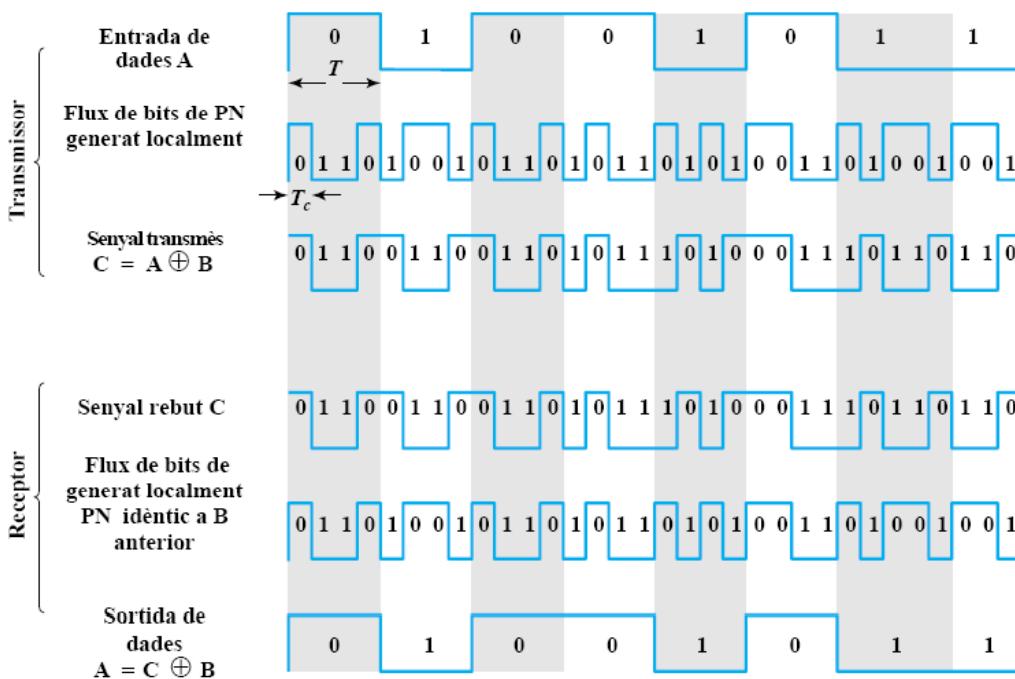
Taxa de dades original: $N \rightarrow$ Taxa senyal estès: $11 * N$

Ample de banda necessari 11 vegades superior

113

Ús de l'ample de banda – Espectre dispers

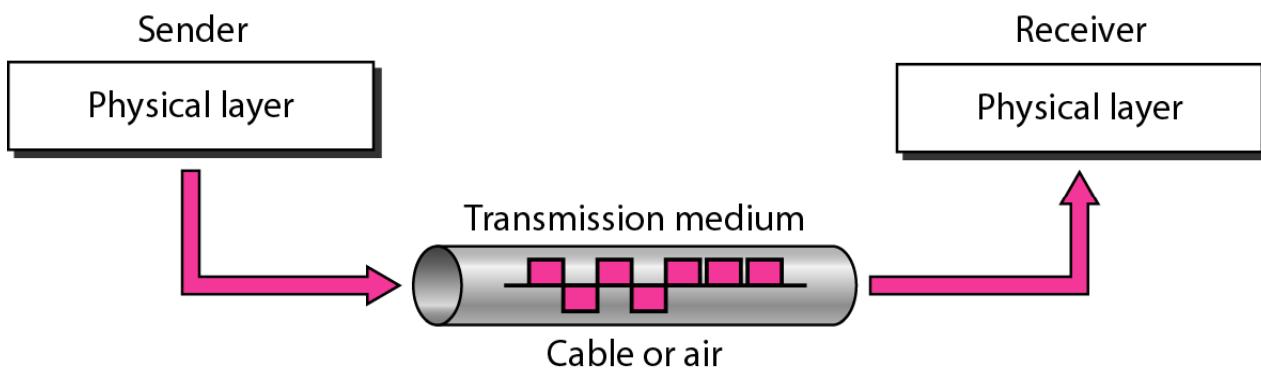
Exemple DSSS: Combinació amb el codi expansor mitjançant la funció or-exclusiva (XOR).



