

T1 - Introducción a las Redes Inalámbricas

Redes de Comunicaciones
Móviles

Índice

- *Introducción*
- *Fundamentos de las comunicaciones inalámbricas*
- *Caracterización del medio de transmisión*
- *Técnicas de acceso múltiple*

- *Material parcialmente adaptado de las transparencias publicadas por J.F Kurose and K.W. Ross. Computer Networking: A Top Down Approach*

Introducción

Auge = Momento de mayor intensidad, éxito, desarrollo o importancia de algo.

- **Auge de las redes de telefonía móvil:**
 - 34 millones de teléfonos móviles en 1993 → 5.5 billones en 2022
- **Auge del acceso inalámbrico a Internet** Final 2024
8650 millones de móviles
 - El número de dispositivos que se conecta a Internet de forma inalámbrica es equivalente al cableado
hoy en día n: de dispositivos que se conectan inalámbrico > cableado
- **Comunicación en cualquier lugar y a cualquier hora**
- **Las redes inalámbricas presentan dos importantes desafíos:**
 - **Inalámbrico:** Comunicación sobre un enlace inalámbrico
 - **Movilidad:** El usuario se conecta a la red desde diferentes lugares

Introducción

Términos y definiciones

- **Radiocomunicación**

Definición →

- *Telecomunicación por medio de las ondas radioeléctricas*
- *ITU define ondas radioeléctricas como:*
 - “**ondas electromagnéticas** que se propagan por el espacio sin guía artificial ($f < 3000\text{GHz}$)”
- *Consiste en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética denominada portadora mediante modulación, dando lugar a una onda modulada*

Introducción

Términos y definiciones

- **Radiación**
 - Flujo saliente de energía de una fuente cualquiera en forma de ondas
- **Emisión**
 - Radiación producida por una estación radioeléctrica mediante modulación, dando lugar a una onda modulada
- **Radiaciones parásitas**
 - Un sistema de radiocomunicación puede generar y enviar ondas no deseadas

Introducción

Términos y definiciones

- **Estación transmisora**

- Conjunto de equipos para el tratamiento de la información: moduladores, filtros, antena. También se denomina transmisor

- **Estación receptora**

- Conjunto de equipos para el tratamiento de señal recibida: antena, amplificadores, filtros, demoduladores, etc.

- **Antena**

- Dispositivo de acoplamiento de la onda modulada al medio de propagación

Introducción

Términos y definiciones

- **Equipos de transmisión/recepción**
 - Los órganos o elementos de transmisión/recepción y antenas contribuyen de manera positiva en la comunicación
- **Medio transmisión**
 - Introduce pérdidas y diversos tipos de perturbaciones como distorsión, ruido e interferencias.
- **Propagación**
 - Debido a las características de propagación de las ondas radioeléctricas es frecuente que en el receptor existan otras señales emitidas para otros destinos -> señal interferente

Introducción

Modos de explotación

→ También en Cables

- **Se distinguen 3 modos de explotación:**

- **Explotación Simplex:** Transmite información en una sola dirección
- **Explotación Duplex:** Transmite información en ambas direcciones de manera simultanea.
- **Explotación Semiduplex:** Transmiten información en ambas direcciones pero no de manera simultanea.

Introducción

Espectro radioeléctrico

- *El espectro radioeléctrico es un recurso de la naturaleza y es reutilizable y escaso*
- *ITU se encarga de la gestión del espectro. (Reglamento de Radiocomunicación)*
- *El espectro radioeléctrico se divide en Bandas de frecuencias*
- *Las bandas de frecuencia se atribuye a los servicios radioeléctricos*
- *La banda de frecuencias de una estación es la banda de frecuencias para la cual se autoriza su emisión*
- *La anchura de banda es igual al ancho de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia*

Hay bandas licenciadas, y bandas no licenciadas
ej: 40 Principales
Operador tiene una licencia por el
gobierno para emitir en esa banda.
Frecuencia
wifí

Regulación del Espectro Radioeléctrico

Introducción

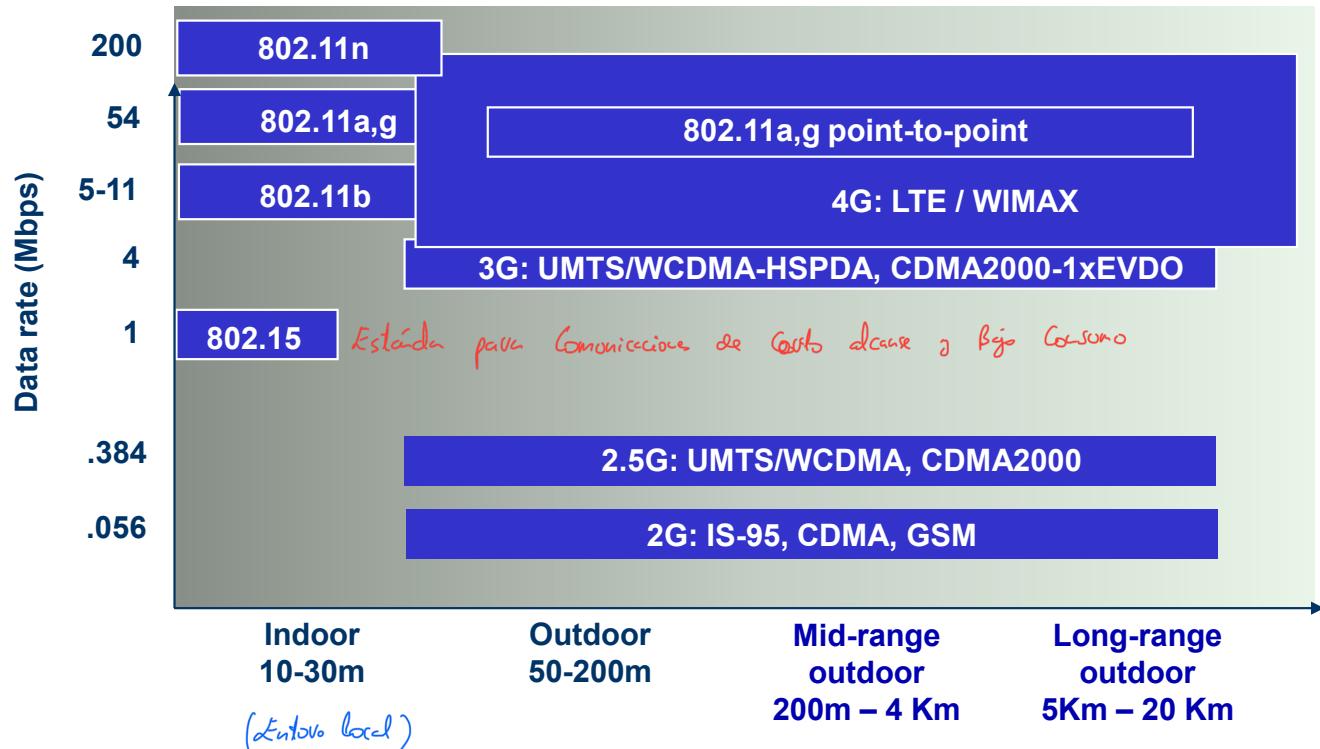
Espectro radioeléctrico

Nº Banda	Símbolo	Frecuencias	Designación
4	VLF	3 a 30kHz	O. Métricas
5	LF	30 a 300 kHz	O.Kilométricas
6	MF	300 a 3MHz	O.Hectométricas
7	HF	3MHz a 30 MHz	O.Decamétricas
8	VHF	30 MHz a 300MHz	O.Métricas
9	UHF	300MHz a 3GHz	O.decimétricas
10	SHF	3GHz a 30GHz	O.centimétricas
11	EHF	30GHz a 300GHz	O.milimétricas
12	THF	300GHz a 3THz	O.decimilimétricas

