

## INFRAESTRUCTURA I TECNOLOGIA DE XARXES

Curs 2016/2017

# XARXES LOCALS (LAN)

**DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS** (10a Edició)

*William Stallings.* PRENTICE-HALL, 2012

**BUSINESS DATA NETWORKS AND TELECOMMUNICATIONS** (8a Edició)

*Raymond R. Panko.* PRENTICE-HALL, 2011

**DATA COMMUNICATIONS AND NETWORKING** (5a Edició)

*Behrouz A. Forouzan.* McGRAW-HILL, 2013

## Continguts

---

- Fonaments bàsics
- *Ethernet*
- Interconnexió
- Xarxes Locals Virtuais (VLAN)
- Xarxes Locals sense fils (821.11 WLAN)
- Xarxes d'Àrea Personal (PAN)

# Característiques

---

- Àrea Moderada
- Propietat de l'organisme que la utilitza
- Canal dedicat
- Baixa taxa d'errors
- Capacitat de transmissió elevada
- Modularitat
- Cost reduït
- Interconnexió d'equips heterogenis

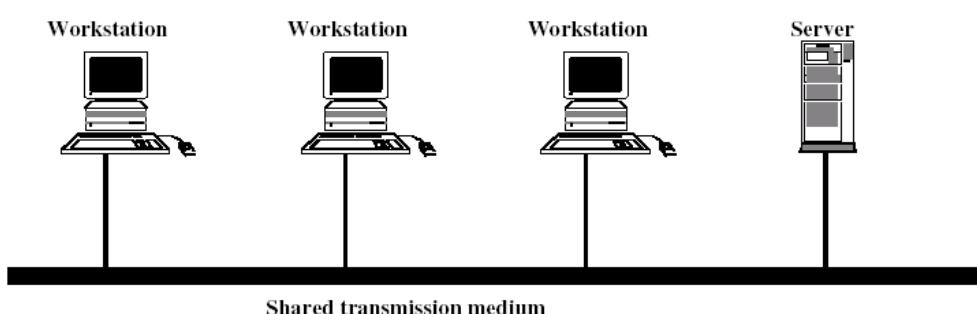


3

# Aplicacions

---

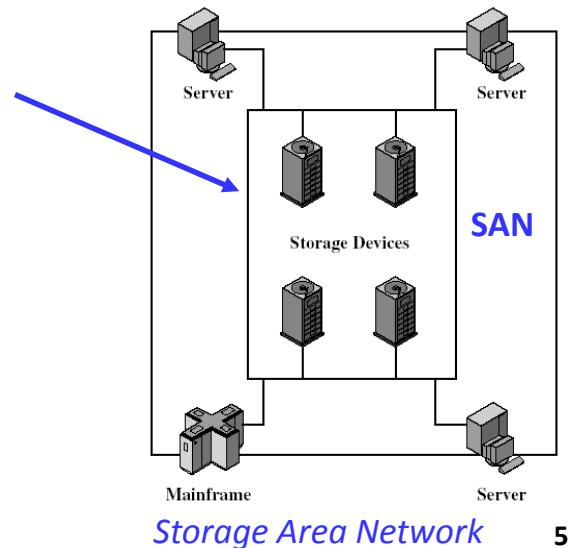
- LAN de computadors personals
  - Cost baix
  - Compartició de recursos:
    - Aplicacions              → Dades d'usuari
    - Espai de disc            → Sistema d'impressió
    - Servei de comunicacions: internes i externes
  - Velocitat limitada (en funció del cost)



4

# Aplicacions

- Xarxes d'emmagatzematge i “backend”
- Interconnexió de servidors i computadors centrals amb dispositius d'emmagatzematge massiu
- Característiques:
  - Bus comú d'entrada/sortida
  - Interfícies d'alta velocitat
  - Accés distribuït
  - Fiabilitat
  - Taxes de transmissió elevades
  - Distància limitada
  - Número limitat de dispositius



5

# Aplicacions

- Xarxes ofimàtiques d'alta velocitat
  - Aparició de noves aplicacions amb requisits molt superiors (volum + velocitat).
  - Processadors d'imatges de sobretaula: programes gràfics, multimèdia, ...
  - Capacitats locals d'emmagatzematge cada vegada més altes.

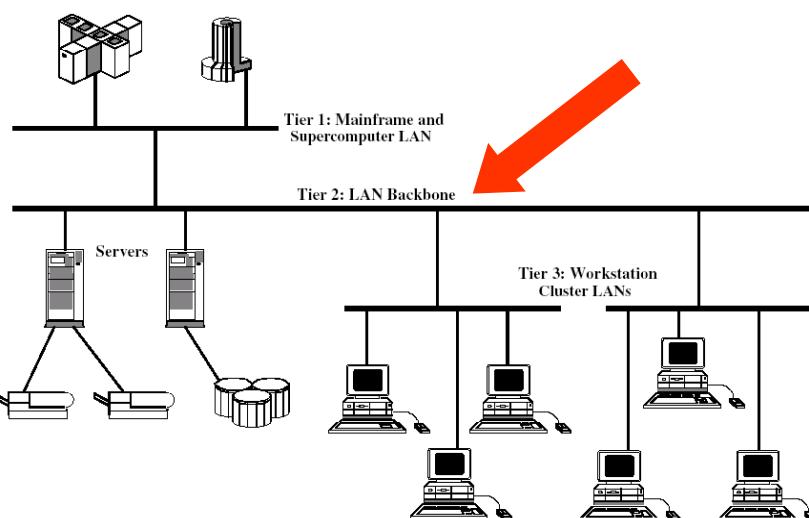
6

# Aplicacions

- Xarxes troncals (*backbone*)

- Interconnexió de xarxes locals de baixa velocitat distribuïdes.
- Superació dels inconvenients d'una LAN única:

- Fiabilitat
- Capacitat
- Distància
- Seguretat



7

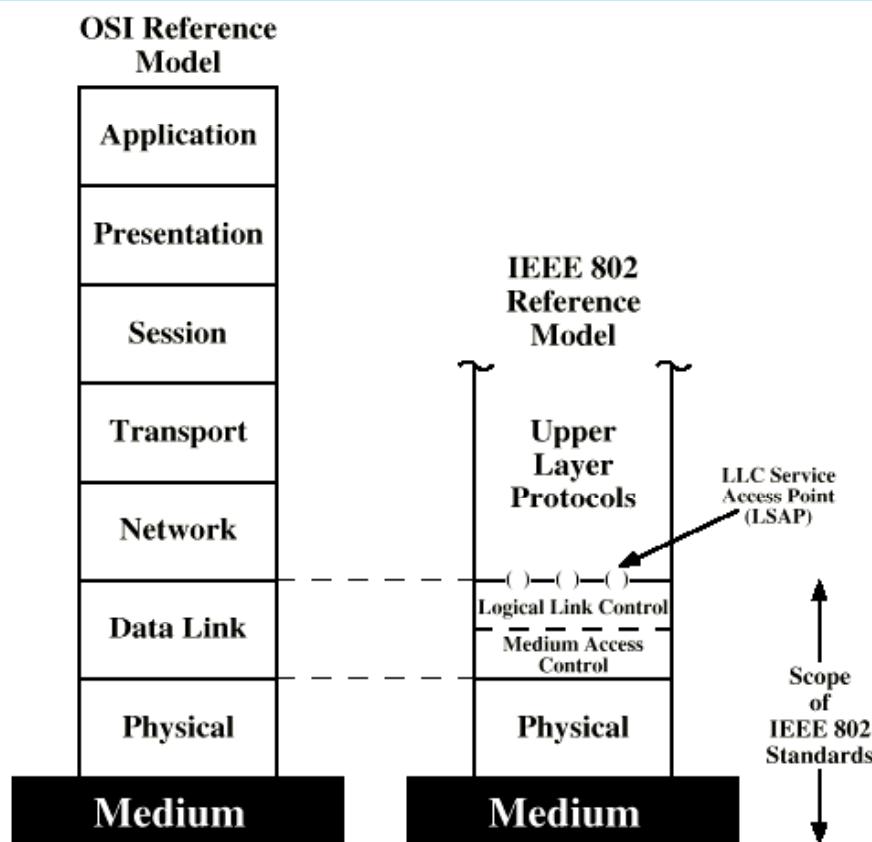
## Arquitectura de protocols - LAN

- Jerarquia de protocols que organitza les funcions bàsiques de la LAN.
- Qüestions relacionades amb la **transmissió de blocs de dades (trames) a través de la xarxa** ➔ capes inferiors del model OSI.
- Model de referència **IEEE 802** (1985, *Project 802*)
  - Capa física
  - Control d'accés al medi (MAC)
  - Control de l'enllaç lògic (LLC)

8

# Arquitectura de protocols - LAN

- IEEE 802 versus OSI



9

# Arquitectura de protocols - LAN

- Capa física – Funcions:**
  - Codificació/descodificació dels senyals
  - Sincronització (preàmbul)
  - Transmissió/recepció de bits
  - Especificació del medi de transmissió i de la topologia
- Control de l'enllaç lògic (LLC) – Funcions:**
  - Interfície amb els nivells superiors
  - Control de flux i d'errors (si s'implementa)

## Arquitectura de protocols - LAN

- Control d'accés al medi (**MAC**) – Funcions:
  - Transmissió: generació de trames (camps d'adreça i de control d'errors).
  - Recepció: recuperació de trames amb reconeixement d'adreses i detecció d'errors.
  - Control d'accés al medi de transmissió.

11

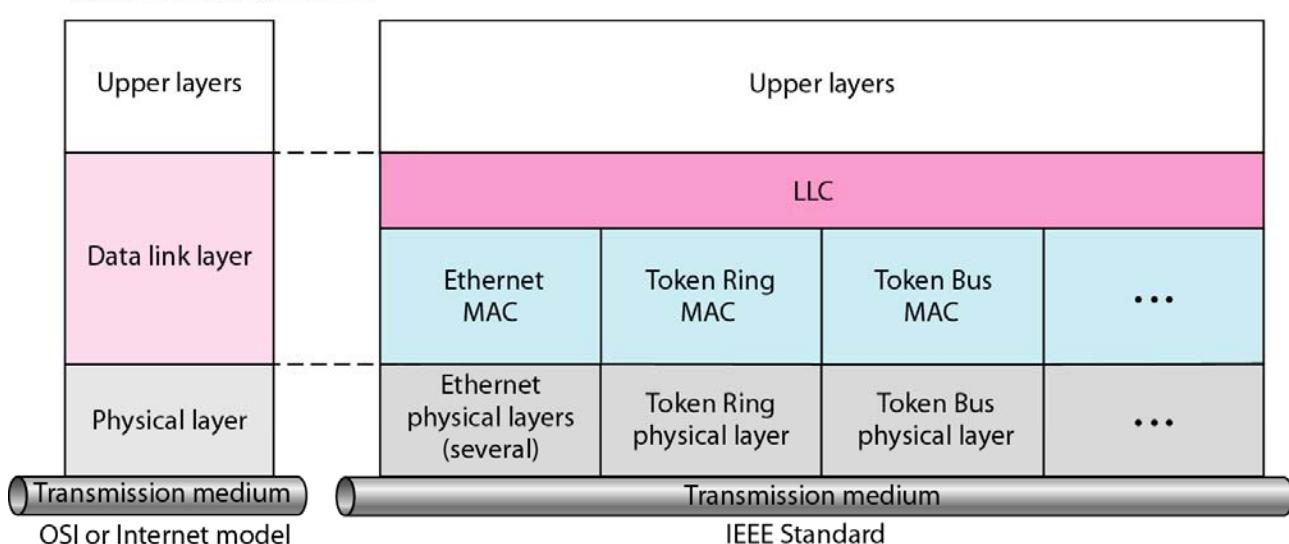
## Arquitectura de protocols - LAN

- Vàries opcions MAC pel mateix LLC.



**LLC:** Logical link control

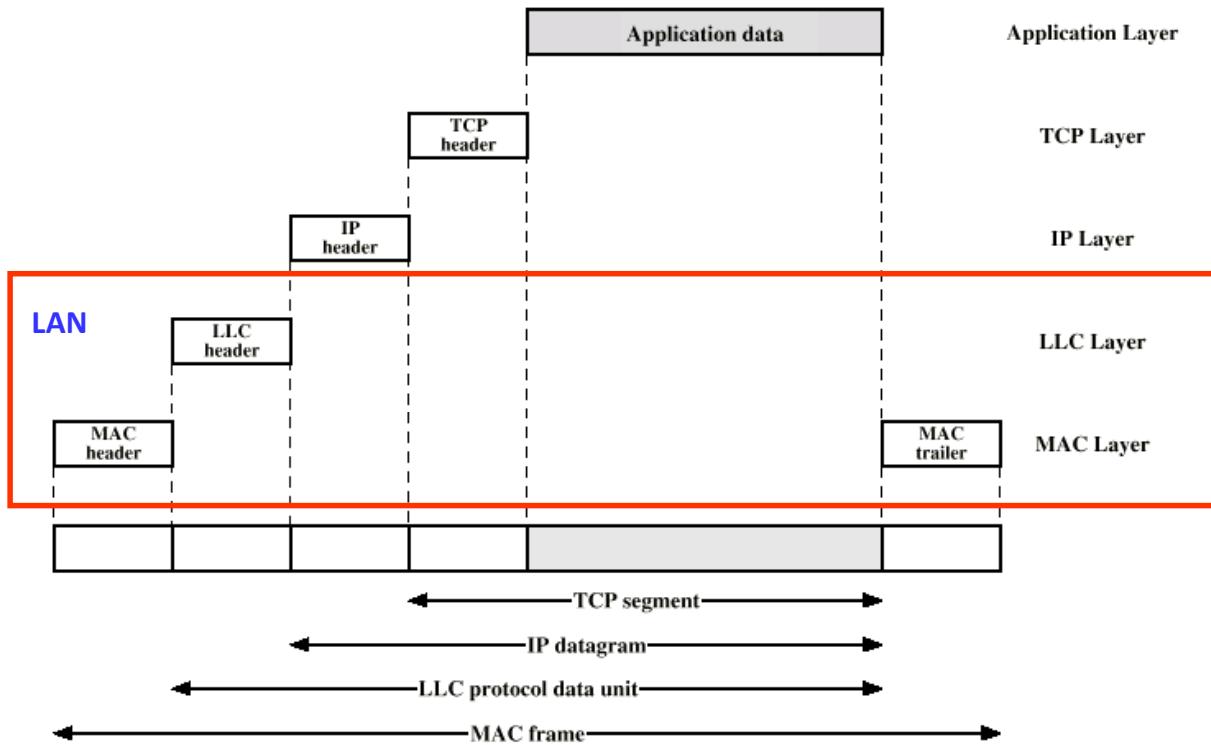
**MAC:** Media access control



12

# Arquitectura de protocols - LAN

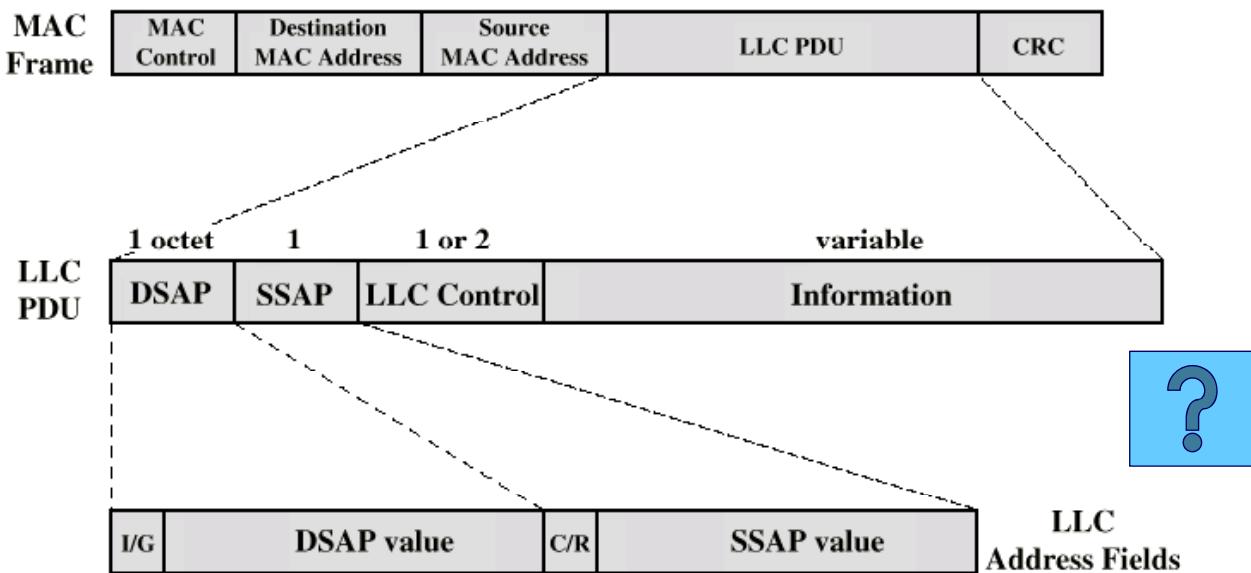
- Protocols LAN en un entorn TCP/IP



13

# Arquitectura de protocols - LAN

- Format de les trames: PDU-LLC i MAC genèrica



I/G = Individual/Group

C/R = Command/Response

14

# Control d'accés al medi

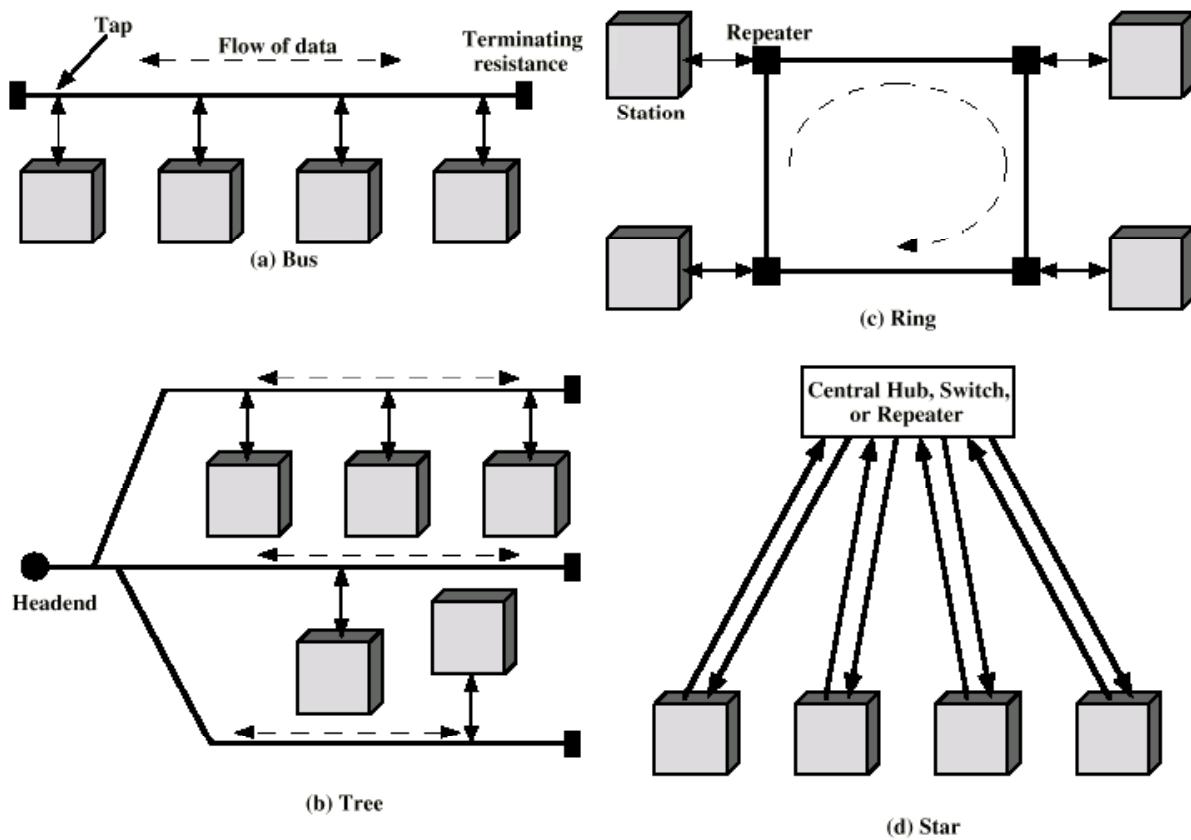
## Sistema compartit

- En quin lloc?
  - **CENTRALITZAT**
  - \* • **DISTRIBUÏT**
- Com?
  - **SÍNCRON**: Capacitat dedicada a cada connexió
  - \* • **ASÍNCRON** (dinàmic): En funció de la demanda
    - Rotació Circular (*round robin*)
    - Reserva
    - Contenció (baralla)



15

## Topologies



16

# Topologies

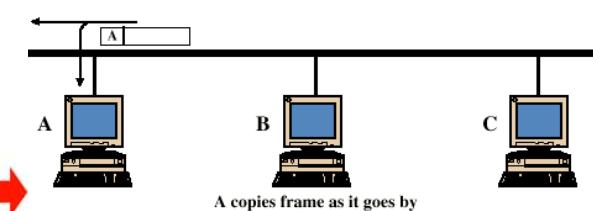
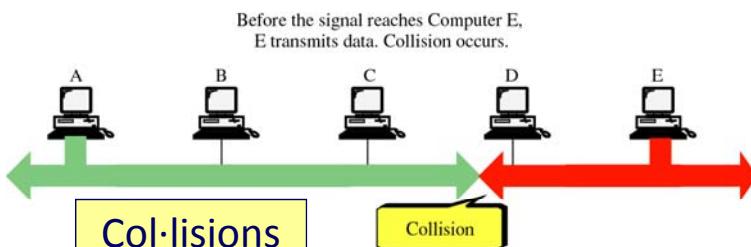
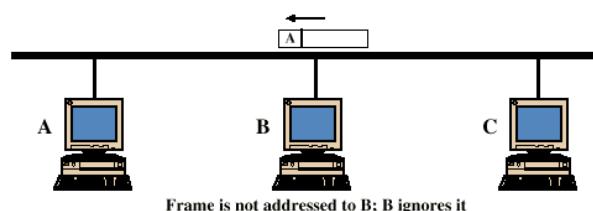
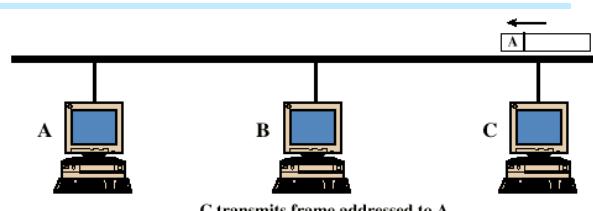
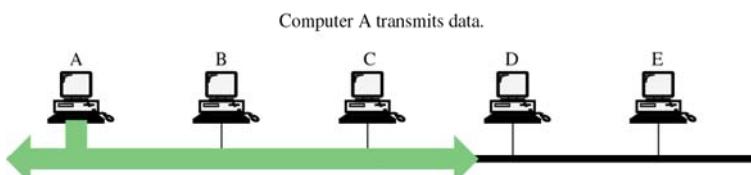
- Topologia en bus (i arbre)
  - Sistema **multipunt**.
  - Propagació del senyal pel medi en ambdós sentits.
  - Informació rebuda per totes les estacions:
    - Cal identificar estacions → **adreces úniques**
  - Connexió full-dúplex entre l'estació i la connexió al bus (**tap**) → recepció/transmissió.
  - Mecanismes per regular la transmissió:
    - Evitar col·lisions → **mecanismes de control d'accés**
    - Evitar transmissions llargues → **ús de trames**

17

# Topologies

- Topologia en bus

Transmissió  
de trames



18

# Topologies

- **Topologia en anell**

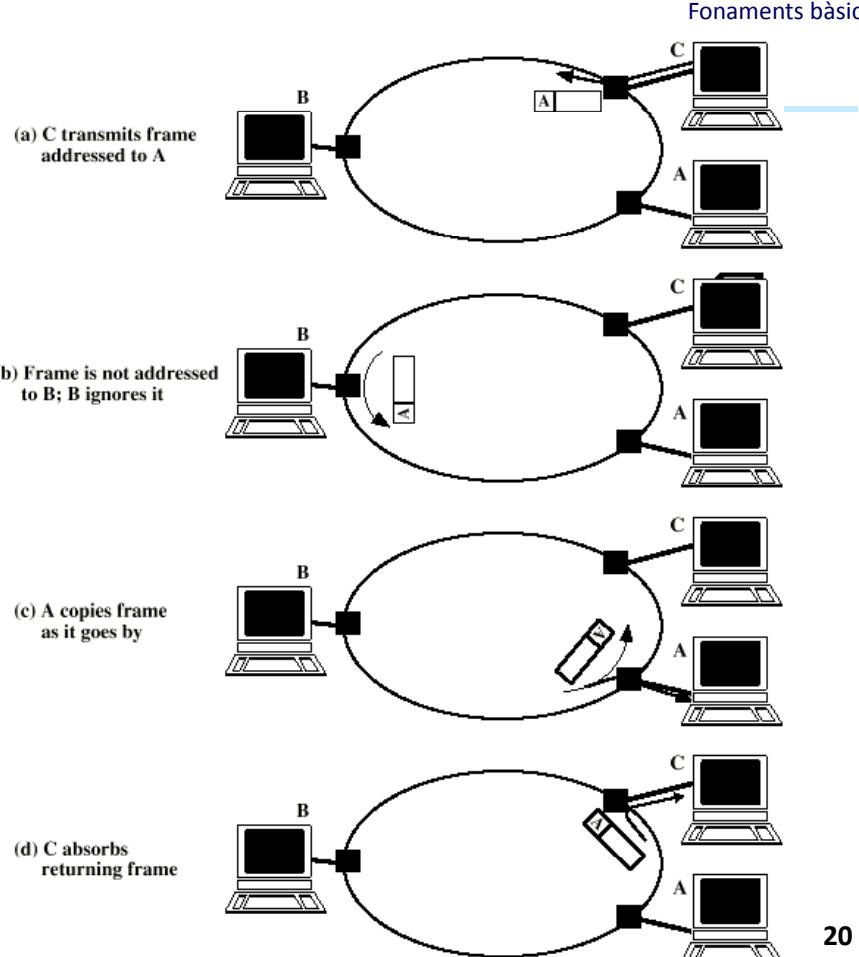
- Repetidors units per enllaços punt a punt formant un bucle tancat:
  - Cada estació es connecta a través d'un repetidor.
  - Repetidors: recepció de dades per un enllaç i retransmissió, bit a bit, per l'altre.
  - Enllaços unidireccionals.
- Dades transmeses en trames:
  - Passen per totes les estacions.
  - El destí se'n fa una còpia.
  - Torna a l'origen, que l'elimina.
- Cal aplicar tècniques de control d'accés al medi

19

# Topologies

- **Topologia en anell**

Transmissió  
de trames



20

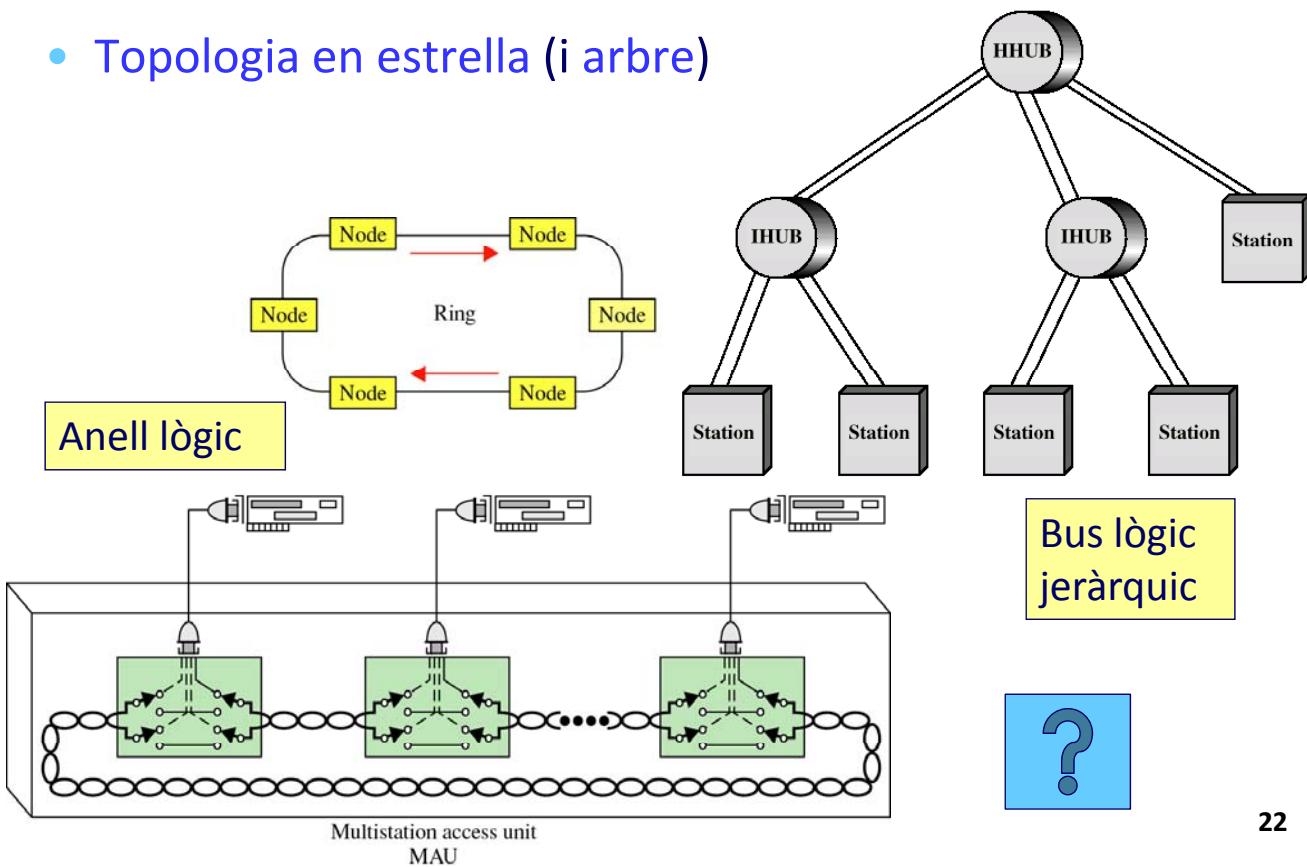
# Topologies

- Topologia en estrella (i arbre)
  - Cada estació es connecta directament a un node central:
    - Normalment s'utilitzen dos enllaços punt a punt (R i T)
  - Alternatives de funcionament del node central:
    - Difusió a tots els nodes (concentrador – *hub*):
    - Estrella física, bus lògic.
    - Només una estació pot transmetre cada vegada
  - Difusió al node següent (MAU):
    - Estrella física, anell lògic.
  - Comutació de trames (*switch*): estrella física i lògica

21

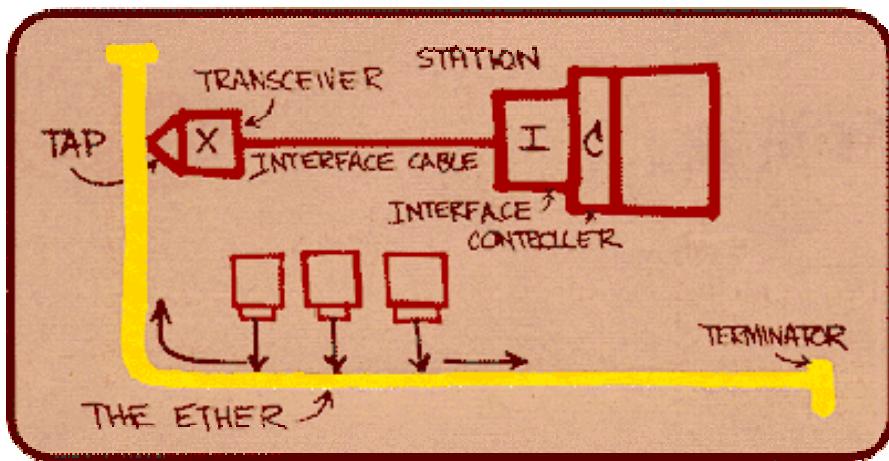
# Topologies

- Topologia en estrella (i arbre)



22

# Orígens



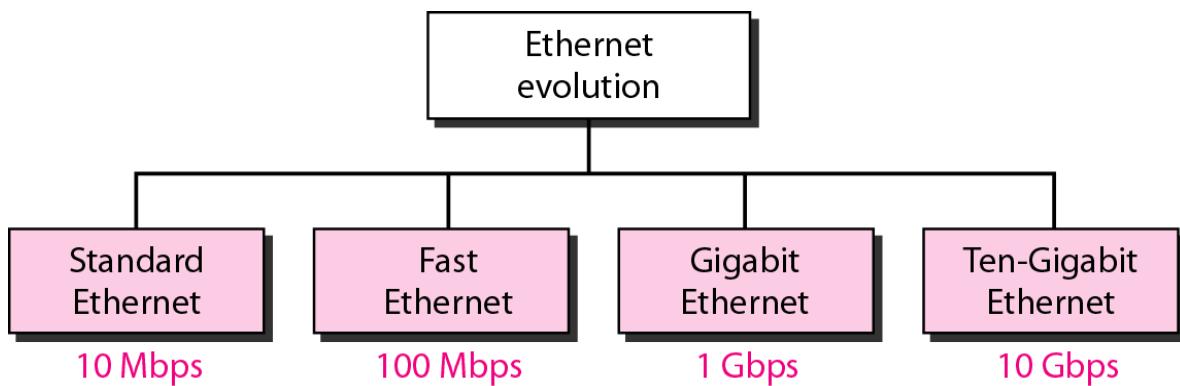
*"The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet ... to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet."*

*The Ethernet Sourcebook*, ed. Robyn E. Shotwell (New York: North-Holland, 1985)

<http://www.ethermanage.com/ethernet/>

23

# Evolució



- Ethernet 1976
- 10 Megabit Ethernet 1990 (10baseT)
- 100 Megabit Ethernet 1995
- 1 Gigabit Ethernet 1998/1999
- 10 Gigabit Ethernet 2002
- 40/100 Gigabit Ethernet 2010
- 400 Gigabit Ethernet 2017
- 1 Terabit Ethernet
- 100 Terabit Ethernet 2020 \*\* (previsió)



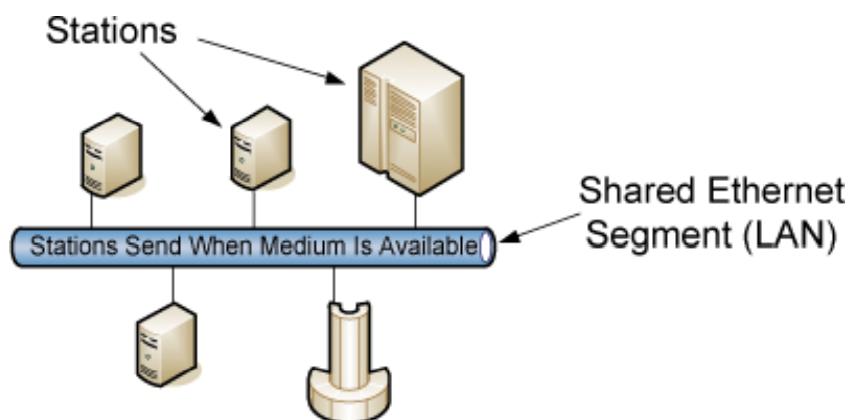
24

## Definició

- Protocol de nivell d'enllaç per xarxes locals (LAN) basat en *datagrames* i definit a l'estàndard IEEE 802.3, per la comunicació entre iguals en el que no hi ha un control centralitzat i totes les estacions són tractades per igual.
- Protocol d'enllaç que proporciona una interfície unificada al medi de xarxa que permet a un SO transmetre i rebre varis protocols del nivell de xarxa de forma simultània.
- No orientat a connexió i no fiable.**

25

## Definició



- Components definits pel protocol:
  - Directives del nivell físic: tipus de cables, limitacions de cablatge i mètodes de senyalització.
  - Format de trama: ordre i funcions dels bits transmesos.
  - Mecanisme de control d'accés al medi → CSMA/CD.

26

# CSMA/CD

---

- Desenvolupament inicial de Xerox (anys 70).
- Base per l'especificació de l'estàndard **IEEE 802.3** (1985).
- Mètode de control d'accés: **CSMA/CD** – Accés múltiple sensible a portador amb detecció de col·lisions.

**Precursors:** Sistemes de contenció o accés aleatori (1970)

- ALOHA:
  - Xarxes de ràdio amb transmissió de paquets (*Packet radio*)
  - Transmissió i espera de confirmació. Sinó → retransmissió.
  - Ús màxim del canal d'un 18%
- *Slotted ALOHA*:
  - Ranures uniformes de temps de transmissió de trames.
  - Necessitat d'un rellotge central (sincronisme).
  - Ús màxim del canal d'un 37%

27

# CSMA/CD

---

- CSMA (Accés múltiple sensible a portador)
  - Escoltar el medi abans de transmetre
 

Si el medi està	<b>Illiure → transmetre</b>
	<b>ocupat → esperar</b>
  - Si, després de transmetre, no es rep ACK → retransmissió
  - Si dues estacions transmeten alhora: **COL.LISIÓ**
    - El receptor no rep la trama
    - L'emissor no rep ACK
    - Retransmissió de la trama
  - La col·lisió ocupa el medi durant tota la transmissió

28

# CSMA/CD

- CSMA/CD (Detecció de Col·lisió)

Les estacions continuen escoltant el medi durant la transmissió

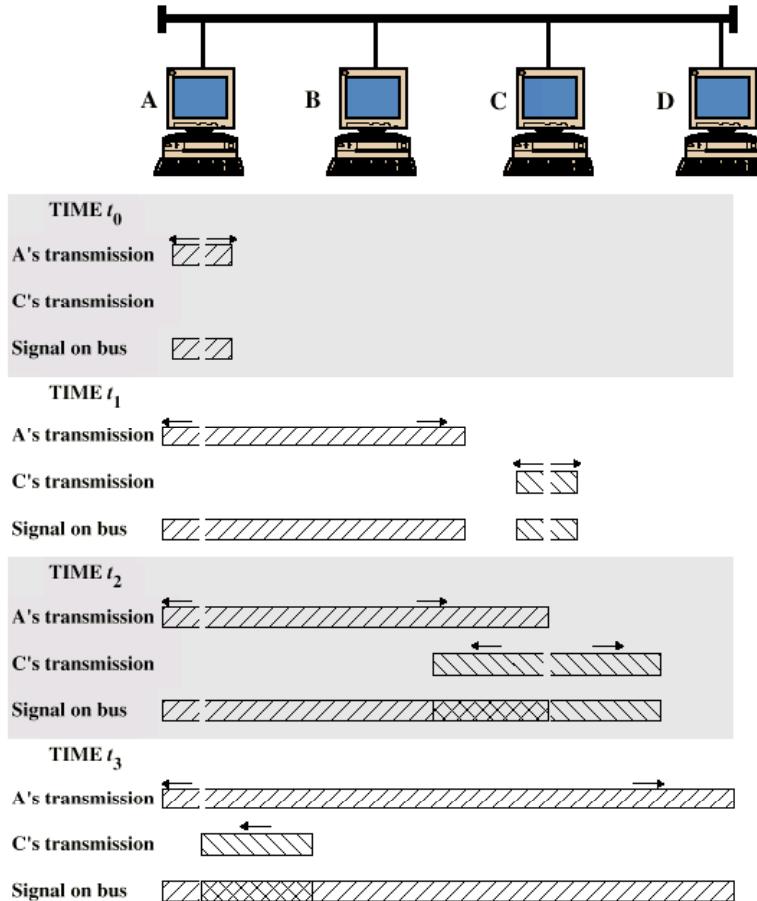
Si es detecta col·lisió →

- transmissió d'un senyal d'avís curt per assegurar que totes les estacions constaten la col·lisió (*jam*),
- no continua la transmissió de la trama, i
- espera interval de temps aleatori abans de tornar-ho a intentar → espera exponencial binària (*binary exponential back off*).

29

# CSMA/CD

## Funcionament (Col·lisions)



30

## CSMA/CD

---

- Detecció de la col·lisió:
  - Bus en banda base → nivell de voltatge superior al d'una transmissió simple.  
Problema: el senyal s'atenua amb la distància.  
**Solució: limitació en la distància del cable.**  
(No detecció de col·lisions “tardanes” !!!)
  - Topologia en estrella (parell trenat i concentradors) →  
Detecció d'activitat en més d'una entrada.