114

Medis de transmissió

- Evolució dirigida vers el desenvolupament de medis capaços de transmetre freqüències cada cop més grans.

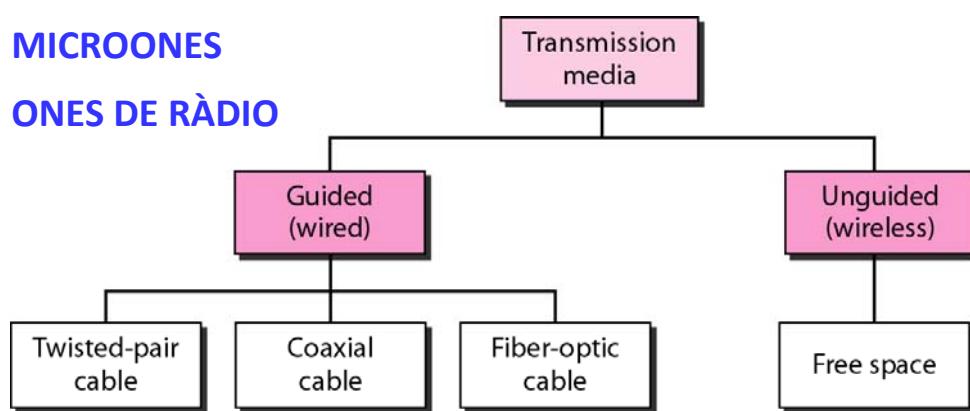


115

Medis de transmissió

- Medis guiats o fitats:
 - Cables convencionals per la transmissió de senyals elèctrics.
PARELLS DE FILS METÀL·LICS i CABLES COAXIALS
 - Conducció de radiacions electromagnètiques.
FIBRA ÒPTICA i GUIES D'ONA

- Medis lliures (ones):
 - MICROONES**
 - ONES DE RÀDIO**

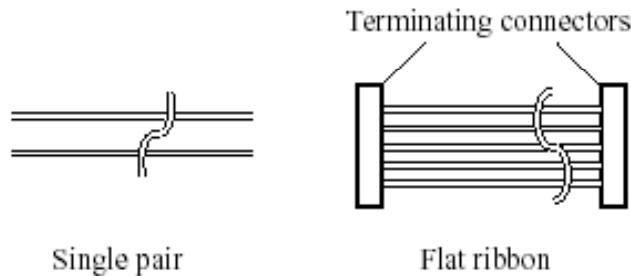


116

Medis de transmissió

- Parells de fils metà·l·ics:

- Línia oberta de dos fils: parell senzill, cable pla i cable multifil.



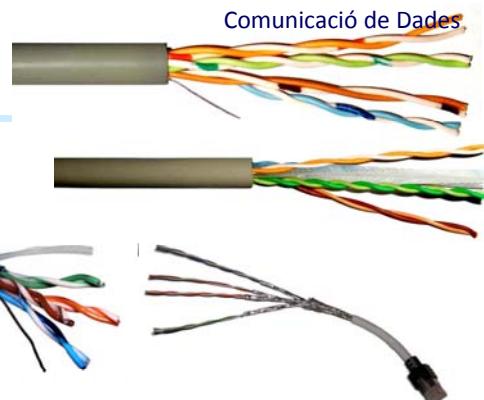
- Parells trenats: per evitar separació i incrementar immunitat davant interferències electromagnètiques.



117

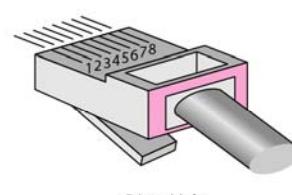
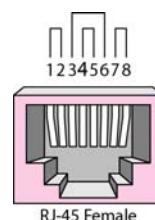
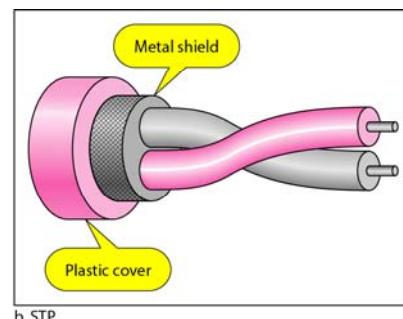
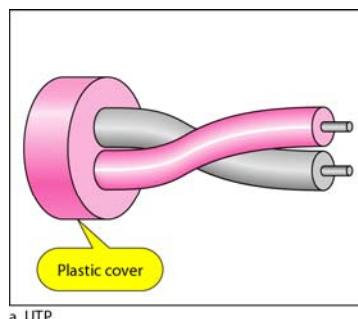
Medis de transmissió

