



---

# Acceso múltiple de paquetes II: Redes de área local (LANs)

**Eytan Modiano**

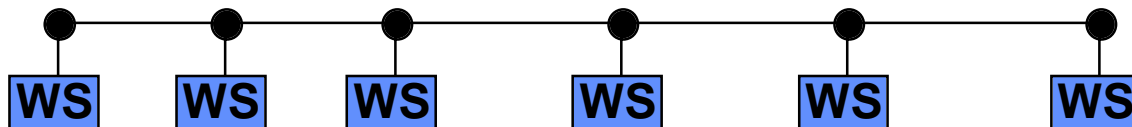
**MIT**

**Departamento de aeronáutica y astronáutica**



# CSMA/CD y Ethernet

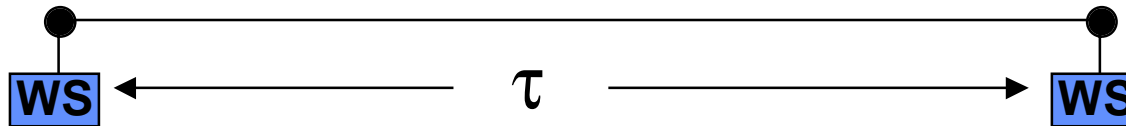
## Cable de dos direcciones



- **CSMA con capacidad de Detección de colisiones (CD):**
  - Los nodos son capaces de detectar colisiones
  - Al detectar una colisión, los nodos detienen la transmisión:  
Esto reduce la cantidad de tiempo que se pierde en las colisiones
- **Protocolo:**
  - Todos los nodos escuchan las transmisiones del canal
  - Cuando un nodo tiene un paquete para enviar:  
Canal vacío => transmite  
Canal ocupado => espera un tiempo aleatorio (retardo exponencial binario)
  - Si un nodo que está transmitiendo detecta una colisión, detiene la transmisión:  
Espera un tiempo de retardo aleatorio y lo intenta otra vez



# Tiempo para detectar las colisiones



$\tau$  = retardo  
de propagación

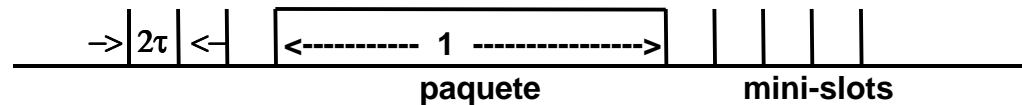
- Se puede producir una colisión mientras la señal se propaga entre los dos nodos
- Ambos usuarios tardarán un tiempo adicional (retardo de propagación) hasta detectar la colisión y detener la transmisión
- Si  $\tau$  es el retardo máximo de propagación en el cable, en caso de producirse una colisión, a todos los nodos implicados en la misma les puede llevar hasta  $2\tau$  segundos el detectar la colisión y detener la transmisión



# Modelo aproximado de CSMA/CD



- Aproximación simplificada para una mejor comprensión
- Supongamos un sistema dividido en “mini-slots” de duración  $2\tau$



- Si un nodo empieza a transmitir al comienzo de un mini-slot, al final del mini-slot, bien:
  - No se ha producido ninguna colisión y el resto de las transmisiones no se verán interrumpidas; o
  - Se ha producido una colisión, pero al final del mini-slot el canal ya está vacío otra vez
- De este modo, una colisión afecta como mucho a un mini-slot



# Análisis de CSMA/CD

- Supongamos que hay  $N$  usuarios y que cada uno de ellos intenta transmitir durante un “mini-slot” vacío con probabilidad  $p$ :
  - $P$  incluye las nuevas llegadas y las retransmisiones

$$P(\text{intento de } i \text{ usuarios}) = \binom{N}{i} P^i (1-P)^{N-i}$$

$$P(\text{exactamente 1 intento}) = P(\text{éxito}) = NP(1-P)^{N-1}$$

Para maximizar  $P(\text{éxito})$ ,

$$\frac{d}{dp} [NP(1-P)^{N-1}] = N(1-P)^{N-1} - N(N-1)P(1-P)^{N-2} = 0$$

$$\Rightarrow P_{\text{opt}} = \frac{1}{N}$$

⇒ Tasa media de intentos de uno por slot

⇒ Obsérvese la similitud que hay con el Aloha con slots



# Análisis de CSMA/CD (continuación)



$$P(\text{éxito}) = NP(1-p)^{N-1} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1}$$