31

## CSMA/CD

---

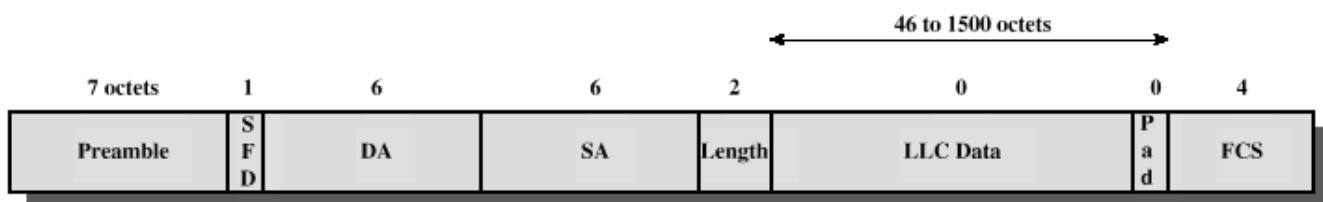
- **Slot time:** round trip time + jam sequence  
(512 bits [64 bytes] a 10-Mbps → 51,2 μs)
- **Mida màxima de xarxa:**  
Velocitat de propagació \* (*SlotTime*/2)  
 $\text{MaxLength} = (2 \times 10^8) \times (51,2 \times 10^{-6}/2) = 5120 \text{ m}$

Cal tenir en compte els retards dels repetidors i de les interfícies i la transmissió de la *jam sequence*:

$\text{MaxLength} = 2500 \text{ metres}$  (48% del teòric calculat)

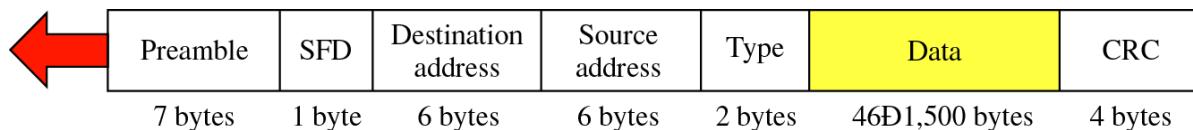
32

## Format de trama MAC



SFD = Start of frame delimiter  
 DA = Destination address  
 SA = Source address  
 FCS = Frame check sequence

### Format norma IEEE 802.3



Especificació original Ethernet  
*(Ethernet II / DIX – Decnet/Intel/Xerox)*

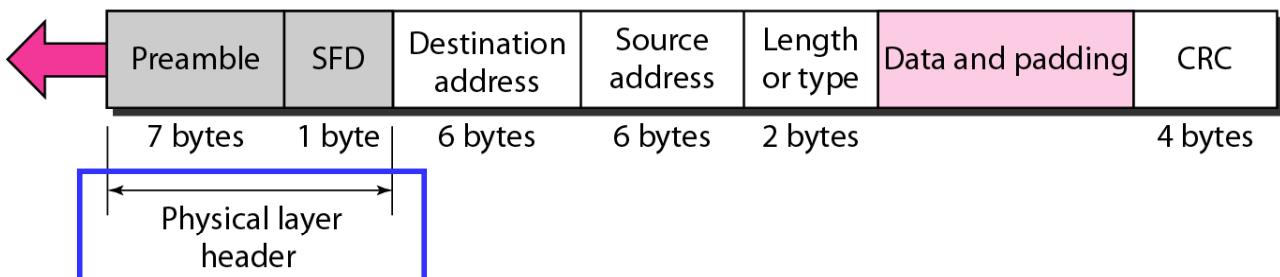
0x0600 XNS (Xerox)  
 0x0800 IP (the Internet protocol)  
 0x6003 DECNET

33

## Format de trama MAC

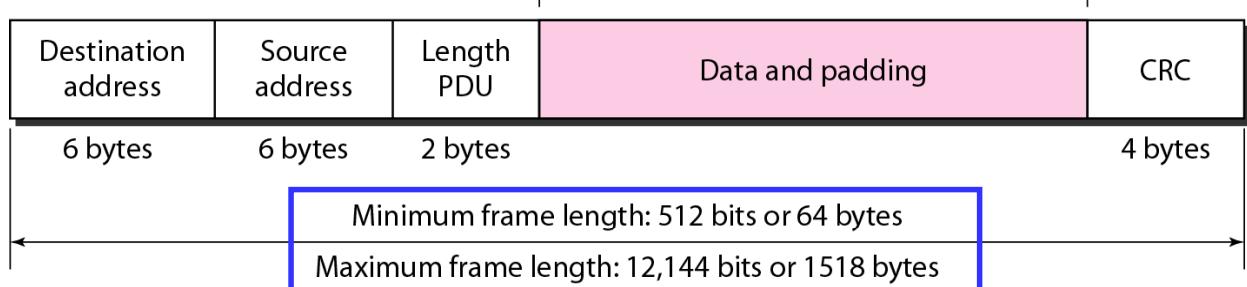
**Preamble:** 56 bits of alternating 1s and 0s.

**SFD:** Start frame delimiter, flag (10101011)



Minimum payload length: 46 bytes

Maximum payload length: 1500 bytes



34

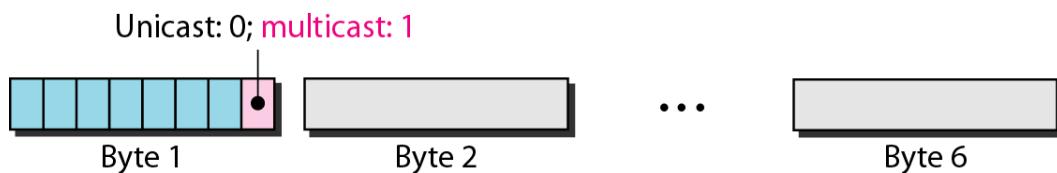
## Format de trama MAC

- Format de les adreces (notació hexadecimal)

06 : 01 : 02 : 01 : 2C : 4B

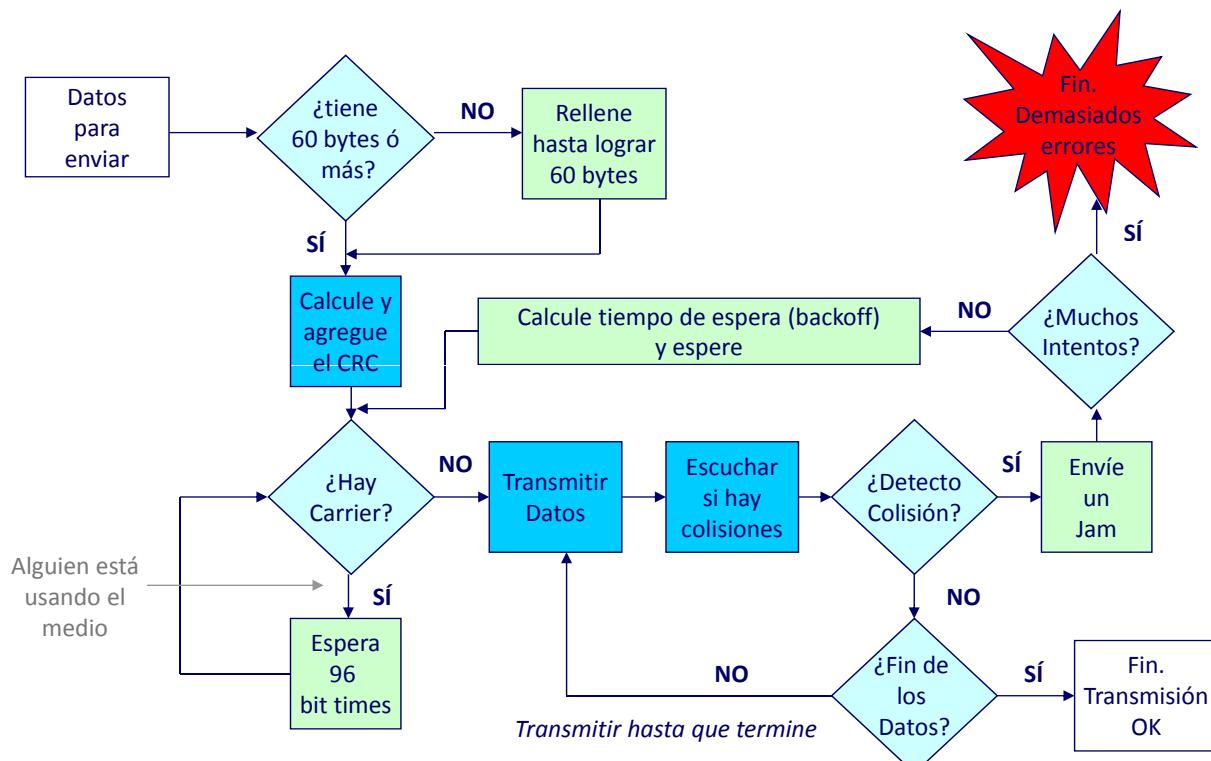
6 bytes = 12 hex digits = 48 bits

- Adreces *Unicast*, *Multicast* i *Broadcast*

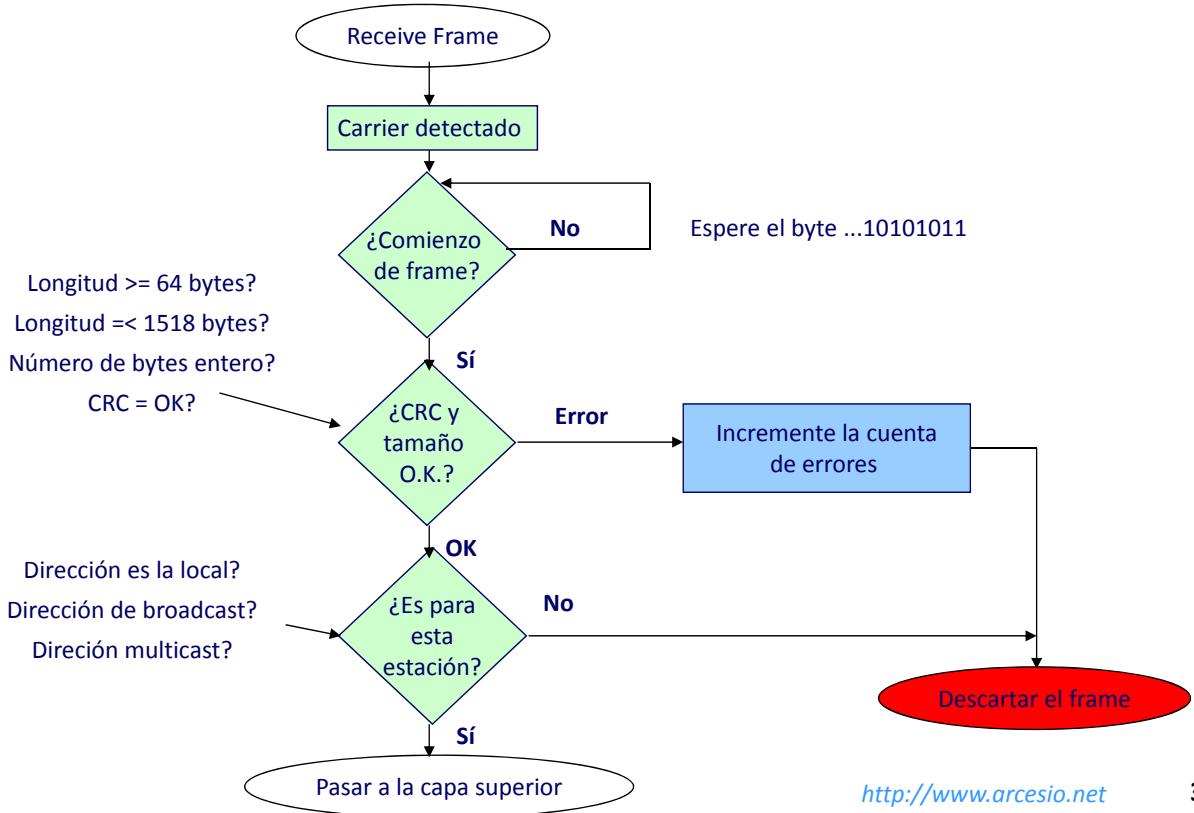


35

## Transmissió d'una trama



# Recepció d'una trama



<http://www.arcesio.net>

37

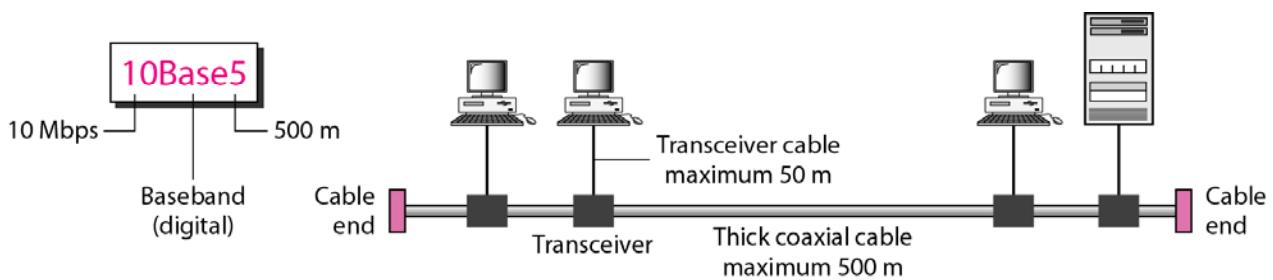
## IEEE 802.3 a 10 Mbps

Notació: <velocitat de transmissió en Mbps> <mètode de senyalització>  
 <longitud màxim del segment x100m/tipus cablejat>

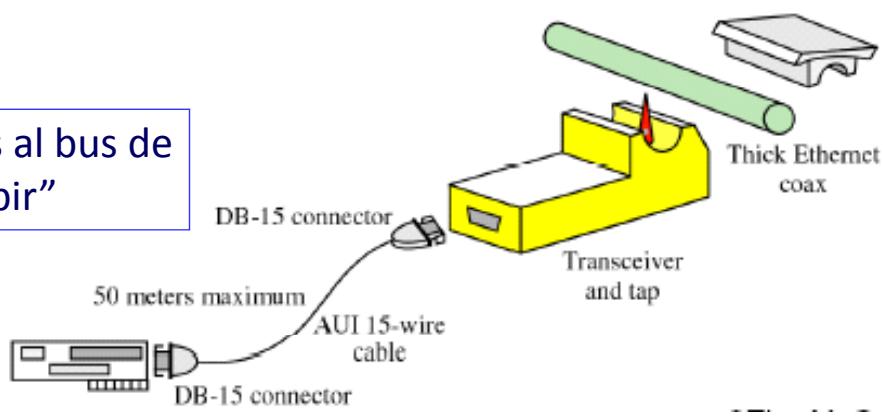
	10Base5	10Base2	10BaseT	10BaseF
Medi	Coaxial (Thick)	Coaxial (Thin)	2 UTP	2 Fibres òptiques
Senyalització	Banda base Manchester	Banda base Manchester	Banda base Manchester	Manchester
Topologia	Bus	Bus	Estrella	Estrella
Mida màxima segment	500 m	185 m	100 m	2000 m
Nodes	200	30	2 (p-a-p)	2 (p-a-p)

38

## IEEE 802.3 a 10 Mbps



Connexions al bus de tipus “vampir”

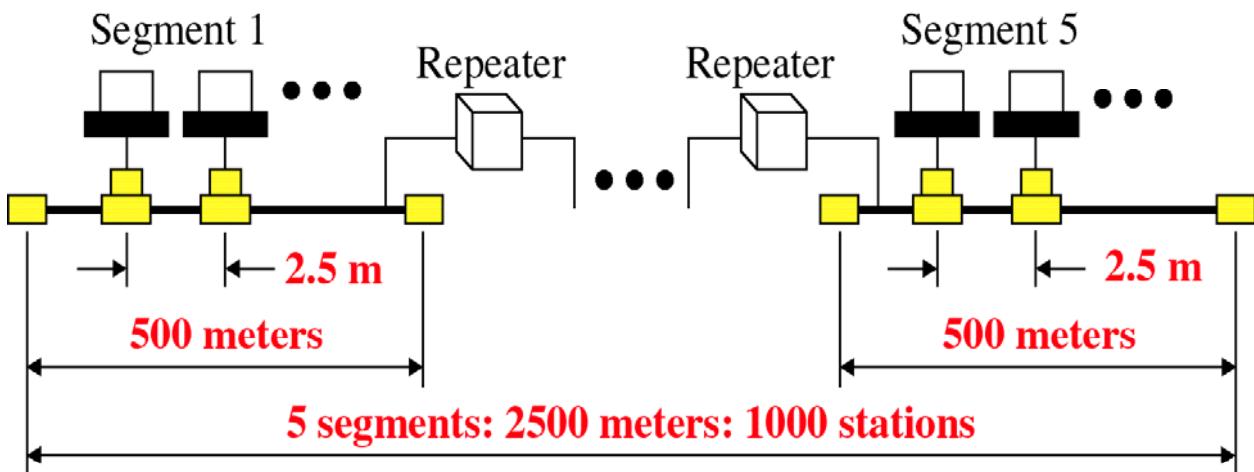


39

## IEEE 802.3 a 10 Mbps

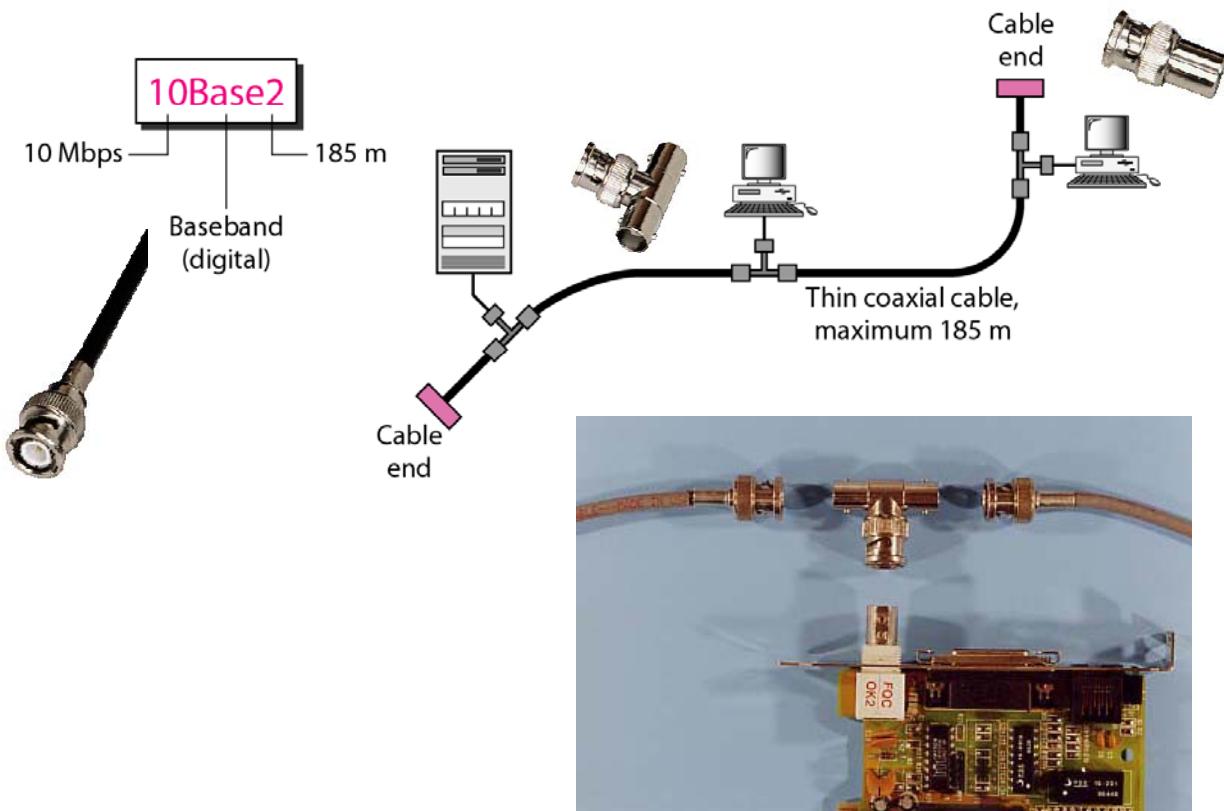
10Base5

Ús de repetidors per augmentar la distància (màxim 4)



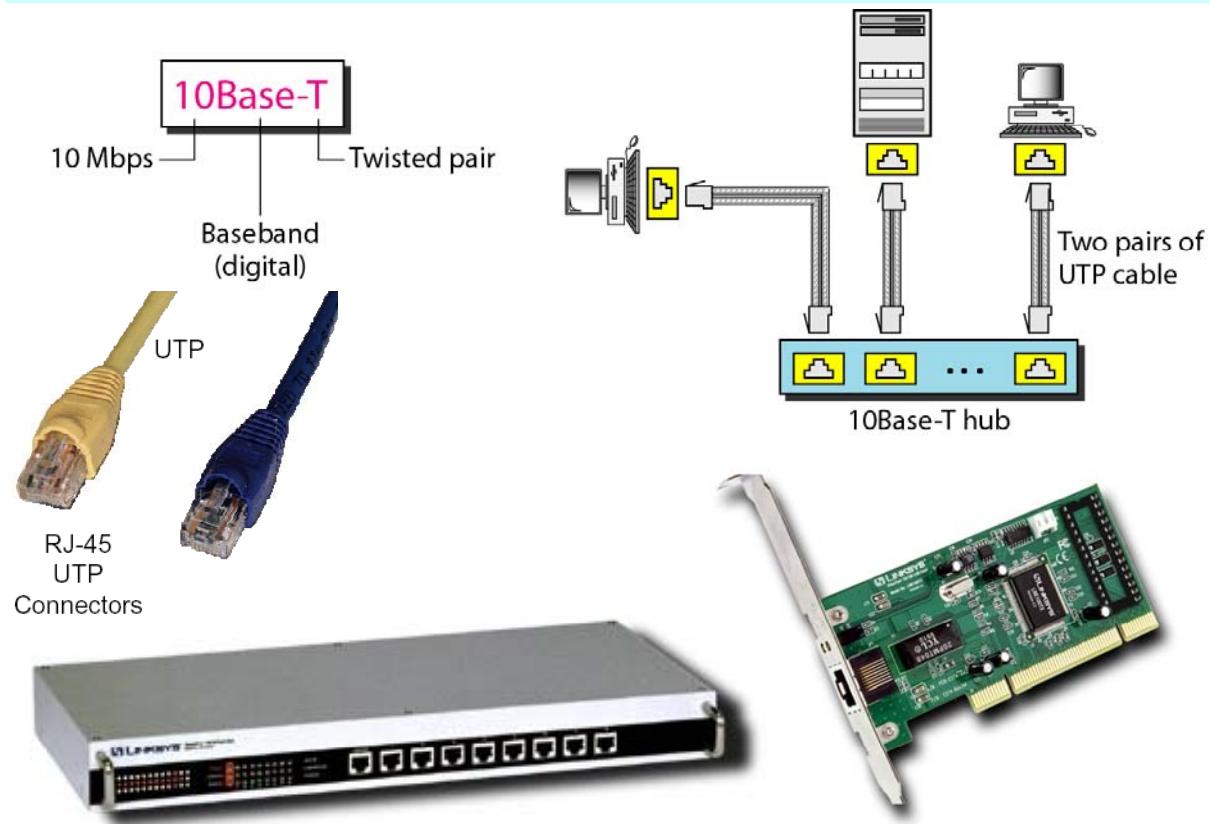
40

## IEEE 802.3 a 10 Mbps



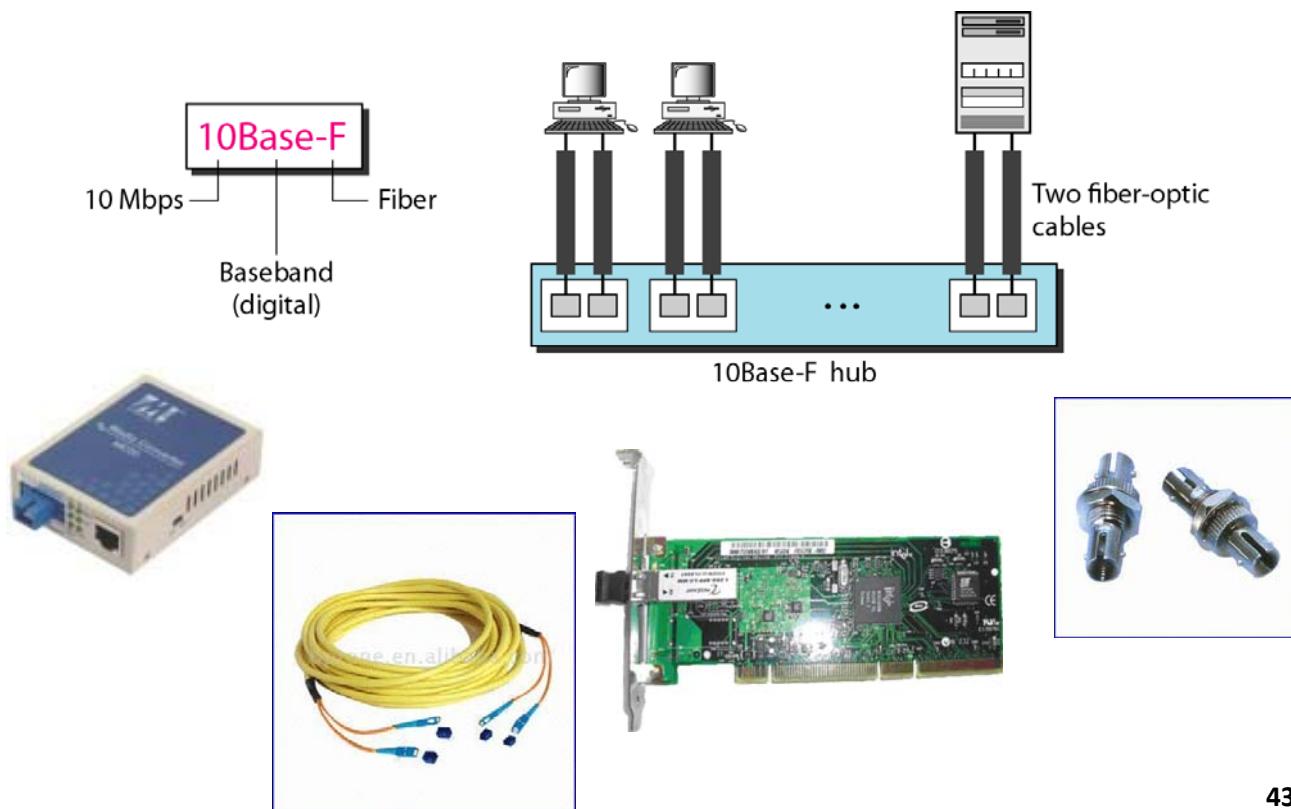
41

## IEEE 802.3 a 10 Mbps



42

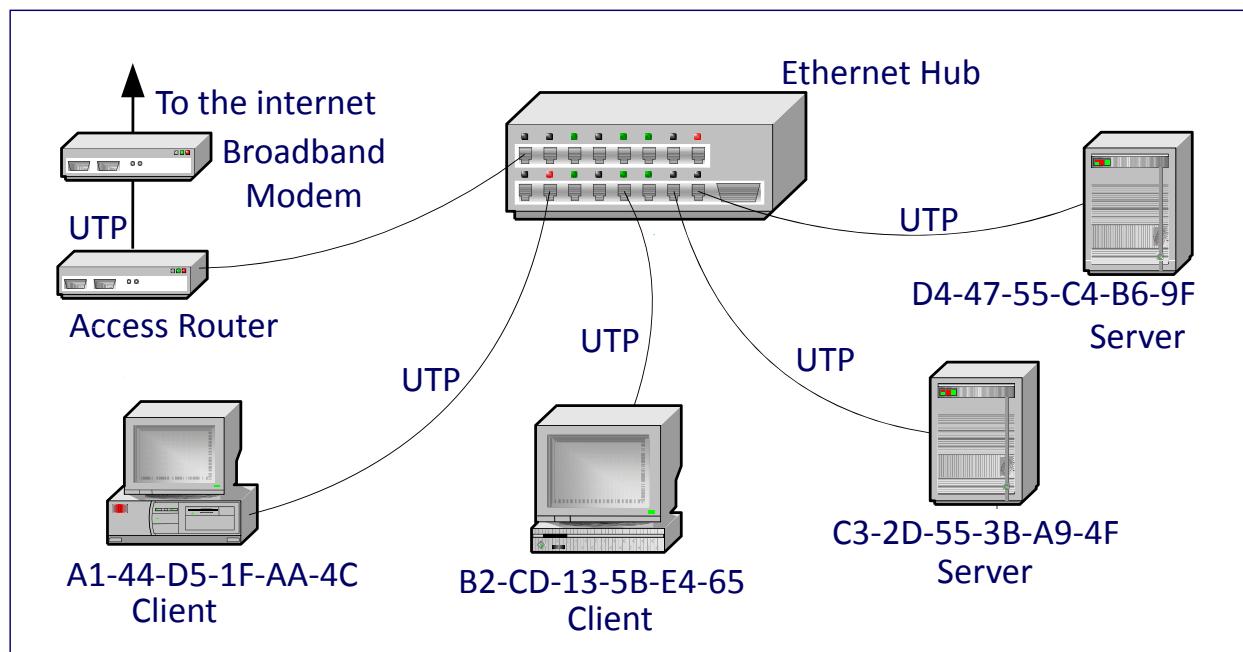
## IEEE 802.3 a 10 Mbps



43

## IEEE 802.3 a 10 Mbps

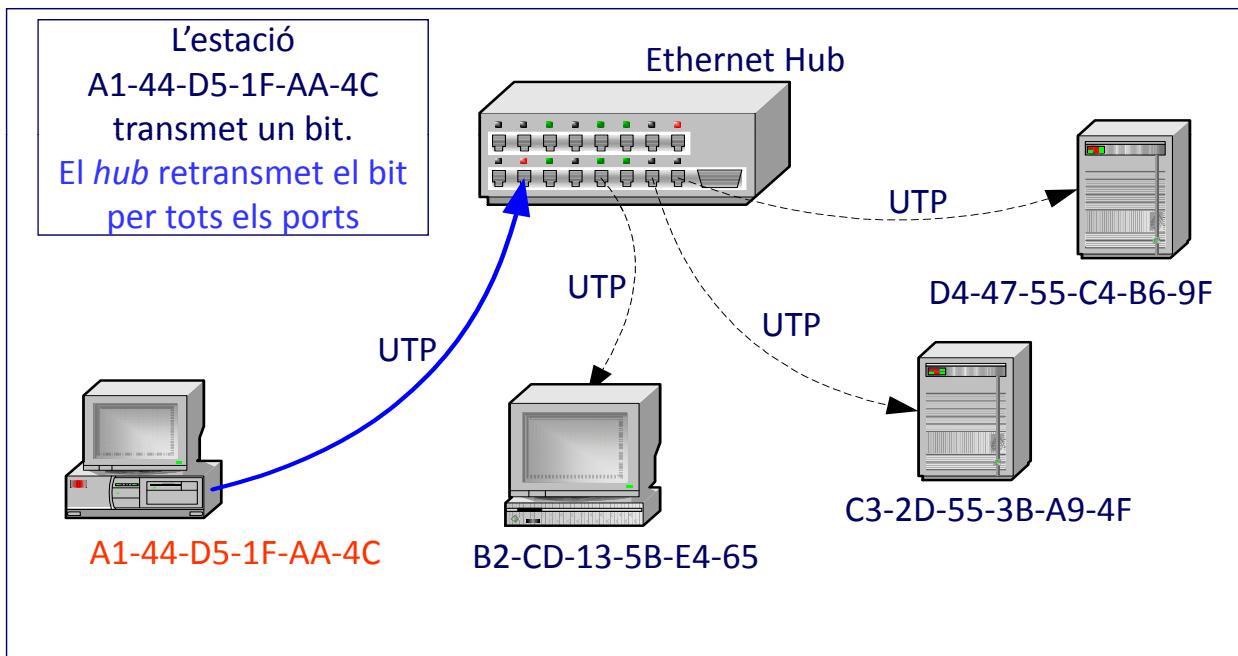
### 10BaseT



44

# IEEE 802.3 a 10 Mbps

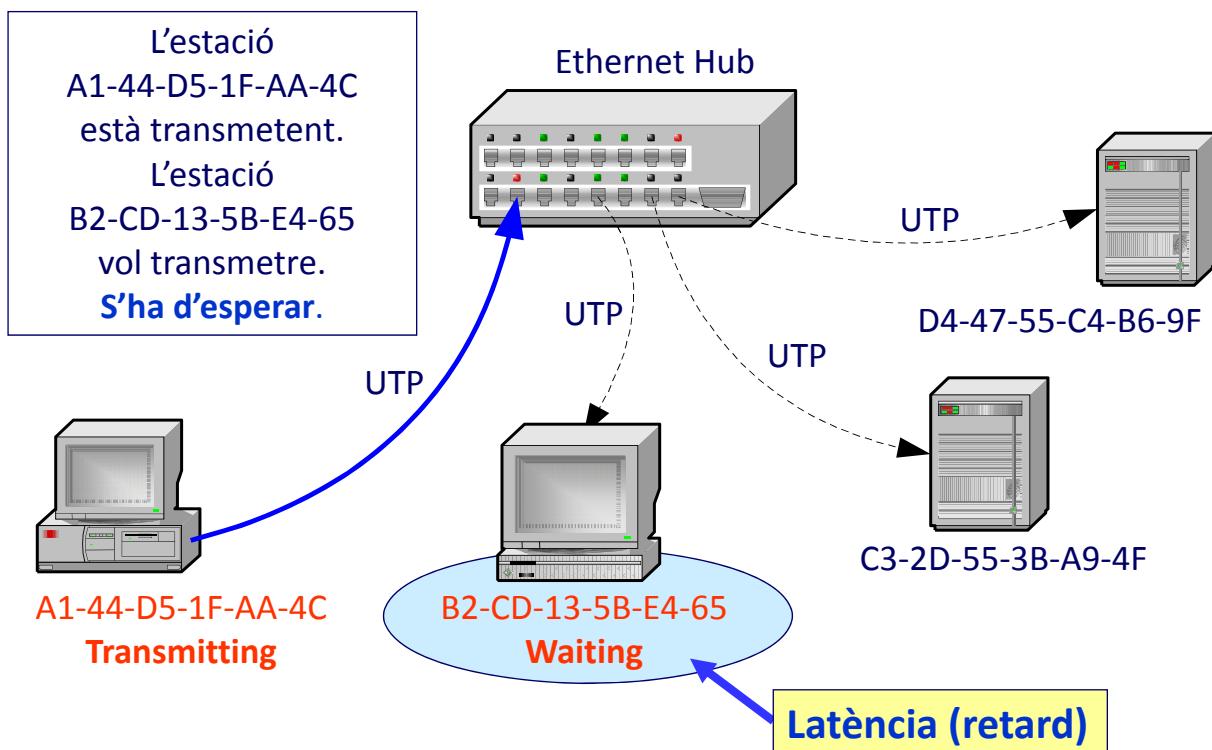
## 10BaseT – Funcionament del concentrador



45

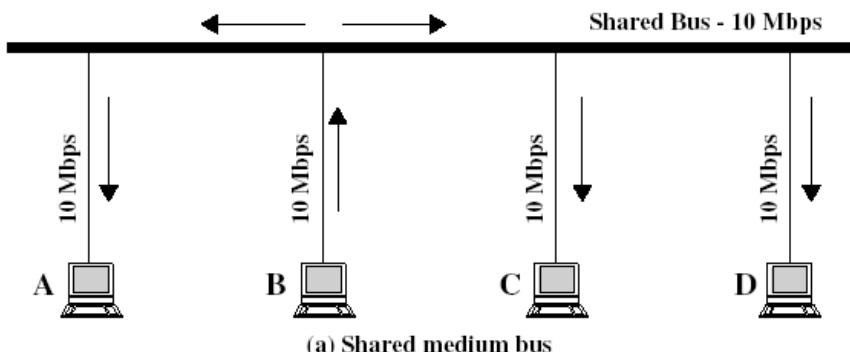
# IEEE 802.3 a 10 Mbps

## 10BaseT – Espera en la transmissió



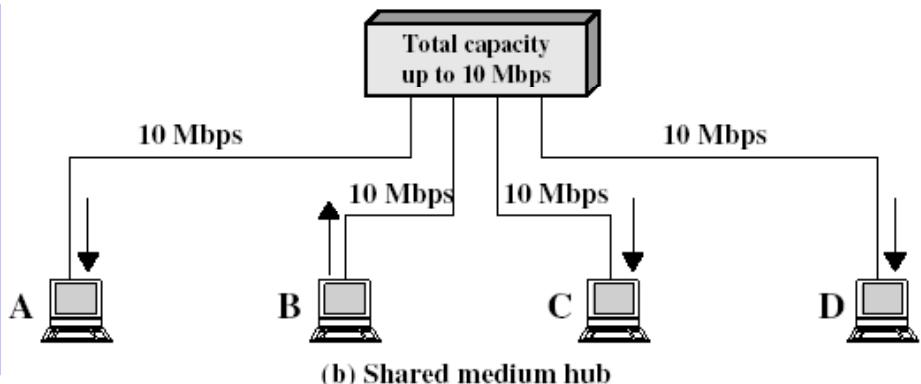
46

## Ethernet Commutada



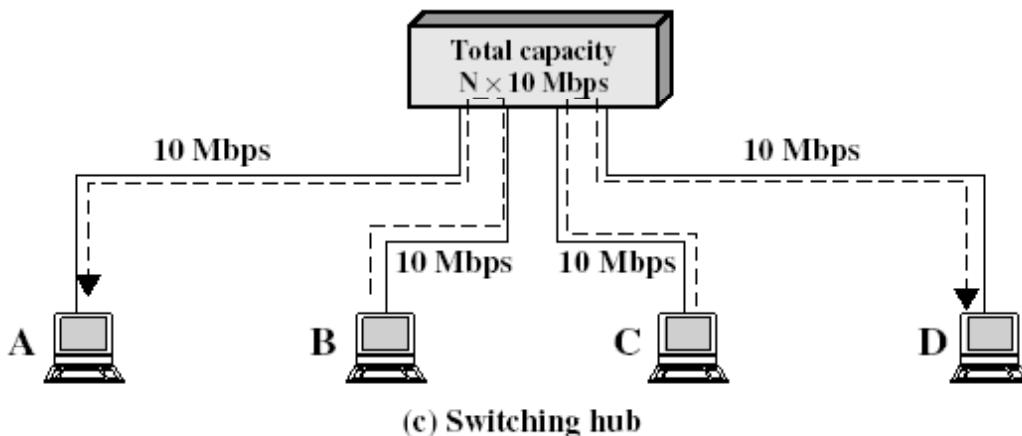
**Capacitat del hub compartida per totes les estacions. Una transmissió en cada instant.**

**Un únic domini de col·isió.**



47

## Ethernet Commutada

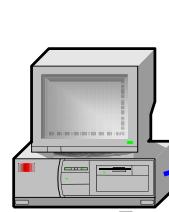


- La trama d'entrada s'envia a la línia/es de sortida a la que es connecta el/s destí/ins → **Commutació**
- Un domini de col·isió per a cada port del commutador
- Possibilitat de tenir comunicacions simultànies
- No cal canviar el hw/sw dels dispositius
- Sistema molt escalable

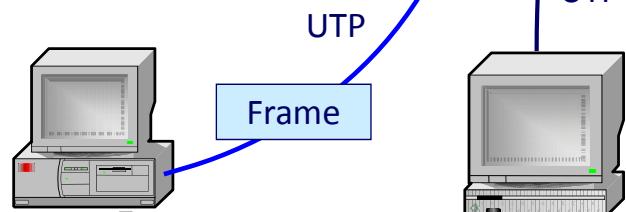
48

## Ethernet Commutada

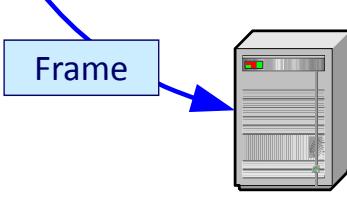
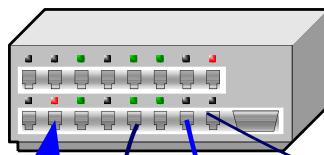
**El switch envia la trama  
Per un únic port -  
Al que està connectat  
el receptor**



A1-44-D5-1F-AA-4C  
On Switch Port 10



B2-CD-13-5B-E4-65  
On Switch Port 13



C3-2D-55-3B-A9-4F  
On Switch Port 15

UTP

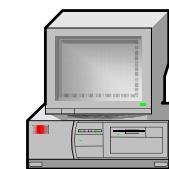
UTP

Frame

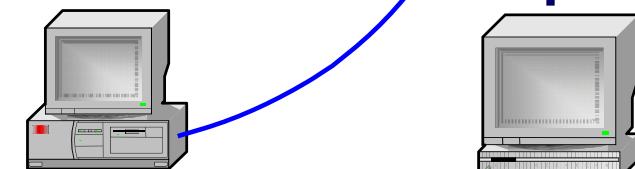
49

## Ethernet Commutada

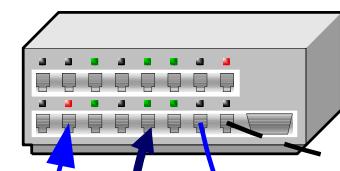
**És possible tenir  
múltiples  
comunicacions  
simultànies**