8: Tel. Móvil ; 9: Bluetooth, Zigbee, wifi ; 10: wifi y Microwands

Introducción

Características de los estándares inalámbricos



Actualizado

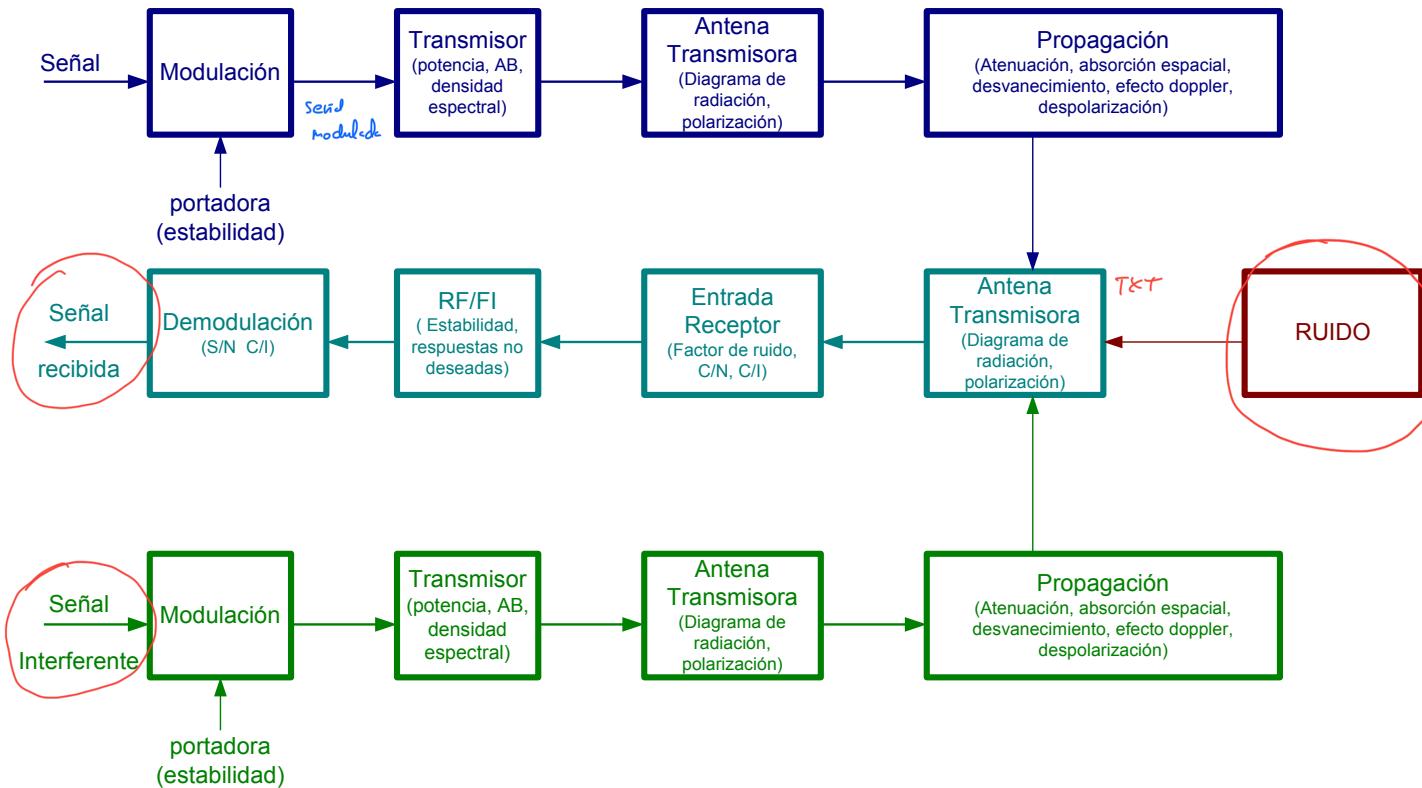
	WI-FI 4	WI-FI 5	WI-FI 6	WI-FI 6E	WI-FI 7	
LANZAMIENTO	2007	2013	2019	2021	2024	wifi 1 → 802.11b wifi 2 → 802.11a wifi 3 → 802.11g
ESTÁNDAR IEEE	802.11n	802.11ac	802.11ax	802.11ax	802.11be	IEEE 802.11
VELOCIDAD MÁXIMA	1,2 Gbps	3,5 Gbps	9,6 Gbps	9,6 Gbps	46 Gbps	La de 6G permite trabajar tanto en 2G, 4G y 5G
BANDAS	2,4 GHz 5 GHz	5 GHz	2,4 GHz 5 GHz	6 GHz 2,4 GHz 5 GHz 5,6 GHz	2,4 GHz 5 GHz 6 GHz	
TAMAÑO DE LOS CANALES (Ancho de Banda)	20 MHz 40 MHz 80 MHz 80+80 MHz 160 MHz	Hasta 320 MHz	"A mayor frecuencia la distancia disminuye" Fórmula de Friis $P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$ • P_r : Potenc. Recibid. • P_t : " " Transmít. • G_t y G_r : Ganancia de los antenas transmís. y recept. • λ = longitud de onda • d = Distancia			
MODULACIÓN	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	1024-QAM	4096-QAM	
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO DL MU-MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO	16x16 UL/DL MU-MIMO	

$$b = \frac{C}{J} = \frac{\text{Velocidad Líq.}}{\text{frecuenc.}}$$

- Si $J \uparrow$, $b \downarrow$ 2,4 GHz ($J = 0,125$)
recd. liga ms lejos que 60 GHz ($J = 0,001$)
- Si $J \downarrow$, $b \uparrow$

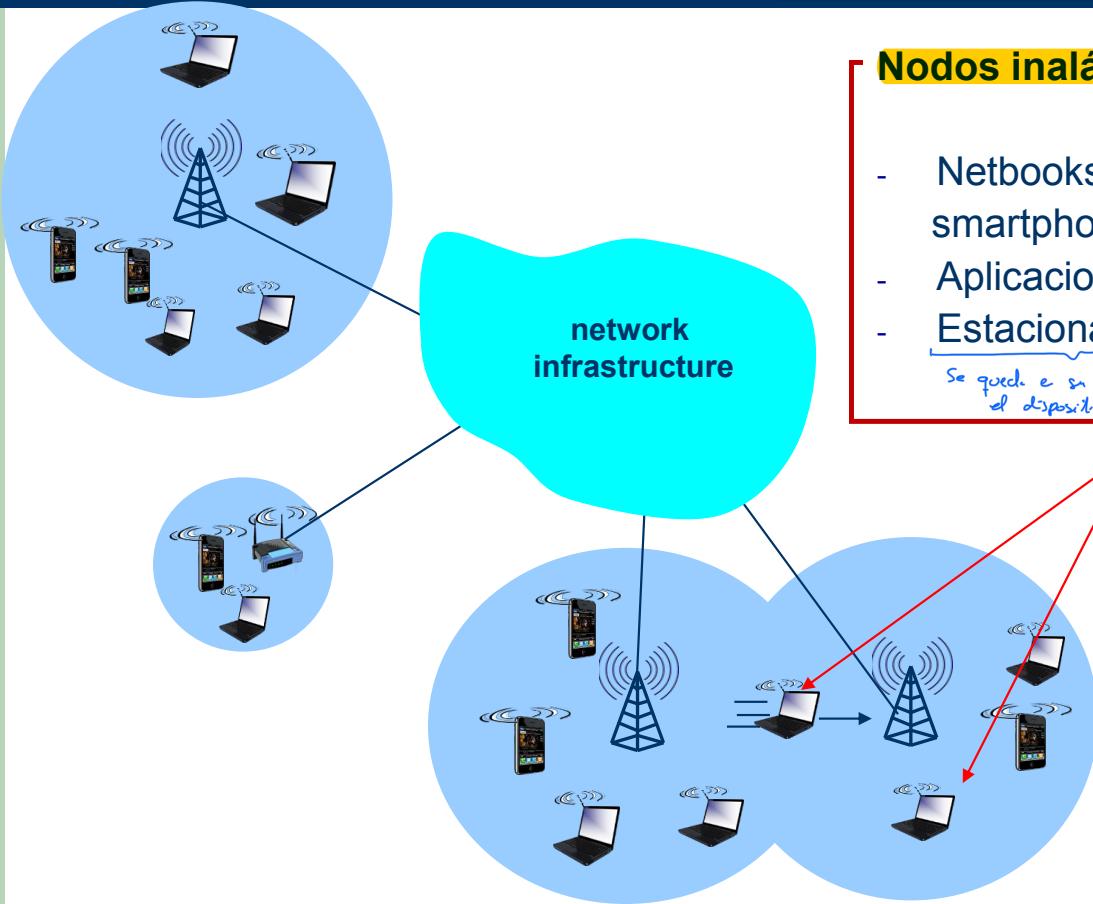
Introducción

Sistema



Fundamentos de las comun. Inalámb.