$$P_s = \lim_{N \rightarrow \infty} P(\text{éxito}) = \frac{1}{e}$$

Sea  $X$  = promedio de slots por transmisión con éxito

$$P(X = i) = (1 - P_s)^{i-1} P_s$$

$$\Rightarrow E[X] = \frac{1}{P_s} = e$$

- Una vez que se ha capturado con éxito un mini-slot, la transmisión continúa sin interrupción
- En el siguiente mini-slot se iniciarán nuevos intentos de transmisión, una vez que haya terminado la transmisión actual del paquete



# Análisis de CSMA/CD (continuación)



- Sea  $S$  = el promedio de tiempo entre las transmisiones de paquetes que tienen éxito:

$$S = (e-1)2\tau + D_{Tp} + \tau$$

Mini-slots vacíos/con colisión  $\nearrow$

$\uparrow$  Tiempo de transmisión de paquetes

Promedio de tiempo hasta el inicio del siguiente mini-slot  $\nwarrow$

- Eficacia =  $D_{Tp}/S = D_{Tp} / (D_{Tp} + \tau + 2\tau(e-1))$
- Sea  $\beta = \tau / D_{Tp} \Rightarrow$  Eficacia  $\approx 1/(1+4.4\beta) = \lambda < 1/(1+4.4\beta)$



# Notas sobre el CSMA/CD

---



- **Se puede ver como un sistema de reservas en el que se emplean los mini-slots para hacer las reservas para los slots de datos**
- **En este caso, Aloha se utiliza para hacer las reservas durante los mini-slots**
- **Una vez que un usuario captura un mini-slot, continúa transmitiendo sin interrupciones**
- **Por supuesto, en la práctica, no hay mini-slots:**
  - **Impacto mínimo sobre el rendimiento, pero el análisis es más complejo**



# Ejemplos de CSMA/CD



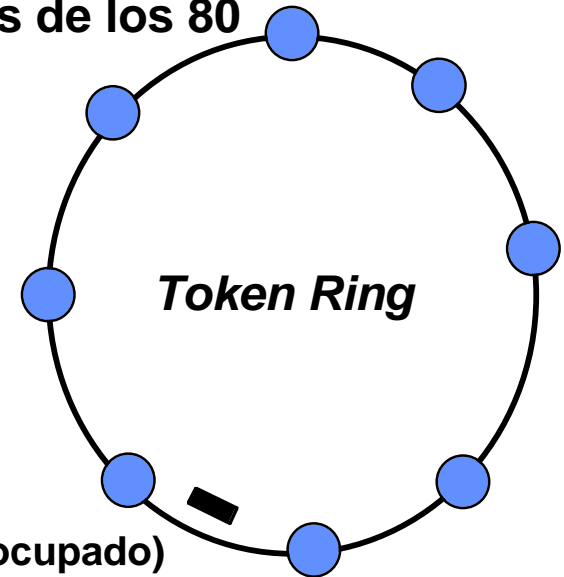
- **Ejemplo (Ethernet)**
  - Tasa de transmisión = 10 Mbps
  - Tamaño de los paquetes = 1000 bits,  $D_{Tp} = 10^{-4}$  seg.
  - Distancia del cable = 1 milla,  $\tau = 5 \times 10^{-6}$  seg.
  - $\beta = 5 \times 10^{-2}$  y  $E = 80\%$
- **Ejemplo (satélite GEO) - 1/4 de segundo de retardo de propagación**
  - $\beta = 2.500$  y  $E \sim 0\%$
- **CSMA/CD sólo es válido en casos de propagación corta**
- **¿Cómo se expande Ethernet a 100 Mbps?**
- **¿Cómo se expande Ethernet a 1 Gbps?**



# Redes en anillo



- Las redes en anillo las desarrolló IBM a comienzos de los 80
- El testigo (token): una secuencia de bit:
  - El testigo circula por el anillo:  
Testigo ocupado: 01111111  
Testigo libre: 01111110
- Cuando un nodo quiere transmitir:
  - Espera a que haya un testigo libre
  - Retira el testigo del anillo (lo sustituye por un testigo ocupado)
  - Transmite el mensaje
  - Cuando acaba de transmitir, vuelve a introducir el testigo libre en el anillo
  - Los nodos deben almacenar 1 bit de datos, de modo que se puede cambiar un testigo libre por un testigo ocupado
- Las redes *Token ring* son básicamente un sistema de sondeo  
El testigo realiza el sondeo