A1-44-D5-1F-AA-4C  
On Switch Port 10



B2-CD-13-5B-E4-65  
On Switch Port 13



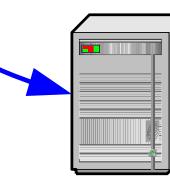
UTP

UTP

UTP

UTP

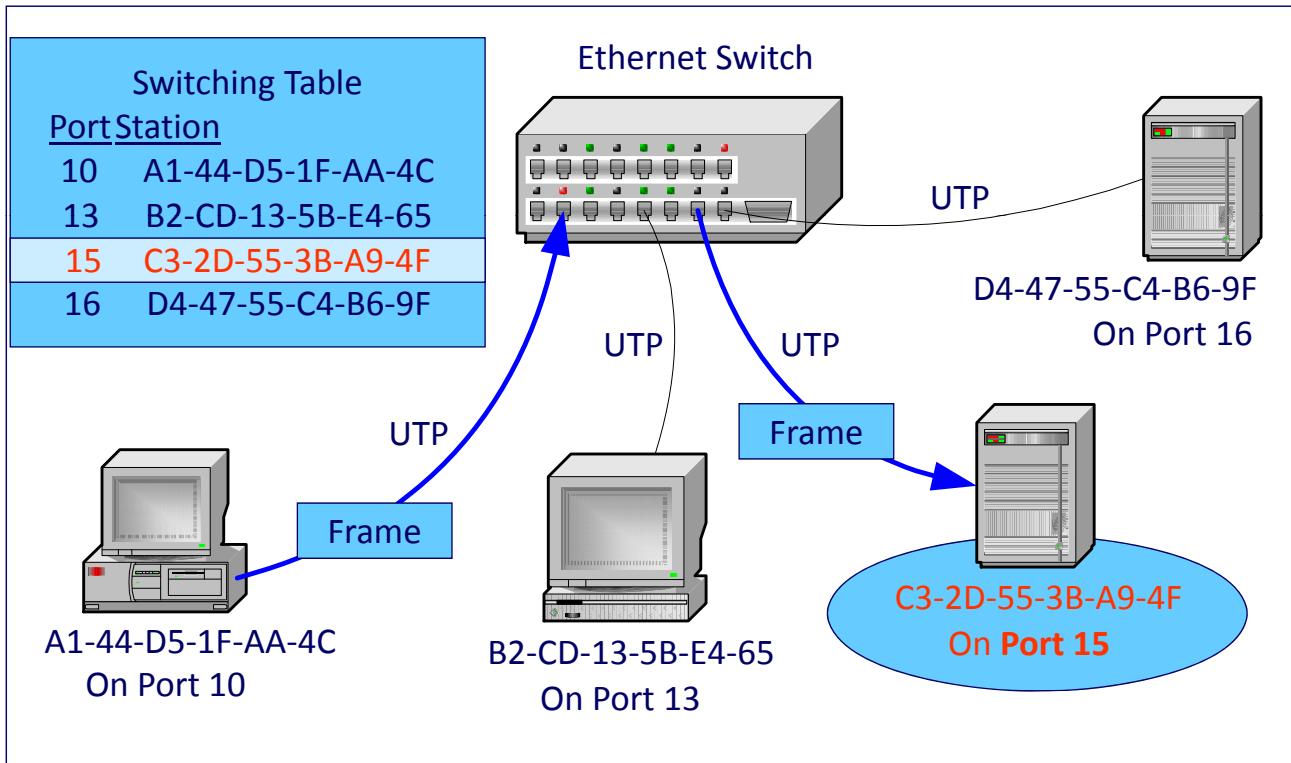
D4-47-55-C4-B6-9F  
On Switch Port 16



C3-2D-55-3B-A9-4F  
On Switch Port 15

50

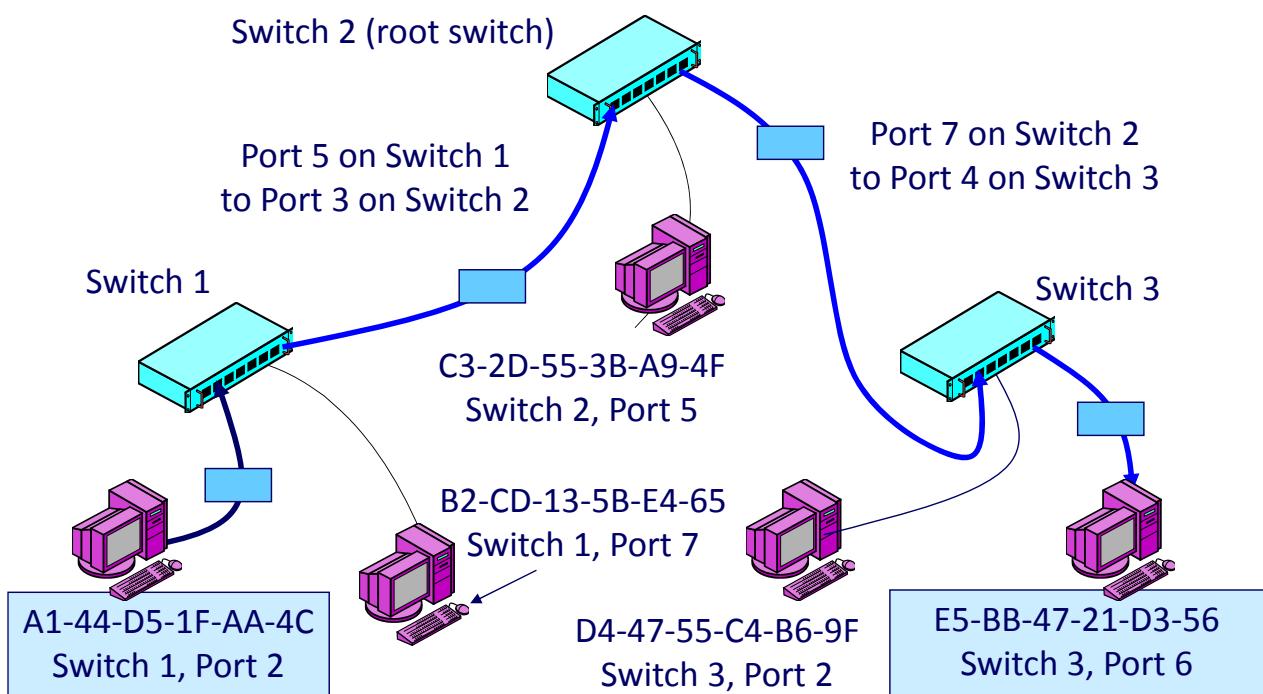
# Ethernet Commutada



51

# Ethernet Commutada

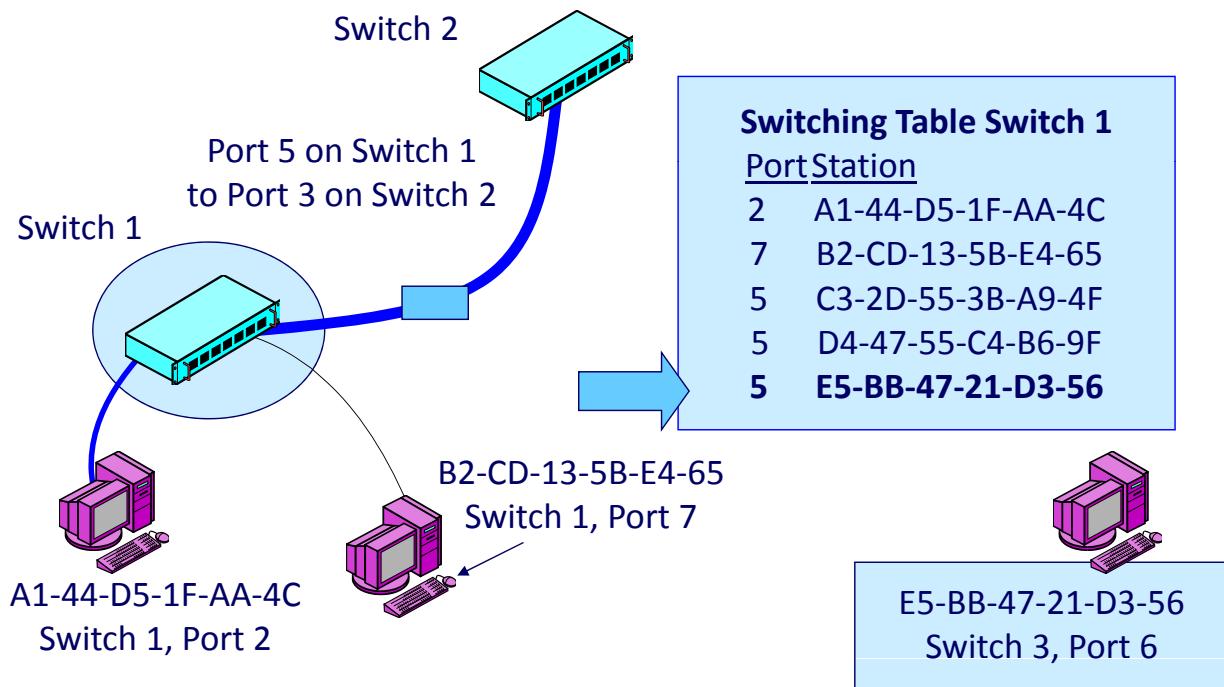
## LAN Ethernet amb múltiples switches



52

# Ethernet Commutada

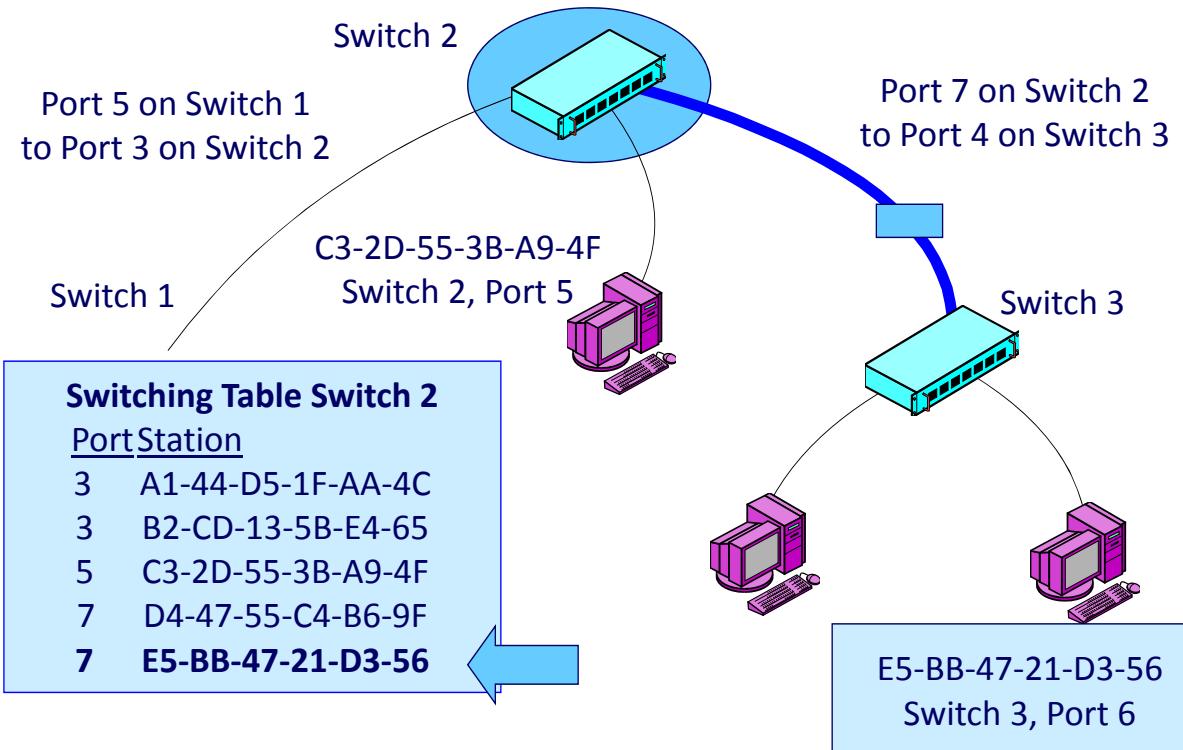
LAN Ethernet amb múltiples switches



53

# Ethernet Commutada

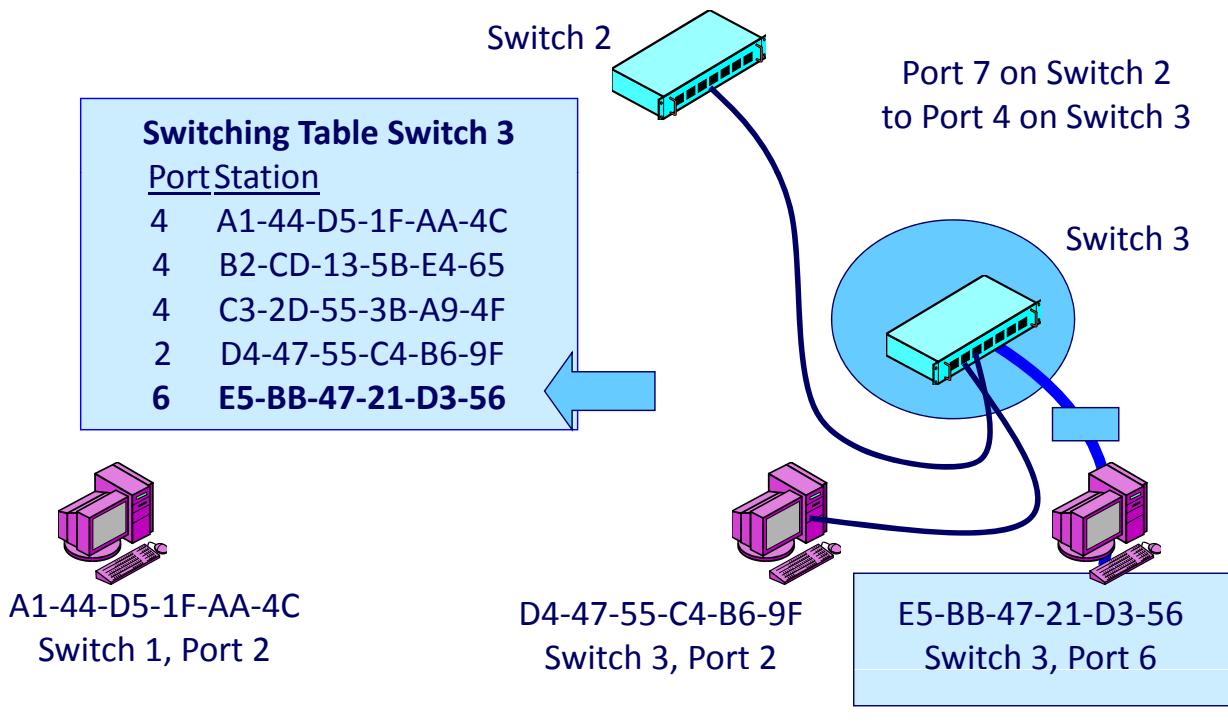
LAN Ethernet amb múltiples switches



54

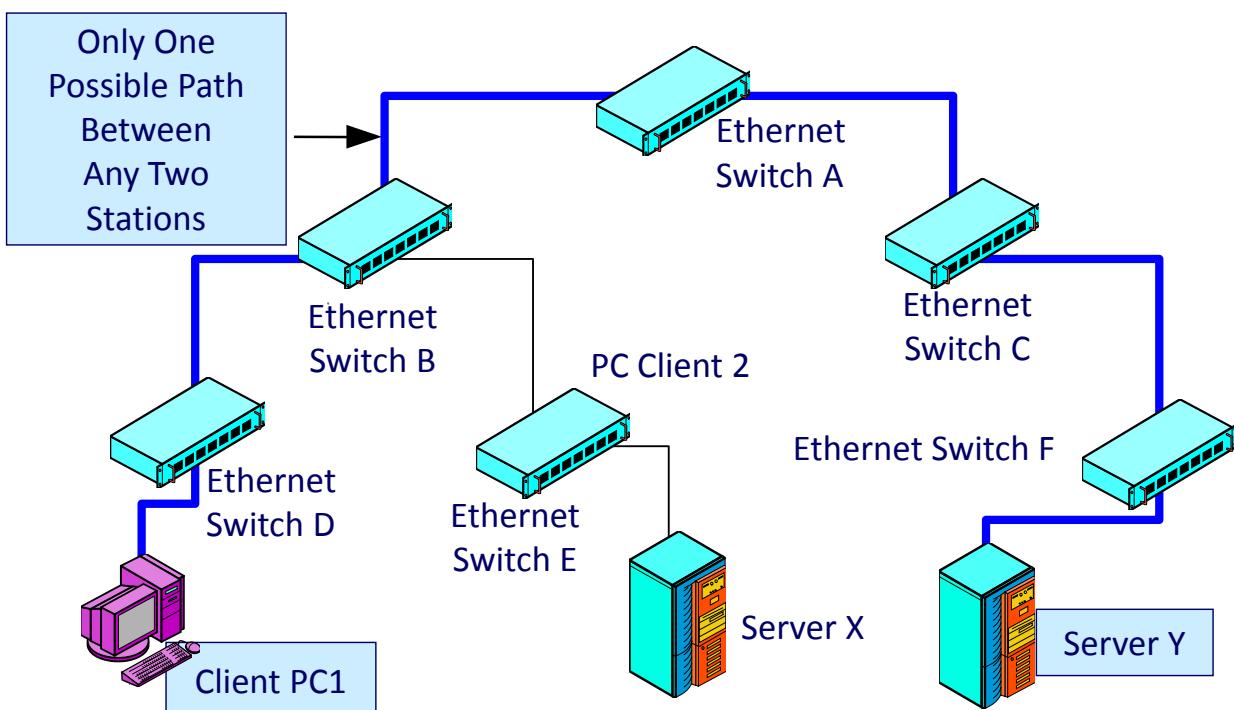
# Ethernet Commutada

## LAN Ethernet amb múltiples switches



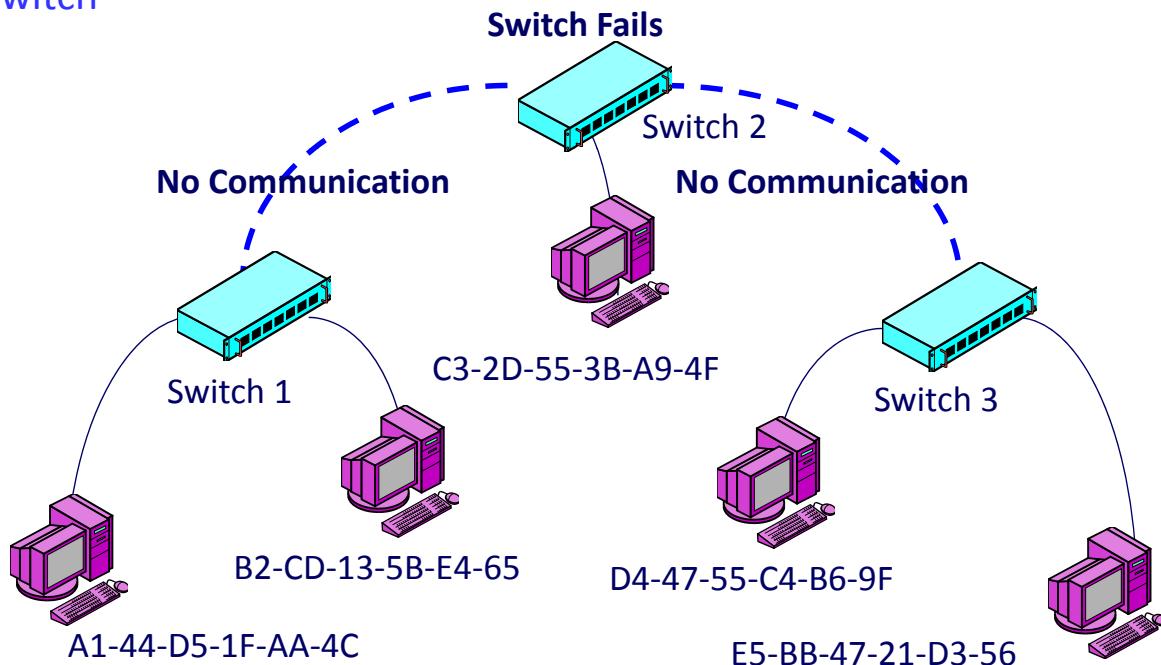
# Ethernet Commutada

## LAN Ethernet amb múltiples switches



## Ethernet Commutada

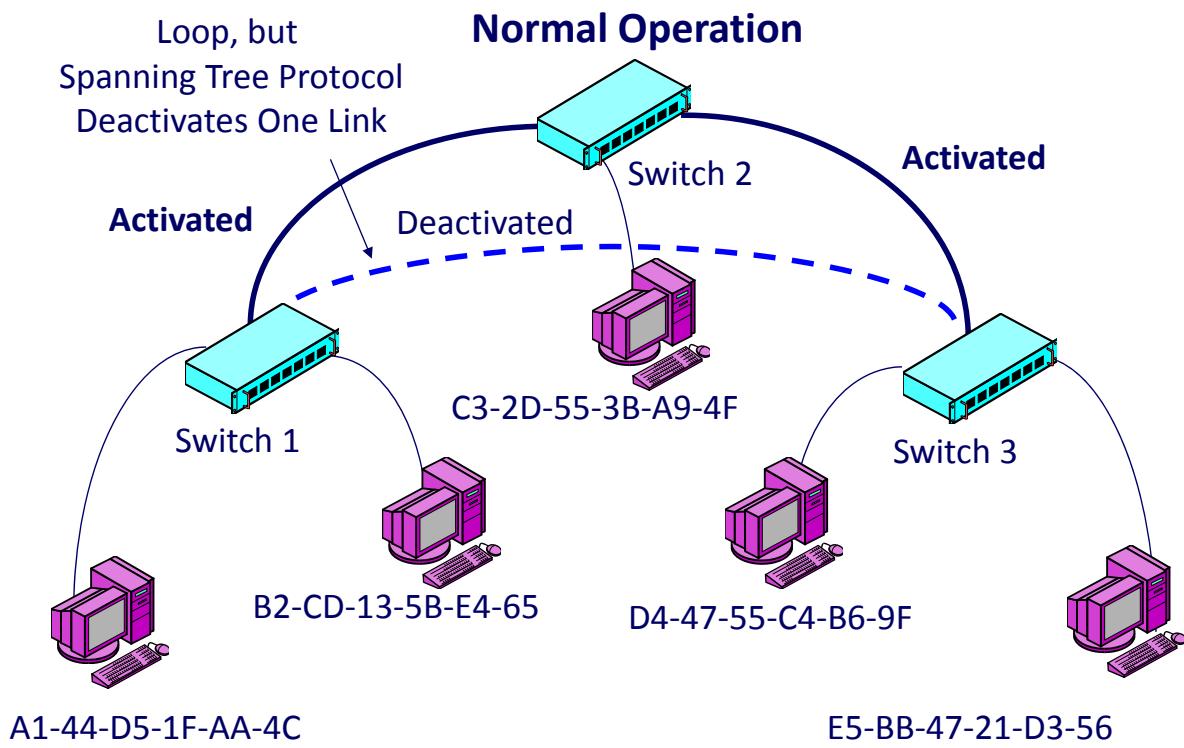
LAN Ethernet amb múltiples *switchs*: efectes del tall en una línia o *switch*



57

## Ethernet Commutada

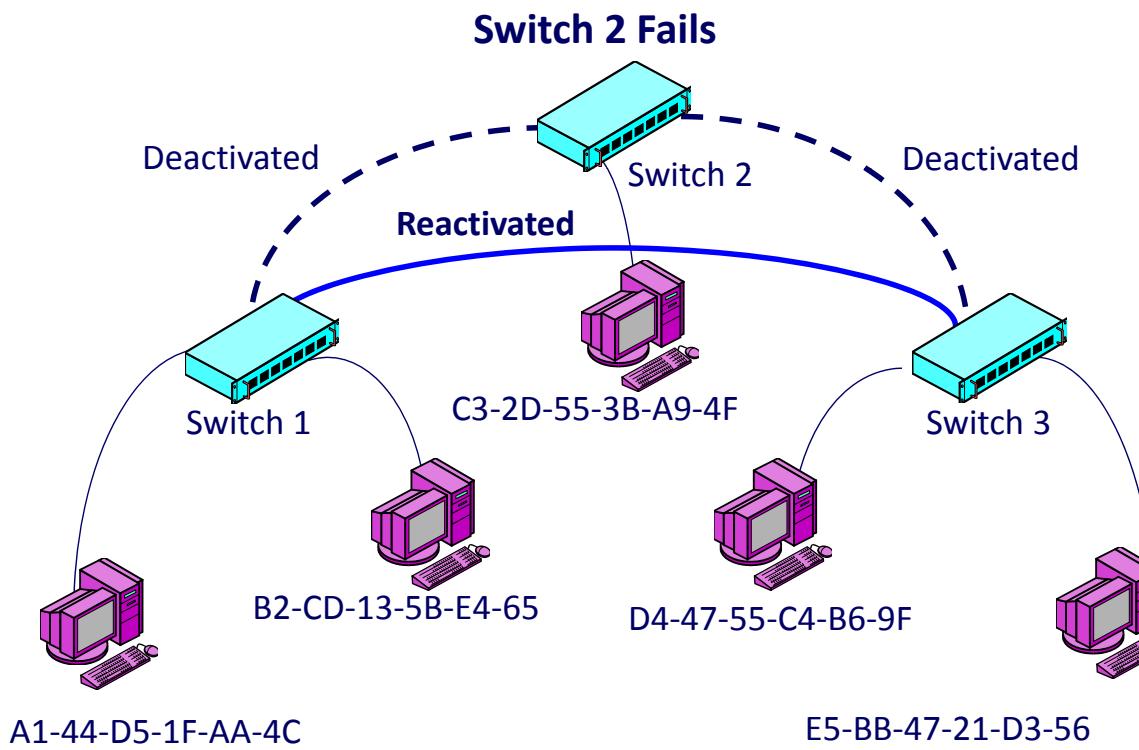
LAN Ethernet amb múltiples *switchs*: Protocol Spanning Tree



58

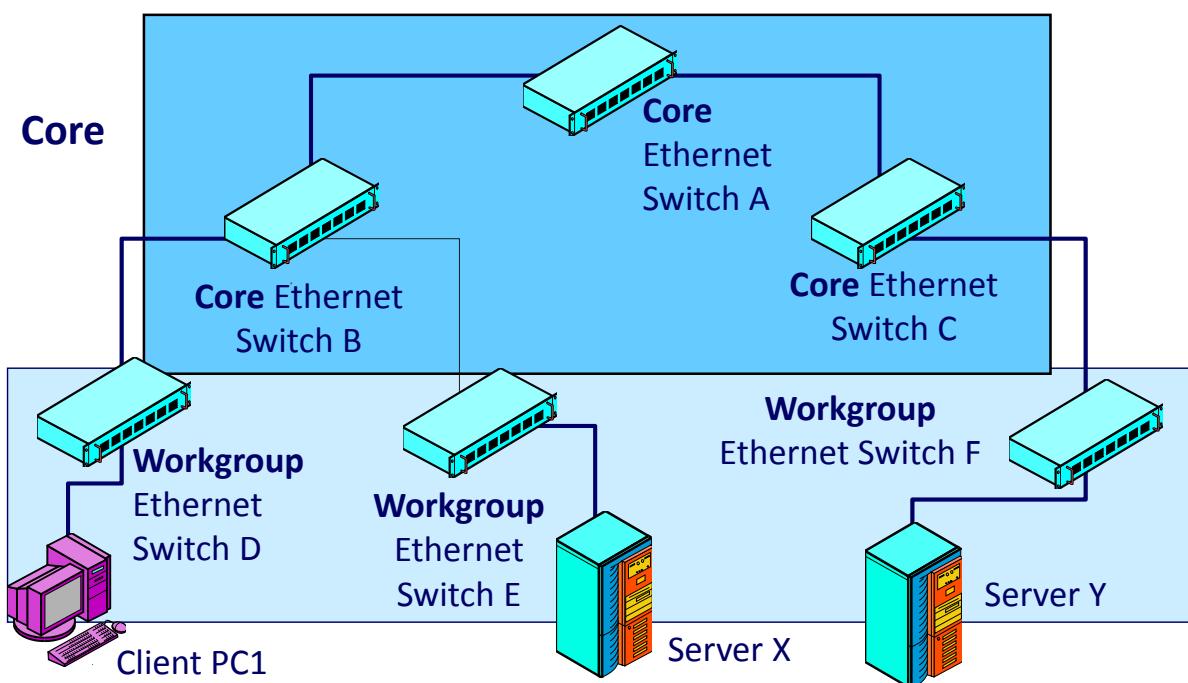
# Ethernet Commutada

LAN Ethernet amb múltiples switches: Protocol Spanning Tree

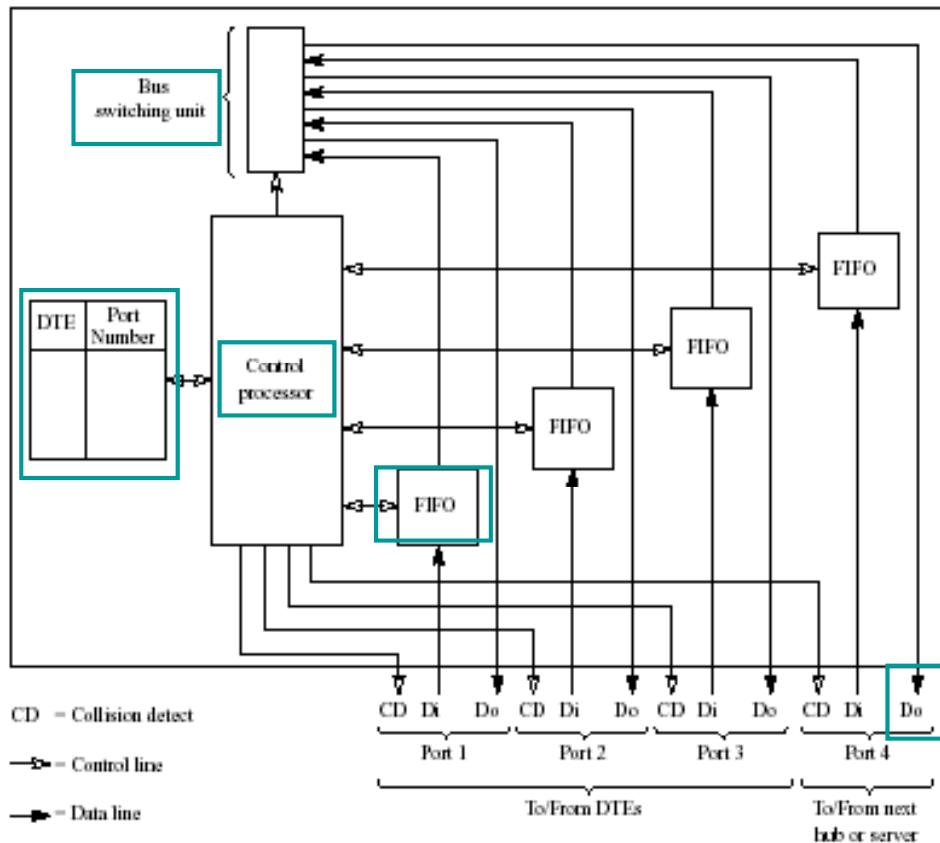


# Ethernet Commutada

Xarxes Ethernet jeràrquiques



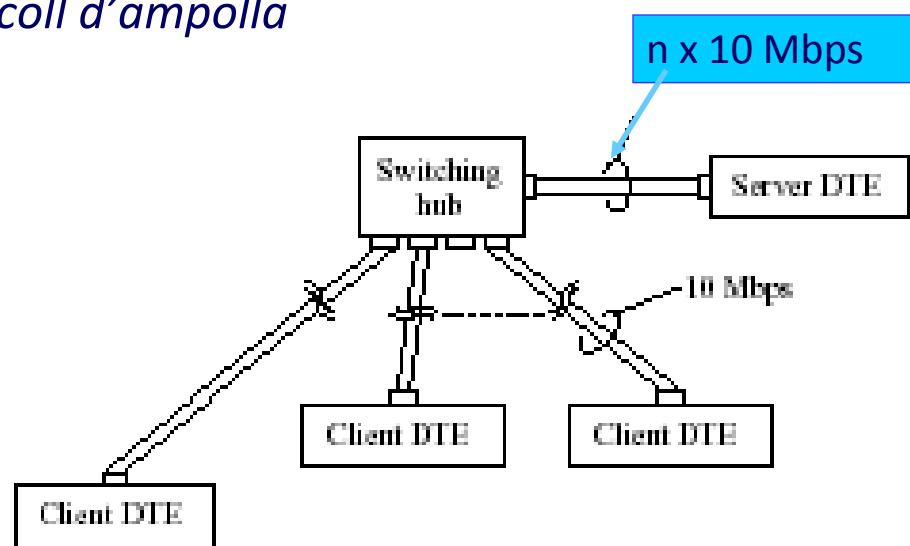
## Ethernet Commutada



61

## Ethernet Commutada

Grups de treball que accedeixen a un mateix servidor:  
*coll d'ampolla*



62

## Ethernet Commutada full-dúplex (802.3x)

10Base5 i 10Base2 → semidúplex.

10BaseT → Full-dúplex (un enllaç per a enviar i un per a rebre).

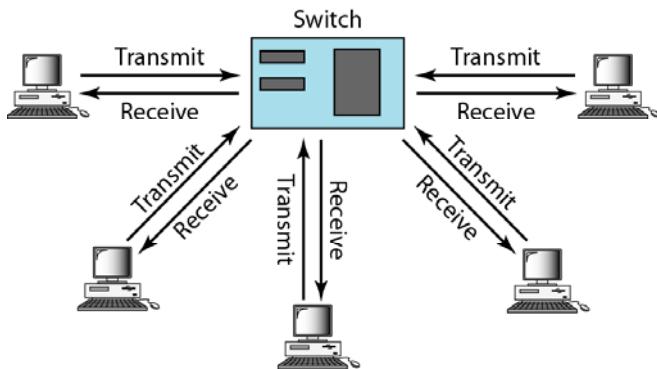
Increment de la capacitat de cada domini de 10 Mbps a 20 Mbps.

No s'utilitza CSMA/CD (camins p-a-p entre l'estació i el switch).

No cal detecció de portador ni de col·lisió.

Increment distància amb cables Fibra Òptica (no parells trenats)

Cal mecanisme de control de flux– comandes “PAUSE”



63

## Fast Ethernet

- IEEE 802.3u a 100 Mbps (juny 1995)
  - Necessitat de xarxes més ràpides.
  - Mantenir compatibilitat amb les xarxes existents  
(Cal detectar les col·lisions, mantenir el format i mida de les trames i de les adreces d'estacions).
  - **Com és possible l'increment de la velocitat?**



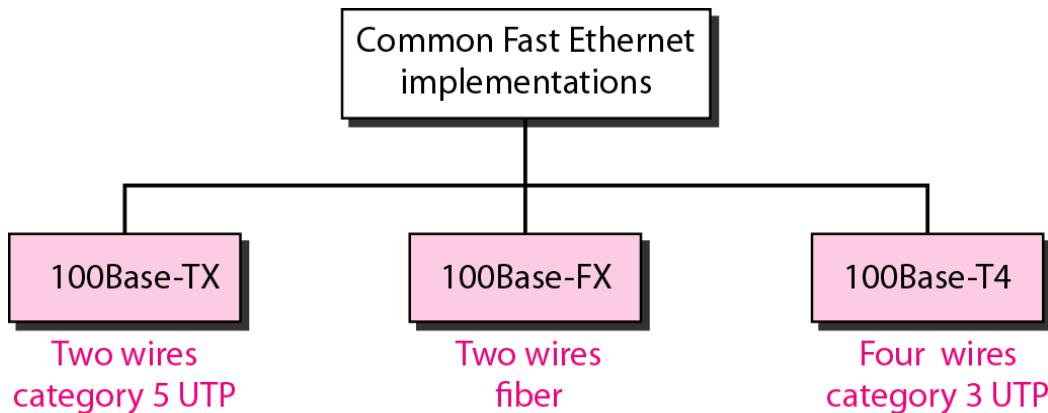
### Disminució del domini de col·lisió

(cable de 2500 metres a 250 metres /  
temps de bit de 100 nseg a 10 nseg)

64

## Fast Ethernet

Ús de concentradors i diferents tipus de cablejat (S'abandona la topologia de bus, no hi ha cables coaxials).



Capacitat d'autoconfiguració → Negociació entre estacions i concentradors de la velocitat òptima (10 o 100 Mbps) i/o del tipus de transmissió (full-dúplex o semidúplex). Però no es verifica el cable.

65

## Fast Ethernet

Alternatives pel medi de transmissió (capa física)

	<b>100Base-TX</b>	<b>100Base-FX</b>	<b>100Base-T4</b>
Medi de transmissió	2 parells STP o UTP cat. 5 o superior	2 fibres òptiques multimodals	4 parells UTP cat. 3 o superior
Tècnica de Senyalització	4B/5B, MLT-3	4B/5B, NRZI	8B/6T, NRZ
Topologia	Estrella	Estrella	Estrella
Segment màxim	100 m	100 m	100 m
Cobertura de la xarxa	200 m	400 m	200 m

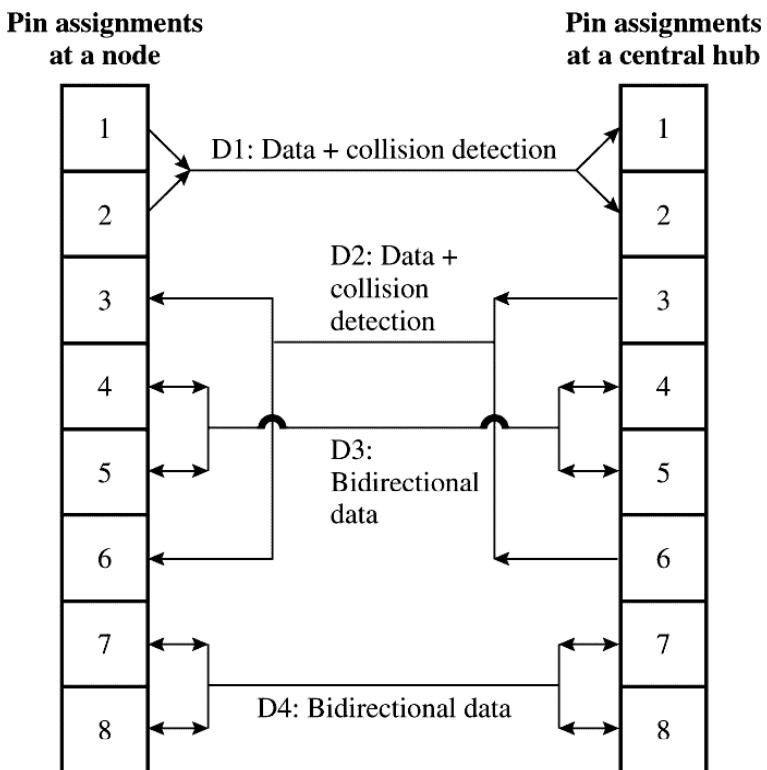
66

## Fast Ethernet

100Base-T4 → Us de cables de categoria 3.

Us de 3 seqüències de 33,3 Mbps.

Connexió entre un node i el hub.