Elementos de una red inalámbrica



Nodos inalámbricos

- Netbooks, smartphones
- Aplicaciones
- Estacionarios o móviles

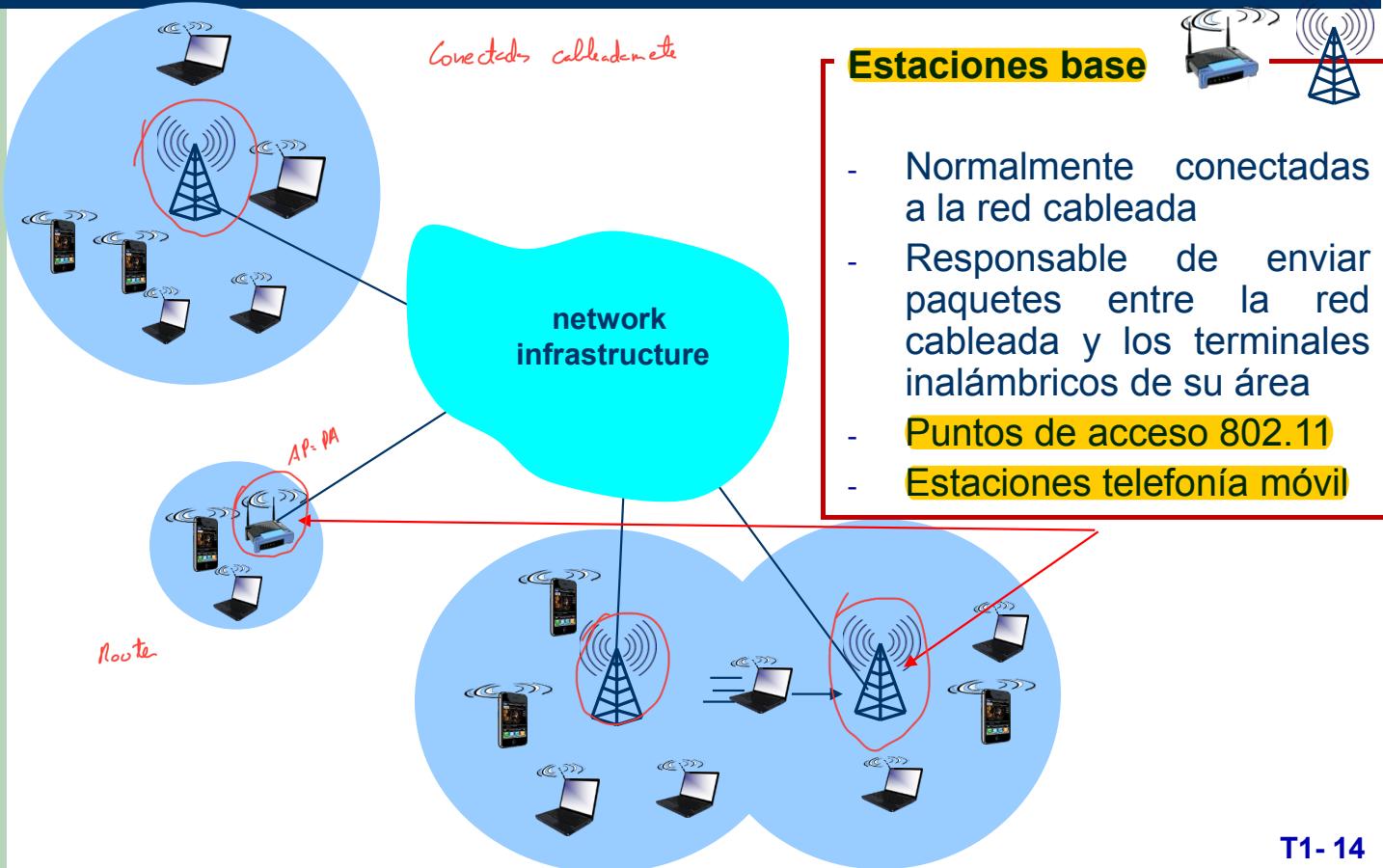
Se quedan en su sitio
el dispositivo



Son los equipos
(móviles, portátiles, etc)

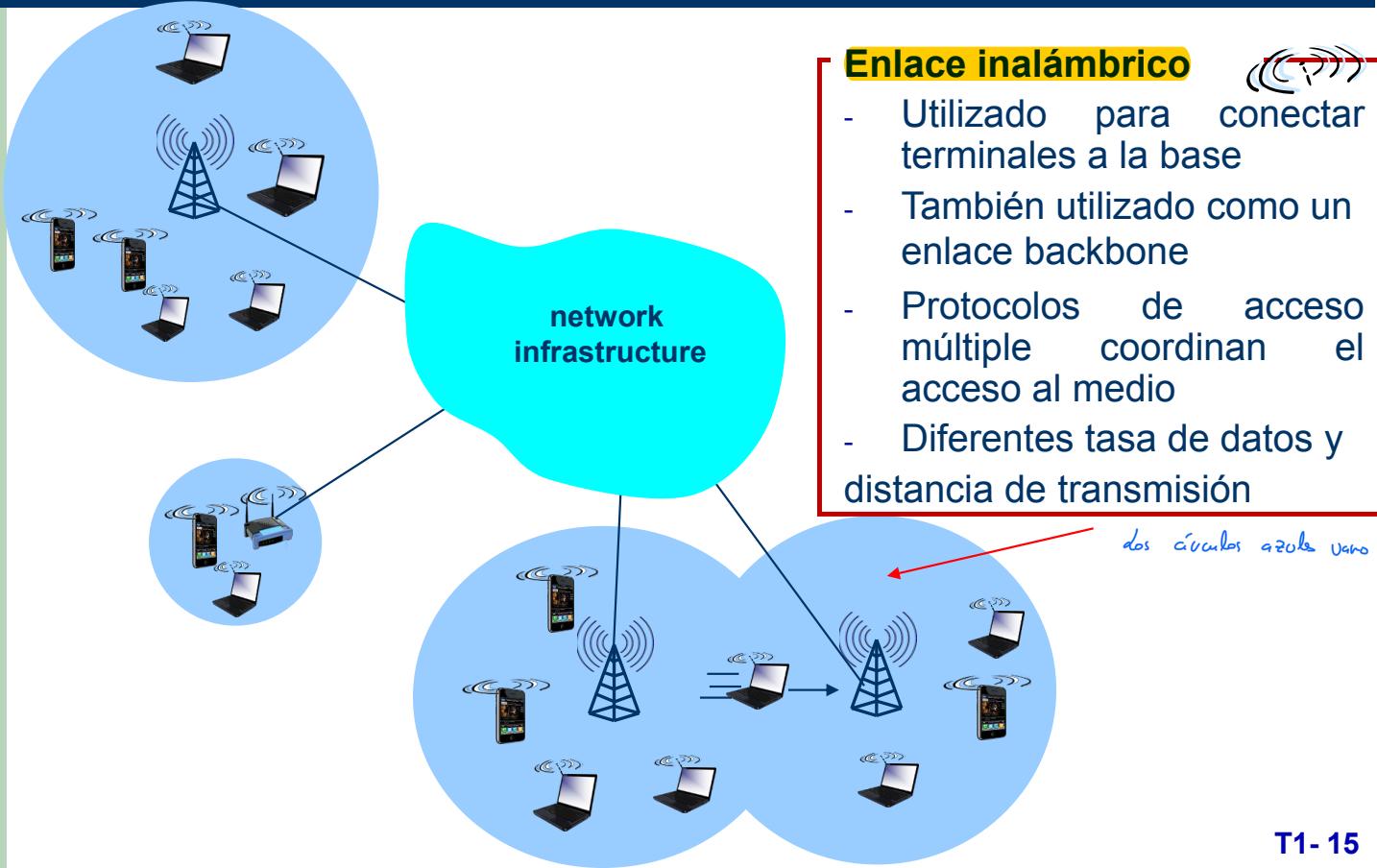
Fundamentos de las comun. Inalámb.

Elementos de una red inalámbrica



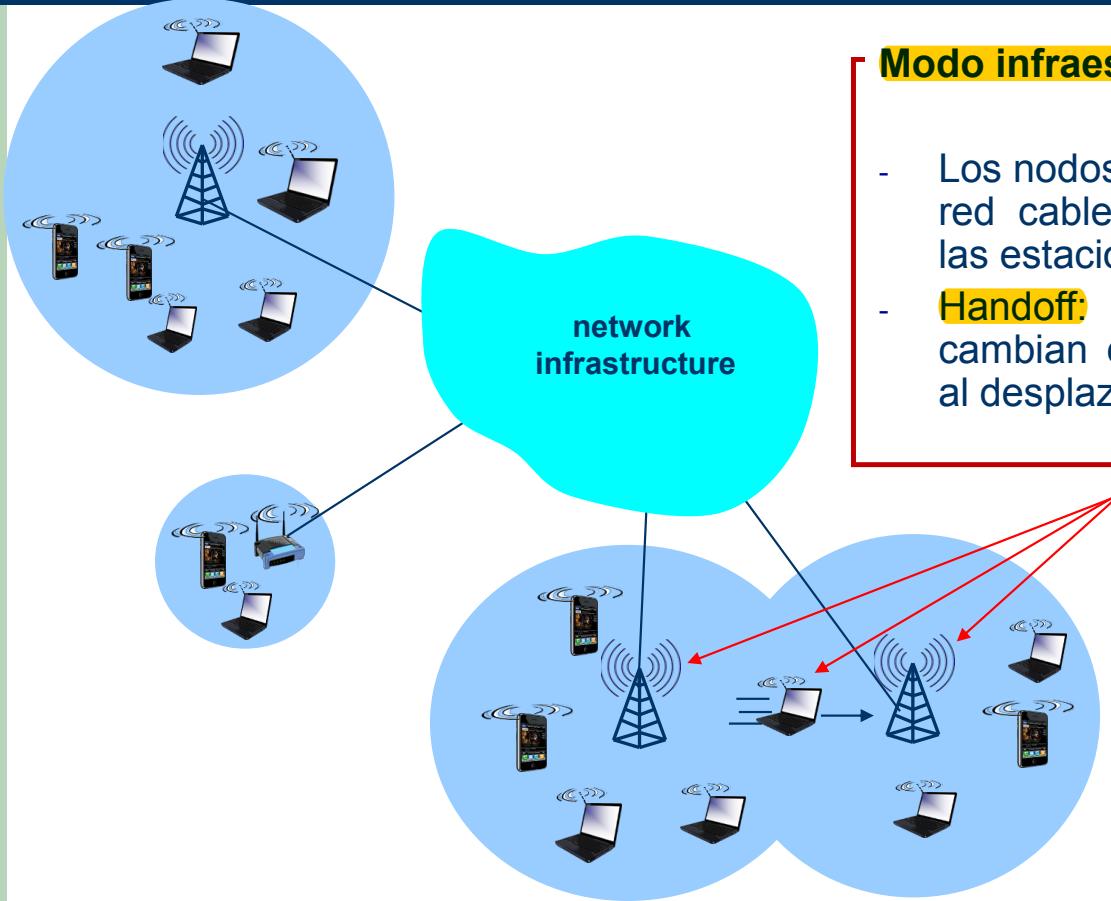
Fundamentos de las comun. Inalámb.

Elementos de una red inalámbrica



Fundamentos de las comun. Inalámb.