# Puesta en libertad del testigo (token)

---



- **Puesta en libertad tras la transmisión:**
  - El nodo vuelve a introducir el testigo en el anillo tan pronto como finaliza la transmisión del paquete
  - El siguiente nodo puede utilizar el testigo tras un corto retardo de propagación
- **Puesta en libertad tras la recepción:**
  - El nodo sólo libera el testigo una vez que su propio paquete vuelve a él:  
Sirve simplemente como un mecanismo de acuse de recibo



# Análisis de la tasa de transferencia (Puesta en libertad tras la transmisión)



- Supongamos que cada nodo transmite un paquete y, a continuación, pasa el testigo al siguiente nodo:
  - $V_i$  = tiempo de transmisión y propagación del testigo entre dos nodos (el tiempo de transmisión suele ser despreciable)
- Cantidad de tiempo que se tarda en transmitir N paquetes:

$$T_N = N \cdot E[X] + V_1 + V_2 + \dots + V_N = N \cdot E[X] + N \cdot E[V]$$

$$\lambda < N \cdot E[X] / (N \cdot E[X] + N \cdot E[V]) = 1 / (1 + E[V] / E[X])$$

- Compárelo con el CSMA/CD, pero observe que V es el retardo entre dos nodos y no el retardo máximo en el cable



# Análisis de la tasa de transferencia (liberación tras la recepción)



- Los nodos sólo liberan el testigo después de que haya vuelto
- Una vez más, suponer que cada nodo envía un paquete cada vez

- Tiempo total para enviar UN paquete:

- $T = E[X] + V_1 + V_2 + \dots + V_m + V_i$ 
  - ← Tiempo para enviar el testigo al siguiente nodo
  - ← Hay M nodos en el anillo

- $T = E[X] + (m+1)E[V] \Rightarrow$

$$\lambda < E[X]/T = 1/(1+(m+1)E[V]/E[X])$$



# Problemas de las redes *Token ring*

---



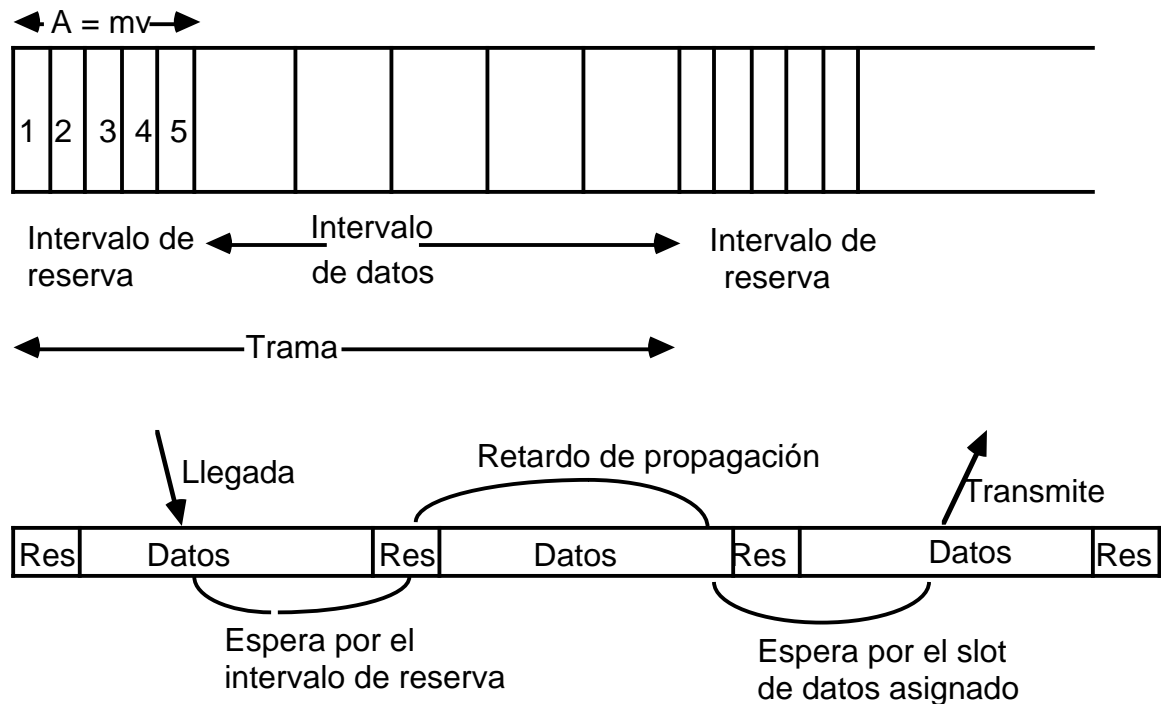
- **Reparto equitativo: ¿puede un nodo conservar el testigo durante un periodo largo?**
  - **Solución: establecer un tiempo máximo para la conservación del testigo**
- **Fallo de testigos: los testigos se pueden crear o destruir debido al ruido**
  - **Solución distribuida:**