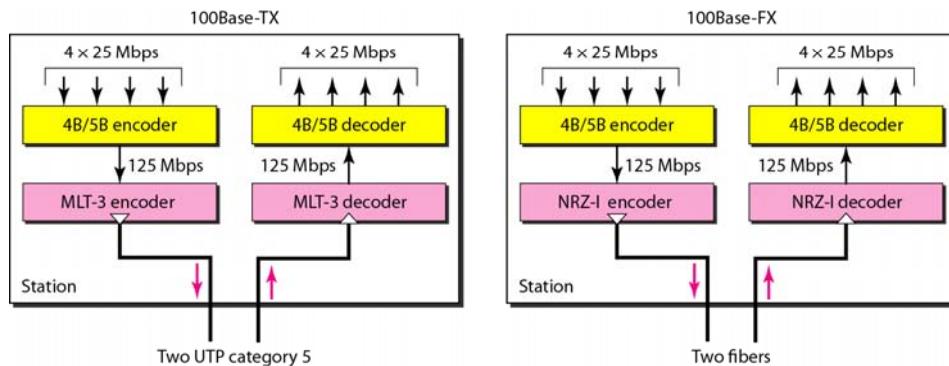
67

## Fast Ethernet

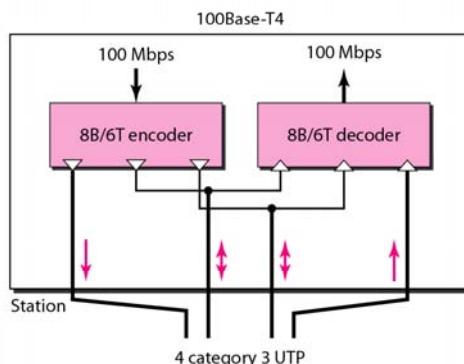
Tècniques de codificació implementades:

MLT-3 → bon rendiment amplada de banda

4B/5B → per a la sincronització



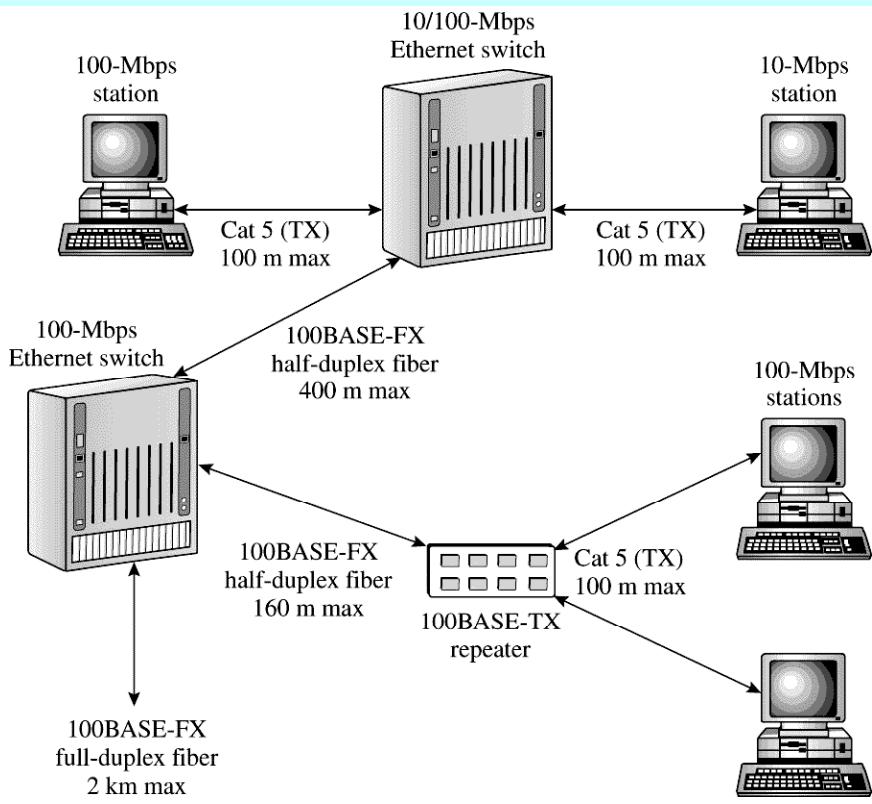
8B/6T → 8 elements de dades es codifiquen amb 6 elements de senyal que poden prendre 3 valors ( $100 \text{ Mbps} * 6/8 = 75 \text{ Mbauds}$ ).



68

## Fast Ethernet

La commutació també s'utilitza a 100 Mbps



69

## Gigabit Ethernet

- IEEE 802.3z a 1 Gbps (1998)
  - Ús del mateix format i mida de les trames i de les adreces d'estacions que els seus predecessors.
  - Compatible amb Ethernet i Fast Ethernet → fàcil migració.
  - Backbone ideal per a la connexió de commutadors Fast Ethernet i per a la connexió de servidors d'alt rendiment.
  - Formes de funcionament:
    - full-dúplex (mode primari): no cal CSMA/CD (no hi ha col·lisions)
    - Semidúplex: modificacions en el mètode CSMA/CD (poc utilitzat)
  - Autoconfiguració.

70

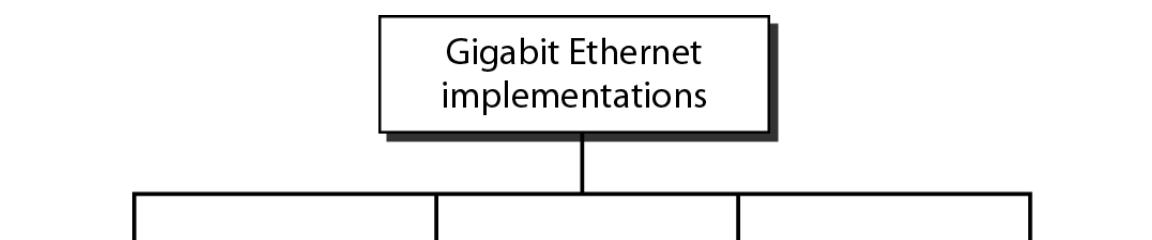
## Gigabit Ethernet

- Mode semidúplex → Possibilitat de col·lisió.
- Reducció del **domini de col·lisió** a 25 metres (100 vegades inferior a la Ethernet clàssica) → Insuficient !!!
- Millors respecte l'esquema CSMA/CD bàsic per incrementar el radi (fins a 200 metres):
  - Extensió del portador → Modificació del *slot time* de 64 bytes (512 bits) a 512 bytes (4096 bits). S'afegeixen bits d'estensió del portador després del camp de comprovació d'errors. Operació feta per hardware. **Baixa l'eficiència de la línia.**
  - Ràfega de trames → Transmissió consecutiva de trames curtes sense necessitat de deixar el control del CSMA/CD.

71

## Gigabit Ethernet

### Alternatives pel medi de transmissió (capa física)



Two-wire  
short-wave fiber

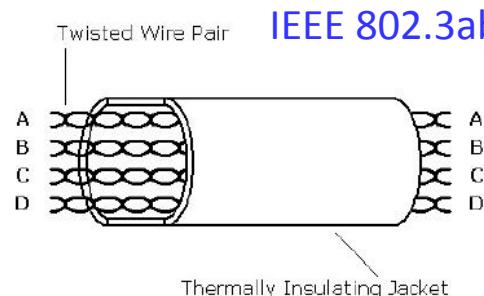
Two-wire  
long-wave fiber

Two-wire  
copper (STP)

Four-wire  
UTP

IEEE 802.3z

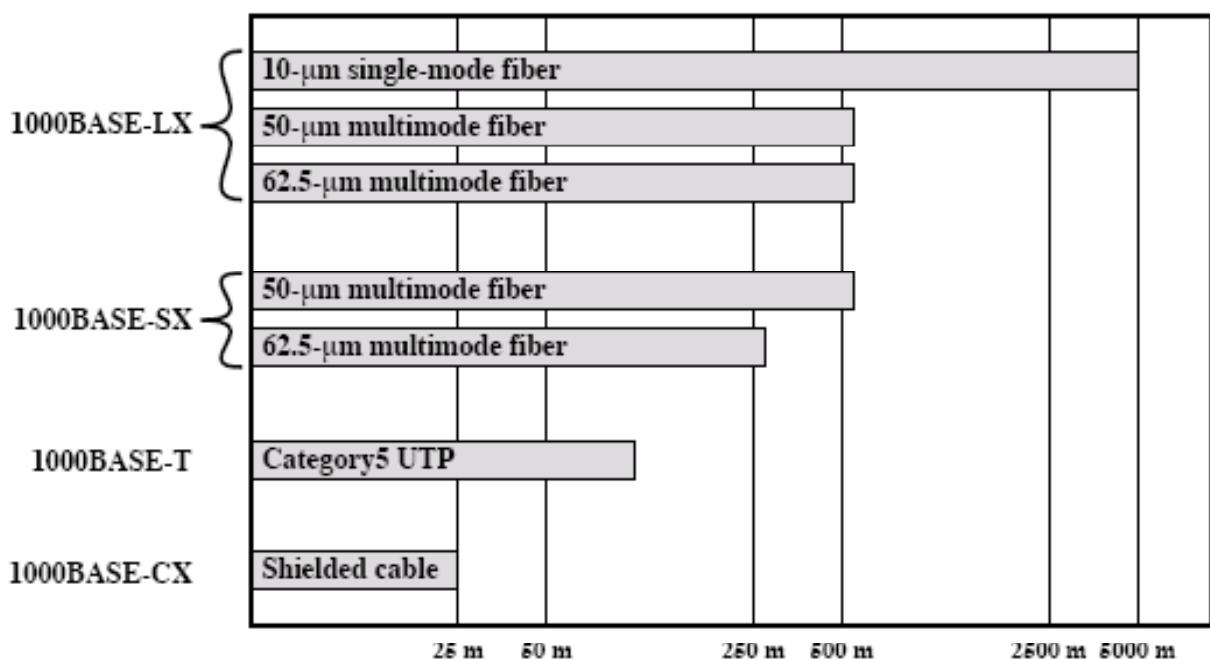
IEEE 802.3ab



72

# Gigabit Ethernet

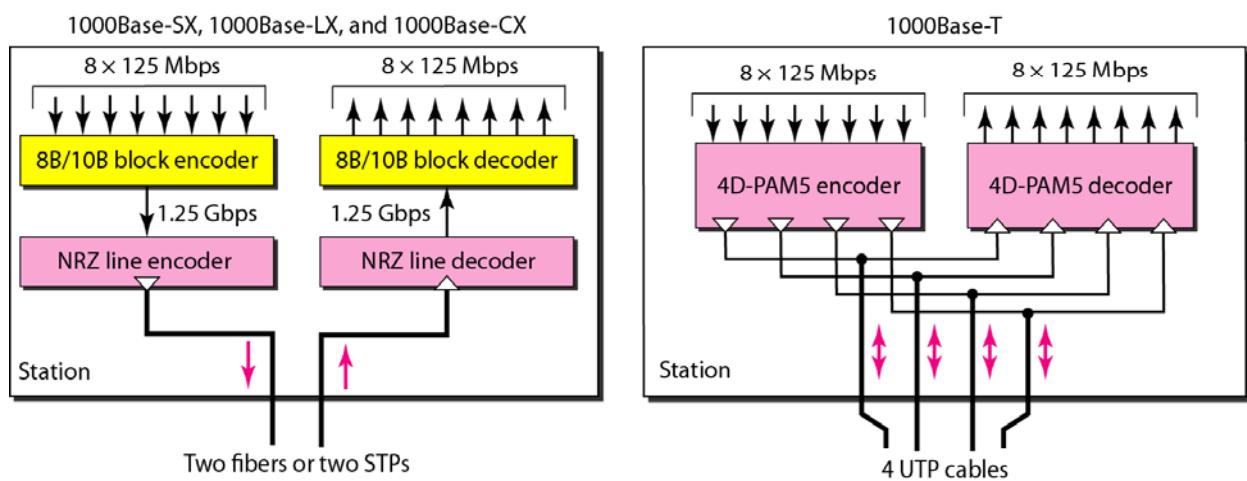
## Medis de transmissió i distàncies màximes



73

# Gigabit Ethernet

## Tècniques de codificació implementades:



74

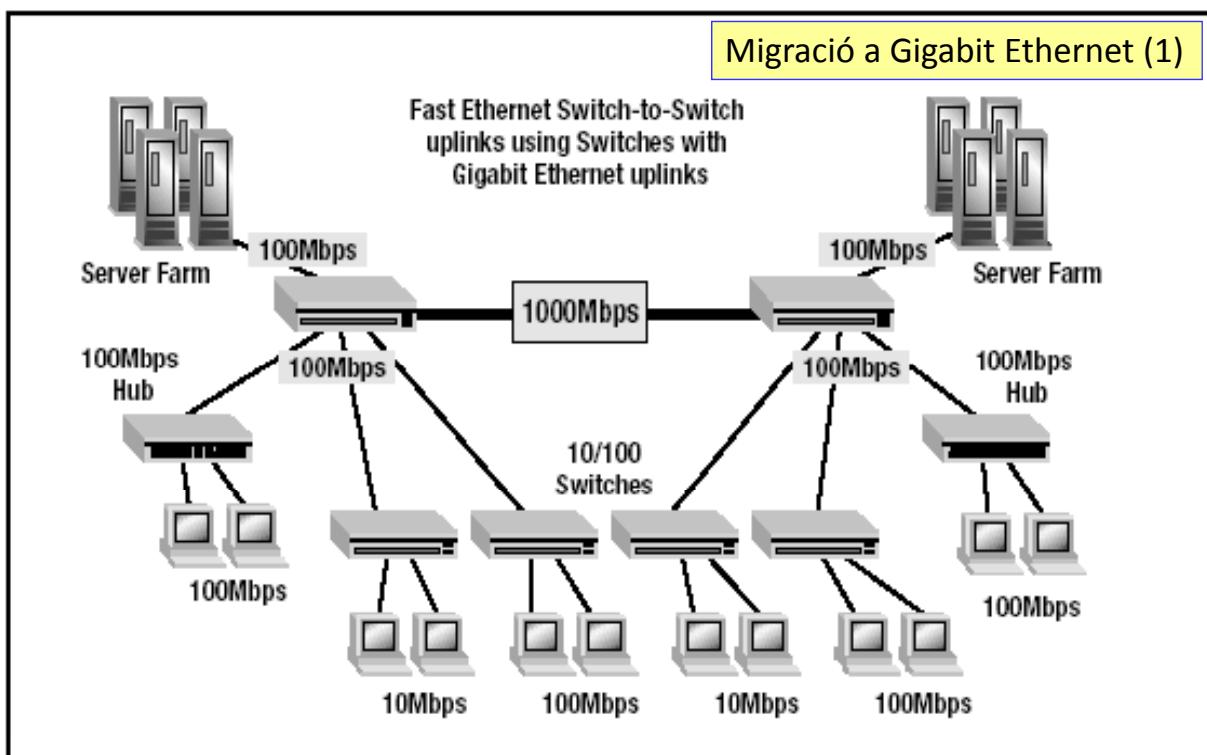
# Gigabit Ethernet

Resum diferents implementacions:

Characteristics	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-CX	1000Base-T
Media	Fiber short-wave	Fiber long-wave	STP	Cat 5 UTP
Number of wires	2	2	2	4
Maximum length	550 m	5000 m	25 m	100 m
Block encoding	8B/10B	8B/10B	8B/10B	
Line encoding	NRZ	NRZ	NRZ	4D-PAM5

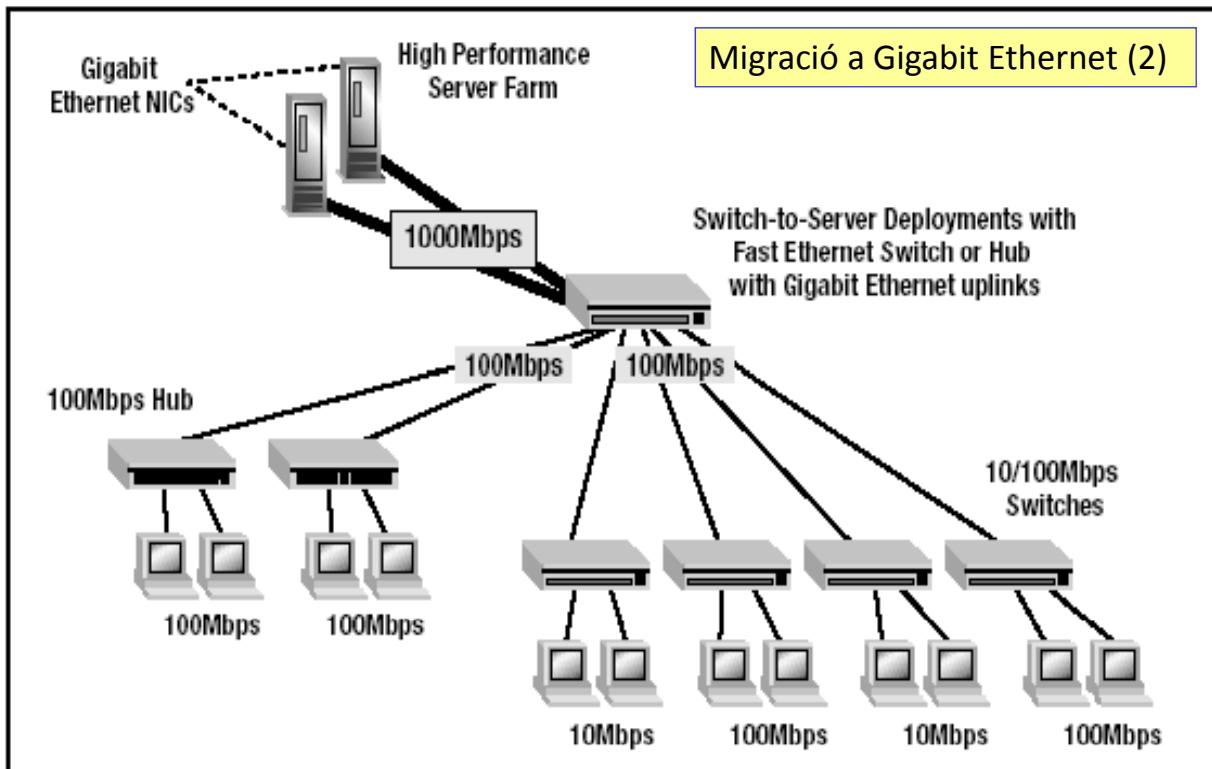
75

# Gigabit Ethernet



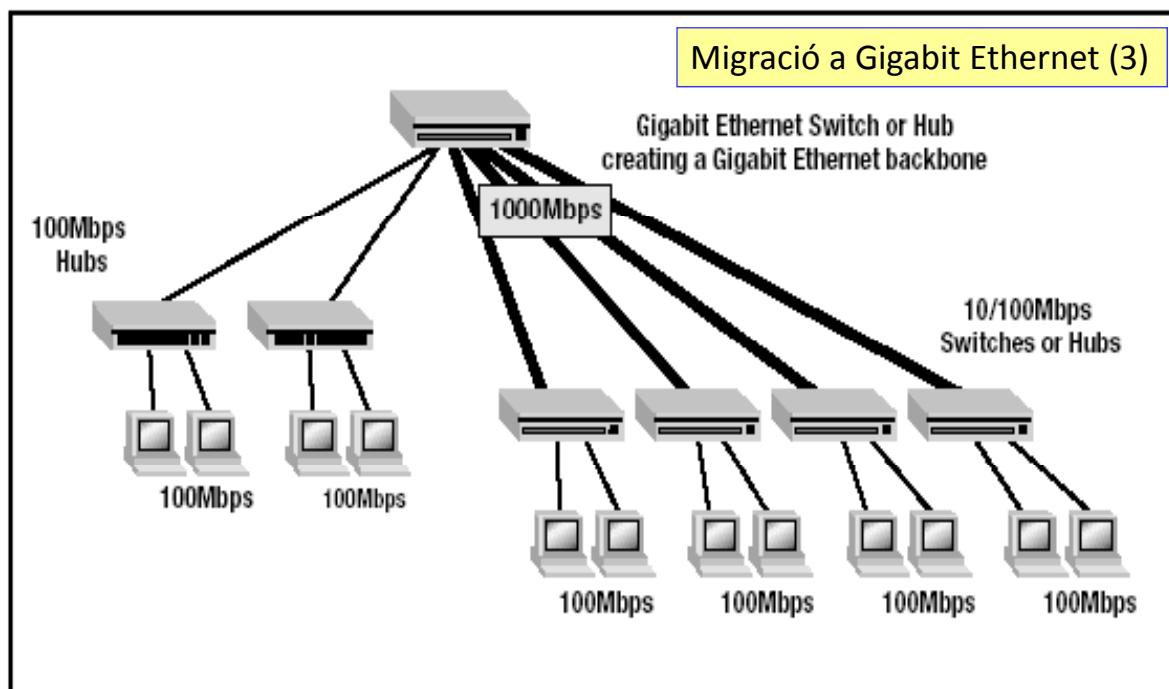
76

## Gigabit Ethernet



77

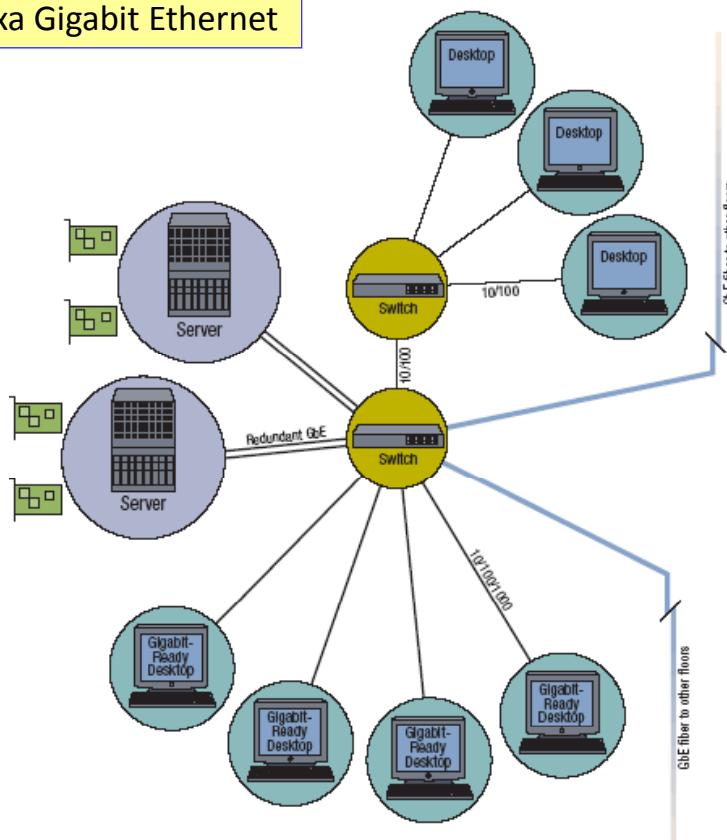
## Gigabit Ethernet



78

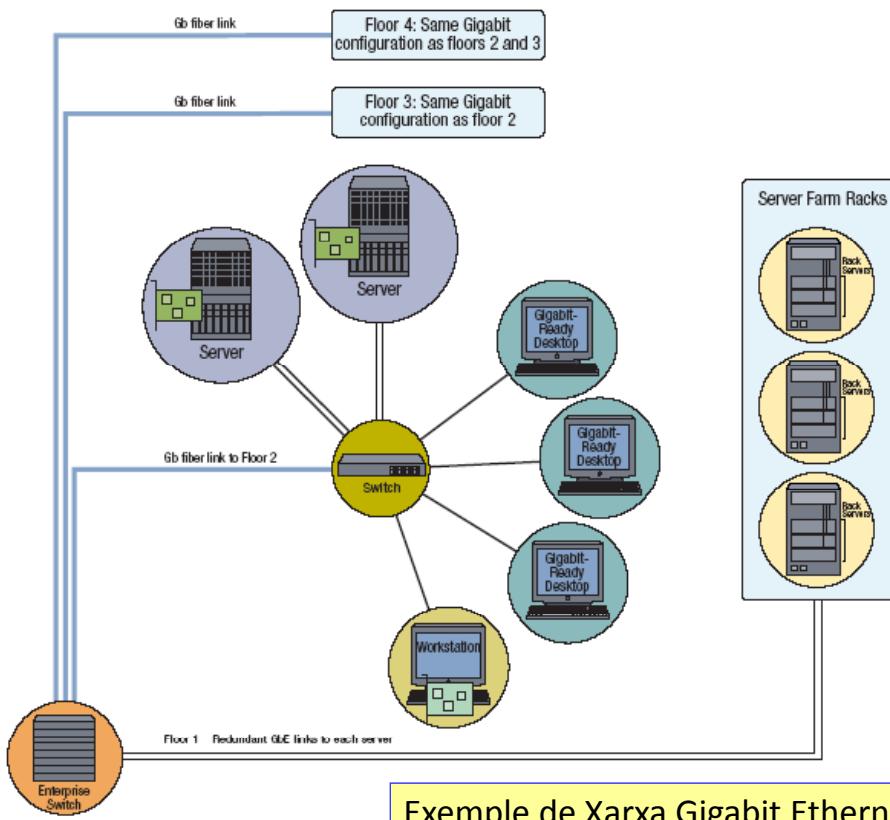
# Gigabit Ethernet

Exemple de Xarxa Gigabit Ethernet



79

# Gigabit Ethernet



Exemple de Xarxa Gigabit Ethernet

80

## 10 Gigabit Ethernet

---

### IEEE 802.3ae a 10 Gbps (2002)

Interès per aquesta nova tecnologia:

- Increment nombre de connexions a la xarxa.
- Increment velocitats de connexió estacions finals.
- Moltes aplicacions que requereixen més ample de banda (vídeo d'alta definició,...).
- *Hosting* d'aplicacions web.

#### Increment en el tràfic a Internet i intranets

81

## 10 Gigabit Ethernet

---

Objectius genèrics d'implementació:

- Mantenir el mateix format de trama, així com les mides màxima i mínima, i també el format de les adreces.
- Només suport per comunicacions full-dúplex.
- Possibilitat d'ús en xarxes LAN, MAN i WAN.
- Aconseguir xarxes *Ethernet extrem-extrem*.
- IP + *Ethernet* ofereix **Qualitat de Servei** similar a tecnologia ATM.
- Distàncies: de 300 m a 40 Km.
- Compatible amb tecnologies com Frame Relay i ATM

82

# 10 Gigabit Ethernet

## Resum diferents implementacions:

Characteristics	<i>10GBase-S</i>	<i>10GBase-L</i>	<i>10GBase-E</i>
Media	Short-wave 850-nm multimode	Long-wave 1310-nm single mode	Extended 1550-mm single mode
Maximum length	300 m	10 km	40 km

**Ús de parells trenats de coure.**

Grups d'estudi 10GBASE-CX4 i **10GBASE-T**

Ratificació de l'estàndard: juny de 2006 (**IEEE 802.3an**)

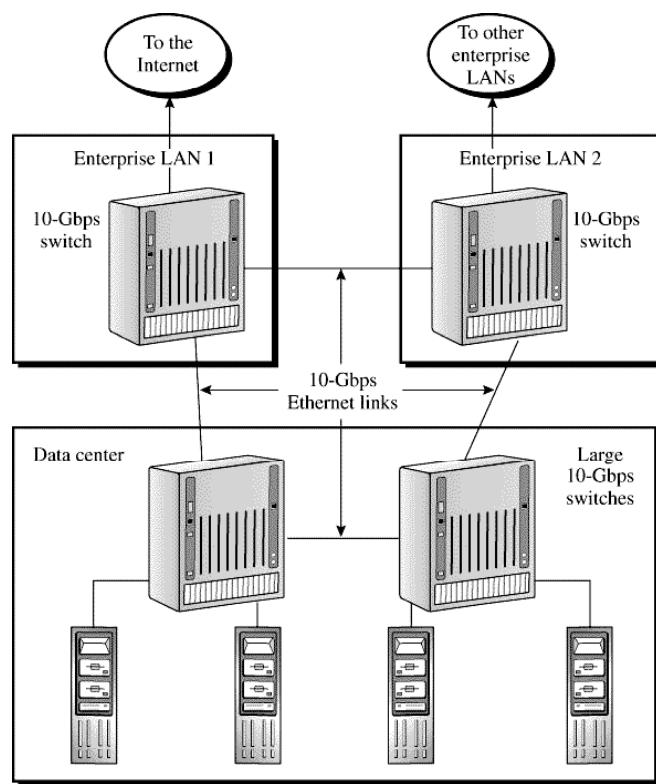
Cables de Categoria 6, 6A i 7 (F, fins a 600 MHz)

83

# 10 Gigabit Ethernet

Ús en entorns LAN

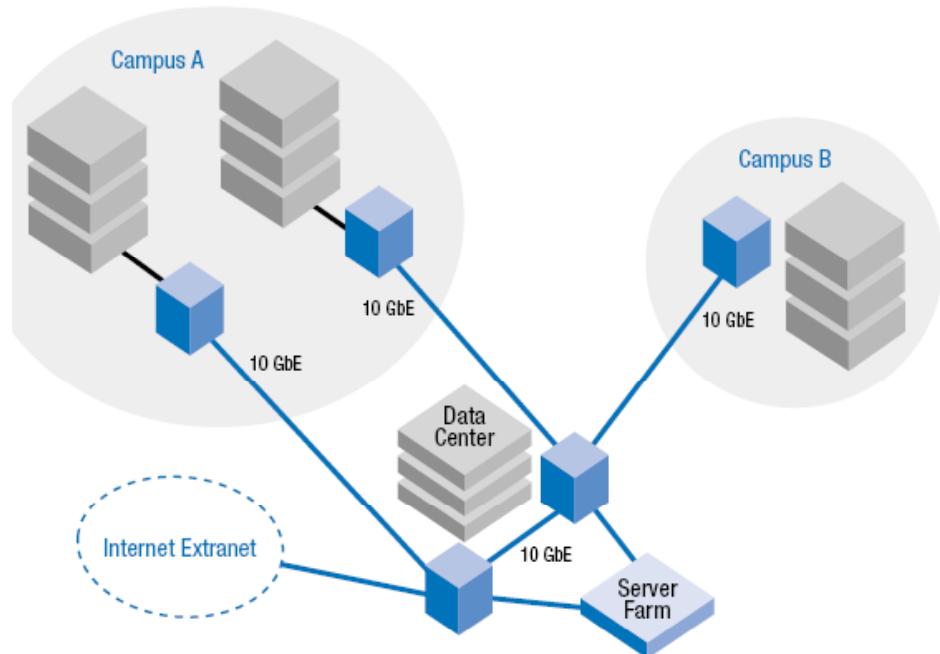
**Intel 10Gb Ethernet**



84

## 10 Gigabit Ethernet

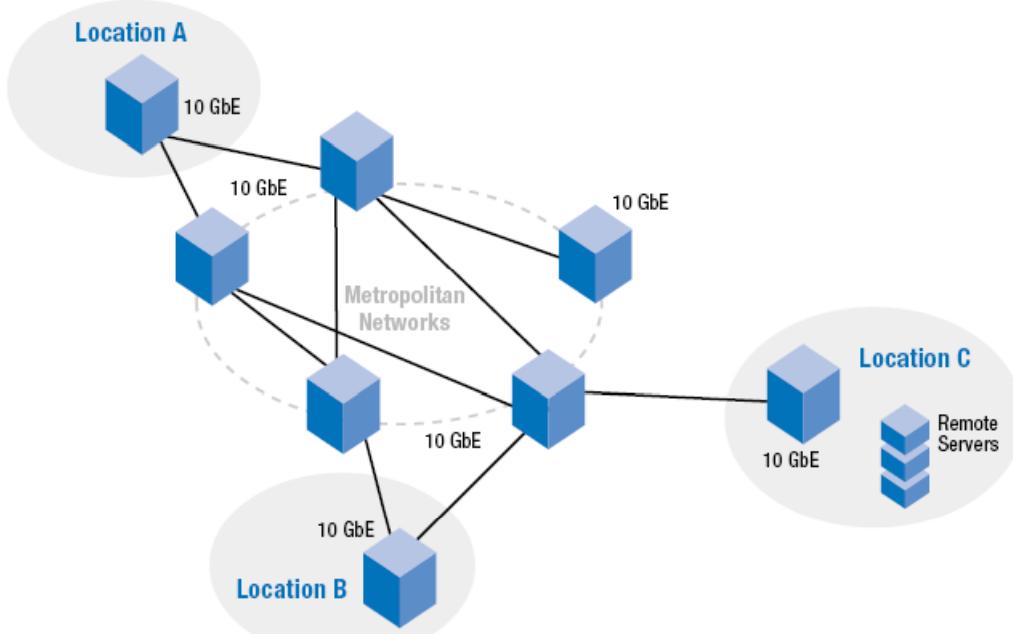
10 Gigabit Ethernet en entorns LAN extesos



85

## 10 Gigabit Ethernet

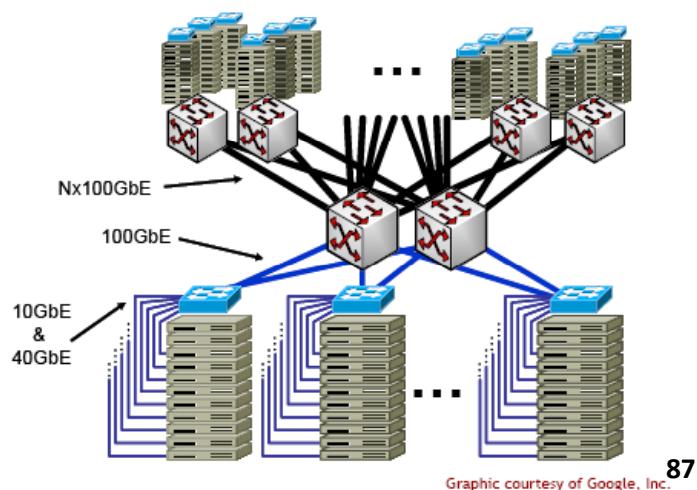
10 Gigabit Ethernet en una MAN



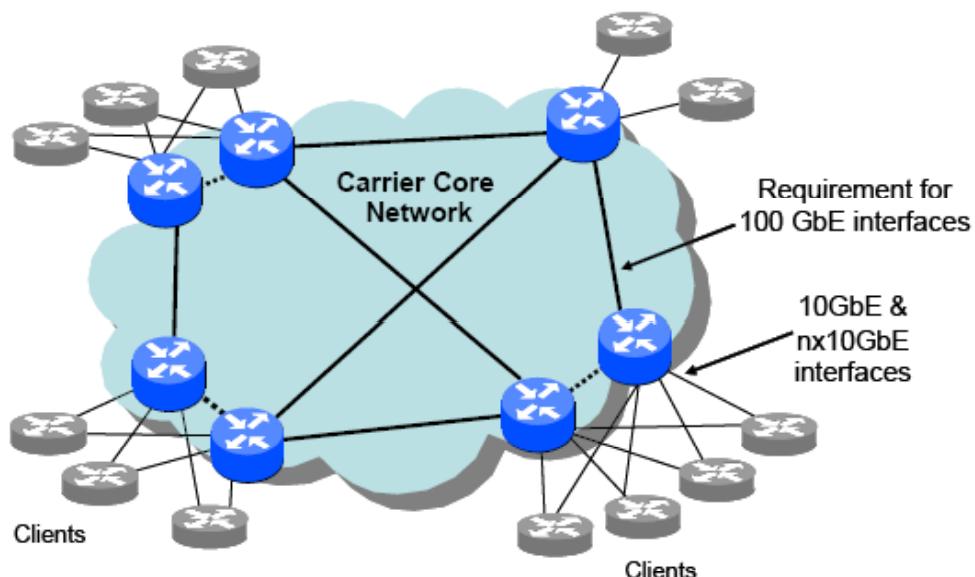
86

## 40 Gigabit Ethernet, 100 Gigabit Ethernet, ...

- Necessitat: *Data centers*, Internet (Web 2.0), aplicacions de vídeo sota demanda (IPTV), ..
- El grup de treball “*IEEE P802.3ba Ethernet Task Force*” va començar a treballar-hi el novembre de 2007.
- Aprovació de l'estàndard IEEE 802.3ba: juny 2010.
- Existeixen alguns productes.
- Fibra òptica i, fins i tot, parell trenat (50/15 metres) amb cable categoria 7A (fins a 1000 MHz).



## 40 Gigabit Ethernet, 100 Gigabit Ethernet, ...



- I després: *400 Gigabit Ethernet, Terabit Ethernet, 10 Terabit Ethernet, ....*

# Interconnexió

- Situació inicial de les LAN: un únic segment



- Necessitat de:
  - Abastar major extensió de terreny
  - Connexió d'un nombre major d'equips
  - Connexió amb altres xarxes: a nivell local o extern

Ús de dispositius d'interconnexió:

**Repetidors**

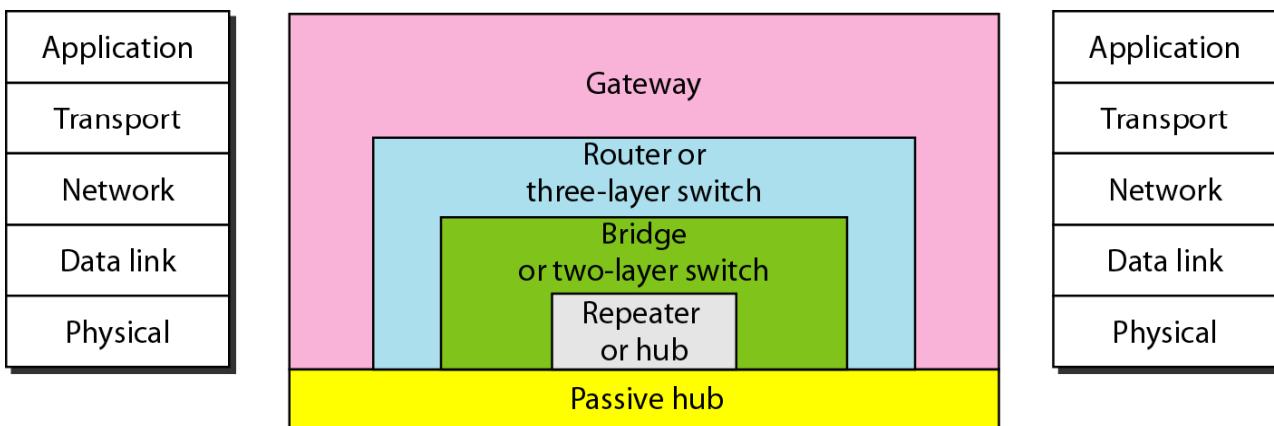
**Punts**

**Dispositius d'encaminament**

**Commutadors (Switch)**

89

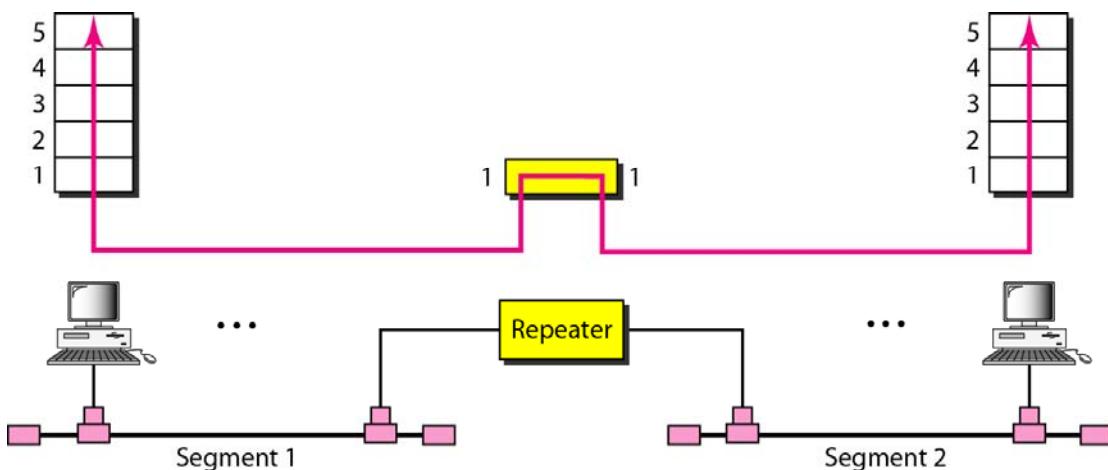
# Introducció



90

## Repetidors

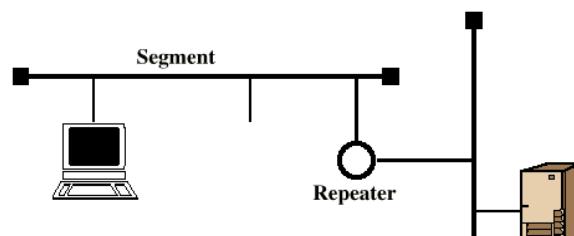
- Dispositius de baix nivell que regeneren els senyals elèctrics (bits)
   
→ Connexió de segments del mateix tipus (la mateixa LAN).
- Augment de la cobertura geogràfica (fins al màxim permès pel mètode MAC utilitzat).



91

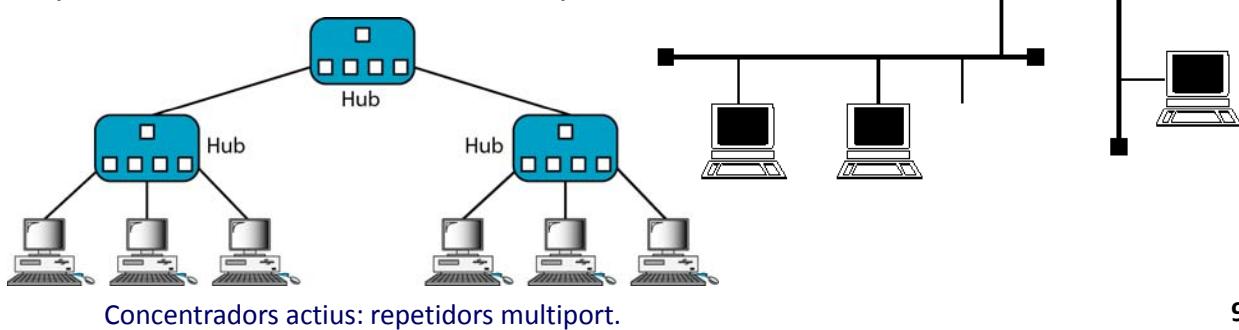
## Repetidors

- Possibilitat de connectar segments amb tipus de suports físics diferents: coaxials, FO, PT.