- Parells trenats – Tipus:
UTP (*Unshielded Twisted Pair*)
STP (*Shielded Twisted Pair*)



Aplicaciones (UTP):

- Xarxa Telefònica
(bucle abonat)
 - Dins edificis (PBX)
 - LAN (cablejat estructurat)



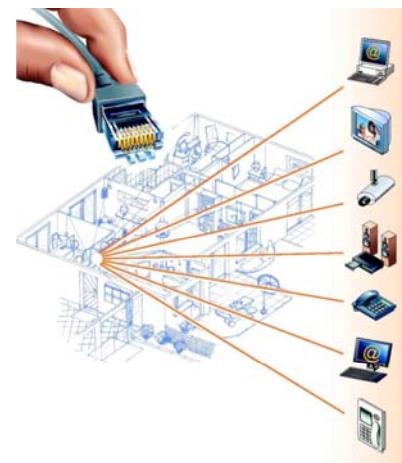
EIA: Categoria 3/4/5/5e/6/6a/7/**7a**/8...

118

Medis de transmissió

- Parells trenats - Pros i contres:

- Preu
- Fàcil instal·lació
- Cables de molts parells (però són cars i poc flexibles)
- Velocitats de transmissió limitades
- *Skin Effect* (Atenuació)
- Susceptibles a interferències i sorolls
- Distància limitada (repetidors/amplificadors)

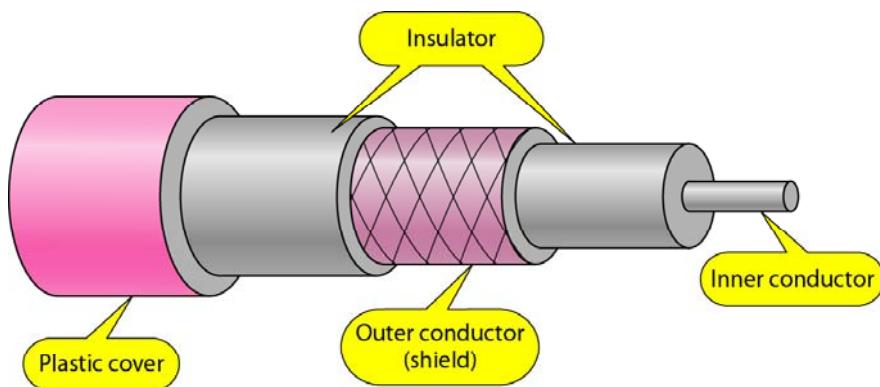


119

Medis de transmissió

- Cables coaxials:

- Parell de conductors cilíndrics concèntrics separats per un material aïllant (dielèctric).



- Majors distàncies, amples de banda superiors i línies compartides.

120

Medis de transmissió

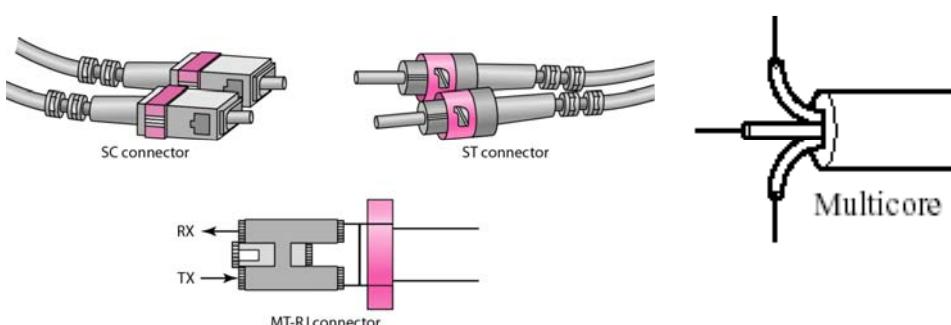
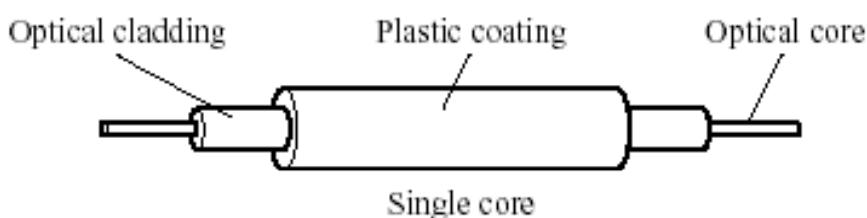
- Cables coaxials – Aplicacions:
 - CATV, Distribució de TV per cable
 - Comunicacions telefòniques a llarga distància (10.000 canals de veu simultanis - FDM)
 - Connexió amb perifèrics a curta distància
 - LANs
 - Connexió d'emissores a antenes