Los nodos pueden reconocer la pérdida de un testigo y crear uno nuevo

Las colisiones se producen cuando dos o más nodos crean un nuevo testigo a la vez => son necesarios los algoritmos de resolución de colisiones
- **Fallos en los nodos: puesto que cada uno de los nodos debe retransmitir todos los datos entrantes, un fallo en cualquiera de ellos afectará al funcionamiento de todo el anillo**
- **Estándar de Token ring: IEEE 802.5**



# Retardo de propagación grande (redes de satélites)



- **Sistema de reservas de satélites:**
  - Emplea los mini-slots para hacer las reservas para slots de datos mayores
  - El acceso a los mini-slots puede no ser eficaz (Aloha, TDMA, etc.)
- **A grosso modo, el retardo es 3/2 veces el retardo de propagación más el retardo de cola ideal**



# Reservas de satélites

---

- **La longitud de la trama debe exceder el retardo equivalente a una vuelta:**
  - Los slots de reserva durante la trama  $j$  se utilizan para reservar slots de datos en la trama  $j+1$
  - Longitud variable: se sirven todas las peticiones de la trama  $j$  en la  $j+1$ 
    - Es difícil mantener la sincronización
    - Es difícil ofrecer QoS (ej.: dar soporte al tráfico de voz)
  - Longitud fija: se mantiene una cola virtual de peticiones
- **Mecanismo de reserva:**
  - Controlador a bordo por satélite
  - Controlador en tierra
  - Algoritmo de colas distribuidas:
    - Todos los nodos monitorizan las peticiones de reserva y utilizan el mismo algoritmo para realizar las reservas
- **Control del acceso al canal:**
  - TDMA: es simple, pero resulta difícil añadir más usuarios
  - Aloha: puede dar soporte a un gran número de usuarios, pero es difícil solucionar las colisiones y añade un enorme retardo



# Reservas con Aloha

- Se utiliza Aloha para capturar un slot
- Tras capturarlo el usuario lo mantiene en su poder hasta el final
  - Los otros usuarios observan que el slot está ocupado y no realizan ningún intento
- Una vez finalizada la operación, los otros usuarios pueden ir a por el slot
  - Los otros usuarios observan que el slot está vacío y realizan un intento utilizando Aloha
- Método útil para grandes transferencias de datos o para una mezcla de datos y voz:

Slot	1	2	3	4	5	6	
	15	vacío	3	20		2	trama 1
	15	7	3	vacío	9	2	trama 2
	vacío	7	3		9	vacío	trama 3
	18	7	3		9	6	trama 4
	18	7	3	15	9	6	trama 5