Cal evitar les interferències multitrajectòria.

Només es permet un camí de segments i repetidors entre dues estacions qualsevol.

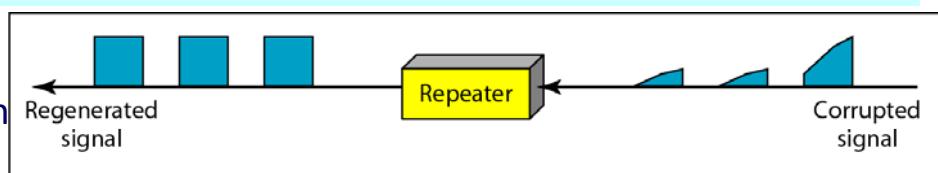


Concentradors actius: repetidors multiport.

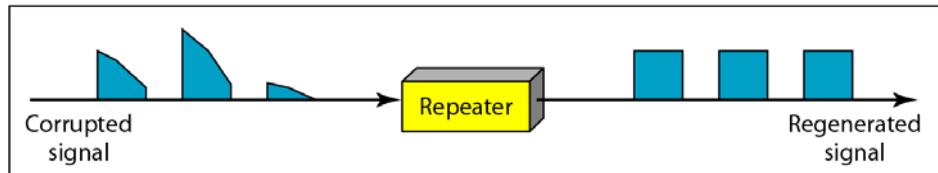
92

## Repetidors

- Un repetidor és un regenerador, no un amplificador

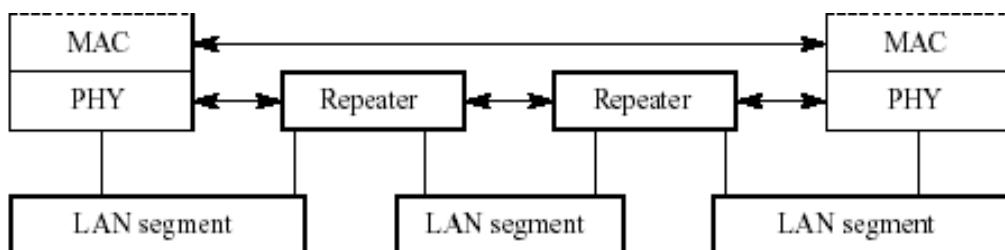


a. Right-to-left transmission.



b. Left-to-right transmission.

- No hi ha aïllament entre segments: No fan retransmissió selectiva

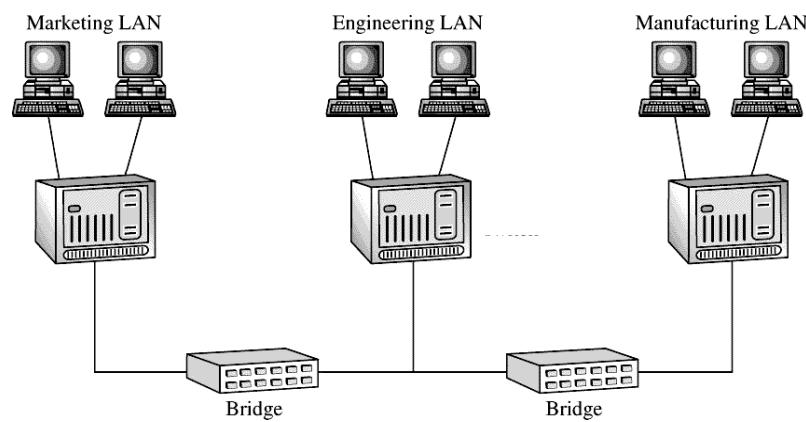


93

## Ponts

- Interconnexió de xarxes locals similars (mateix mètode MAC) → procés mínim.
- Ponts més sofisticats → permeten conversió entre formats MAC diferents.
- Avantatges de l'ús de ponts:

- Fiabilitat.  
 - Prestacions: repartició de càrrega.  
 - Seguretat  
 - Distància i dispersió geogràfica.



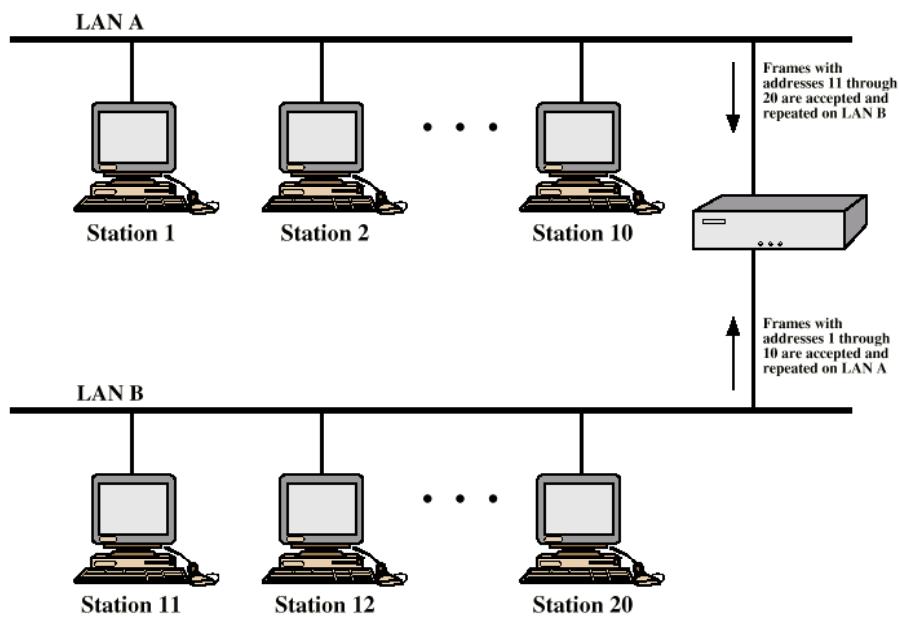
94

## Ponts

- Funcions dels ponts:
  - Llegir les trames transmeses per A i acceptar les que van dirigides a estacions situades a B.

– Passar les trames a B fent ús del seu protocol MAC.

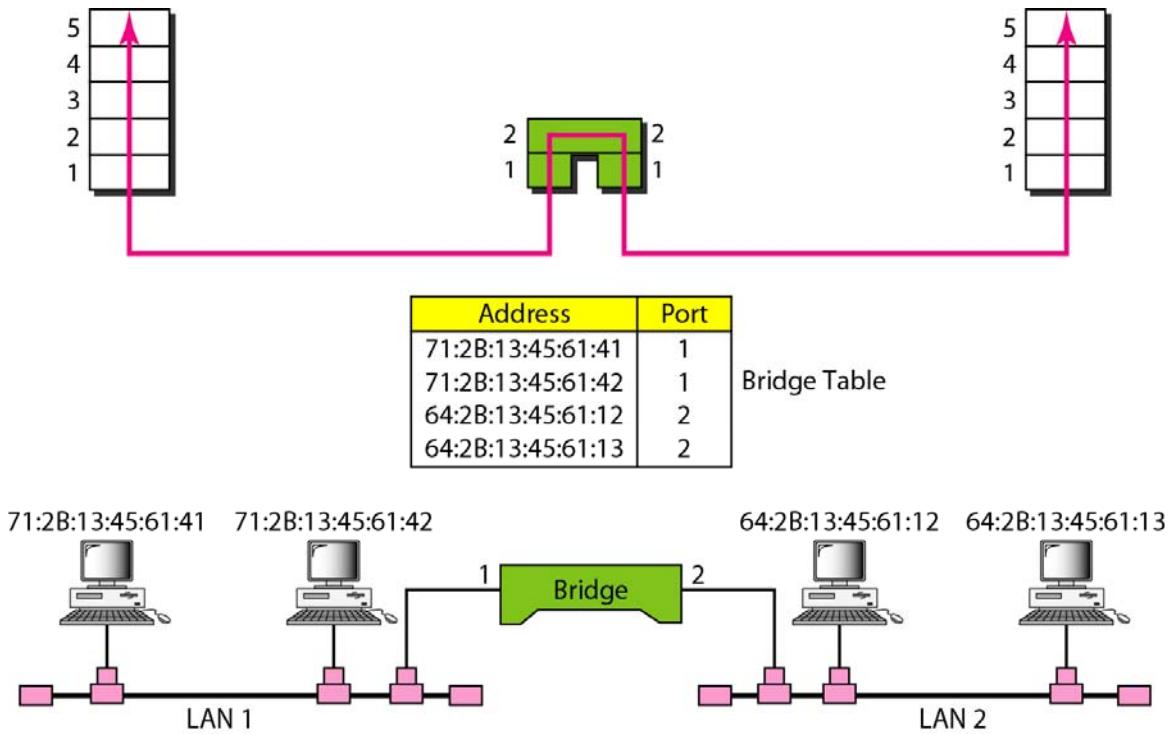
– El mateix procés pel trànsit de B a A.



95

## Ponts

- Filtrat de trames



96

# Ponts

---

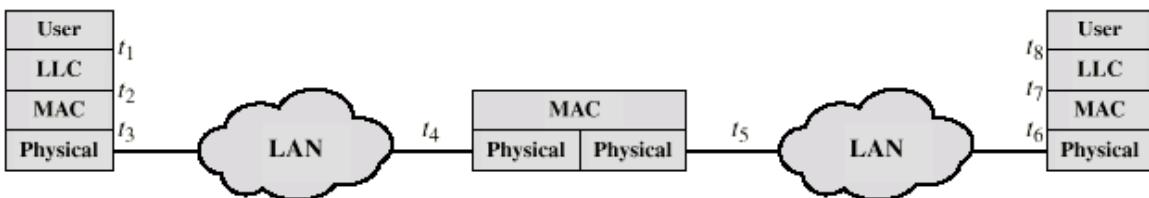
- Aspectes importants de disseny:
  - Els ponts no modifiquen el contingut ni el format de les trames rebudes, ni afegeixen capçaleres addicionals.
  - Han de tenir capacitat d'adreçament i d'encaminament.
  - Necessitat de disposar de memòria temporal per acceptar pics de demanda.
  - Un pont pot connectar més de dues LAN.
- **Sistema transparent a les estacions: com si només hi hagués una única LAN.**

97

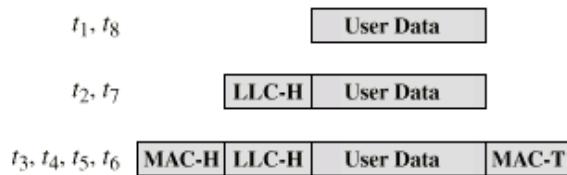
# Ponts

---

- Arquitectura de protocols d'un pont:
  - IEEE 802.1D
  - Funcionament a nivell MAC (no cal LLC).



(a) Architecture

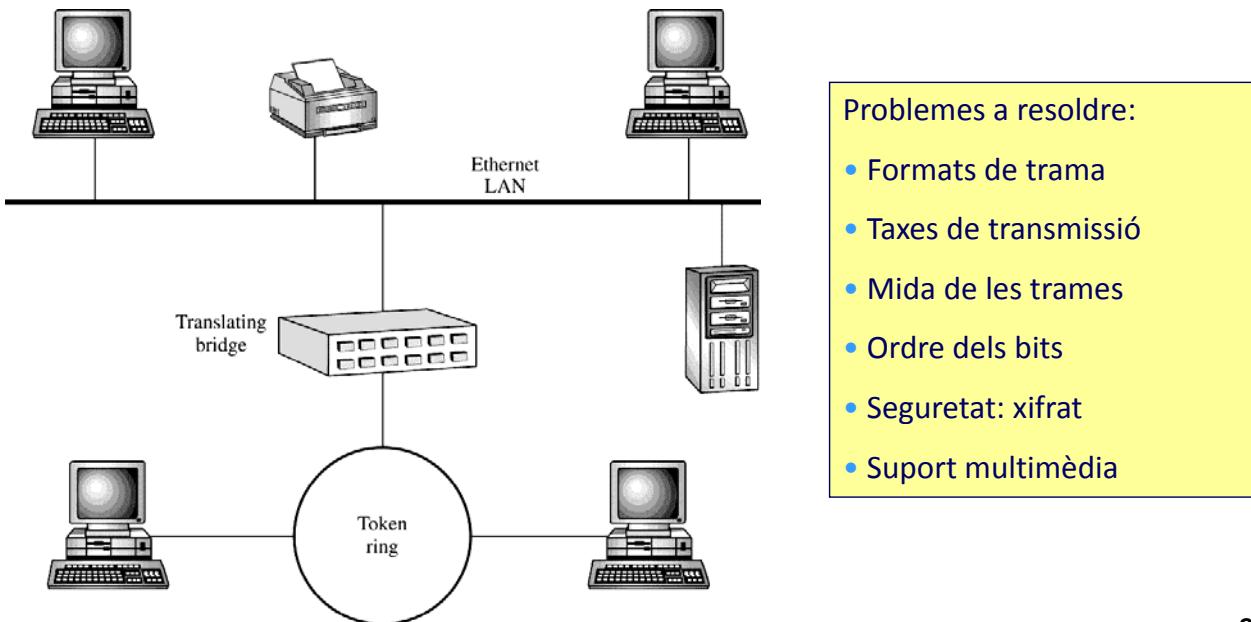


(b) Operation

98

# Ponts

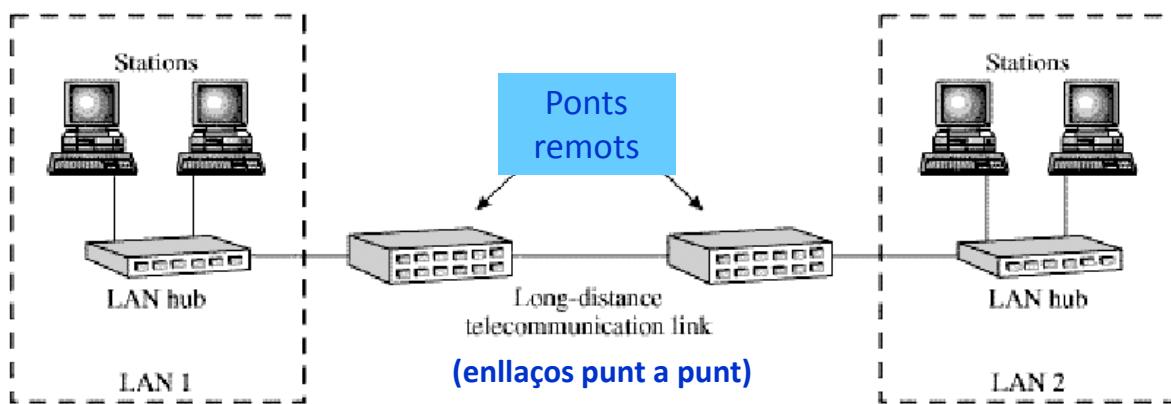
- **Ponts traductors:** connexió de LANs diferents
  - Funcionament a nivell LLC.



99

# Ponts

- Interconnexió de LANs a distància:
  - Ús de **ponts remots** intercomunicats → encapsulament de la trama i transmissió sobre la connexió vers l'altre pont.



100

# Ponts

- El pont ha de prendre decisions d'encaminament: cap on ha de passar la trama (si cal).
- Encaminament estàtic:
  - Vàlid per entorns amb:
    - Pocs segments
    - Interconnexions relativament estables
  - Camí definit per cada parella de LANs origen-destí:
    - Configurat des del principi per un administrador
    - Si hi ha camins alternatius → escollir el de menor nombre de salts
    - Només canvia quan hi ha canvis a la topologia

101

# Ponts

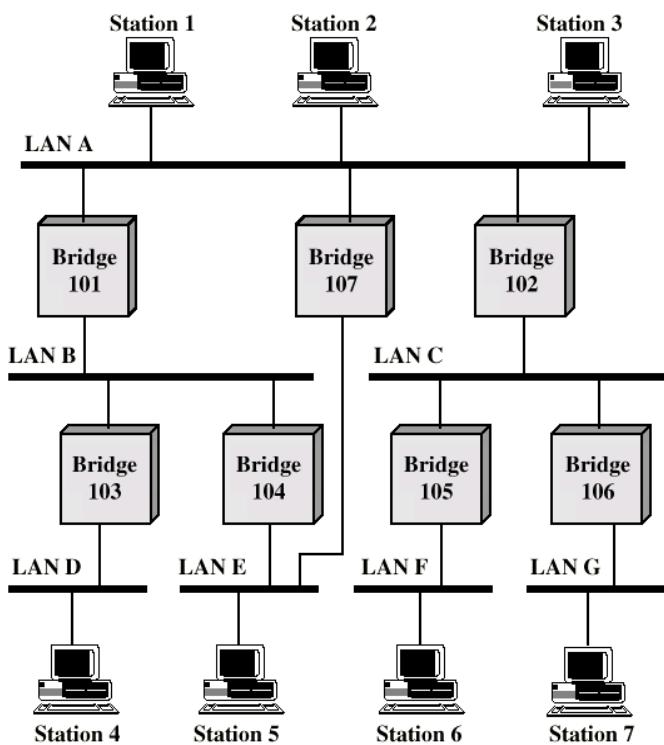
- Encaminament estàtic:
 

Xarxes grans i complexes?  
→ necessitat de camins alternatius per:

  - Balanceig de càrrega
  - Tolerància a fallades

No és viable l'ús  
d'encaminament estàtic.

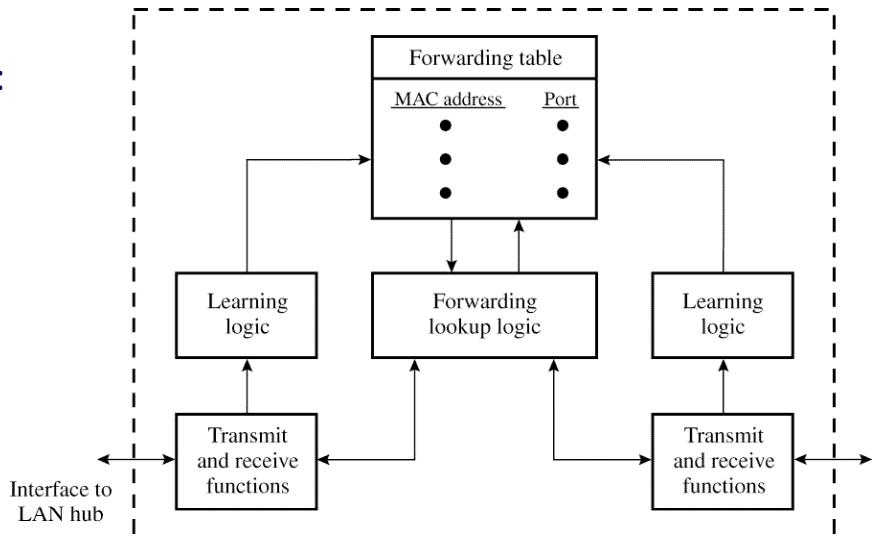
Ús de ponts transparents  
amb arbre d'expansió  
(IEEE 802.1D)



102

# Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió:
  - Els ponts generen automàticament les taules d'encaminament
  - Configuració automàtica si hi ha canvis
  - Aspectes a tractar:
    - Retransmissió de trames.
    - Aprendentatge d'adreses.
    - Mecanisme per evitar bucles.



103

# Ponts

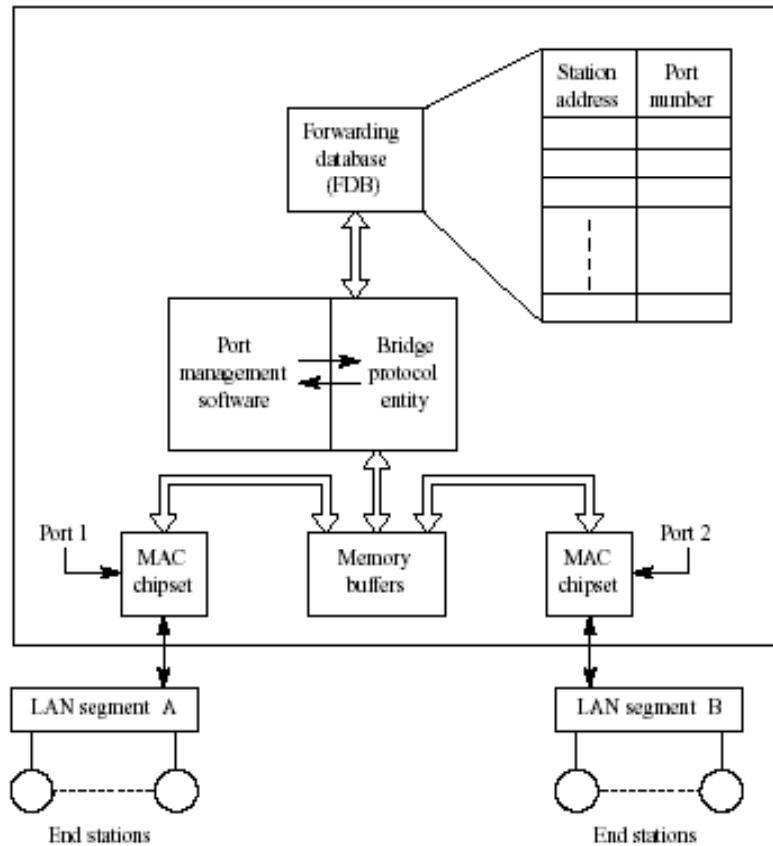
- Ponts transparents amb arbre d'expansió. **Retransmissió de trames:**
  - Cada pont manté una base de dades de retransmissió:
    - Llista d'adreses d'estacions a les que es pot accedir des de cada port.
  - Una trama arriba a un port X:
    - Cerca a la base de dades de l'adreça, per veure si està associada a un port diferent de X.
    - Si no es troba l'adreça → retransmissió per tots els ports (menys X).
    - Si es troba a la taula (ex: port Y) → veure si l'estat del port és de bloqueig o de transmissió.
    - Si el port no està bloquejat → transmetre la trama pel port.

104

## Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió.

### Retransmissió de trames:



105

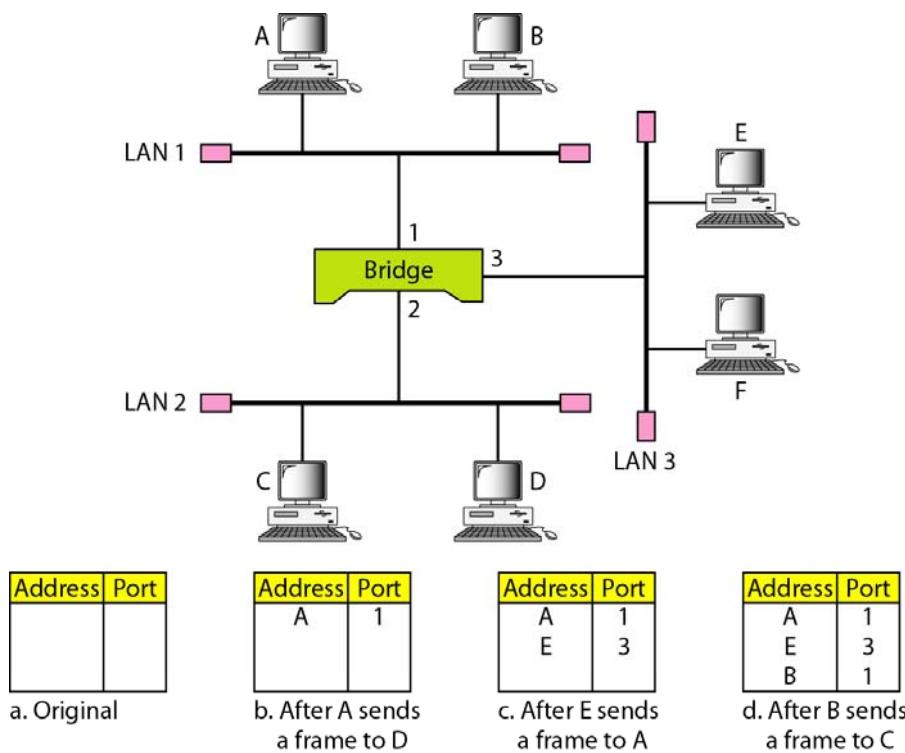
## Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió. **Aprendentatge d'adreses:**
  - Es pot carregar a priori la taula.
  - Normalment → mecanisme automàtic d'aprenentatge.
  - Quan les trames arriben al port X → venen de la LAN connectada a aquest port.
  - ús del camp d'adreça d'origen de la trama.
  - Temporitzador associat a cada entrada de la base de dades.
  - Cada vegada que arriba una trama es comprova si hi és.

106

## Ponts

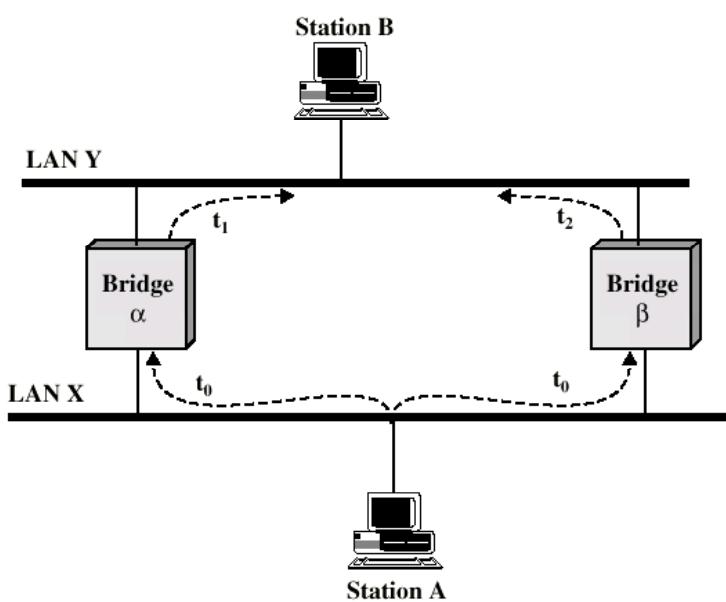
- Ponts transparents amb arbre d'expansió. **Aprendentatge d'adreses:**



107

## Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió. **Aprendentatge d'adreses:**
  - Què passa si hi ha camins alternatius?



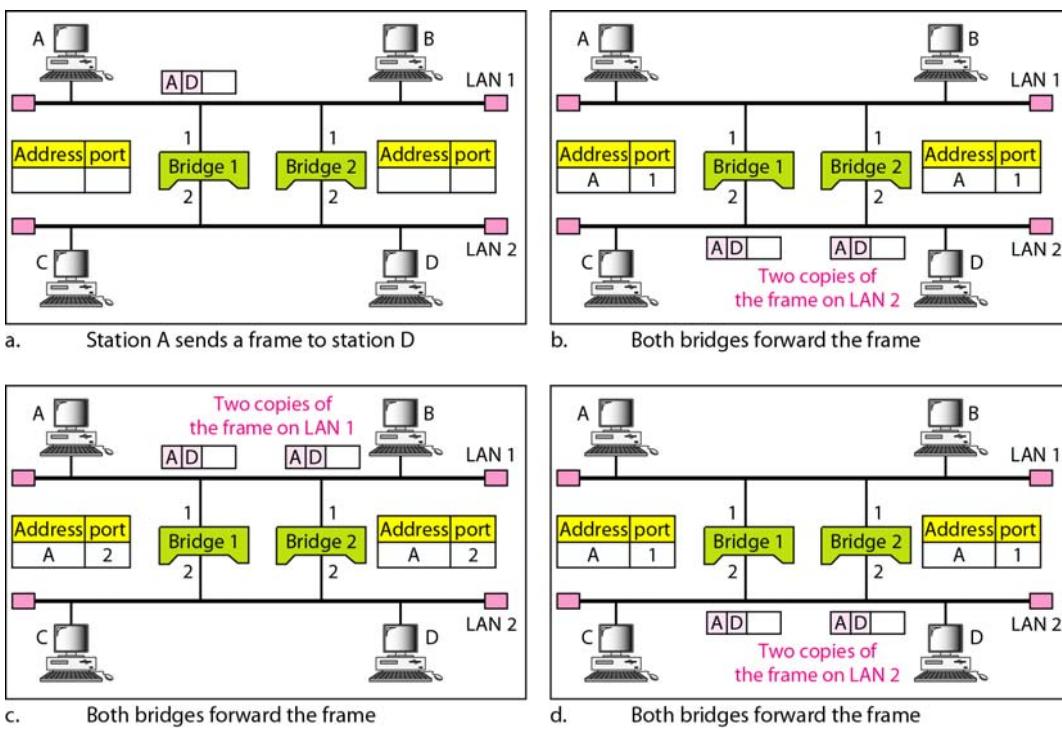
El mètode no  
funciona bé

**SOLUCIÓ:**  
Algorisme d'arbre  
d'expansió

108

## Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió. **Aprendentatge d'adreses:** Existència de llaços



109

## Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió.

### Algorisme d'arbre d'expansió:

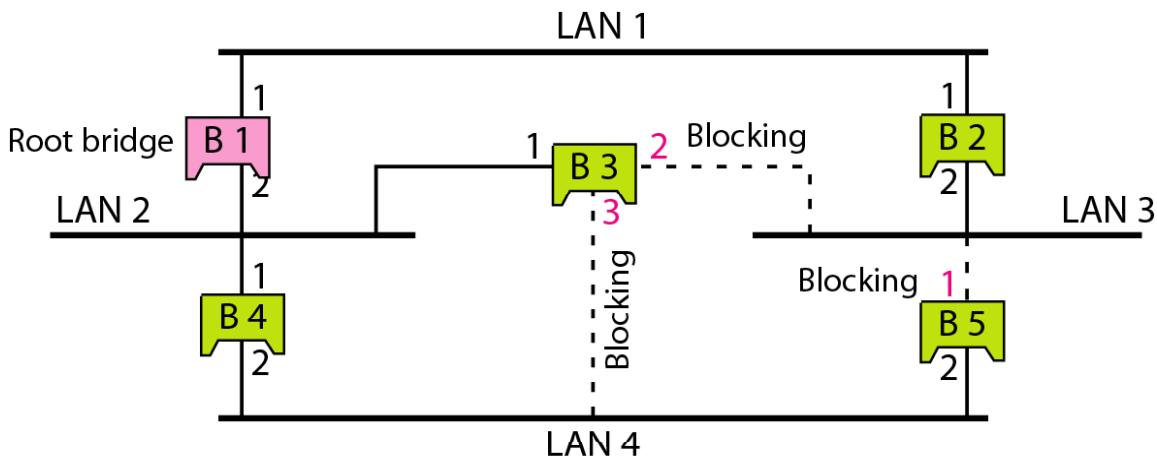
- Per a cada graf connectat hi ha un arbre d'expansió que manté la connectivitat del graf i no conté llaços tancats.
- S'assigna una adreça única a cada pont i costos a cadascun dels seus ports.
- Intercanvi d'informació entre els ponts per establir l'arbre d'expansió de cost mínim.
- Quan es produeix un canvi en la topologia els ponts recalculen automàticament l'arbre.

110

# Ponts

- Ponts transparents amb arbre d'expansió.

## Algorisme d'arbre d'expansió:

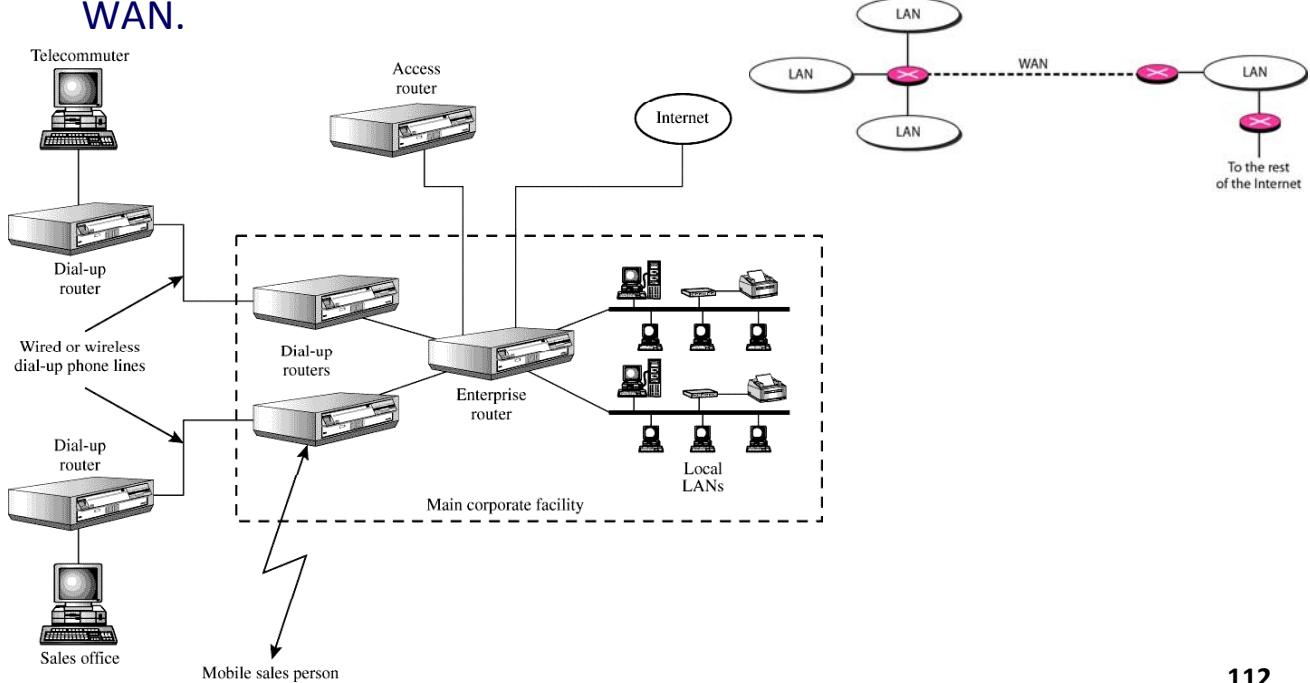


Ports 2 and 3 of bridge B3 are blocking ports (no frame is sent out of these ports).  
Port 1 of bridge B5 is also a blocking port (no frame is sent out of this port).

111

# Encaminadors

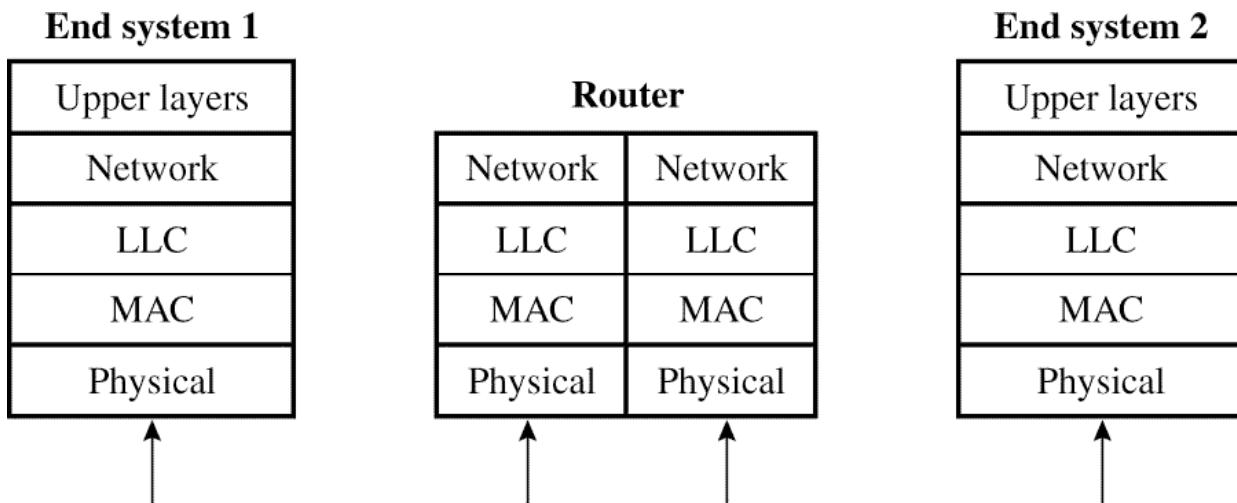
- Els dispositius d'encaminament són de propòsit més general ➔ Permeten la interconnexió d'una gran varietat de xarxes LAN i WAN.



112

# Encaminadors

- Arquitectura de protocols d'un *router*:

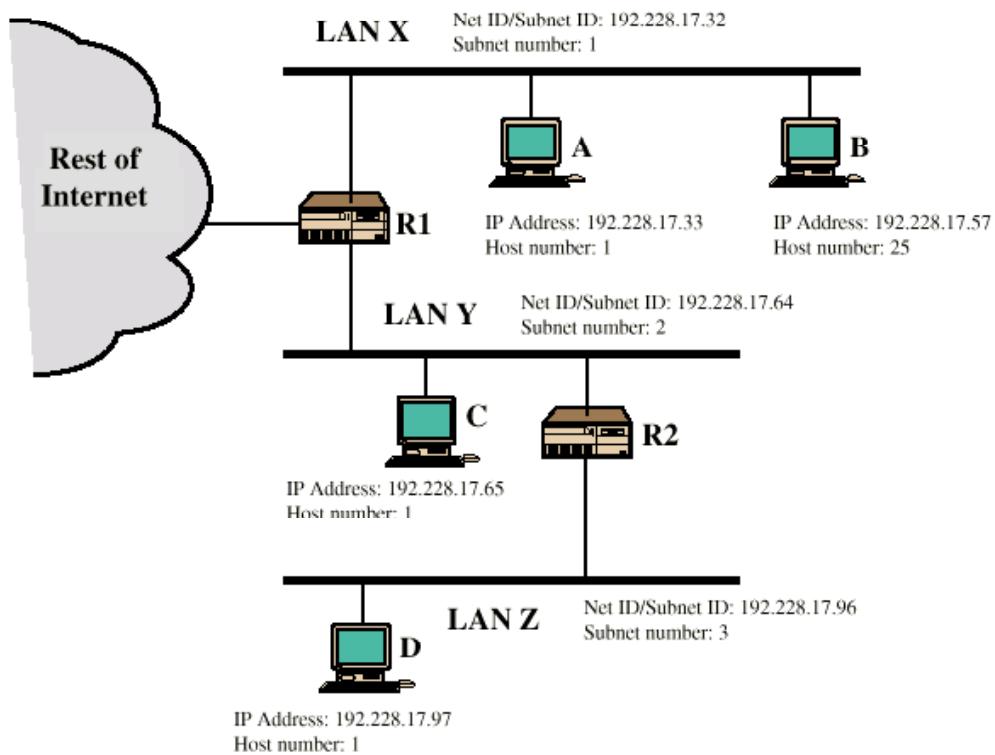


- Operació a nivell de xarxa.
- Funcions bàsiques: retransmissió i encaminament.

113

# Encaminadors

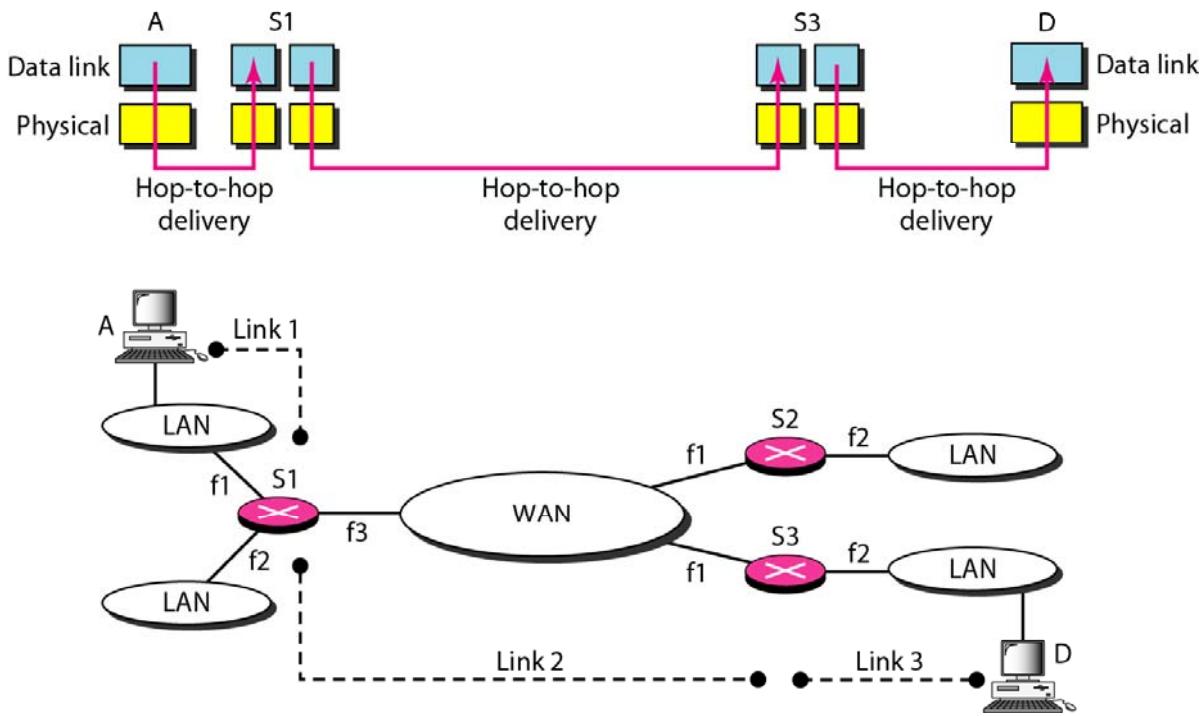
- Definició de subxarxes → adreces lògiques.