Category	Impedance	Use
RG-59	75 Ω	Cable TV
RG-58	50 Ω	Thin Ethernet
RG-11	50 Ω	Thick Ethernet

121

Medis de transmissió

- Fibra òptica:
 - Tres seccions concèntriques: nucli, revestiment i coberta.

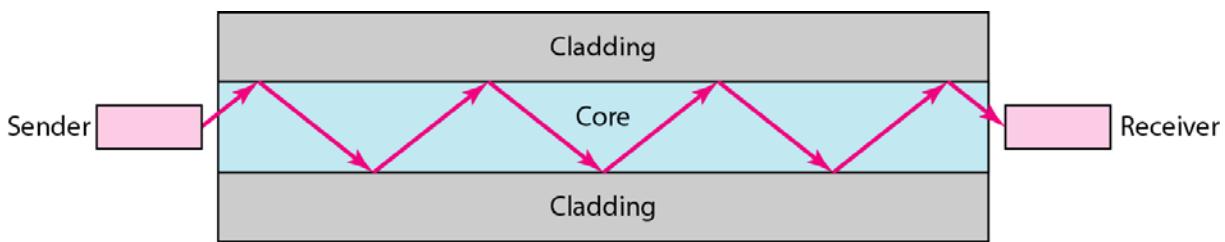


122

Medis de transmissió

- Fibra òptica:
 - NUCLI – Una o més fibres molt fines de vidre o plàstic (cada fibra amb el seu revestiment).
 - COBERTA – Plàstic i altres materials dipositats en capes (protecció contra humitat, corrosió, aixafament i altres perills).

Funcionament: principi de reflexió.