Modos de trabajo

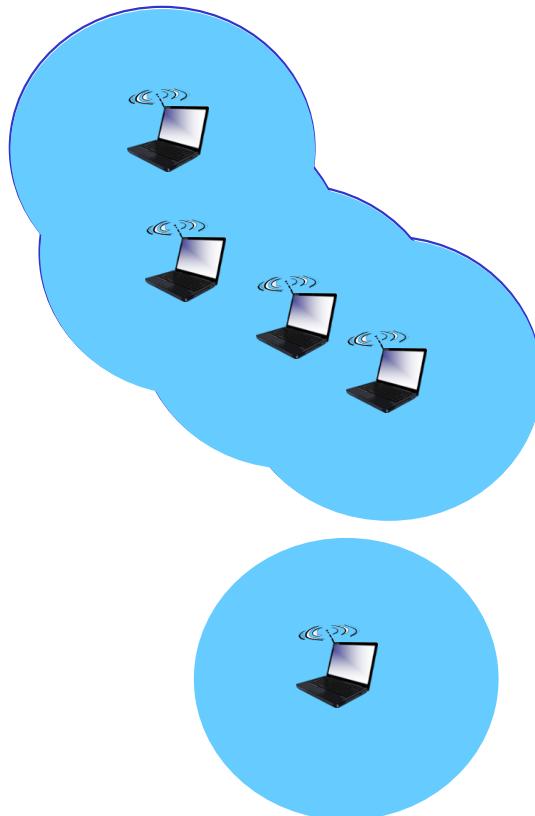


Modo infraestructura

- Los nodos se conectan a la red cableada a través de las estaciones bases
- **Handoff:** Los nodos cambian de estación base al desplazarse

Fundamentos de las comun. Inalámb.

Modos de trabajo



Modo adhoc

Sin Infraestructura

- No hay estaciones base
- Los nodos sólo transmiten a los nodos que están dentro del área de cobertura
- Los nodos organizan su propia red

Ejemplo: Vanet

Fundamentos de las comun. Inalámb.

Modos de trabajo

	Un salto	Multi salto
Infraestructura	Nodos conectados a la estación base (AP-WiFi, WiMax, Telefonía) con acceso a Internet	Nodos utilizan varios nodos inalámbricos (relay) para acceder a Internet. <u>Redes mesh</u>
Sin infraestructura <i>ADHOC</i>	No hay estación base, sin conexión a Internet (Bluetooth, Redes ad hoc)	<u>No hay estación base, sin conexión a Internet.</u> Nodos relay para alcanzar otros nodos (<u>MANET, VANET</u>)

MANET : Mobile Advanced Network

VANET : Vehicular Advanced Network

Características del medio de transmisión

- **Diferencias con el medio cableado:**

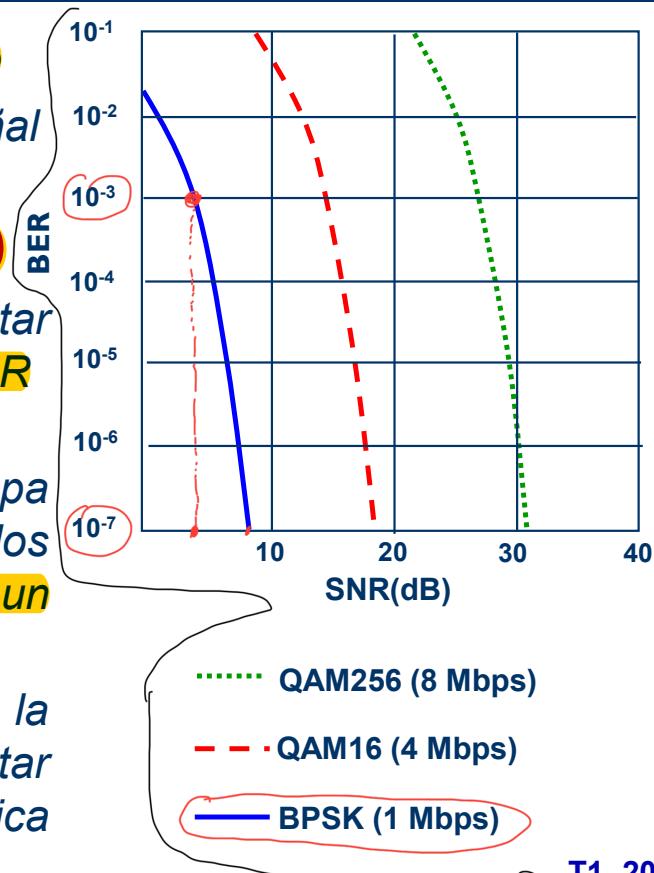
- **Path Loss.** La señal de radio se atenúa a medida que se propaga por el aire
- **Interference.** Interferencias debido a que diferentes equipos comparten la misma frecuencia de trabajo (ej: 2.4 Ghz)
- **Multipath propagation.** La misma señal de radio llega al destino en diferentes instantes de tiempo debido a las reflexiones

Características que tiene el medio inalámbrico que no tiene el medio cableado

Curiosidad: los Microondas trabajan en la banda de 2.4 GHz, en la misma banda que los routers así que evita poner un router al lado de un microondas ya que puede haber interferencias

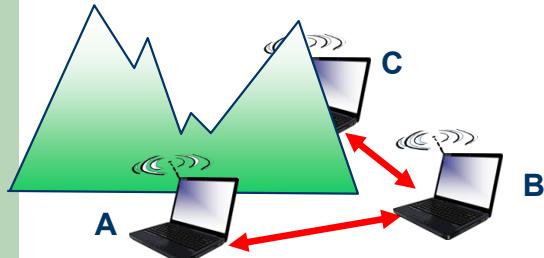
Características del medio de transmisión

- **SNR: Relación señal a ruido**
 - SNR alto → fácil extraer la señal del ruido
- **SNR vs BER (Bit Error Rate)**
 - Dado la capa física: incrementar la potencia → **incrementa SNR** → **decrementa BER**
 - Dado SNR: elegir una capa física que alcance los **requerimientos de BER para un máximo throughput**
 - SNR puede cambiar con la movilidad: adaptar dinámicamente la capa física (modulación, tasa)



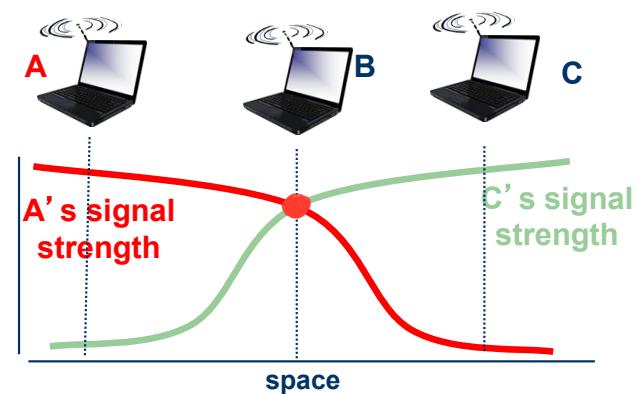
Características del medio de transmisión

- *Multiples emisores y receptores pueden crear problemas adicionales (sin considerar el acceso múltiple):*



Terminal oculto

- ❖ B, A se escuchan
- ❖ B, C se escuchan
- ❖ A, C no pueden escucharse → Interfieren la comunicación con B



Signal attenuation:

- ❖ B,A se escuchan
- ❖ B, C se escuchan
- ❖ A, C no pueden escucharse → interfieren a B

Características del medio de transmisión

Caracterización de un enlace

- Se realiza en términos de **balance de potencia**

Potencia entregada = Potencia consumida

- Pérdida básica de propagación en condiciones de espacio libre y considerando antenas isótropas

Sin obstáculos

$$L_{bf} = \frac{p_t}{p_r} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

→ radia igual en todas las direcciones

$$L_{bf}(dB) = 32,45 + 20 \log f(Mhz) + 20 \log d(km)$$

- Antenas con ganancia (g_t y g_r)

frecuencia en Mega Hz

$$L_{tf} = \frac{L_{bf}}{g_r g_t}$$

Técnicas de acceso múltiple

Introducción

- El aire es utilizado como medio de transmisión en los sistemas de comunicación inalámbricos
- Medio compartido → comunicación coordinada

Como estamos usando un medio compartido (el aire), la comunicación debe coordinarse.