114

## Encaminadors

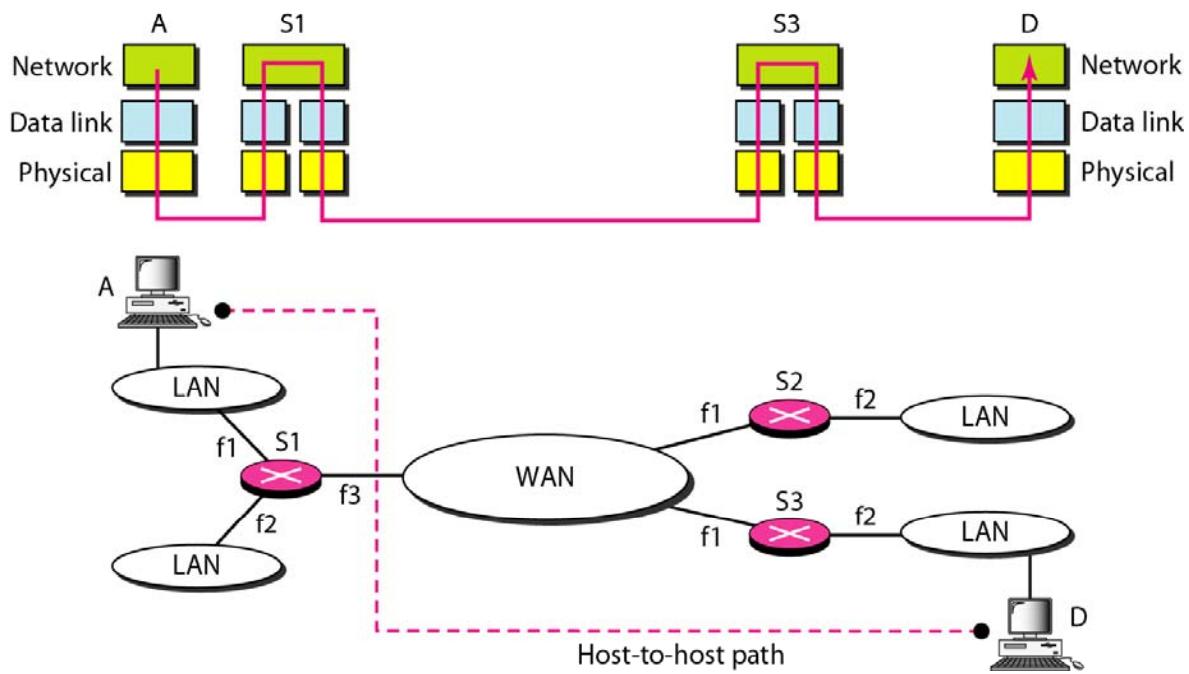
- Interconnexió de xarxes: lliurament node a node



115

## Encaminadors

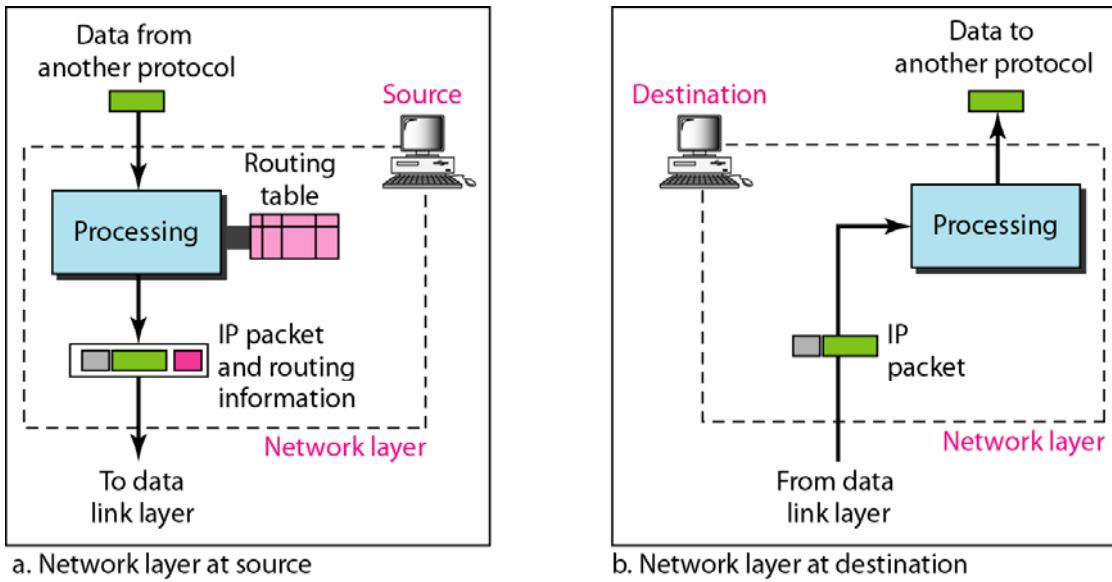
- Interconnexió de xarxes: camí extrem a extrem



116

## Encaminadors

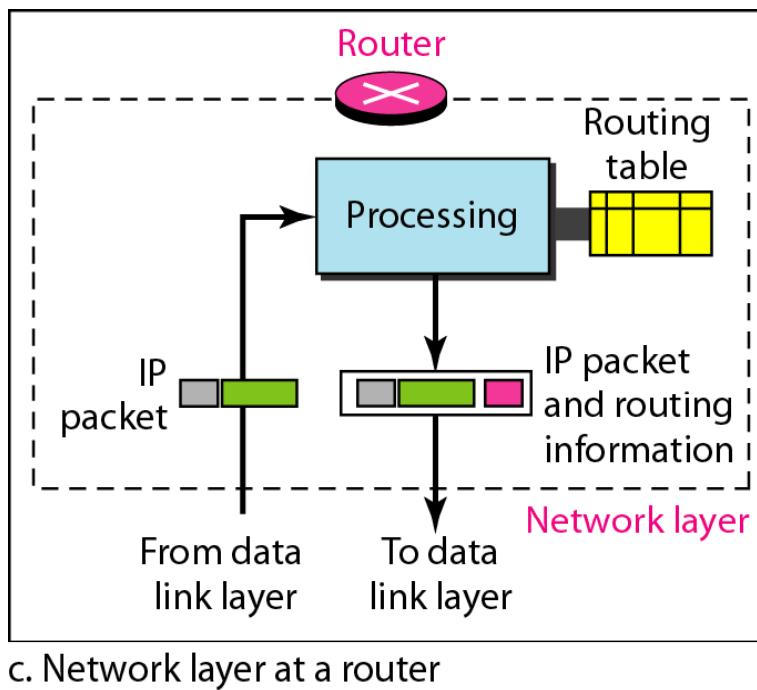
- Interconnexió de xarxes: l'origen, el destí i el **router**



117

## Encaminadors

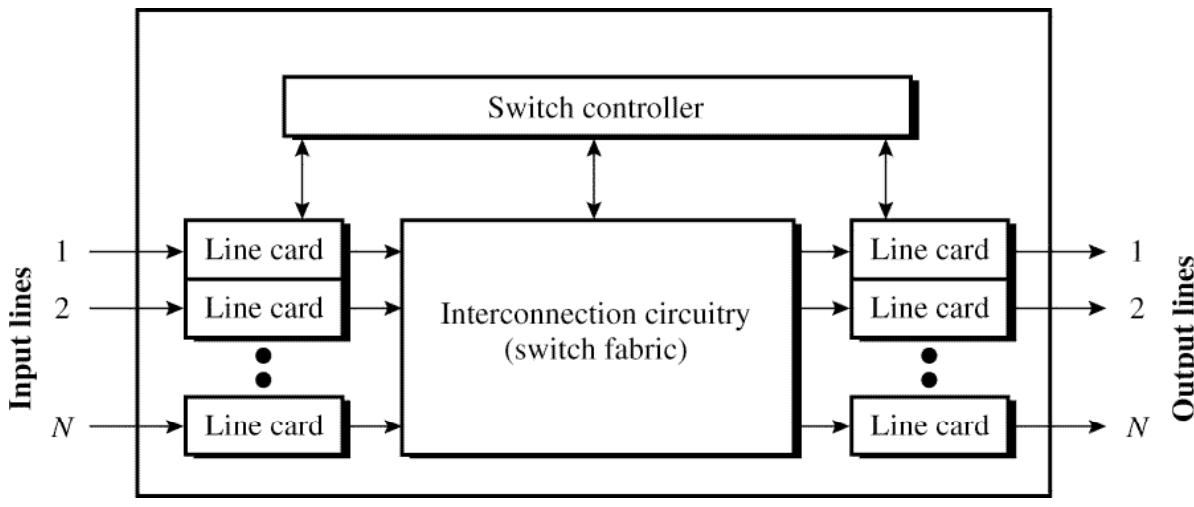
- Interconnexió de xarxes: l'origen, el destí i el **router**



118

# Commutadors

- **Commutació de nivell 2 → Bridging:**
  - Retransmissió de trames basant-se en adreces MAC.
  - Sistema més senzill i ràpid que els ponts → implementacions hardware per un tipus concret de LANs (*Ethernet, ATM, FDDI, Token-Ring, ...*)



119

# Commutadors

- **Tipus de centres commutats**
  - D'emmagatzematge i transmissió.
  - Commutador ràpid (*cut-through*). Retransmet quan sap l'adreça de destí:
    - Major rendiment.
    - Propagació de trames errònies (no càlcul CRC)
- **Diferències amb els ponts:**
  - Pont: gestió per software / Commutador: hardware
  - Pont: trames una a una / Commutador: més d'una de forma simultània.
  - Pont: sempre emmagatzematge i retransmissió
- **Retrocés comercial dels ponts**

120

# Commutadors

---

- Commutadors de nivell 2 →
  - Espai d'adreçament pla (mateix domini de difusió. *Broadcast MAC* arriba a tots).
  - Estàndards impedeixen bucles tancats (limitacions de rendiment i fiabilitat).
  - Xarxes locals grans?

## Subxarxes connectades per dispositius d'encaminament

### Problema: RENDIMENT

**Solució: Commutadors de nivell 3**

121

# Commutadors

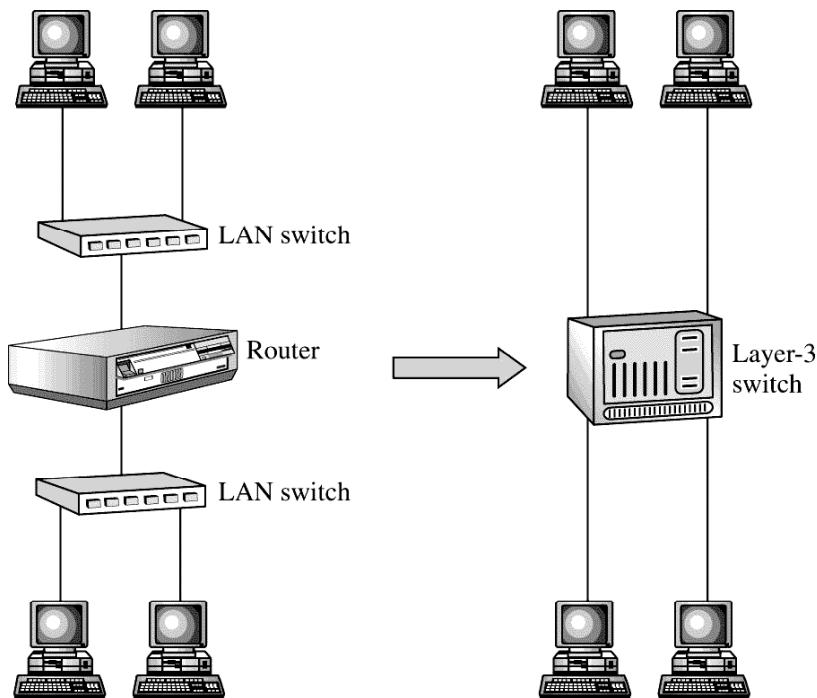
---

- Commutadors de nivell 3
  - Desenvolupaments H/W que fan les mateixes funcions que un dispositiu d'encaminament per LAN, proporcionant una gran capacitat de retransmissió de paquets a un preu molt menor als *routers* tradicionals.
  - Categories: tipus paquet a paquet, basats en fluxos.
  - No disposen de la funcionalitat de connexió WAN.
  - Funcionalitat: interconnexió de subxarxes d'àrea local.
- Commutadors de nivell 4 i nivell 7
  - Nivell 4: filtrat ports, firewall, NAT, balanceig de càrrega basat en connexions TCP, ...
  - Nivell 7: filtrat URLs, *cache* web, ...

122

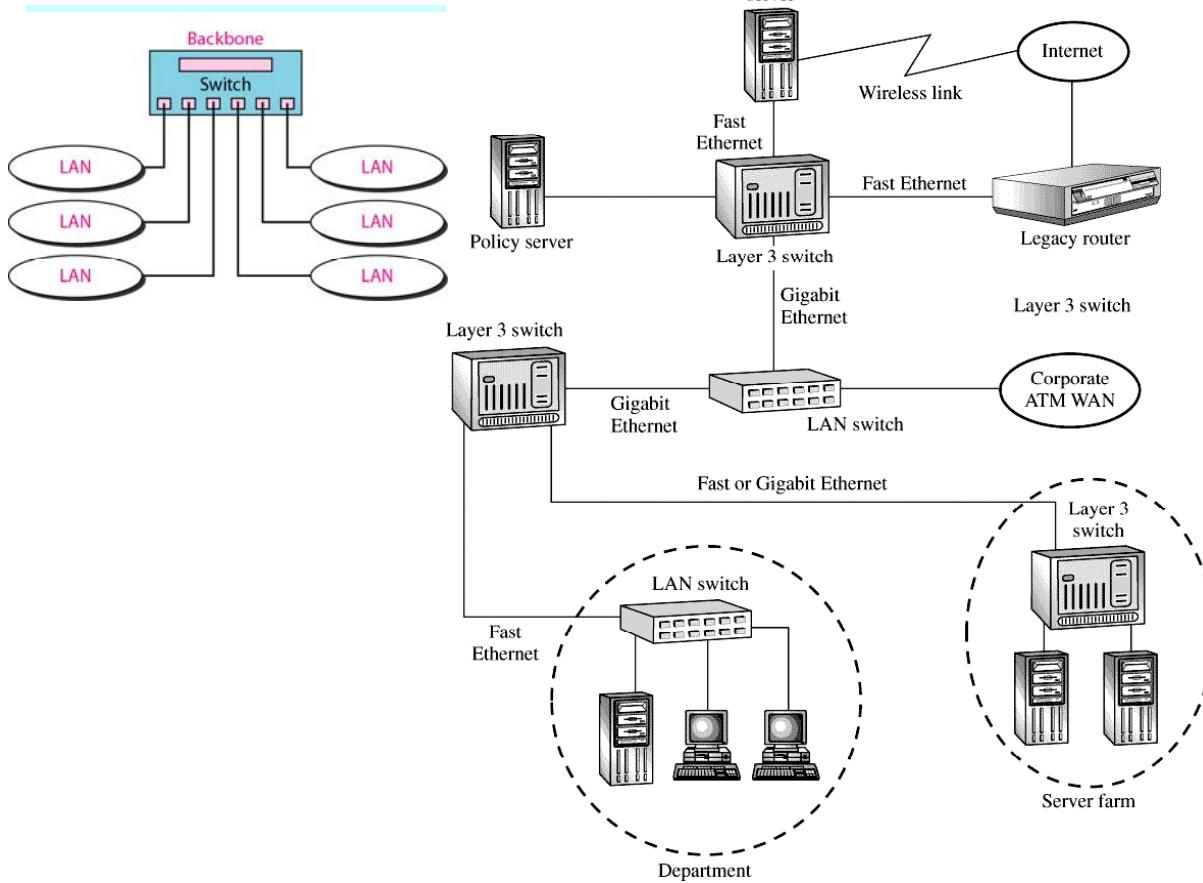
# Commutadors

- Substitució de commutació de nivell 2 i del router, per commutació de nivell 3:



123

# Exemples



124

## LANs Virtuals

Xarxes locals grans → Necessitem segmentar la xarxa per disminuir dominis de difusió

Ús de *Routers*

**PROBLEMA:** afegeixen latència i són cars

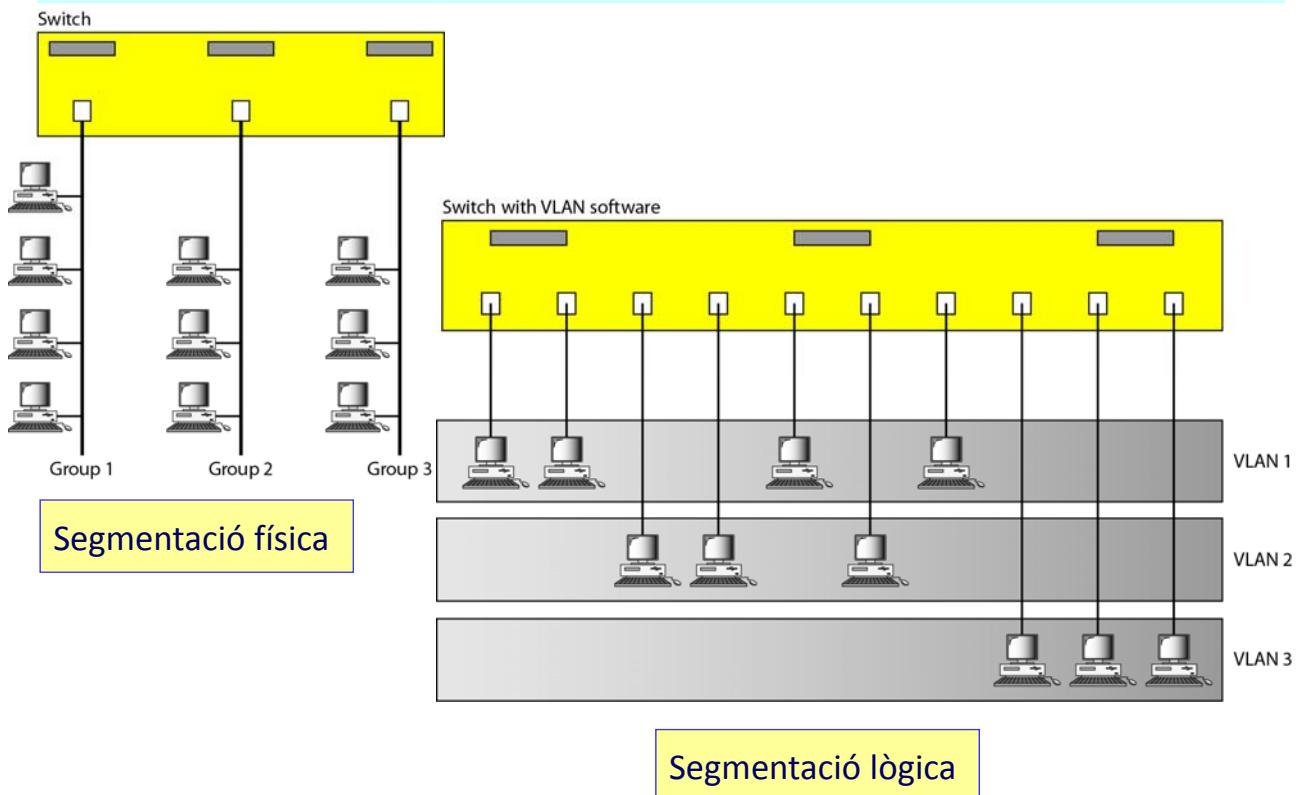
**SOLUCIÓ:** VLANs → Grup de dispositius en segments diferents que es comuniquen com si estiguessin dins del mateix segment físic.

- Ús de commutadors de Nivell 2 (Adreces MAC i necessitem *routers* per la connexió de VLANs).

- Ús de commutadors de Nivell 3 (Adreces IP i la majoria combinen funcions d'un commutador i un *router*)

125

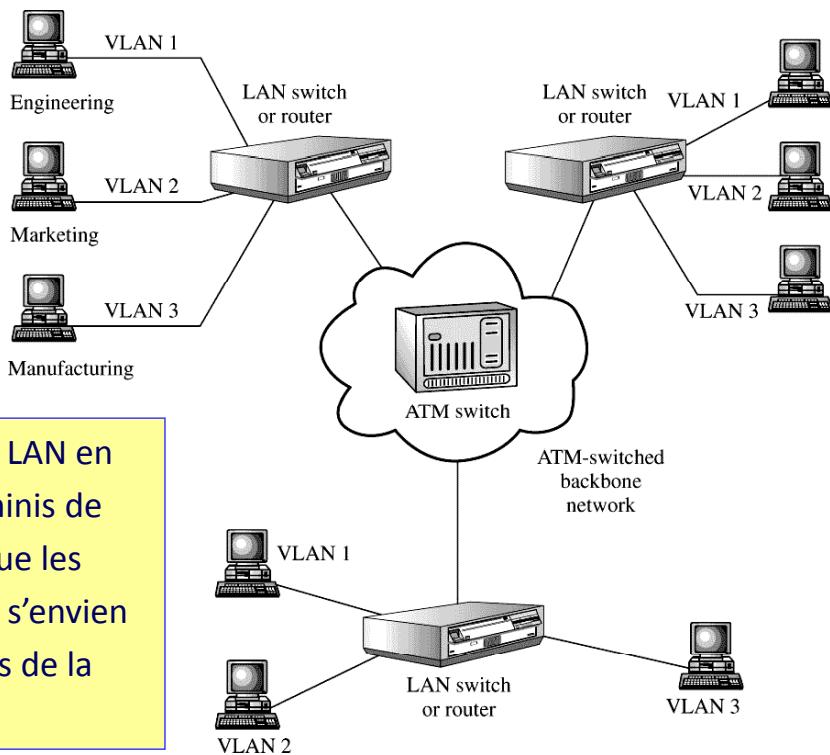
## LANs Virtuals



126

## LANs Virtuals

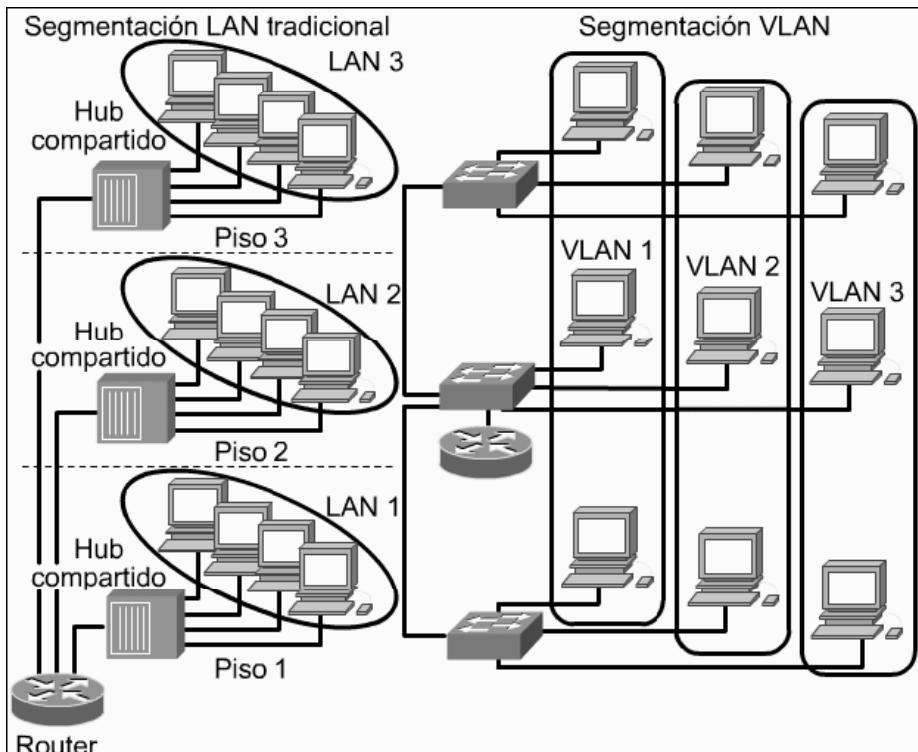
Ús de commutadors que permeten la definició de VLANs: ATM, Ethernet, ...



127

## LANs Virtuals

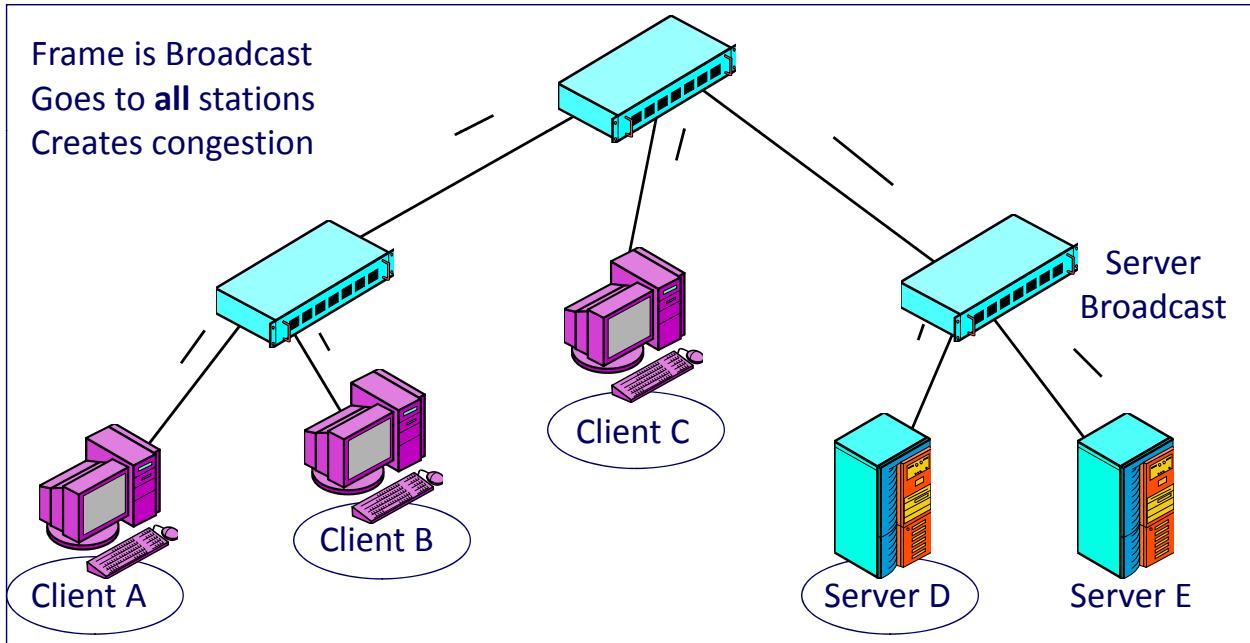
Segmentació independent de la ubicació física dels equips



128

## LANs Virtuales

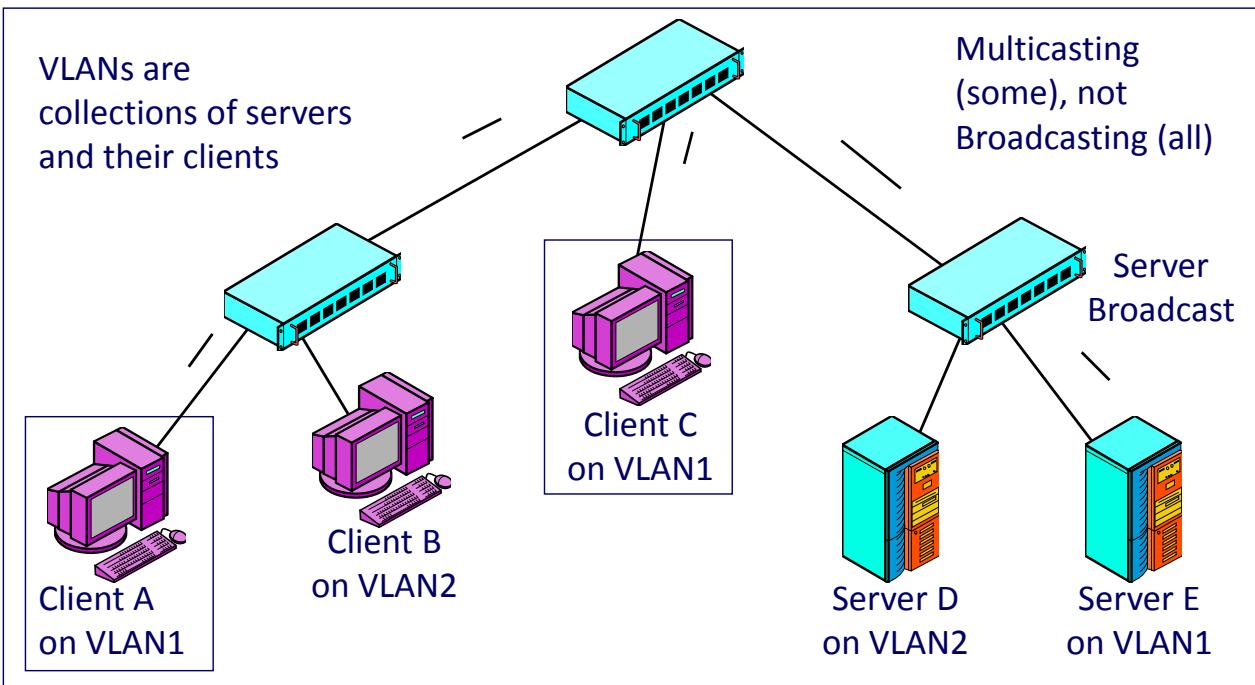
- *Broadcast sense VLAN*



129

## LANs Virtuales

- *Multicast amb VLAN*

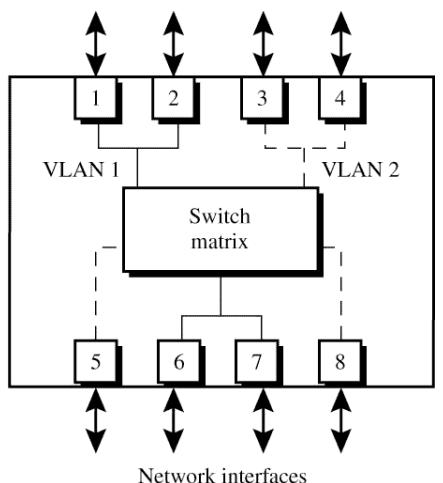


130

# LANs Virtuals

- Definició de VLANs

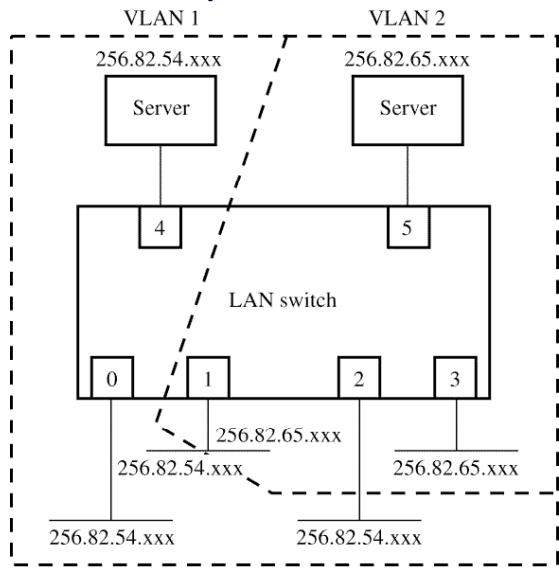
A partir dels **ports** als que estan connectades les estacions als commutadors, de les **adreses MAC** dels equips, del **camp tipus** de la trama *Ethernet* (protocol superior), d'**adreses IP** (subxarxa lògica) o per **protocols de nivell superior**.



= Port  $n$

VLAN 1 = Ports 1, 2, 6, 7

VLAN 2 = Ports 3, 4, 5, 8



VLAN 1 = Network 256.82.54.xxx

VLAN 2 = Network 256.82.65.xxx

131

# LANs Virtuals

- Tipus d'enllaços

➤ Enllaços d'accés (*Access links*): Aquells que pertanyen a una única VLAN

➤ Enllaços troncals (*Trunk links*): Transporten informació de varíes VLANs

Cal identificar a quina VLAN pertanyen les trames ➔ **IEEE 802.1Q** (protocol d'etiquetat, *frame tagging*): VLAN ID (VID). (A Cisco: ISL, *Inter-Switch Link*)

Les etiquetes només es fan servir en els enllaços troncals i després s'eliminen.

Les etiquetes són de 4 bytes i s'afegeixen entre el camp d'adreça MAC origen i el camp longitud/tipus (Increment mida màxima de trama: 1522 bytes):

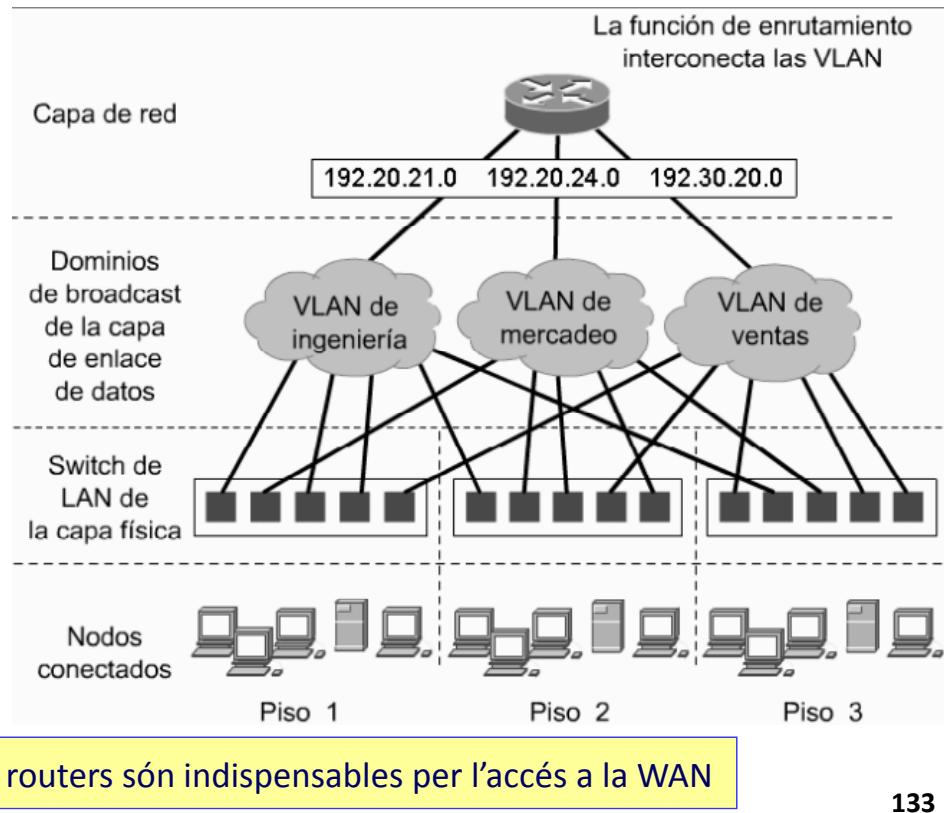
- **TPID** – *Tag protocol identifier* (0x8100), indica que és una trama etiquetada.
- **TCI** – *Tag control information*: informació de prioritat 802.1p (PCP, 3 bits), el VID (*VLAN Identifier*, 12 bits) i un bit DEI (*Drop Eligible Indicator*).

16 bits	3 bits	1 bit	12 bits
TPID	TCI		
	PCP	DEI	VID

132

## LANs Virtuals

Els routers són necessaris per interconnectar VLANs. Aquests poden estar integrats en els commutadors o ser routers externs



133

## LANs Virtuals

- **Tipus VLANs:**
  - Estàtiques: per port.
  - Dinàmiques: per software (*VLAN Management Policy Server*, VMPS).
- **Avantatges d'utilitzar VLAN:**
  - Millora del rendiment: limitació del trànsit de broadcast. Menor quantitat de trànsit pel *router*.
  - Independència de la topologia física: connexió de llocs físics diferents en grups de treball amb connexions lògiques.
  - Increment de les opcions de seguretat.
  - Millora de l'administració: forma senzilla, flexible i de baix cost per definir i modificar grups lògics en entorns canviants.

134

## LANs sense fils

---

- Quota de mercat en augment.
- Complement “indispensable” a les xarxes amb fils per satisfer certes necessitats:
  - Mobilitat
  - Flexibilitat (trasllat)
  - Cobertura de llocs difícils de cablejar
  - Treball *ad hoc*
- Problemes que s’han anat resolent:
  - Preu elevat
  - Baixes velocitats
  - Seguretat
  - Necessitats de llicències

135

## Aplicacions

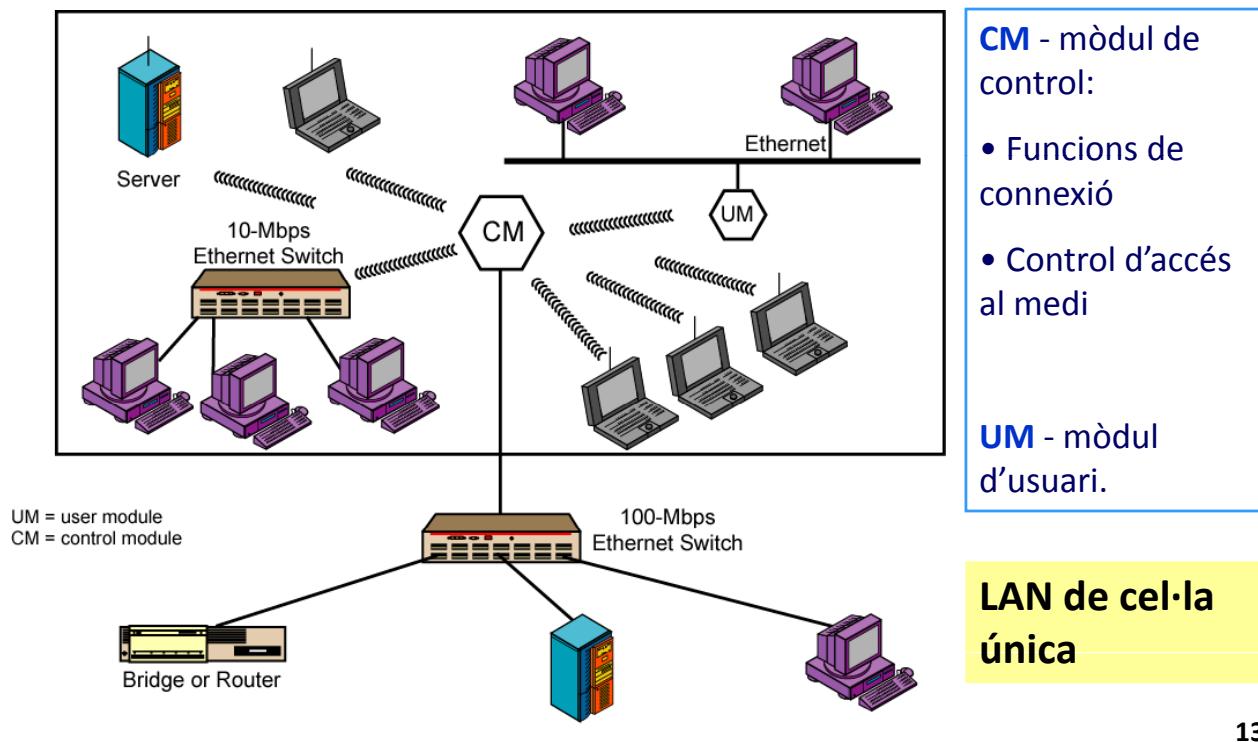
---

- Ampliació de la LAN:
  - Edificis de gran superfície:
    - Plantes de fabricació
    - Superfícies comercials
    - Magatzems
  - Edificis històrics
  - Petites oficines
- Xarxa connectada a la xarxa troncal cablejada

136

## Aplicacions

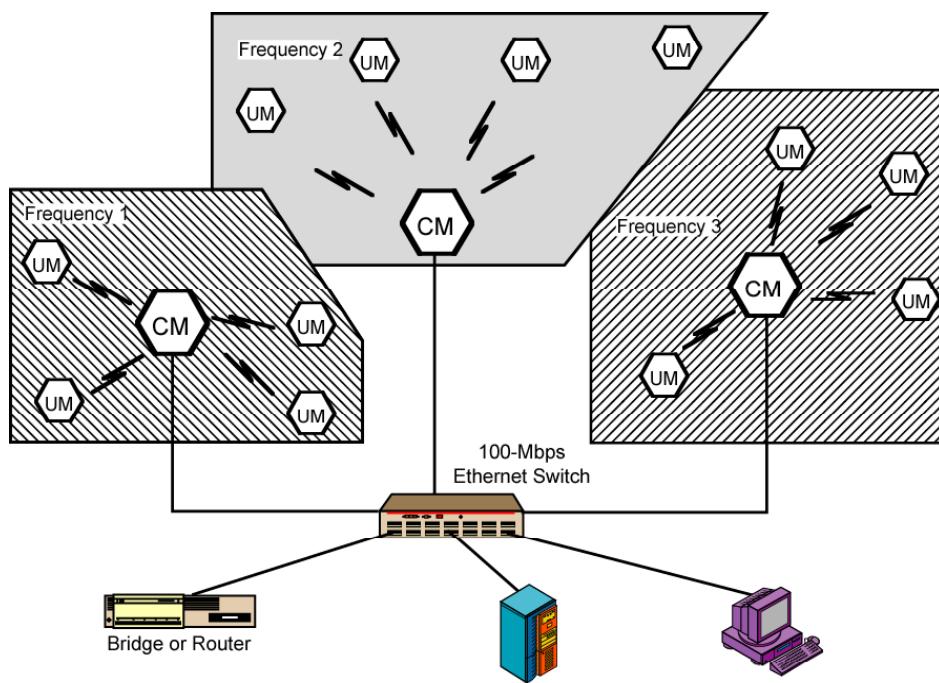
- Ampliació de la LAN:



137

## Aplicacions

- Ampliació de la LAN:

**LAN de múltiples cel·les**

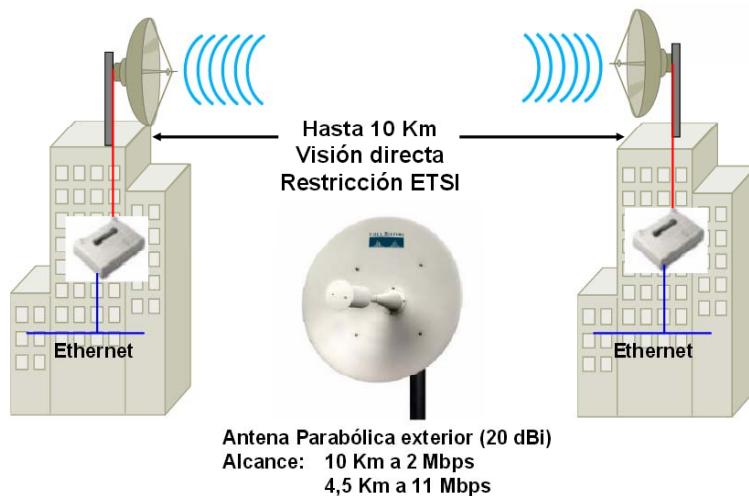
138

## Aplicacions

- **Interconnexió d'edificis:**

- Connexions sense fils punt a punt entre LANs en edificis veïns.
- Generalment es connecten ponts o dispositius d'encaminament.
- Utilitzat on no és possible la connexió amb cable (ex: travessar un carrer).