123

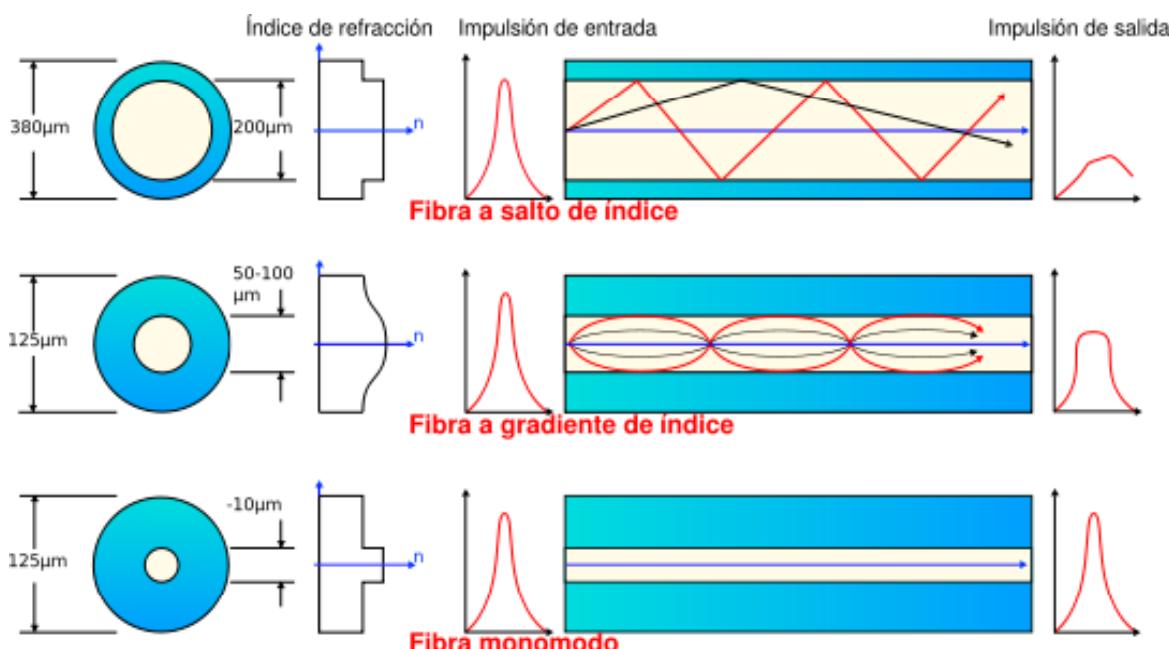
Medis de transmissió

- Fibra òptica – Sistema òptic:
 - Medi de transmissió (fibra)
 - Font de llum (LED o ILD)
 - Detector (fotodiode)
- Característiques:
 - Pèrdues baixes – menor atenuació.
 - Major ample de banda.
 - Reducció de pes i volum.
 - Immunitat davant interferències.
 - Seguretat alta.

124

Medis de transmissió

Fibra òptica - tipus: Segons modes de transmissió
(multimode i monomodo)



125

Medis de transmissió

- Fibra òptica – Aplicacions:
 - Enllaços digitals a llarga distància
 - Enllaços metropolitans
 - Accés a àrees rurals
 - Bucles d'abonat per xarxes digitals (FTTH)
 - Xarxes locals
 - Televisió per cable
 - Enllaços punt a punt “crítics”



126

Medis de transmissió



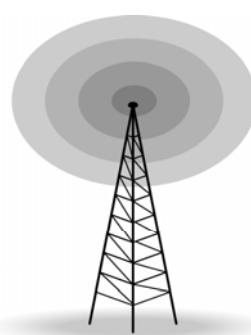
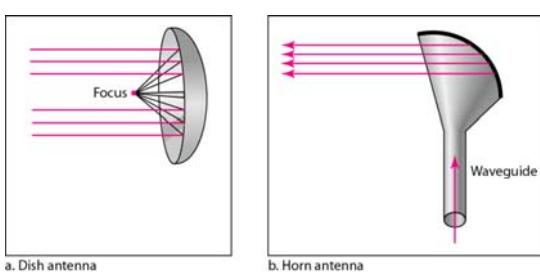
- Guies d'ona:
 - Tub de secció quadrada, el·líptica, circular o rectangular amb l'interior del revestiment metallitzat i l'interior buit.
 - Onda electromagnètica guiada de freqüències inferiors a la llum (1 GHz a 100 GHz).



127

Medis de transmissió

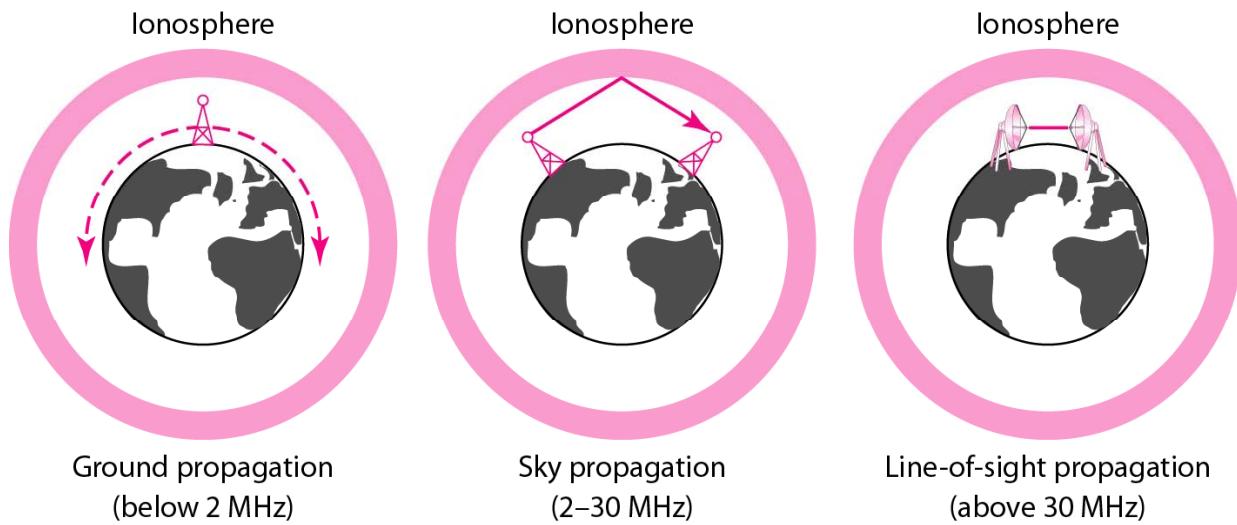
- Transmissió sense fils - Característiques:
 - Espai lliure
 - Ús d'antenes
 - Transmissió d'energia electromagnètica al medi:
 - Una direcció (direccional) → Alineació d'antenes
 - Totes direccions (omnidireccional) → Recepció per diverses antenes al mateix temps.