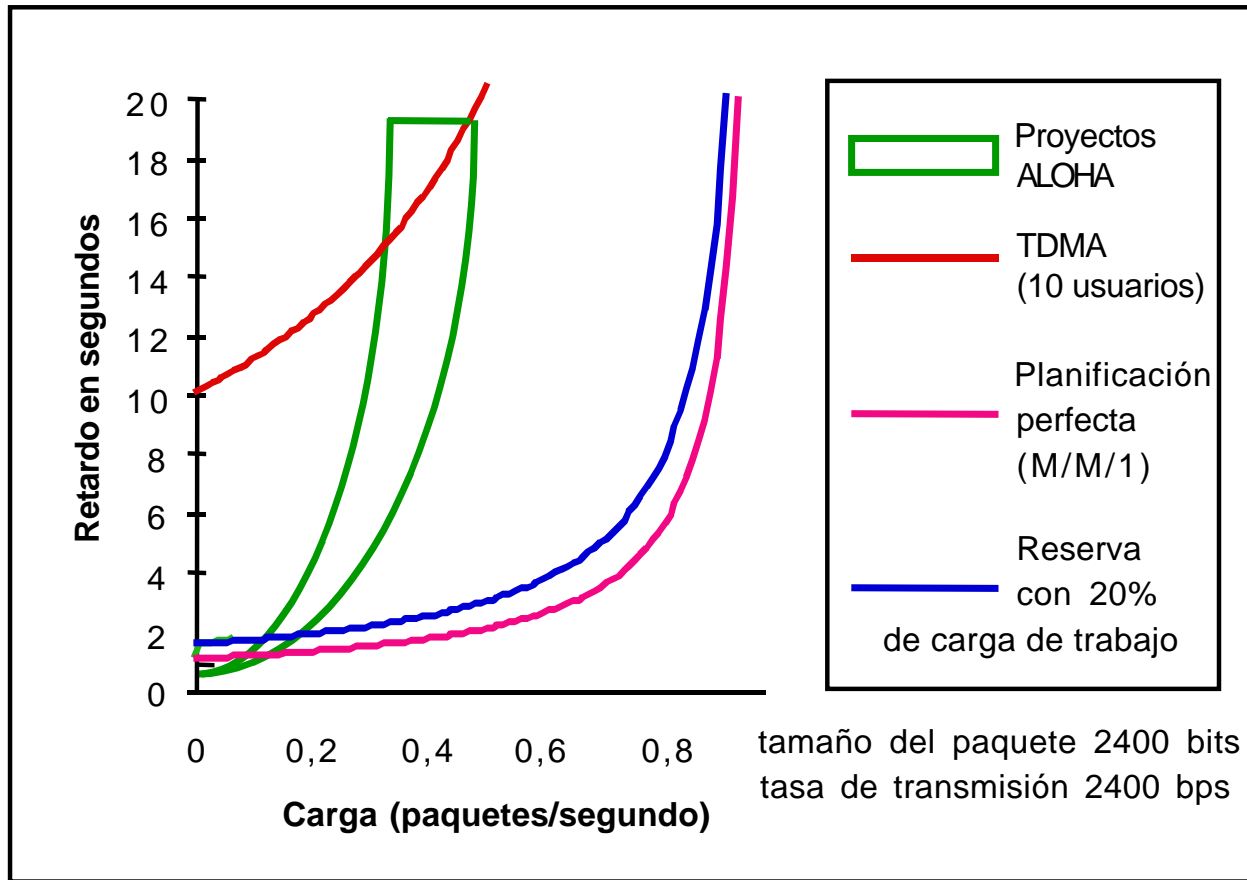
# Acceso múltiple de paquetes. Resumen

---

- **Latencia: relación entre el retardo de propagación y el tiempo de transmisión de paquetes**
  - Ejemplo de GEO:  $D_p = 0,5$  seg, longitud de paquetes = 1000 *bits*,  $R = 1$ Mbps  
Latencia = 500 => muy alto
  - Ejemplo de LEO:  $D_p = 0.1$  seg  
Latencia = 100 => aún muy alto
  - En los canales de satélites la tasa de datos debe ser muy baja para estar en un entorno de latencia bajo
- **Protocolos de latencia baja:**
  - CSMA, *Polling*, *Token Rings*, etc.
  - Tasa de transferencia  $\sim 1/(1+a\alpha)$ ,  $\alpha$  = latencia,  $a$  = constante
- **Protocolos de latencia alta:**
  - Aloha no es sensible a la latencia, pero generalmente presenta una tasa de transferencia baja:  
Retardos muy pequeños
  - El sistema de reservas puede lograr una tasa de transferencia muy elevada:  
Retardos para realizar las reservas
  - Los protocolos se pueden diseñar para que actúen como un híbrido entre Aloha y las reservas:  
Aloha cuando la carga es baja y reservas cuando es elevada



# Comparación de protocolos MAC



Satélite GEO con retardo de ida y vuelta de 0,5 segundos