Técnicas de acceso múltiple

Introducción

- *Si dos o más nodos realizan una transmisión al mismo tiempo se produce una **colisión***
- *La información recibida por los demás nodos carece de sentido ya que contiene errores o no se pueden procesar*
- *Todas los datos o tramas implicadas en una colisión se pierden*
- *Se desaprovecha el canal durante el intervalo de tiempo que dure la colisión*

Si hay Colisión, se descarta la información

Técnicas de acceso múltiple

Introducción

- **Técnicas para controlar el acceso al medio**
 - **Basados en contienda o aleatorios**
 - El medio se comparte de forma dinámica o aleatoria
 - Minimizar las colisiones para lograr un razonable uso del medio
 - **Basados en reserva** (Para cada tráfico se reserva canal para evitar colisiones)
 - El medio se comparte de forma estática, y por tanto, libre de colisiones
 - El medio se divide en canales separados que son asignados a los usuarios
 - **Otras técnicas**
 - Por turnos
- contienda = lucha*
- Colisión ↗*
- ✓ no hay colisiones*
- Vacío ↗*
- Desventaja: Si hay una reserva de ancho de banda y no se usa, se está desperdiciando el canal.*

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **Acceso aleatorio** → no existe un tiempo o instante prefijado para que los nodos transmitan
 - Los nodos transmiten aleatoriamente*
- **Contención** → los nodos *compiten* entre sí para conseguir el acceso al medio
 - luchar*
- El mecanismo debe especificar:
 - **Cómo detectar las colisiones**
 - **Cómo recuperarse de las colisiones** (ej: retrasar la transmisión)

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- Técnicas más conocidas de acceso aleatorio:
 - **ALOHA**, **slotted ALOHA** (*ALOHA vanurado*) 1970
 - **CSMA**, **CSMA/CD**, **CSMA/CA**
- La eficiencia de las técnicas depende de la detección de las colisiones y la gestión posterior
- Máximo throughput:
 - ALOHA $\rightarrow 18\%$ *→ de 100 bits que envío, 18 son útiles*
 - Slotted ALOHA $\rightarrow 37\%$
 - Familia CSMA, depende del tiempo de propagación y velocidad de transmisión en el medio $\rightarrow > 80\%$

lo más importante es la eficiencia de cada técnica

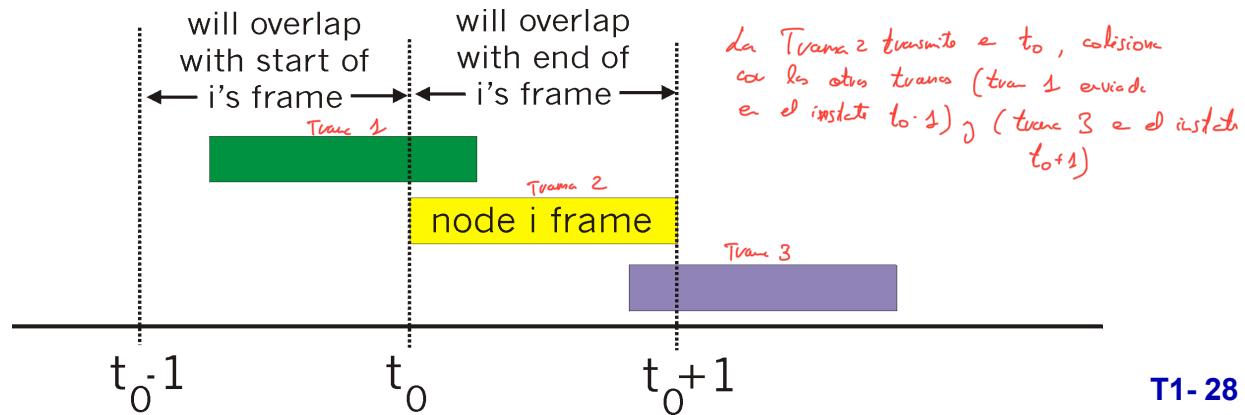
Throughput (Rendimiento) = (Cantidad de información útil que realmente se transmite con éxito respecto a la capacidad total del canal)

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **ALOHA**

- Totalmente descentralizado, no hay sincronización
- Cuando un nodo tiene un frame para enviar, lo transmite inmediatamente
- Si se produce una colisión, el nodo retransmite el frame con **probabilidad p** (después de completar la transmisión del frame que provocó la colisión)



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

● ALOHA - Eficiencia

p = probabilidad

N = Número de nodos

- La probabilidad de que ningún nodo transmita en el intervalo $[t_0-1, t_0]$ o $[t_0, t_0+1]$ es $(1-p)^{N-1}$

- La probabilidad de transmitir satisfactoriamente un nodo =
 $P(\text{transmitir}) \times$

$$P(\text{ningún nodo transmite en } [t_0-1, t_0]) \times$$

$$P(\text{ningún nodo transmite en } [t_0, t_0+1]) = p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

- La probabilidad que cualquier nodo pueda transmitir

$$Np \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

$$\rightarrow N \cdot p \cdot (1-p)^{2 \cdot (N-1)}$$

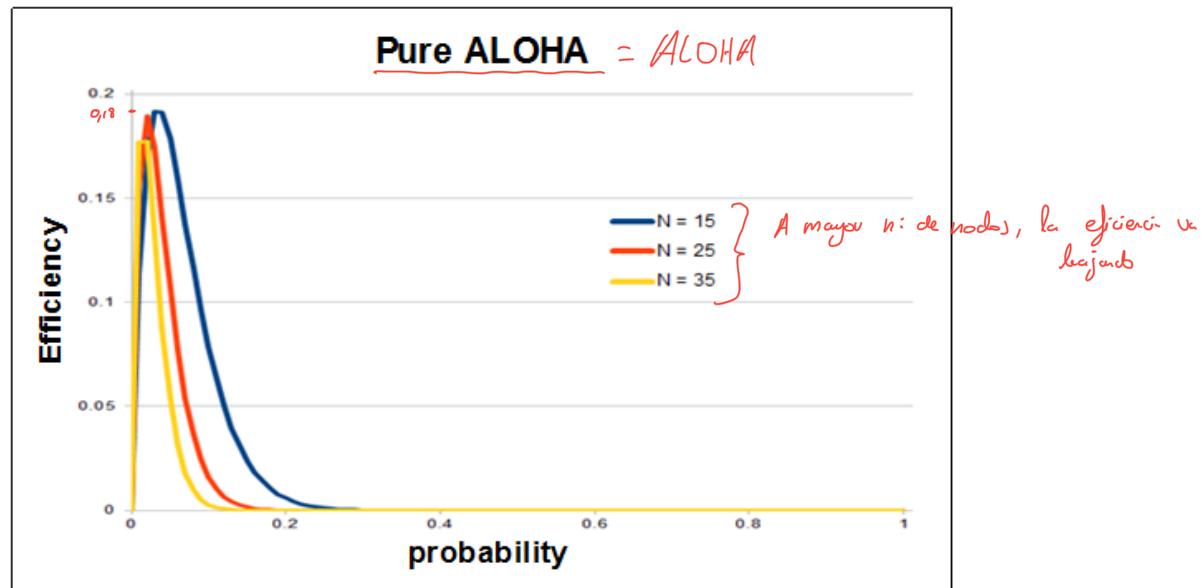
N = Número de nodos
 p = probabilidad

- El valor de p que maximiza la expresión es $1/(2N-1)$. Aplicando límite $N \rightarrow \infty$, eficiencia $1/2e = 18\%$ (slots utilizados)

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- ALOHA – Eficiencia



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **Slotted ALOHA** = ALOHA *vanurado*

Premisas

- ✓ *Todos los frames son de igual tamaño*
- ✓ *El tiempo se divide en slots de igual tamaño (en cada slot se transmite un frame)*
- ✓ *La transmisión de cada nodo se realiza al comienzo de cada slot*
- ✓ *Los nodos están sincronizados*
- ✓ *Si 2 o más nodos transmiten en el mismo slot, todos los nodos detectan la colisión*

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

● Slotted ALOHA

Slot = ranura de tiempo = Unidad de tiempo fijo en la que se permite iniciar una transmisión

Funcionamiento:

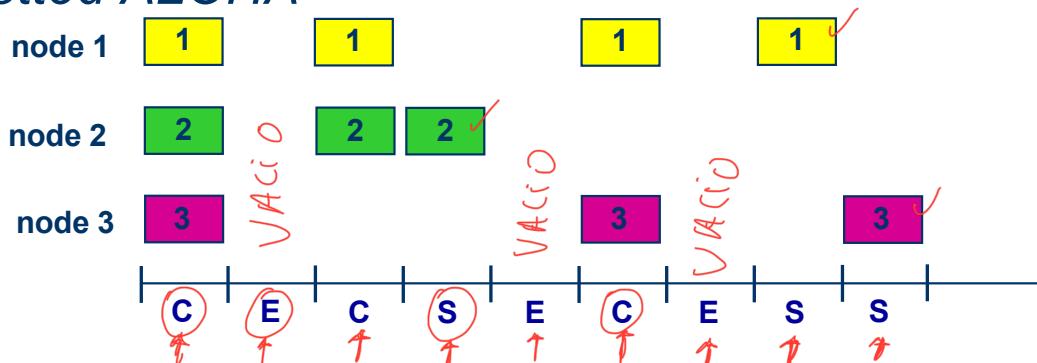
Trama = Frame = Unidad de datos que se transmite por la red

- ✓ Cuando un nodo tiene un frame para enviar, lo transmite en el siguiente slot:
 - Si no hay colisión: el nodo puede enviar un nuevo frame en el siguiente slot
 - Si hay colisión: el nodo retransmite el frame en los slots posteriores con una probabilidad p , hasta que el frame se transmite sin colisión

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- *Slotted ALOHA*



Pros:

- ❖ Un sólo nodo activo **puede continuamente transmitir** a la tasa máxima del canal
- ❖ Descentralizado, aunque sincronización de slots

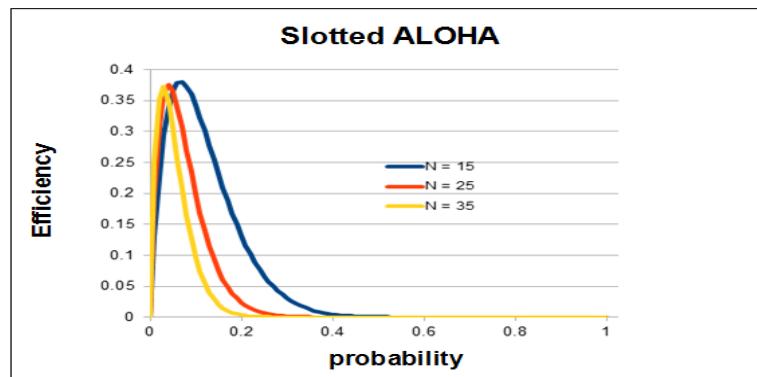
Cons:

- ❖ Colisiones, **slots vacíos** debido a la política de transmisión probabilística
- ❖ Sincronización de reloj

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- Slotted ALOHA – **Eficiencia**
 - Suponer N nodos con muchos frames para transmitir, y cada uno transmite con probabilidad p
 - La probabilidad de que cualquier nodo transmita con éxito es $Np(1-p)^{N-1}$
 - El valor de p que maximiza la expresión es $1/N$. Aplicando límite $N \rightarrow \infty$, **eficiencia $1/e$, 37% (slots utilizados)**



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

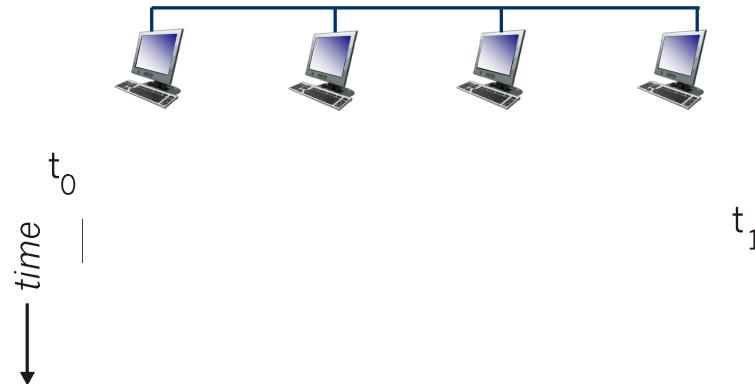
- **CSMA (Carrier Sense Multiple Access)**
 - Escuchar el canal antes de transmitir (carrier sensing):
Libre → transmitir
Ocupado → retrasar transmisión
 - *Debido a los tiempos de propagación en el canal dos dispositivos distanciados pueden transmitir a la vez → colisión (tiempo de transmisión perdido)*
 - *La distancia y el retardo de propagación juegan un papel importante en el rendimiento de la red*

Analogía entre seres humanos : no interrumpir a otros cuando hablas = CSMA

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- CSMA



Técnicas de acceso múltiple

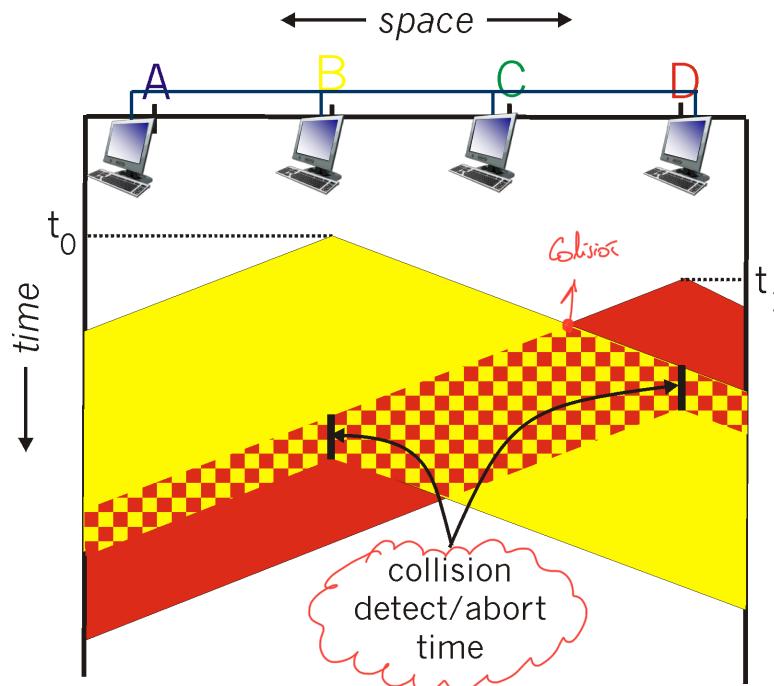
Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **CSMA/CD (Collision Detection)**
 - *Mismo principio que CSMA, pero cuando se detecta una colisión se aborta la transmisión → aumenta el rendimiento de la red*
 - *Se retransmite un tiempo aleatorio después*
 - *La detección de una colisión es posible porque se detecta un aumento de la amplitud de la señal por encima del nivel normal*
 - *Cuando los dispositivos de transmisión detectan la colisión, envían una señal de congestión*
Señal jam

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- CSMA/CD (*Collision Detection*)



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

● Algoritmo CSMA/CD Ethernet

- 1. Se crea el frame
- 2. Si el canal está vacío, comienza la transmisión. Si está ocupado, espera hasta que el canal esté libre
- 3. Si se transmite el frame sin detectar otra transmisión → siguiente transmisión
- 4. Si se detecta otra TX mientras se transmite, se aborta transmisión y se envía señal jam (señal que indica que ha habido una colisión)
- Espera un tiempo antes de intentar la transmisión

exponential backoff: después de m^{th} colisión, se elige K (aleatoriamente) de $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. NIC espera $K \cdot 512 \cdot \text{bit times}$

NIC = Network Interface Card

$m = \text{Número de la Colisión}$

$$\text{bit times} = \frac{1}{\sqrt{(\text{bps})}}$$



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- Algoritmo CSMA/CD Ethernet 802.3

Jam Signal: indica a otros transmisores de la colisión; **32 bits**

Bit time: 0.1 microsec para 10 Mbps Ethernet; for **K=1023**, el tiempo de espera es aproximadamente **50 msec** ($51,2 \text{ msec}$)

$$\text{bit time} = \frac{1}{10 \cdot 10^6 \text{ bps}}$$

Exponential Backoff:

- Primera colisión: elegir K de {0,1}; m=1
- Segunda colisión: elegir K de {0,1,2,3}... m=2
- Décima colisión, elegir K de {0,1,2,3,4,...,1023} m=10

Vé applet
http://media.pearsoncmg.com/applications/eurostar/network_2/applets/csmacd/csmacd.html

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **Eficiencia CSMA/CD**

- t_{prop} = *retardo máximo de propagación entre dos nodos en la LAN*
- t_{trans} = *tiempo para transmitir un frame de máximo tamaño*

$$\text{efficiency} = \frac{1}{1 + 5t_{prop}/t_{trans}}$$

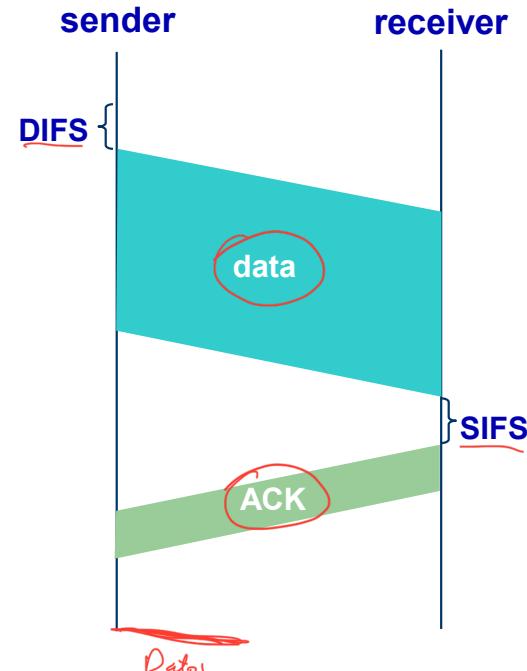
Cuanto mas lejos este el origen con el destino, menor sera la eficiencia.

- *Eficiencia tiende al 100% $\rightarrow 1$*
 - si t_{prop} tiende a 0 ↑
 - si t_{trans} tiende a infinito
- Mejor rendimiento que ALOHA, más simple y descentralizado

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **CSMA/CA (Collision Avoidance)** ↪ Se utiliza en comunicaciones inalámbricas
 - ~ Tiempo DIFS = Tiempo de espera.
 - ↪ Tiempo SIFS = Tiempo de espera, más corto que el DIFS
- 802.11 emisor
 - 1. Si el canal está libre durante un tiempo (DIFS) se transmite el frame
 - 2. Si el canal está ocupado, se espera un tiempo de backoff. Si el tiempo expira y no se recibe un ACK se incrementa el tiempo de backoff
- 802.11 receptor
 - Si se recibe un frame, se envía un ACK después de un tiempo (SIFS) (el ACK es necesario debido a terminales ocultos)



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- **CSMA/CA – Evitando colisiones**

RTS (Request to Send) = paquete de control que solicita permiso para transmitir datos

idea: permitir al emisor 'reservar' el canal

AP (Access Point)