128

Medis de transmissió

- Transmissió sense fils – mètodes de propagació:



129

Medis de transmissió

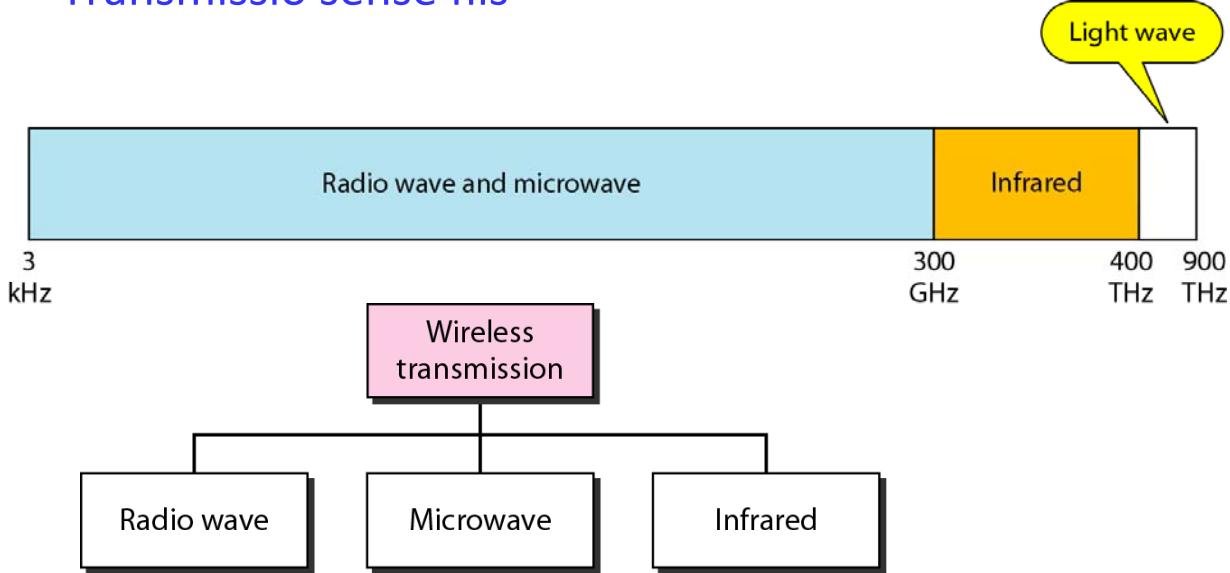
- Transmissió sense fils – bandes:

Band	Range	Propagation	Application
VLF (very low frequency)	3–30 kHz	Ground	Long-range radio navigation
LF (low frequency)	30–300 kHz	Ground	Radio beacons and navigational locators
MF (middle frequency)	300 kHz–3 MHz	Sky	AM radio
HF (high frequency)	3–30 MHz	Sky	Citizens band (CB), ship/aircraft communication
VHF (very high frequency)	30–300 MHz	Sky and line-of-sight	VHF TV, FM radio
UHF (ultrahigh frequency)	300 MHz–3 GHz	Line-of-sight	UHF TV, cellular phones, paging, satellite
SHF (superhigh frequency)	3–30 GHz	Line-of-sight	Satellite communication
EHF (extremely high frequency)	30–300 GHz	Line-of-sight	Radar, satellite

130

Medis de transmissió

- Transmissió sense fils



Major freqüència → Més fàcil fer un feix dirigit.