No és una LAN, però s'inclouen dins d'aquest entorn.

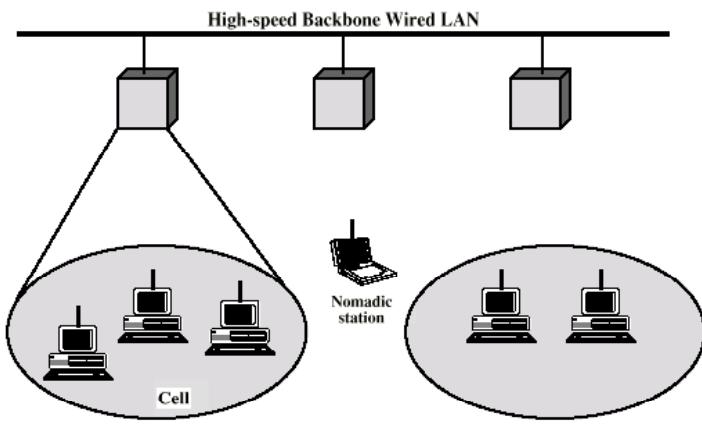


139

## Aplicacions

- **Accés nòmada (ubic):**

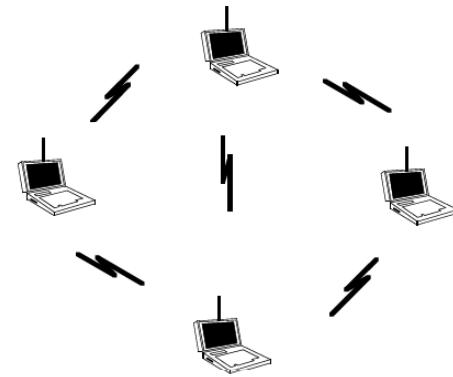
- Terminals de dades mòbils que es connecten a una LAN. Exemple: portàtils,...
- Transferència de dades entre el dispositiu i els servidors de la LAN.
- Campus i entorns grans: connexió des de llocs diferents.



140

## Aplicacions

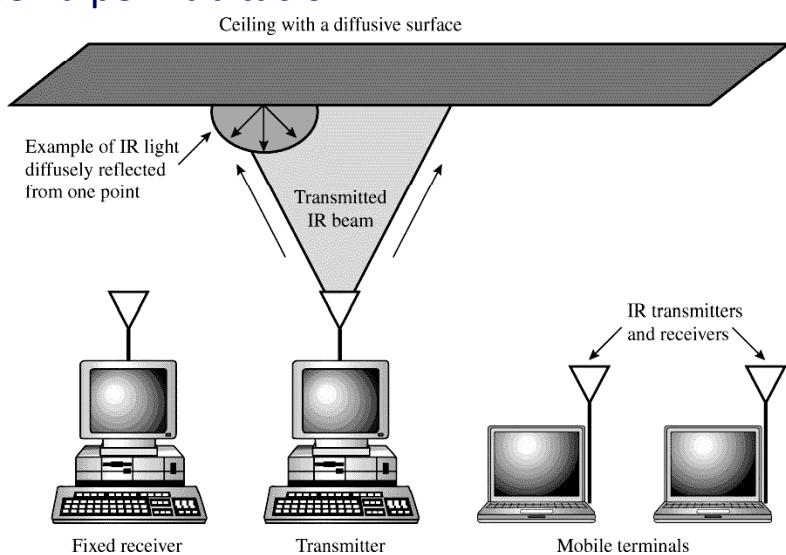
- Treball en xarxa *ad hoc (in situ)*:
  - Xarxa entre iguals (sense servidor central).
  - Establiment temporal, per satisfer necessitats immediates.
  - Reunions de negocis, conferències.
  - Autoconfiguració dinàmica.
  - Xarxes MANET: cada node fa de node final i de router. Xarxa sense fils multi-salt.



141

## Tecnologies

- Infrarojos (IR) → una cel·la per habitació:
  - De feix directe
  - Difusos
  - Omnidireccionals



- Espectre propagat: microones en bandes ISM (Industrial, Científica, Mèdica): 902–928 MHz (banda 915 MHz, de 26 MHz); 2,4–2,4835 GHz (banda 2,4 GHz, de 100 MHz) i 5,725–5,875 GHz (banda 5,8 GHz, de 150 MHz)

142

# IEEE 802.11

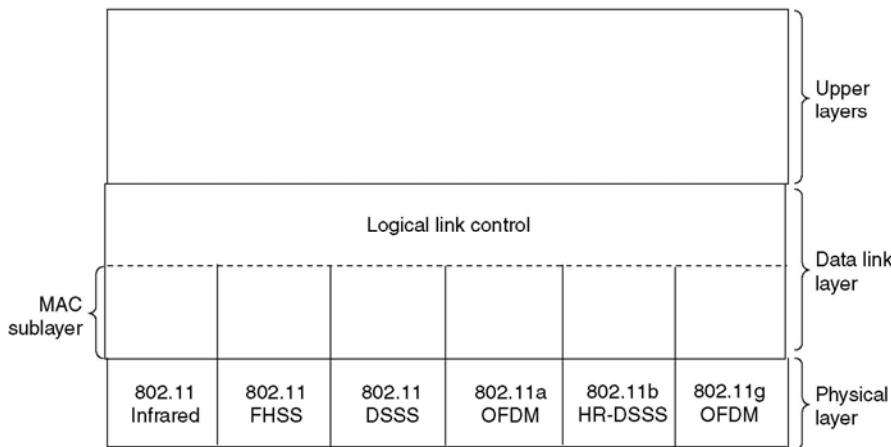
- Estàndards de LANs sense fils (a partir de 1997).



143

# IEEE 802.11

<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>



Any 1997 (IEEE 802.11 - Infrarojos, FHSS i DSSS) → 1 o 2 Mbps

Any 1999 (IEEE 802.11a) → 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54 Mbps

Any 1999 (IEEE 802.11b) → 5,5 i 11 Mbps

Any 2001 (IEEE 802.11g) → fins a 54 Mbps

Any 2009 (IEEE 802.11n) → 300 Mbps i fins a 600 Mbps

Any 2013 (IEEE 802.11ac) → millora de 802.11n. Fins 1Gbps.

Desembre de 2012 (IEEE 802.11ad - WiGig) → fins a 7 Gbps

# IEEE 802.11



LANs sense fils

Estàndard	Abast
IEEE 802.11	Control d'accés a mitjans (MAC): un MAC comú per a les aplicacions WLAN
	Capa física: infrarojos a 1 i 2 Mbps
	Capa física: FHSS de 2,4 GHz a 1 i 2 Mbps
	Capa física: DSSS de 2,4 GHz a 1 i 2 Mbps
IEEE 802.11a	Capa física: OFDM de 5 GHz a velocitats de 6 a 54 Mbps
IEEE 802.11b	Capa física: DSSS de 2,4 GHz a 5,5 i 11 Mbps
IEEE 802.11c	Funcionament de pont a la capa MAC 802.11
IEEE 802.11d	Capa física: ampliar el funcionament de les WLAN 802.11 a nous dominis reguladors (països)
IEEE 802.11e	MAC: millora per perfeccionar la qualitat de servei i els mecanismes de seguretat
IEEE 802.11f	Pràctiques recomanades per a interoperativitat de punts d'accés de diversos proveïdors
IEEE 802.11g	Capa física: ampliar el 802.11b a velocitats de dades de >20 Mbps
IEEE 802.11h	Física/MAC: millorar l'IEEE 802.11a per afegir una selecció de canals interiors i exteriors i per perfeccionar la gestió de l'espectre i de la potència de transmissió
IEEE 802.11i	MAC: millorar els mecanismes de seguretat i autenticació
IEEE 802.11j	Física: millorar l'IEEE 802.11a perquè s'adapti als requisits del Japó
IEEE 802.11k	Millors en el mesurament dels recursos de ràdio per proporcionar una interfície amb capes més altes per a mesuraments de ràdio i de xarxa
IEEE 802.11m	Manteniment de l'estàndard IEEE 802.11-1999 amb correccions tècniques i editorials
IEEE 802.11n	Física/MAC: millores per habilitar una productivitat més alta
IEEE 802.11p	Física/MAC: accés sense fil en entorns vehiculars
IEEE 802.11r	Física/MAC: itinerància ràpida (transició BSS ràpida)
IEEE 802.11s	Física/MAC: treball en xarxa de malla ESS
IEEE 802.11,2	Pràctica recomanada per a l'avaluació del rendiment sense fil del 802.11
IEEE 802.11u	Física/MAC: treball en xarxa amb xarxes externes

145

LANs sense fils

# IEEE 802.11

- Capes de la torre de comunicacions 802.11
  - S'apliquen a les capes d'enllaç i física
  - Usen el mateix LLC que les LAN amb fils
  - Tot 802.11 usa la mateixa capa MAC, que és diferent a les LAN amb fils
  - Cadascun dels estàndards 802.11 especifica una capa física diferent
    - p.e. 802.11b té mateixa LLC i MAC que 802.11g, però diferent capa física

146

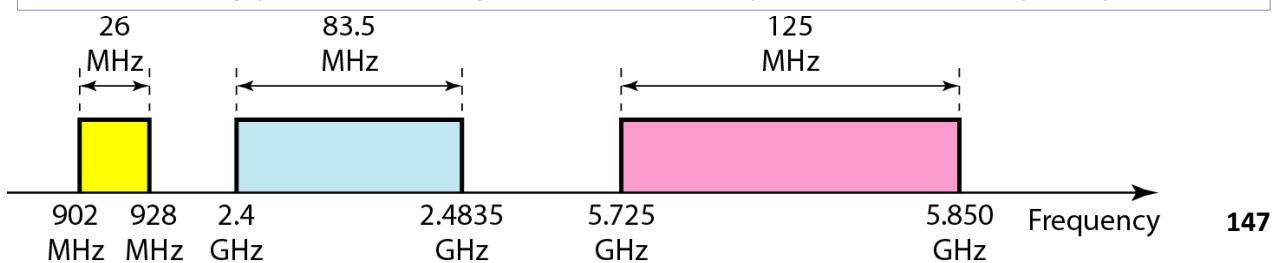
# IEEE 802.11

IEEE	Technique	Band	Modulation	Rate (Mbps)
802.11	FHSS	2.4 GHz	FSK	1 and 2
	DSSS	2.4 GHz	PSK	1 and 2
		Infrared	PPM	1 and 2
802.11a	OFDM	5.725 GHz	PSK or QAM	6 to 54
802.11b	DSSS	2.4 GHz	PSK	5.5 and 11
802.11g	OFDM	2.4 GHz	Different	22 and 54

802.11n | MIMO (Multiple Input – Multiple Output) | 2,4 GHz i 5,7 GHz | fins 450

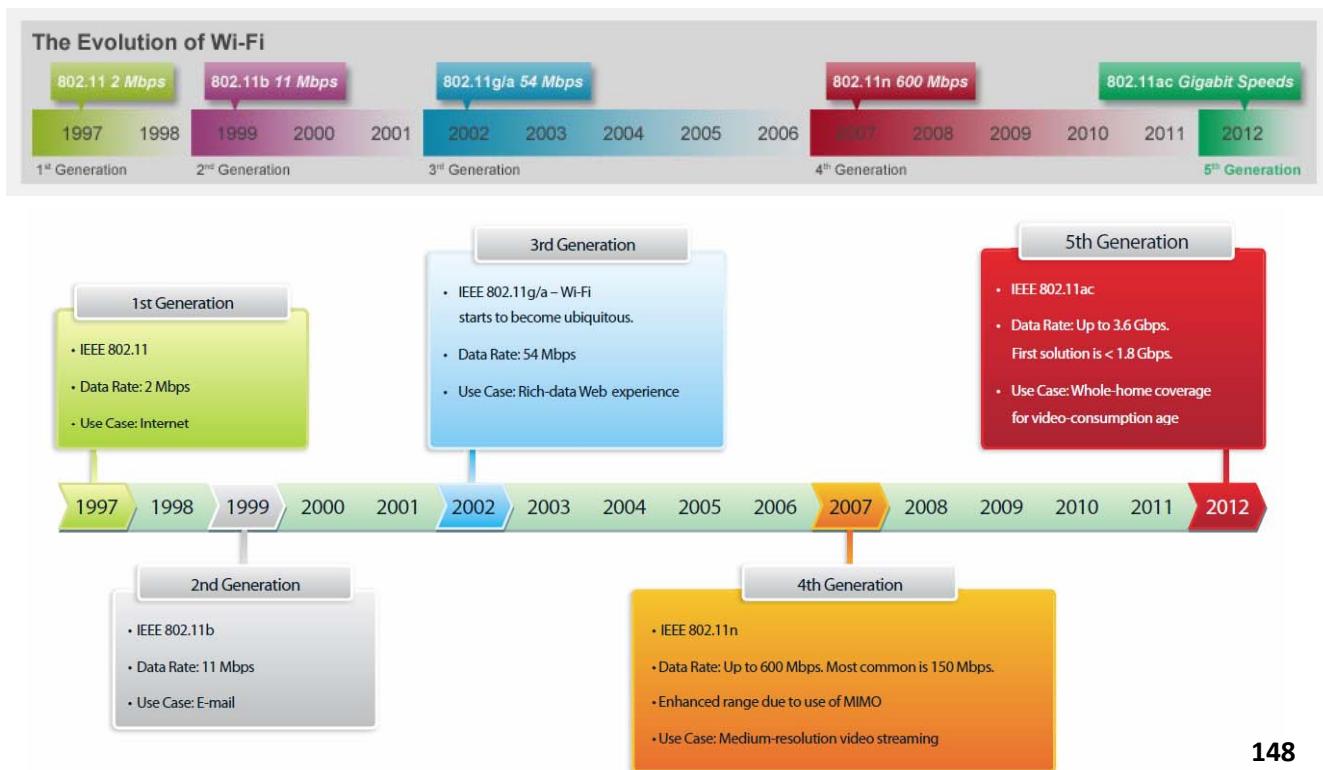
802.11ac | 8 fluxos MIMO, ample de banda de canal de 160 MHz | 5,7 GHz | fins 1,3 Gbps

802.11ab WiGig | OFDM i SC (Single Carrier) | 60 GHz | 7 Gbps



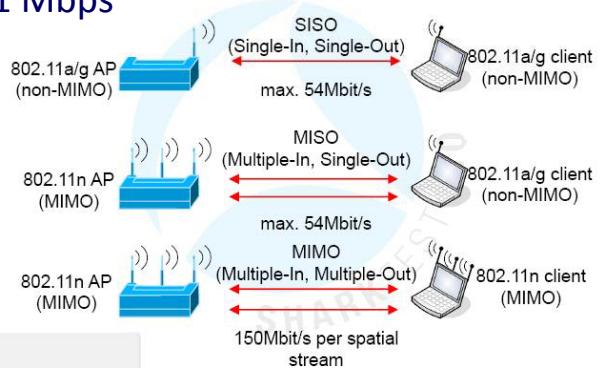
# IEEE 802.11

L'evolució de Wi-Fi (imatges de <http://www.redeszone.net>)



# IEEE 802.11

- Evolució tecnològica:
  - 1997, Infrarojos, FHSS i DSSS: 1 o 2 Mbps
  - 1999, OFDM i HRDSSS: Fins 54 i 11 Mbps
  - 2001, nou OFDM: Fins 54 Mbps
  - 2009, MIMO: Fins 450 Mbps
  - 2012, OFDM/SC: Fins 8 Gbps
  - 2013, *Beamforming*, MU-MIMO



149

# IEEE 802.11

## Capa física:

- Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS
  - Senyal distribuït sobre tot l'ample de banda del canal
  - Senyal amb més ample de banda del necessari
- Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS
  - Senyal amb l'ample de banda necessari
  - Salts entre subcanals dins l'ample de banda del canal
- High Rate Direct Sequence Spread Spectrum, HRDSSS
  - DSSS a més velocitat
- Orthogonal Frequency Division Multiplexed, OFDM
  - Divisió de l'ample de banda del canal en subportadores
  - Senyal dividit en els portadors, amb redundància
- InfraRed, IR
  - Infrarojos

150

# IEEE 802.11

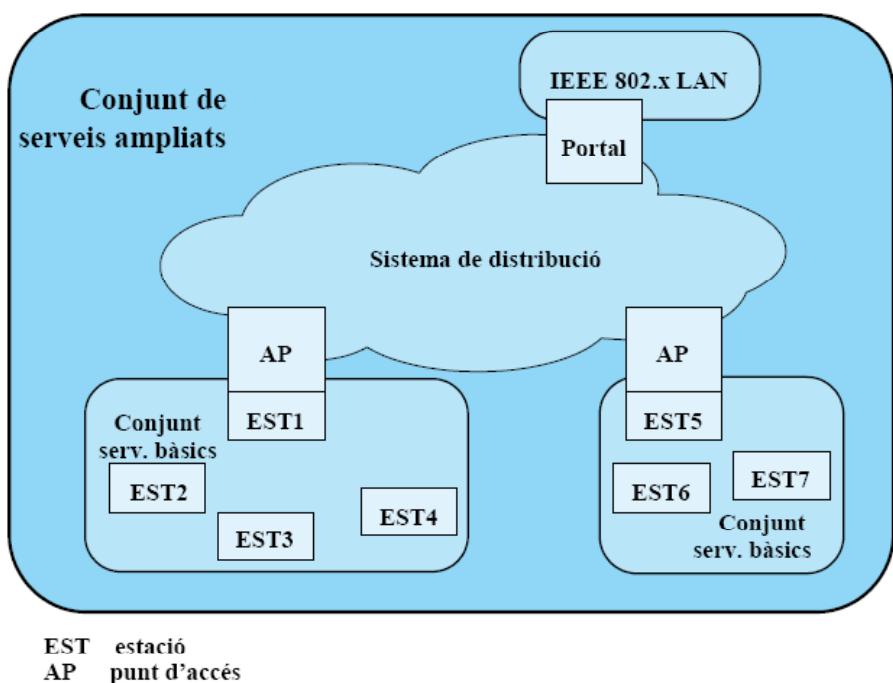
- Conjunt de serveis bàsics  
**(BSS, Basic Services Set)** – Cel·la
  - Grup d'estacions executant el mateix protocol MAC (competint per l'accés al medi compartit).
  - Pot estar aïllat o connectat al *backbone* a través d'un punt d'accés.
- Conjunt de serveis d'ampliació  
**(ESS, Extended Services Set)**
  - Dos o més BSS connectats per un sistema de distribució.
  - Apareix com una única LAN lògica a nivell LLC.

151

# IEEE 802.11

- Terminologia IEEE 802.11

BSS  
 ESS  
 Punt d'accés (AP)  
 Funció de coordinació  
 Sistema de distribució (DS)  
 Estació (EST)



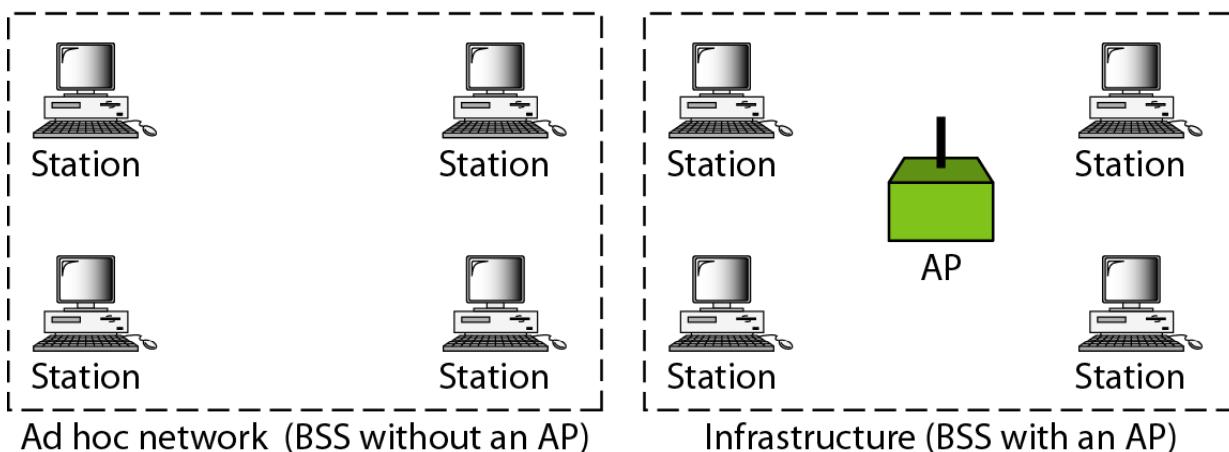
152

# IEEE 802.11

- **BSS i ESS**

**BSS:** Basic service set

**AP:** Access point



**IBSS (Independent Basic Service Set): Ad-Hoc Network**

Limitació en l'espai i en el temps

Espontànies i de ràpida configuració

153

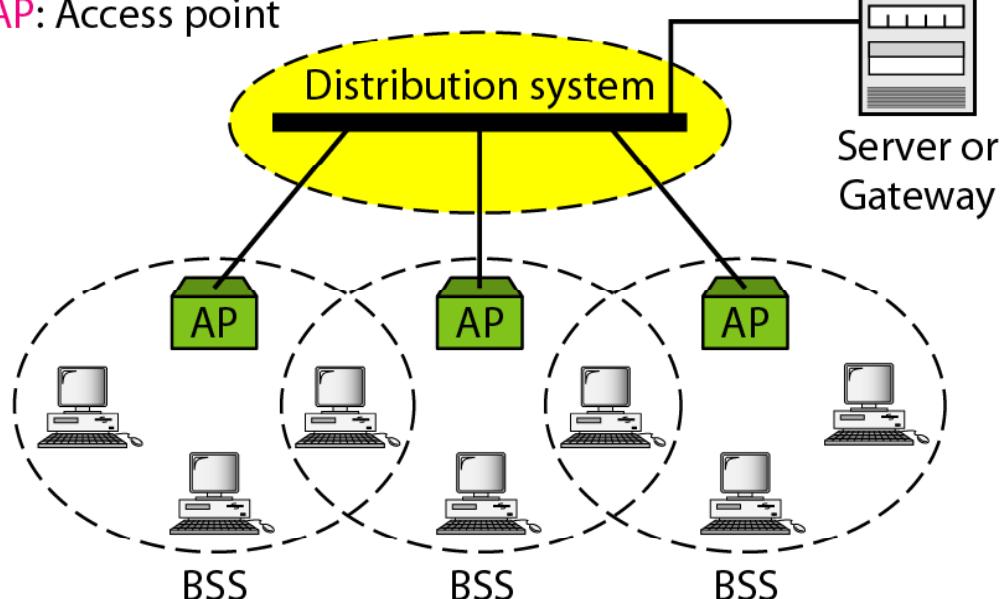
# IEEE 802.11

- **BSS i ESS**

**ESS:** Extended service set

**BSS:** Basic service set

**AP:** Access point



154

## IEEE 802.11

---

- Tipus d'estacions definides per l'estàndard en funció de la mobilitat:
  - Sense transició → Estacionàries o moviment dins d'un BSS.
  - Transició BSS → Desplaçament d'un BSS a un altre dins d'un ESS.
  - Transició ESS → Desplaçament d'un BSS en un ESS a un altre BSS en un ESS diferent. Normalment no es garanteix el manteniment de connexions i es produeix una interrupció del servei.

155

## IEEE 802.11

---

- Serveis oferts per la xarxa sense fils:

Servei	Proveïdor	S'utilitza per admetre
Associació	Sistema de distribució	Lliurament d'MSDU
Autenticació	Estació	Accés i seguretat de la LAN
Desautenticació	Estació	Accés i seguretat de la LAN
Desassociació	Sistema de distribució	Lliurament d'MSDU
Distribució	Sistema de distribució	Lliurament d'MSDU
Integració	Sistema de distribució	Lliurament d'MSDU
Lliurament d'MSDU	Estació	Lliurament d'MSDU
Privadesa	Estació	Accés i seguretat de la LAN
Reassociació	Sistema de distribució	Lliurament d'MSDU

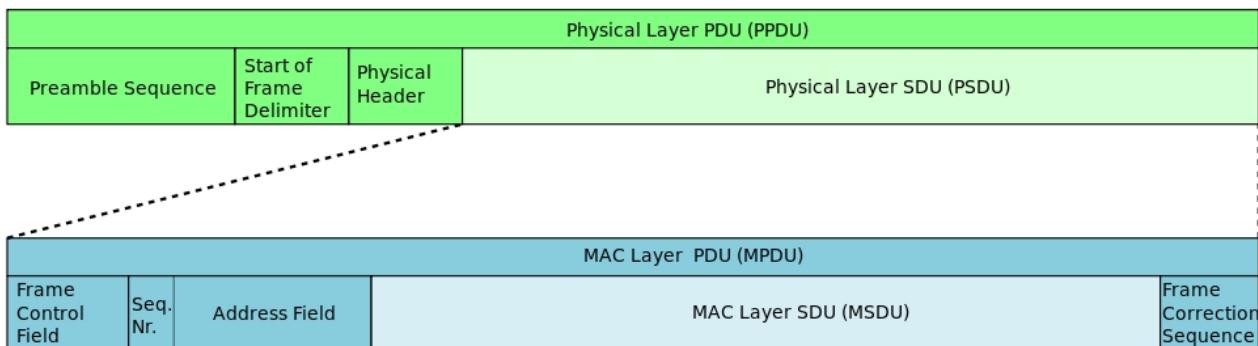
156

# IEEE 802.11

- Unitats de dades:

**Unitat de dades de protocol MAC (MPDU):** Unitats de dades intercanviades entre dues entitats iguals mitjançant MAC als serveis de la capa física.

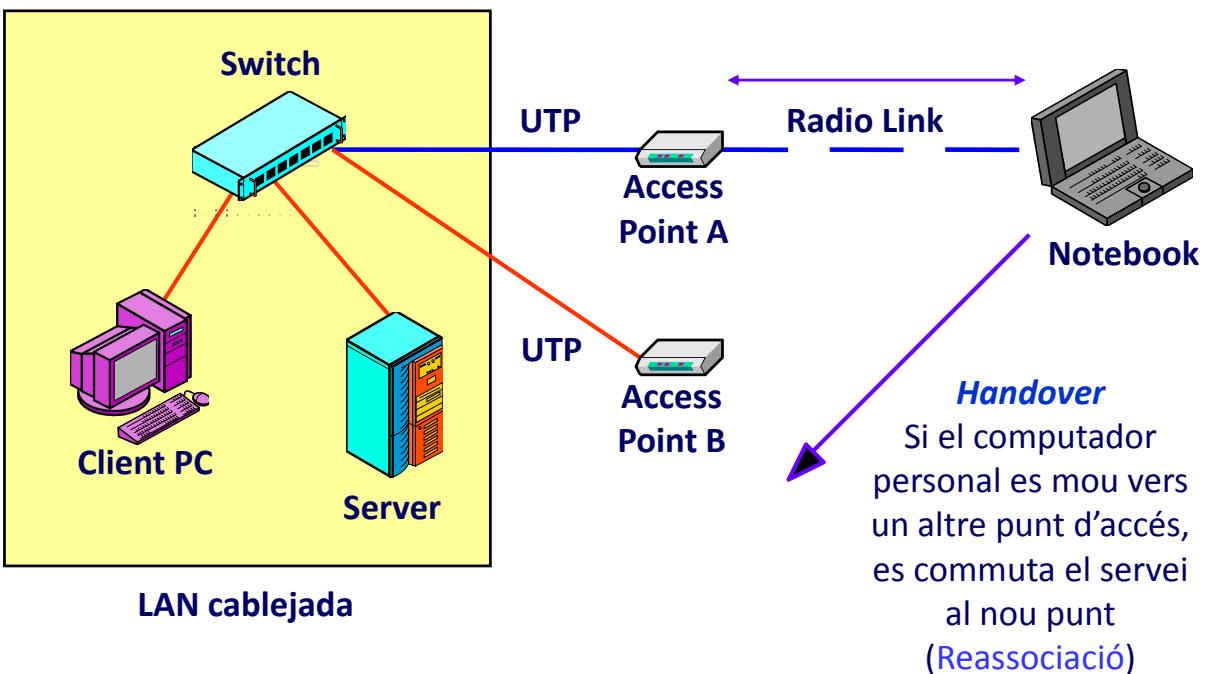
**Unitat de dades de servei MAC (MSDU):** Informació que es lliura com a unitat entre els usuaris de MAC.



157

# IEEE 802.11

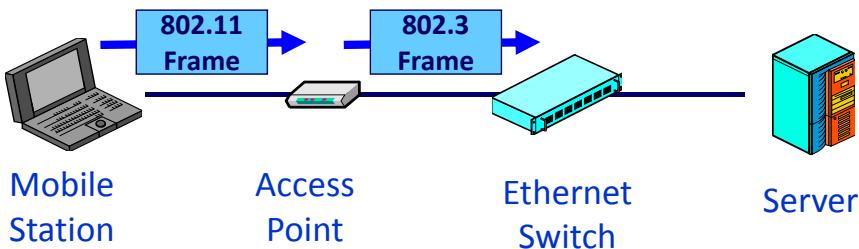
- Mobilitat



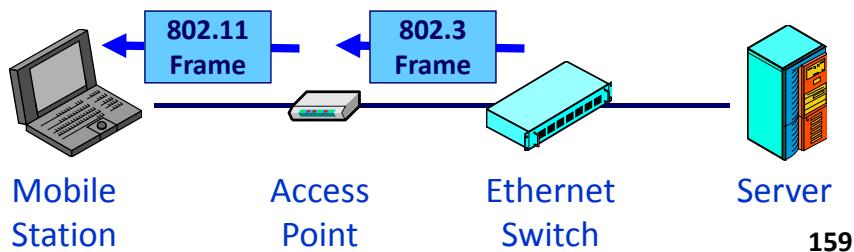
158

## IEEE 802.11

- Tasques dels punts d'accés:



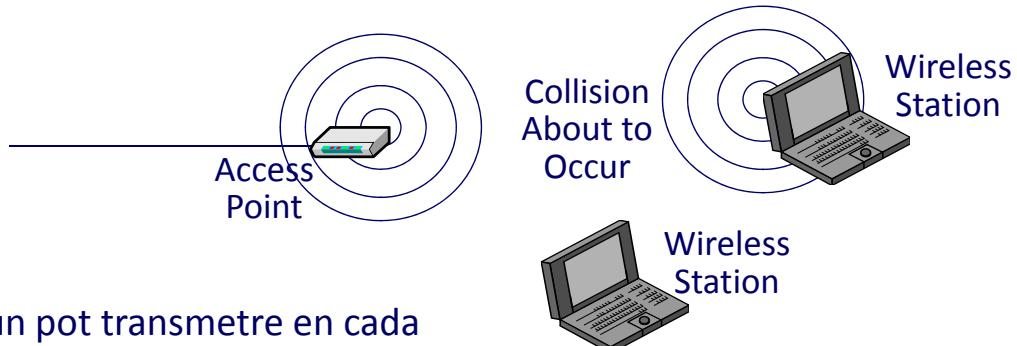
- Permet la connexió dels terminals mòbils als servidors de la xarxa troncal.
- Implementa mètode de control d'accés al medi lliure.
- Fa de pont → converteix la trama 802.11 al format de la trama 802.3 i l'envia cap el servidor (i la operació inversa).



159

## IEEE 802.11

- Les estacions *wireless* i els punts d'accés envien els seus senyals en *broadcast*:



- Només un pot transmetre en cada moment. Si dos o més transmeten a l'hora: **Col·lisió**.

**Cal un Mètode de Control d'Accés**

**Capa MAC 802.11: lliurement fiable de dades, control d'accés i seguretat.**

# IEEE 802.11

- Propostes d'algorismes MAC:
  - Protocol d'accés distribuït → mecanisme de detecció de senyal portador. Per xarxes *ad hoc* i per tràfic a ràfegues
  - Protocol d'accés centralitzat → gestió centralitzada de la transmissió. Molt útil si les dades són sensibles al temps o de prioritat alta



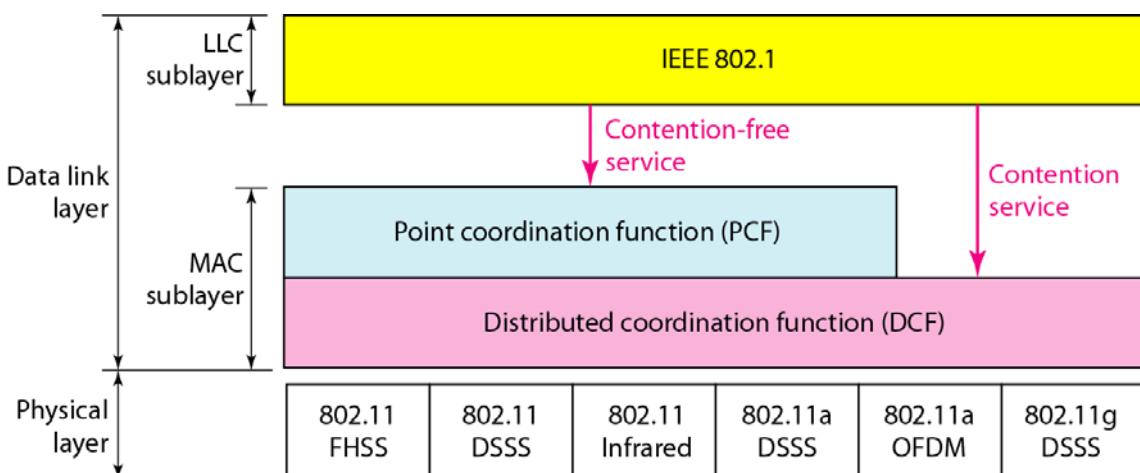
## DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless MAC*)

- MAC sense fils de principi distribuït
- Mecanisme de control d'accés distribuït amb un control centralitzat optional implementat sobre ell.

161

# IEEE 802.11

- Arquitectura MAC 802.11:



**DCF** → Funció de coordinació distribuïda

(Implementa CSMA/CA, sense detecció de col·lisió)

**PCF** → Funció de coordinació de punts

(Implementa sondeig). Fa ús de DCF.

162

# IEEE 802.11

- Control d'Accés al Medi DCF

- Implementat al DCF, però usat també al PCF
- Només una estació del punt d'accés pot transmetre alhora
- Per controlar l'accés (transmissió) es poden usar 2 mètodes
  - CSMA/CA+ACK** (obligatori)  
(*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance + ACK*)
  - RTS/CTS** (opcional excepte si estacions 802.11b i 802.11g comparteixen un punt d'accés 802.11g)  
(*Request to Send / Clear to Send*)

163

# IEEE 802.11

- CSMA/CA + ACK**

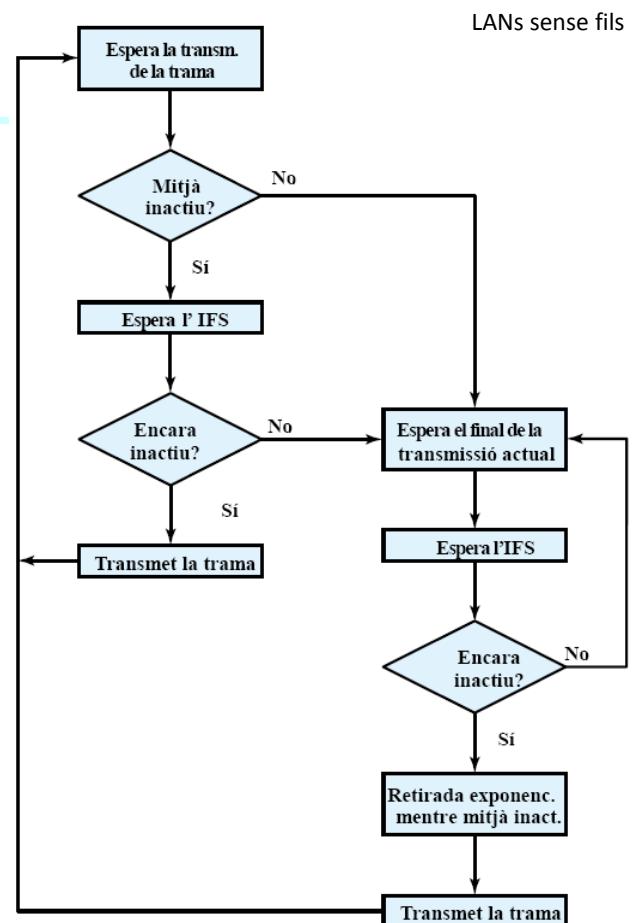
Estació o punt d'accés que vol transmetre:

- Si no hi ha tràfic, podrà transmetre si després d'un cert instant de temps encara està lliure el canal.
- Si hi ha tràfic, l'emissor haurà d'esperar fins que no n'hi hagi.

A continuació haurà d'esperar un cert temps aleatori.

Si passat aquest temps encara no hi ha trànsit → transmetre.