- El emisor envía un paquete pequeño RTS al AP

- RTS puede colisionar con otros

- AP realiza un broadcast CTS en respuesta al RTS

CTS (Clear to Send): Mensaje de control que responde a un RTS libre para enviar

- El paquete CTS es escuchado por todos los nodos

- El emisor transmite el paquete de datos

- Las otras estaciones difieren sus transmisiones

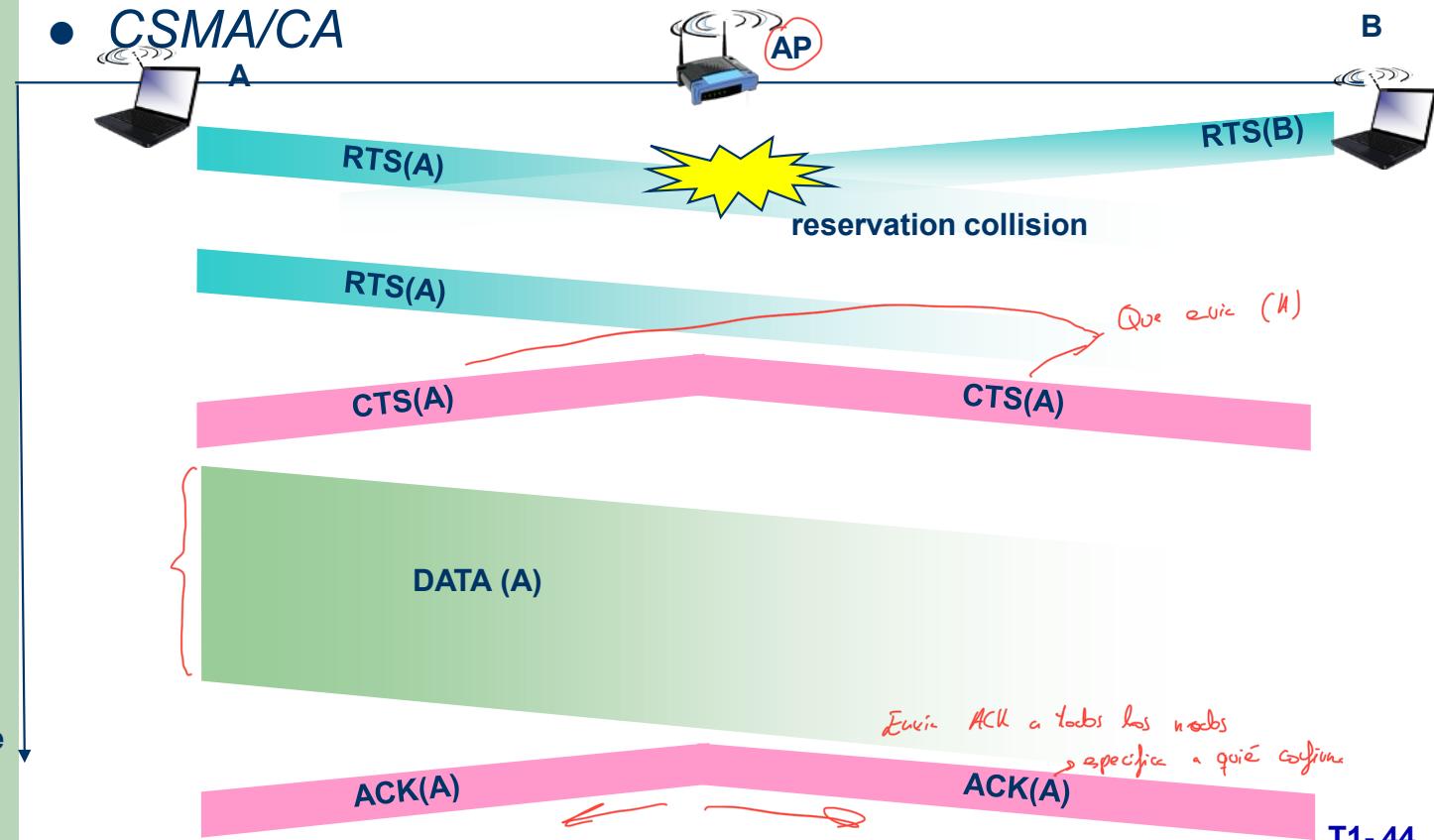
RTS: "Oye, ¿puedo enviar datos?"

CTS: "Sí, puedes enviar y los demás esperan"

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas de acceso aleatorio o contención

- CSMA/CA



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

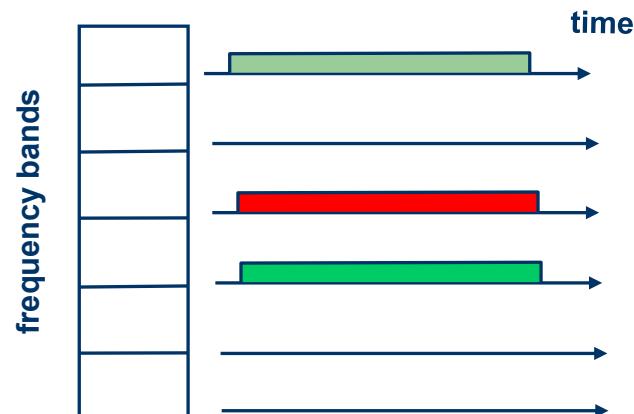
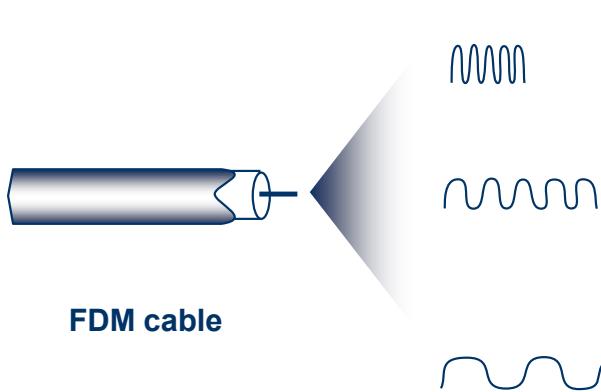
- Se divide el canal en segmentos (*time slots, frequency, código*)
- Cada segmento se asigna a un nodo para uso exclusivo → no hay colisiones
- FDMA (*Frecuency Division Multiple Access*)
Cada nodo transmite en una frecuencia
- TDMA (*Time Division Multiple Access*)
→ Tiempo
- CDMA (*Code Division Multiple Access*)
los códigos tienen que ser ortogonales

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**
 - El espectro se divide en bandas de frecuencia
 - Cada nodo tiene asignada una banda de frecuencia
 - Las bandas de frecuencias sin transmisión no pueden ser utilizadas por otros nodos

Reservado ancho de banda.
para cada nodo



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

- TDMA (*Time Division Multiple Access*)
 - Se accede al canal por rondas
 - Cada nodo tiene asignado un slot de tiempo en cada ronda
 - La longitud de cada slot suele ser el tiempo de transmisión de un paquete de tamaño máximo
 - Los slots sin transmisión no pueden ser utilizados por otros nodos



Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

- **CDMA (Code Division Multiple Access)**

- Se asigna un **código** (chipping sequence) a cada nodo
- Todos los nodos comparten la misma frecuencia, pero cada usuario tiene su propio código para transmitir
- Permite a **múltiples usuarios transmitir simultáneamente**
- **Los códigos deben ser ortogonales para minimizar las interferencias**

Los códigos deben ser ortogonales para que el receptor los pueda recibir.
Si no son ortogonales, no llega el receptor.

- **Codificar:** datos a enviar x código
- **Decodificar:** (sumatoria datos recibidos x código) / longitud código

$$\begin{matrix} \text{Ortogonal} \\ \text{a} \cdot b = 0 \\ i=1 \end{matrix}$$

M: n: de leídos que tiene el código

para comprobar si un código es ortogonal

Son ortogonales

Si son ortogonales, no hay colisión

$$\begin{array}{c} a = 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, 1 \\ b = 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 \end{array} \left. \begin{array}{l} \{ \\ \} \end{array} \right\} \text{Ej}$$