131

Medis de transmissió

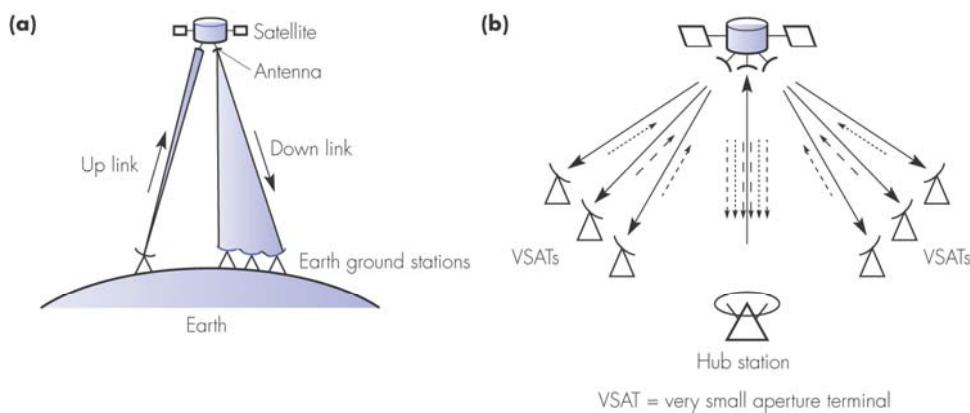
- Transmissió sense fils – Rangs de freqüència:
 - de 300 MHz a 300 GHz : **Microones terrestres**
 - Feixos direccionals
 - Enllaços punt a punt (antenes parabòliques alineades)
 - Serveis de telecomunicació de llarga distància.
 - Enllaços a curta distància entre edificis.
 - Wireless LANs
 - Majors freqüències → Canals més grans → Major velocitat de transmissió → Dispositius més cars.
 - Regulació estricta en l'assignació de bandes per evitar interferències.

132

Medis de transmissió

- Transmissió sense fils – Rangs de freqüència:

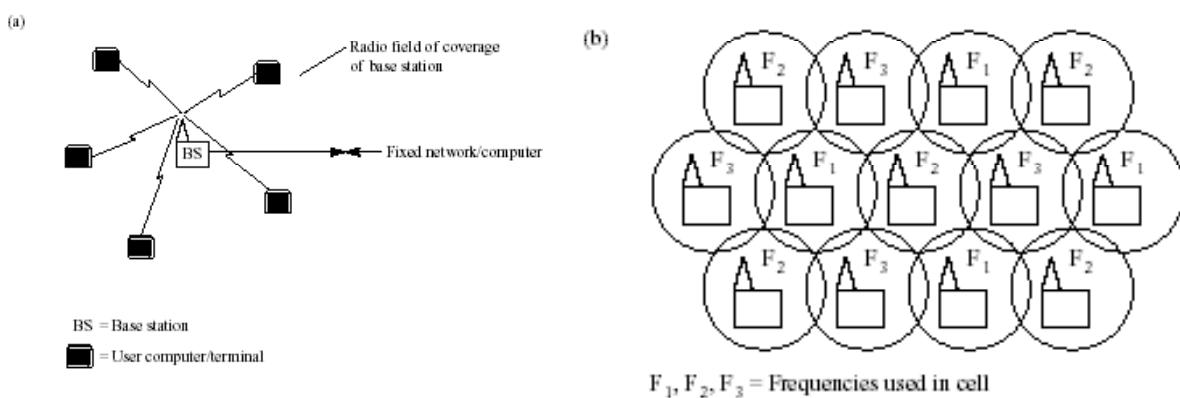
- de 300 MHz a 300 GHz : **Microones per satèl·lit**
 - Enllaç entre estacions base.
 - Canals ascendents i descendents (bandes de freq.: *transponders*).
 - Aplicacions multidestí: difusió de TV, GPS, transmissió telefònica a distància, xarxes privades (VSAT, *Very Small Aperture Terminal*).
 - Retards de propagació apreciables.