**IFS (Interframe Space)**

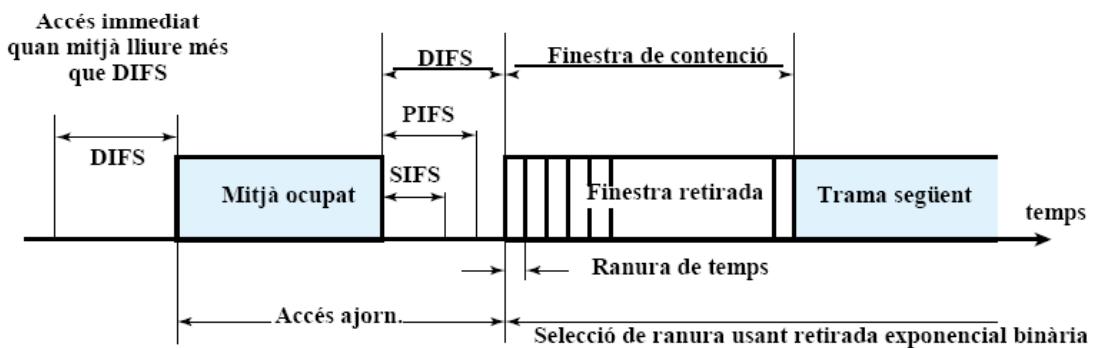


164

# IEEE 802.11

- CSMA/CA + ACK

- Quan el receptor rep una trama dirigida només a ell → transmet immediatament un reconeixement a l'origen, esperant el temps més petit (ACK té prioritat alta).
- Si l'emissor no rep l'ACK retransmet la trama fent servir CSMA/CA.



Accés basat en prioritats → 3 valors de IFS: SIFS, PIFS, DIFS

165

# IEEE 802.11

- Prioritats (IFS, *Inter Frame Space*)

Ús de 3 valors per a l'espai entre trames

- SIFS (*short IFS*):

- IFS més curt
- Per a les trames més prioritàries

- PIFS (*point coordination function IFS*):

- IFS longitud mitja
- Usada pel controlador central per enviar sondejos PCF

- DIFS (*distributed coordination function IFS*):

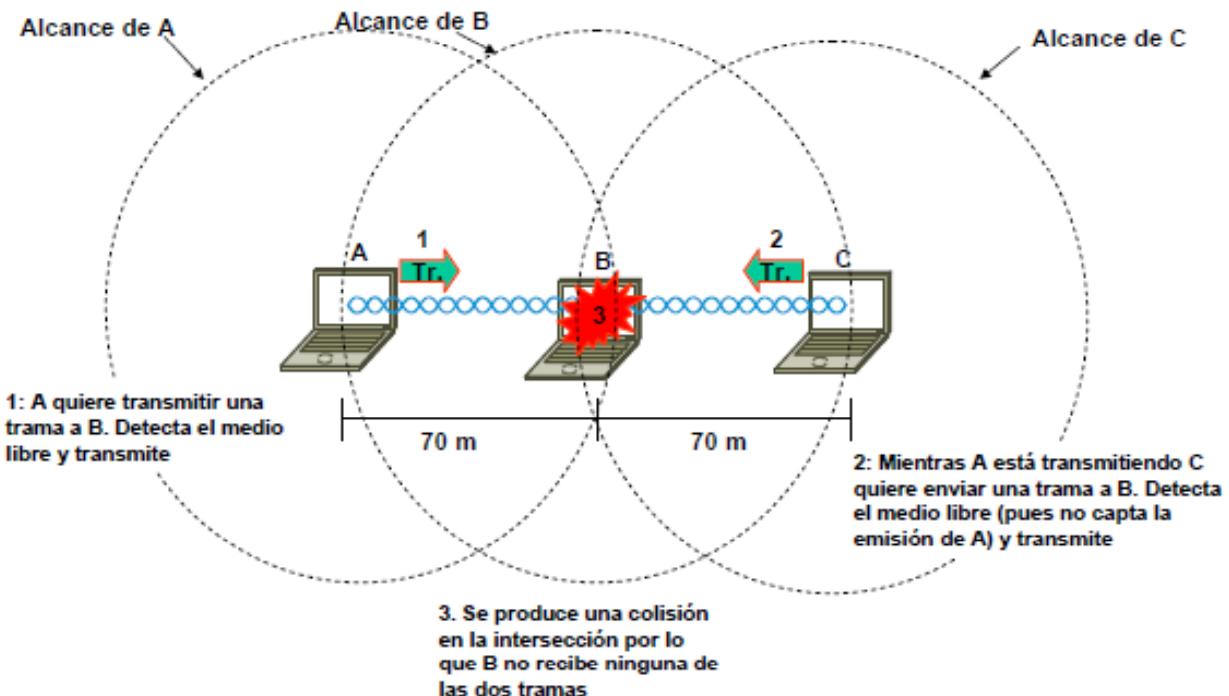
- IFS més llarg
- Usat com a retard mínim per a trames asíncrones que competeixen per l'accés

- 802.11b: SIFS: 10 µs, PIFS: 30 µs, DIFS: 50 µs

166

# IEEE 802.11

- Problema de l'estació oculta

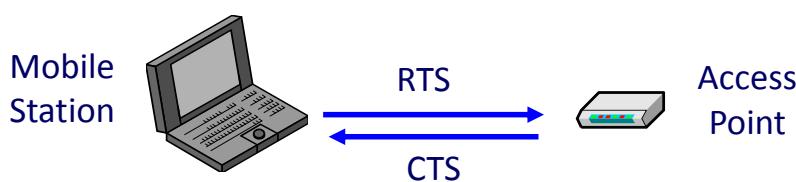


167

# IEEE 802.11

- CSMA/CA + ACK + RTS/CTS

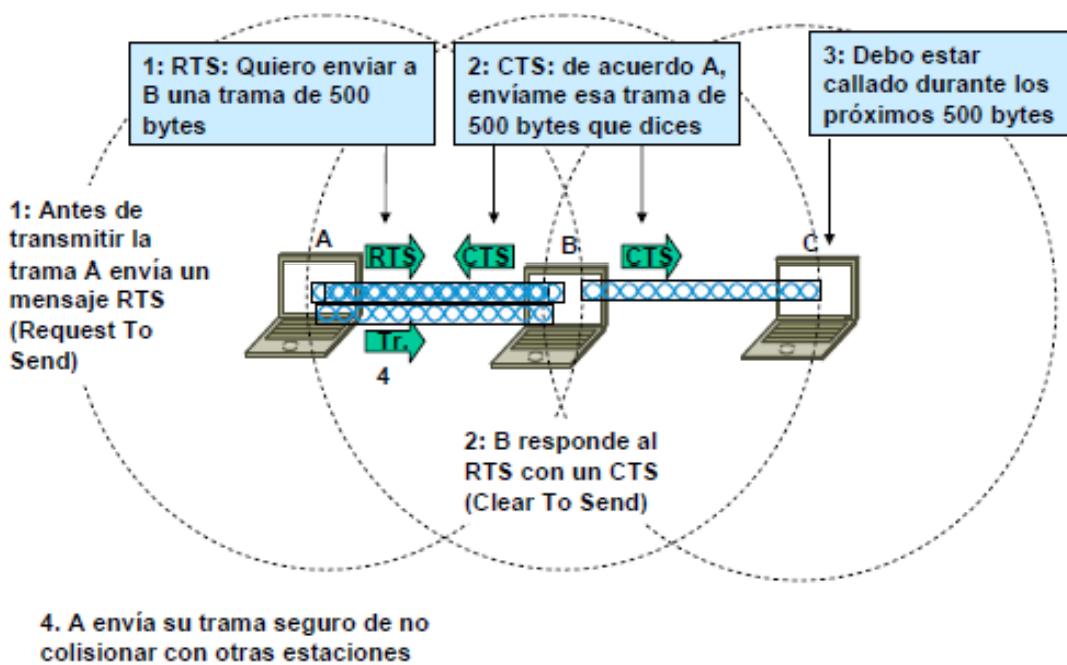
- Per assegurar que la trama de dades que es vol enviar per una estació es podrà transmetre
- **RTS : Request to Send / CTS : Clear to Send**
  - L'estació envia primer una trama petita RTS
  - L'estació a la que va dirigida la trama contesta immediatament amb un CTS si està preparada per rebre (espera SIFS).
  - La resta d'estacions reben el RTS i aplacen l'ús del medi fins que detecten un CTS corresponent o fins que expira un timer.



168

# IEEE 802.11

- Problema de l'estació oculta: Solució

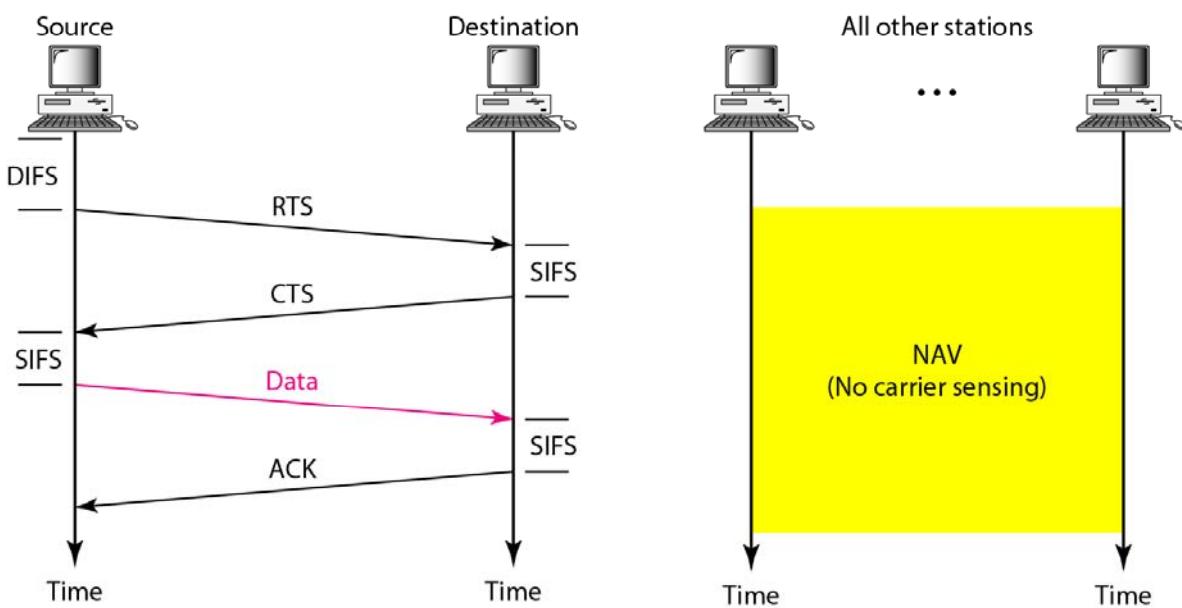


169

# IEEE 802.11

- CSMA/CA + ACK + RTS/CTS
  - L'estació envia les dades (SIFS)
  - Receptor envia ACK (SIFS)

*Network Allocation Vector (NAV)*

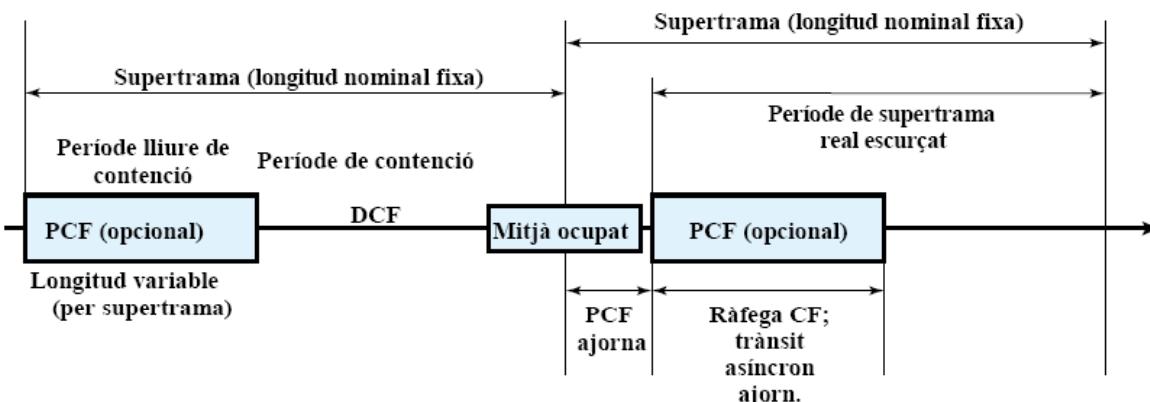


170

# IEEE 802.11

- Funció de coordinació puntual:

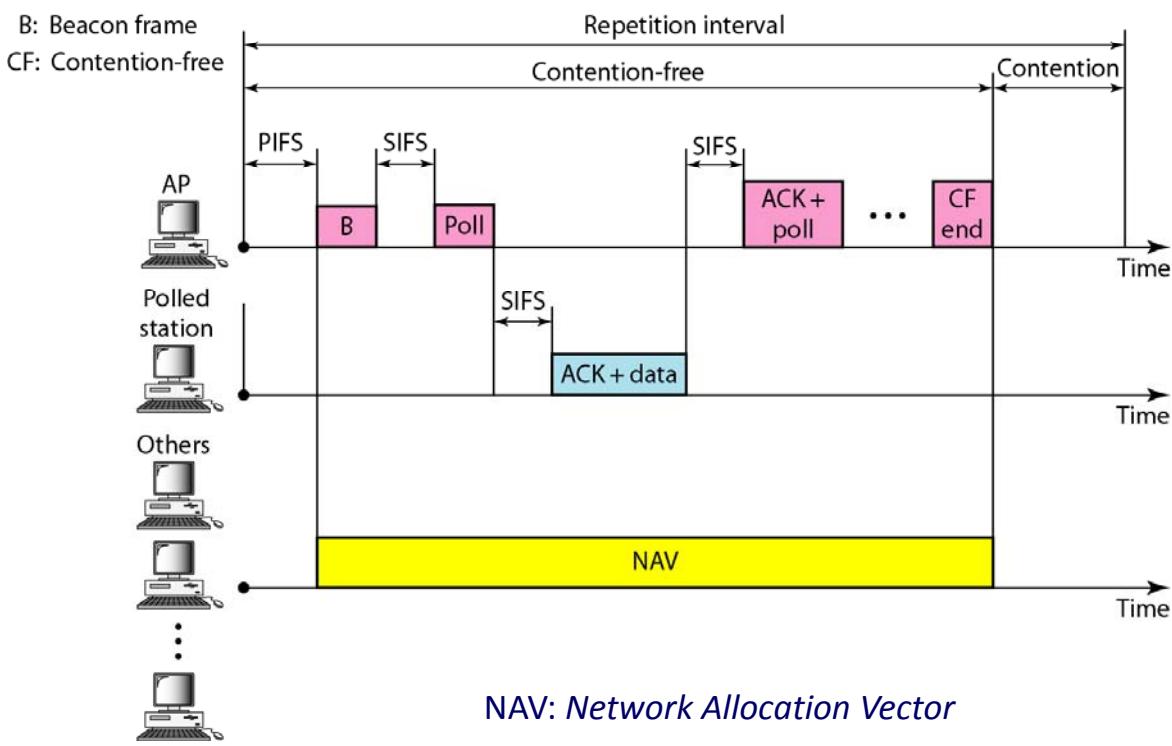
- Realització d'un sondeig per part d'un gestor de sondeig centralitzat.
- Ús de temps PIFS per capturar el medi i bloquejar el trànsit asíncron mentre realitza sondeigs i rep responses
- L'estació sondejada contesta utilitzant temps SIFS.
- Ús d'una **supertrama** → al principi el coordinador principal pot enviar sondeigs durant un temps donat. A la resta de la supertrama s'utilitza la baralla.



171

# IEEE 802.11

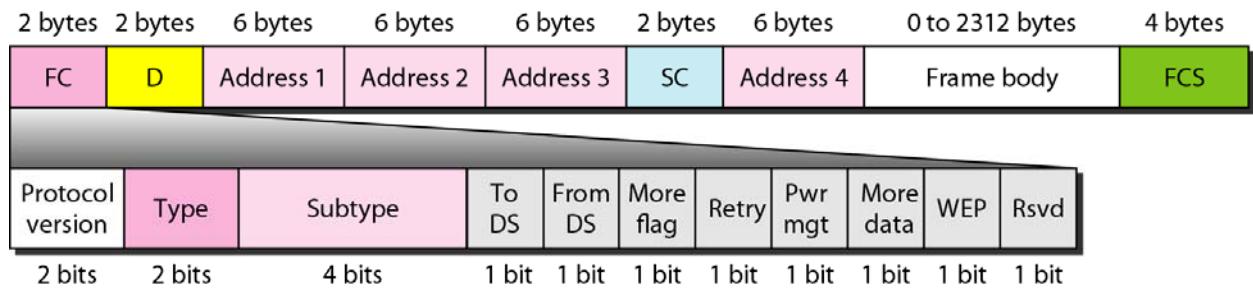
- Funció de coordinació puntual:



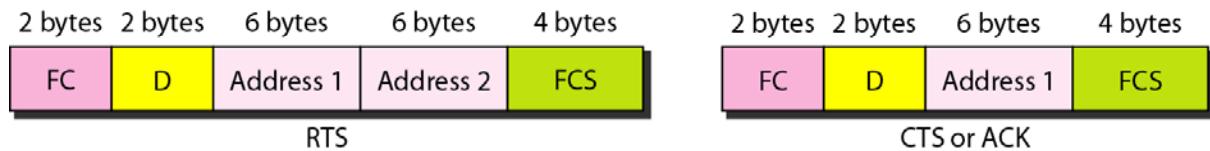
172

# IEEE 802.11

- Format de la trama MAC IEEE 802.11



Trames de control:



173

# IEEE 802.11

- Format de la trama MAC IEEE 802.11

- FC, Control de trama:
  - Tipus de trama: Control, gestió o dades
  - Proporciona informació de control: fragmentació, privadesa, ..
- D, Id de duració/connexió:
  - Si s'usa com a camp de duració, indica el temps (en  $\mu$ s) que el canal estarà assignat per a una transmissió amb èxit de la trama MAC
  - En algunes trames de control, conté l'identificador d'associació o de connexió
- Adreces:
  - El nombre i significat dels camps d'adreça de 48 bits depenen del context
  - Els tipus inclouen origen, destí, estació transmissora i estació receptora (p.e. punt d'accés)
- SC, Control de seqüència:
  - Camp de fragmentació (4 bits) i Número de seqüència de trama pel control de flux
- Cos de la trama:
  - MSDU (o un fragment): PDU LLC o informació de control MAC
- FCS:
  - Comprovació de redundància cíclica de 32 bits

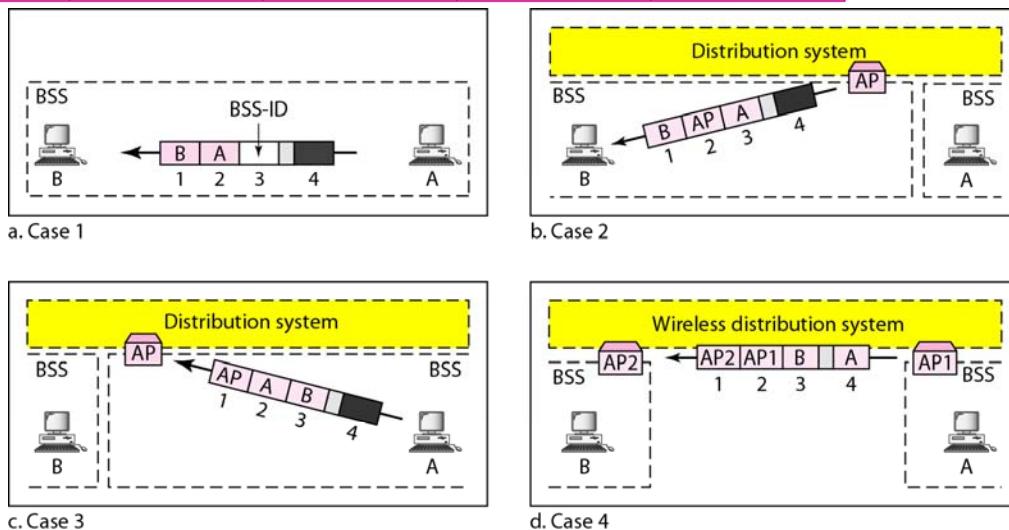
174

# IEEE 802.11

- Mecanismes d'adreçament

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	Destination	Source	BSS ID	N/A
0	1	Destination	Sending AP	Source	N/A
1	0	Receiving AP	Source	Destination	N/A
1	1	Receiving AP	Sending AP	Destination	Source

DS: Sistema de distribució

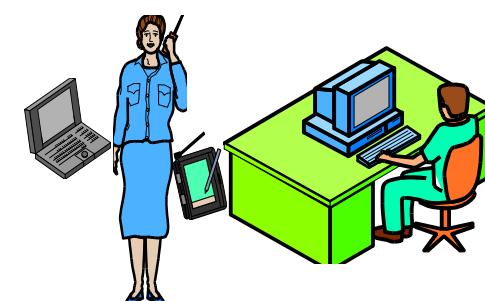
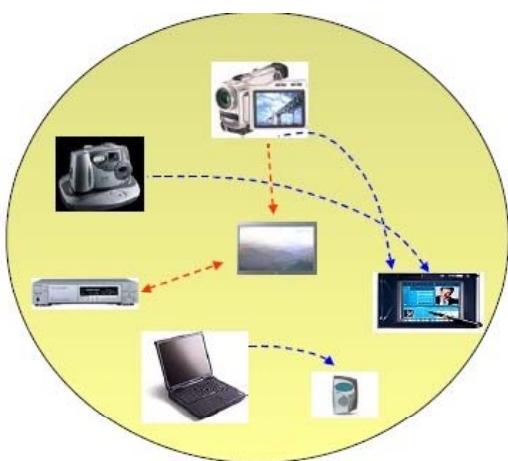


175

PAN

## WPAN (Wireless Personal Area Network)

- Connexió de dispositius d'un usuari personal o d'un entorn de treball:  
PC, Impressora, PDA, Computador portàtil, telèfon, ...
- Objectiu: eliminar cables



Grup de treball:

**IEEE  
802.15**

176

## WPAN (Wireless Personal Area Network)

*Piconet* : conjunt de dispositius (mínim 2) que comparteixen un canal de comunicacions:

- Un dels dispositius és el Master (**M**) i els altres Slaves (**S**)
- El **M** administra sempre el canal
- Dos dispositius que es volen comunicar han de pertànyer a la mateixa piconet
- Un dispositiu pot participar de més d'una piconet
- Els **S** no es comuniquen directament

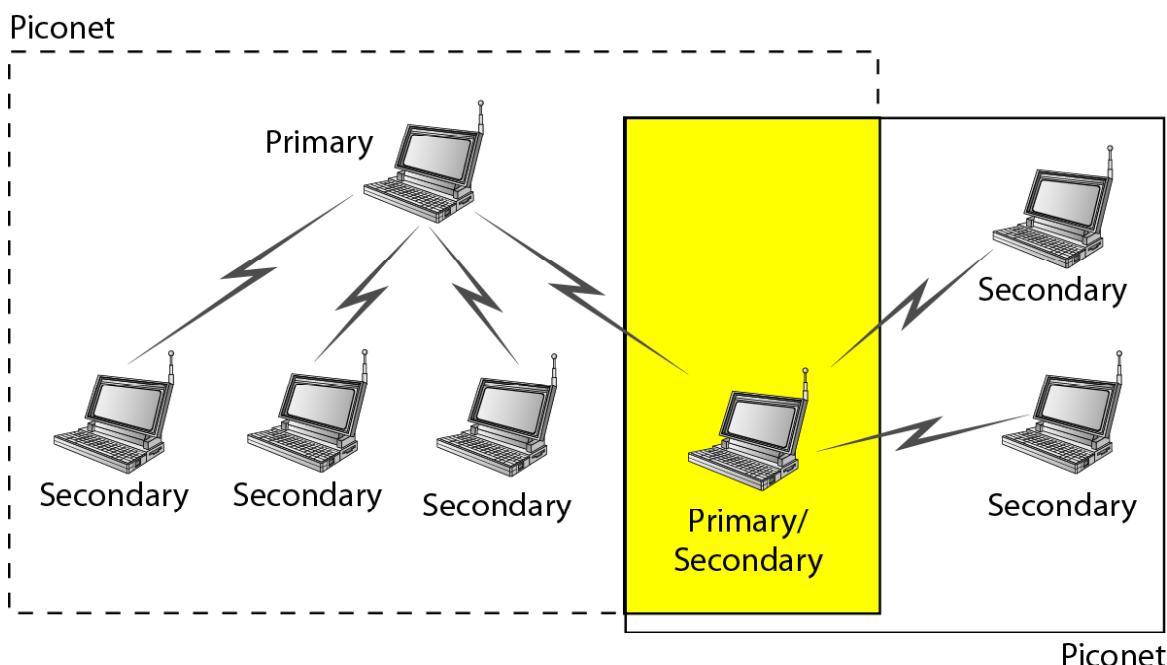
Possibilitat de que hi hagi múltiples piconets en una mateixa zona que es poden sol·lapar (*scatternet*)

- Un **M** només ho pot ser d'una piconet

177

## WPAN (Wireless Personal Area Network)

### *Scatternet*

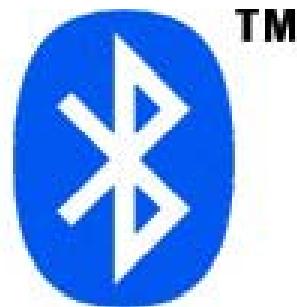


178

## Bluetooth

---

- Grup d'interès especial (SIG): Ericsson, IBM, Intel, Nokia i Toshiba (1998).
- Juliol de 1999 → especificació 1.0 (1500 pàgines).
- IEEE 802.15 → PAN sense fils. Adopta com a base l'especificació anterior.
- IEEE 802.15.1 (any 2002) → primer estàndard (només capa física i d'enllaç).
- SIG de *Bluetooth* → Continua les millores (sistema complet: de la capa física a la d'aplicació).



<http://ieee802.org/15/index.html>

<https://www.bluetooth.org/>

179

## Bluetooth

---

- Objectius:
  - Facilitar la comunicació entre dispositius fixos i mòbils.
  - Eliminar cables i connectors entre ells.
  - Poder crear petites xarxes sense fils i facilitar la sincronització entre els equips personals: casa, treball, moviment i oci.
- Aspectes a resoldre:
  - Operatiu a tot el món (banda ISM: Mèdica-Científica-Industrial)
  - Baix consum d'energia i dimensions reduïdes.
  - Suport per veu i dades (multimèdia)



180

## Bluetooth

- Bluetooth permet als dispositius parlar entre ells quan estan dintre de l'abast, fins i tot si no estan en la mateixa habitació, mentre estiguin fins a 100 metres l'un de l'altre, depenent de la classe de potència del producte.
- Els productes estan disponibles en tres classes de potència:

Classe	Potència (mW)	Potència (dBm)	Abast (aproximat)
Classe 1	100 mW	20 dBm	~100 metres
Classe 2	2.5 mW	4 dBm	~10 metres
Classe 3	1 mW	0 dBm	~10cm (1 metres màx)

- Capacitats de transmissió:
  - Versió 1.2: 1 Mbps
  - Versió 2.0 + EDR (*Enhanced Data Rate*): 3 Mbps
  - Versió 3.0 + HS: 24 Mbps
  - Versió 4.0: 1 Mbps a baix consum i fins a 100 metres

181

## Bluetooth

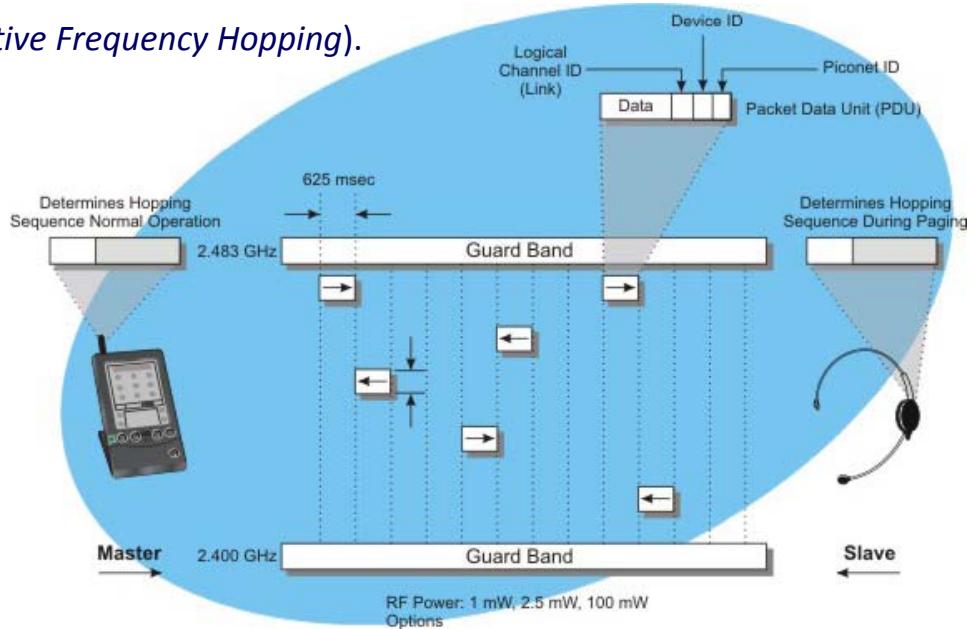
- Els dispositius que incorporen Bluetooth es reconeixen i es “parlen” automàticament.
- El canal queda obert i no requereix de la intervenció directa i constant de l’usuari cada vegada que s’ha d’enviar alguna cosa.
- El transmissor permet enviar veu i dades a una velocitat màxima de 3/24 Mbps i consumeix un 97% menys que un telèfon mòbil.
- Enllaç de radio de baix cost i curt abast.
- Possibilitat de reemplaçar tots els cables que connecten dispositius fent ús d’un enllaç universal de curt abast (de 10 a 100 metres).



182

## Bluetooth

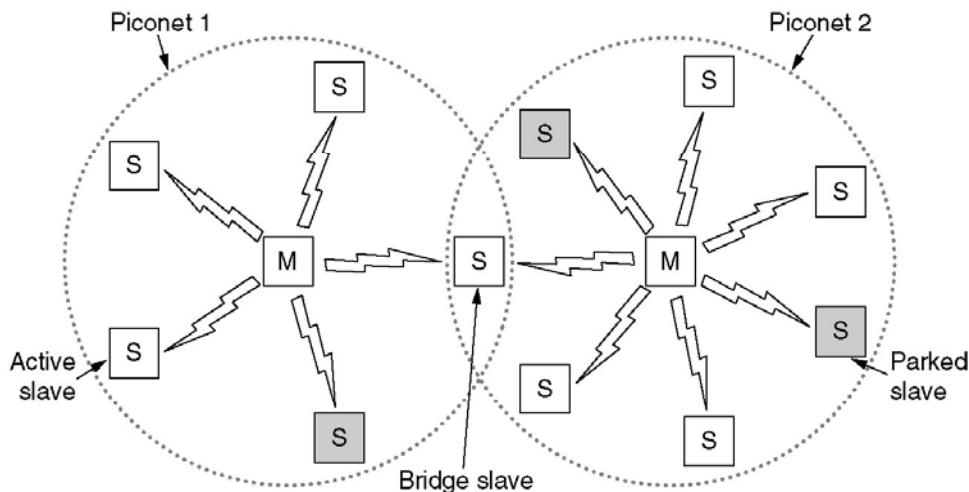
- Conté un transmissor integrat en un petit microxip de 9x9 mil·límetres que opera a una freqüència de 2,4 GHz, dividida en 79 canals de 1 MHz cadascun.
- Fa servir salt de freqüències (FHSS) a nivell físic per evitar interferències, amb 1600 salts per segon (cada 625μs).
- AFH (Adaptative Frequency Hopping).



183

## Bluetooth

- Estructura de Bluetooth
  - Piconet: col·lecció de dispositius (de 2 a 8): un node mestre i fins a set esclaus actius a una distància de 10 metres.
  - Scatternet: vàries piconets independents i interconnectades, a través d'un pont (xarxa dispersa).



184

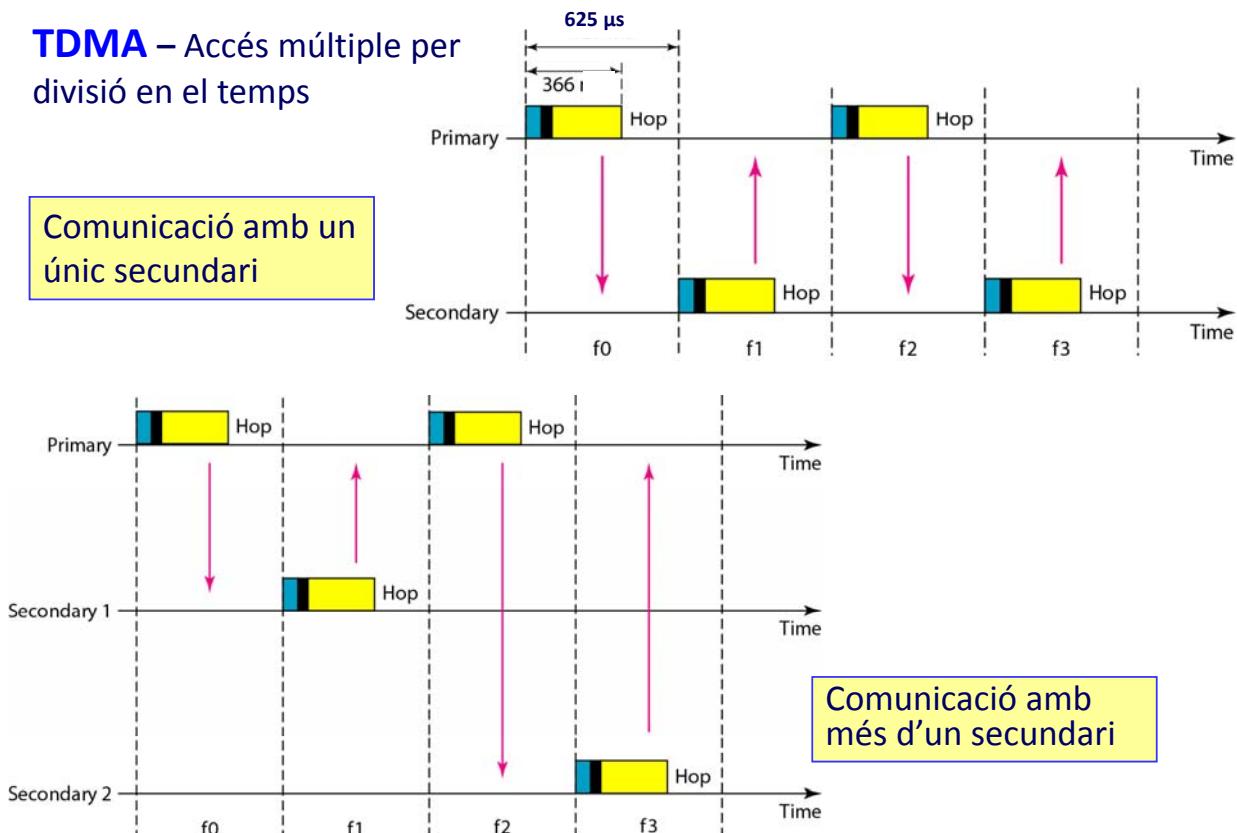
## Bluetooth

- **BD\_ADDR:** *Bluetooth Device Address*. Cada dispositiu transmissor Bluetooth té una adreça única de 48-bits.
- **AM\_ADDR (Active Member Address)** o Adreça MAC: Adreça de 3 bits per distingir als membres actius de la piconet.
- **Parked:** a la piconet hi poden haver fins a 255 nodes estacionats (estat de baix consum). Només poden contestar a un senyal d'activació. No tenen adreça MAC assignada.
- **Mestre/Esclau:** sistema TDM centralitzat. Comunicacions entre el mestre i els esclaus; no hi ha comunicació entre esclaus.

185

## Bluetooth

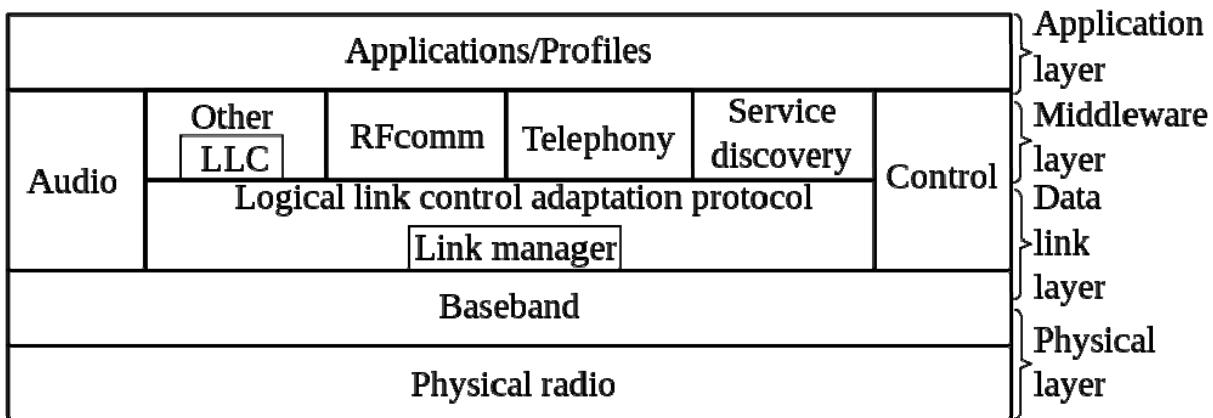
**TDMA** – Accés múltiple per divisió en el temps



186

## Bluetooth

- **Aplicacions de Bluetooth:** l'especificació defineix el suport per a tipus d'aplicacions diferents (**perfils**)
- La pila de protocols
  - No segueix model OSI, ni TCP/IP, ni 802, ...

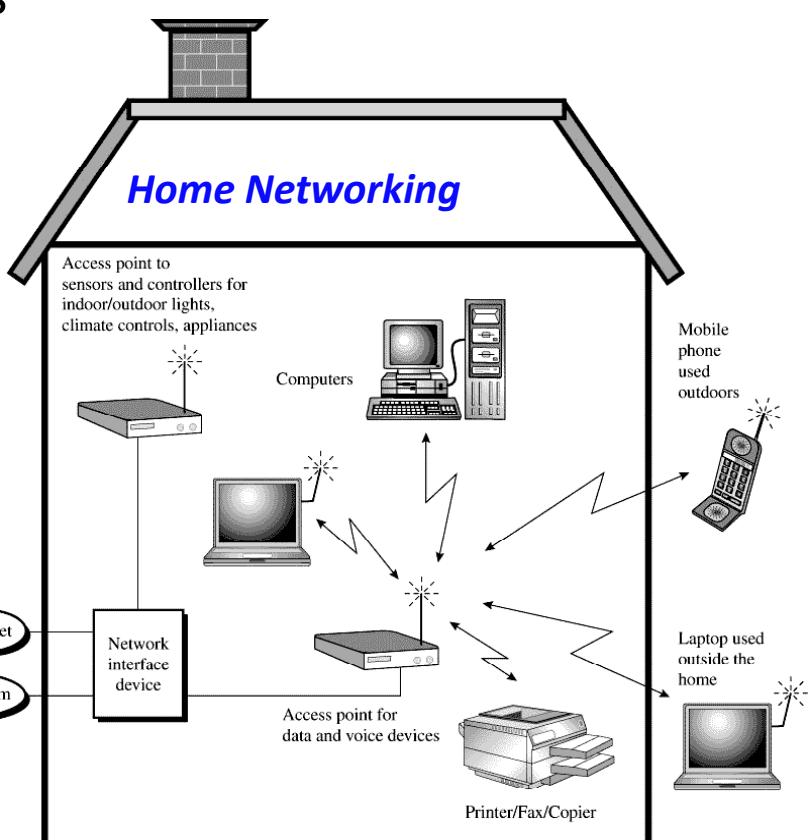


187

## Xarxes domèstiques

- Computadors
- Entreteniment
- Telecomunicacions
- Electrodomèstics
- Telemetria
- Domòtica

- Ethernet
- HomePNA (HPNA)
- Powerline (PLC)
- WLAN (802.11)
- WPAN – Bluetooth
- HomeRF
- ZigBee
- UWB (Ultrawideband)
- Wibree (Bluetooth Low Energy)



188

## Li-Fi

---



<http://purelifi.com/>

189

## Tipus de Xarxes en funció de l'àmbit geogràfic

---

- Camp proper (NFC, *Near Field Communication*)
- Body (BAN, *Body Area Network*)
- Personal (PAN, *Personal Area Network*)
- Near-me (NAN, *Near-me Area Network*)
- Local (LAN, *Local Area Network*)
  - Domèstica (HAN, *Home Area Network*)
  - D'emmagatzematge (SAN, *Storage Area Network*)
- Campus (CAN, *Campus Area Network*, *Corporate Area Network*)
- *Backbone*
- Metropolitana (MAN, *Metropolitan Area Network*)
- Llarg abast (WAN, *Wide Area Network*)
- Internet
- Internet interplanetari

Font: <http://ca.wikipedia.org>

190