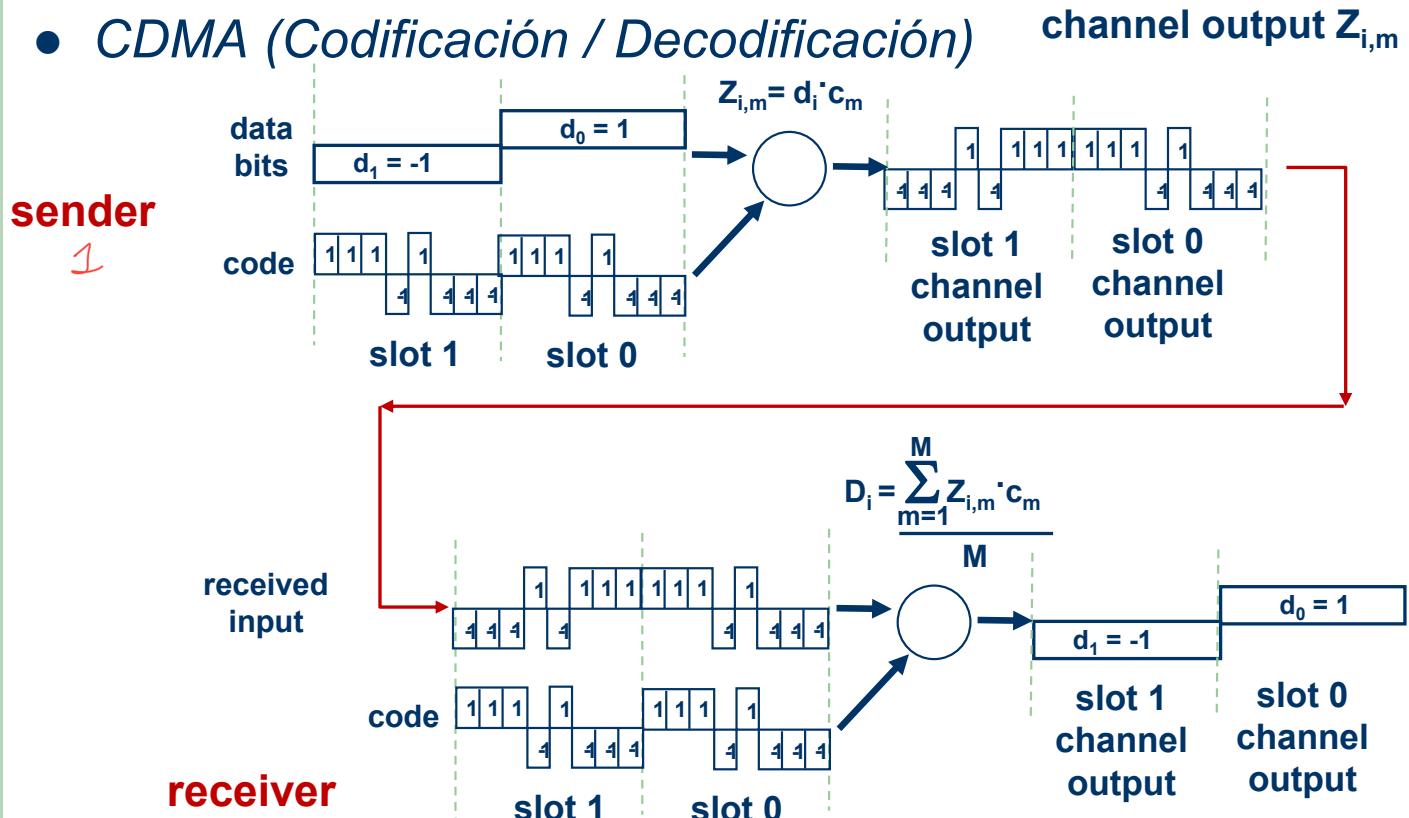
$$\text{Salvo: } c = 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1$$

El resultado del sumatorio
de 0 por lo que es ortogonal

Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

- CDMA (Codificación / Decodificación)

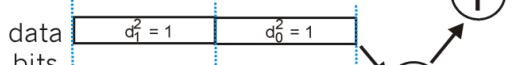
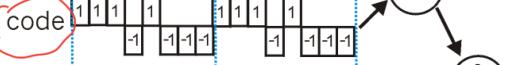
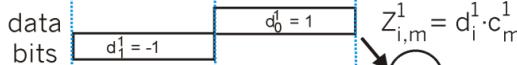


Técnicas de acceso múltiple

Técnicas basadas en reserva

senders

Sender 1



$$Z_{i,m}^1 = d_i^1 \cdot c_m$$

$$Z_{i,m}^2 = d_i^2 \cdot c_m$$

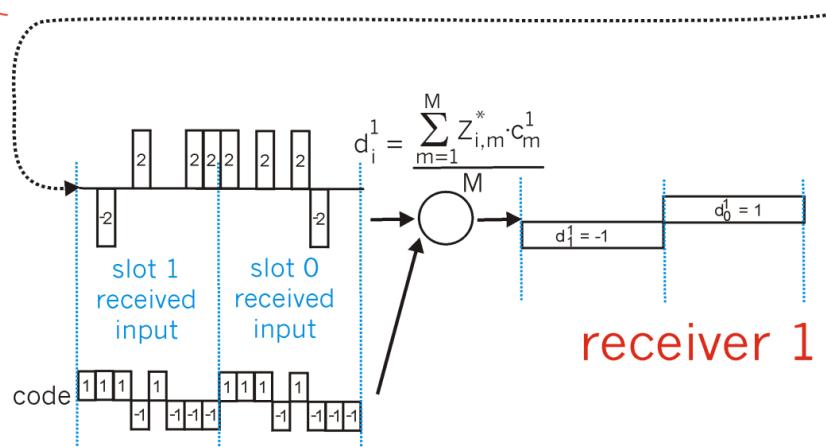
channel, $Z_{i,m}^*$



Sender 2

En el canal se suma ambas transmisiones

Estos 2 códigos deben ser ortogonales



El receptor recupera la transmisión del emisor 1 utilizando su código

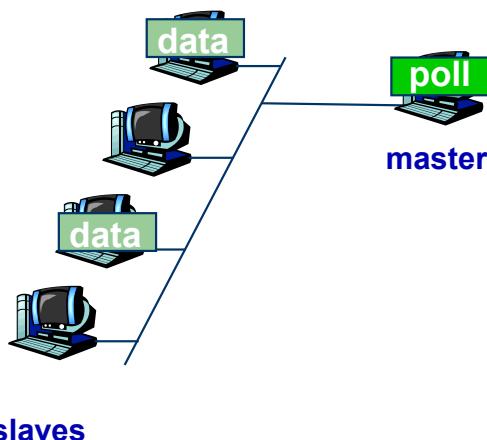
pero también se puede saber lo del emisor 2

Técnicas de acceso múltiple

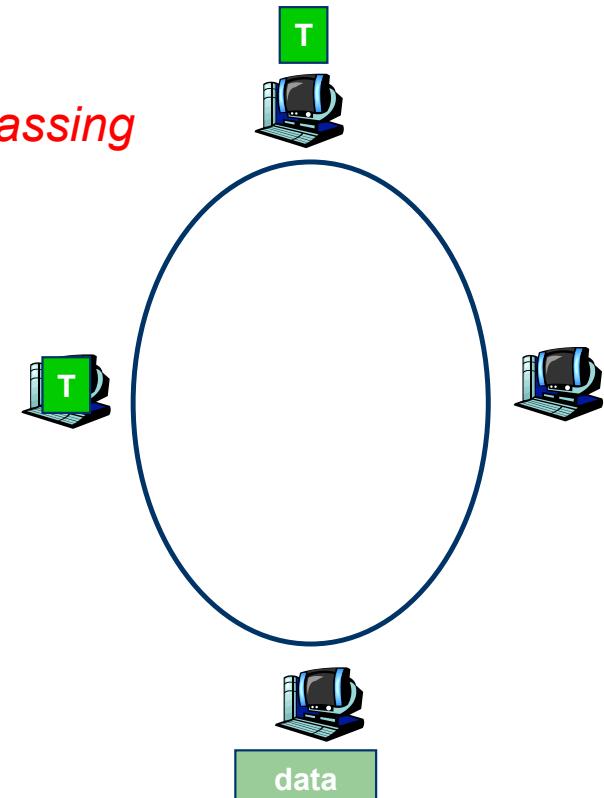
Otras técnicas

- *Taking “Turns”*

- *Polling*



- *Token passing*



Problemas

Problema 3 Entregar

Hecho aparte

5. Dado dos emisores CDMA con códigos:

$$a = (1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)$$

$$b = (1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$$

i: Posiciones 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

¿Pueden los correspondientes receptores decodificar los datos correctamente? Justificar la respuesta.

Para saber si los receptores pueden decodificar los datos, tenemos que saber si los códigos de a y b son ortogonales, y eso lo sabemos utilizando esta fórmula:

$$\sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot b_i}{M}$$

M = número de bits

$$\sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot b_i}{M} = \frac{a_0 \cdot b_0 + a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 + a_4 \cdot b_4 + a_5 \cdot b_5 + a_6 \cdot b_6 + a_7 \cdot b_7}{8} = \frac{(1 \cdot 1) + (1 \cdot -1) + (1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1) + (1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1)}{8} = \frac{-2}{8} \neq 0$$

$$\sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot b_i}{M}$$

Si el resultado es 0, significa que los códigos son ortogonales y por tanto el receptor los puede decodificar.

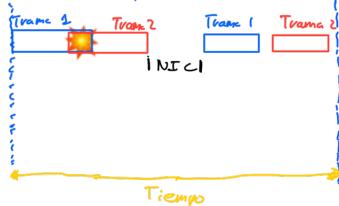
Si el resultado es distinto de 0, los códigos no son ortogonales y por tanto el receptor no puede decodificar.

En este ejercicio el resultado es distinto de 0, por lo que no son ortogonales y eso significa que el receptor no puede decodificar los datos.

Solución

1. ¿Cuál es el tiempo de espera máximo después de la quinta colisión en una red 10 Mbps Ethernet para intentar la transmisión si se utiliza el mecanismo CSMA/CD?

El problema está pidiendo que calculemos el NIC ("Number of Idle slots" o "Tiempo de espera antes de transmitir") que es el tiempo que una estación espera después de una colisión antes de intentar retransmitir.



$$NIC = K \cdot 512 \cdot \text{bit times (s)}$$

$$\text{bit Times} = \frac{1}{\text{Velocidad (bps)}}$$

K = Exponential backoff: Se escoge un número aleatorio entre:
 $\{0, \dots, 2^M - 1\}$

M = Número de la colisión

En este ejercicio nos pide el tiempo de espera máximo →

$$\therefore \text{bit Times} = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 0,1 \mu \text{s (s)} \quad] =$$

Como nos pide después de la quinta colisión → $M = 5 \quad] =$

$$K = \{0, \dots, 2^5 - 1\} = \{0, \dots, 31\} \rightarrow K_{max} = 31$$

$$NIC_{max} = K_{max} \cdot 512 \cdot \text{bit times}$$

$$NIC_{max} = 31 \cdot 512 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 1,5872 \mu\text{s} = 1,5872 \text{ ms} \quad] =$$

Solución