Medis de transmissió

- Transmissió sense fils – Rangs de freqüència:

- de 0.1 - 300 MHz : **Ones de ràdio - radiofreqüència**
 - Aplicacions omnidireccionals.
 - No necessiten antenes parabòliques, ni alineació.
 - Cobreix ràdio comercial FM i televisió VHF i UHF.
 - Aplicacions de transmissió de dades (xarxes i enllaços).
 - Adequades per a la difusió simultània a múltiples destins.

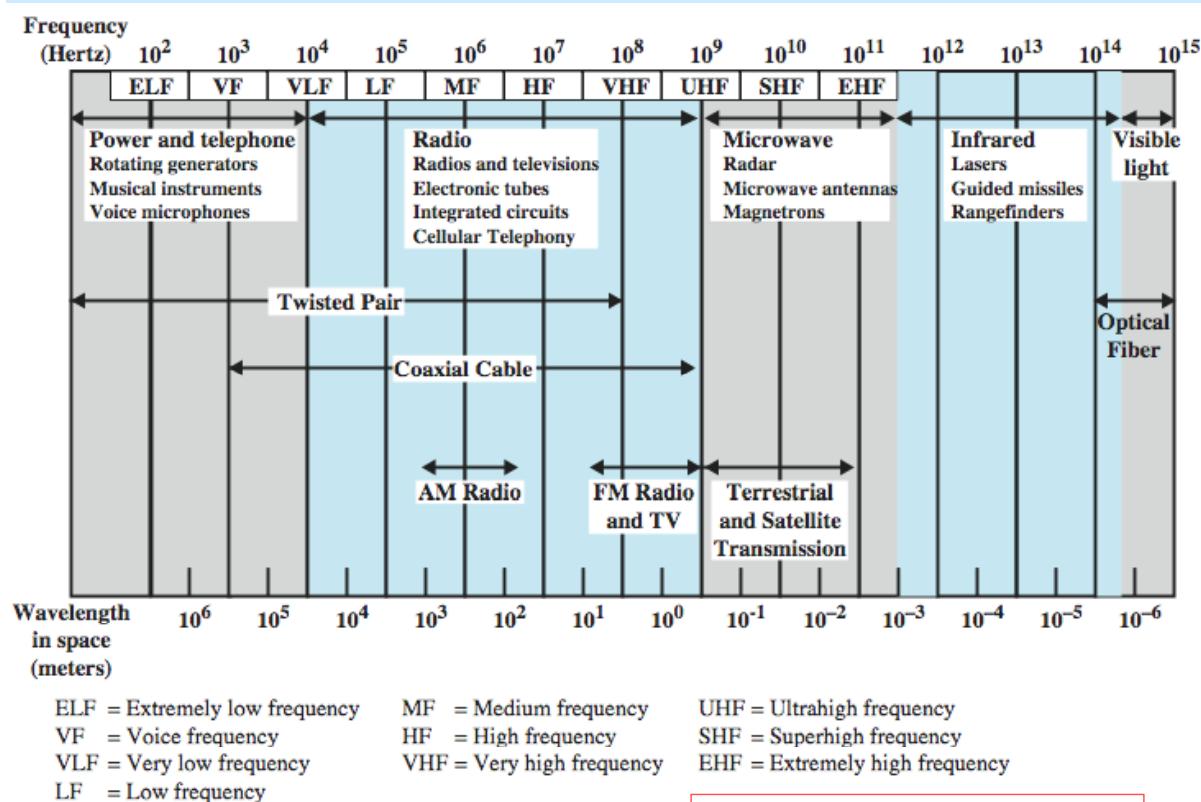


Medis de transmissió

- Transmissió sense fils – Rangs de freqüència:
 - de 3×10^{11} a 2×10^{14} Hz : **Infrarojos**
 - Connexions locals punt a punt i aplicacions multipunt en àrees de cobertura limitada (habitació).
 - Transmissors/Receptors (*transceivers*) que modulen llum infraroja.
 - Equips alineats directa o indirectament (reflexió).
 - No poden travessar substàncies opaques.
 - No fan falta permisos d'assignació de bandes de freqüència.

135

Medis de transmissió



Espectre electromagnètic

136