

**Tema 2**

# **Control de acceso al medio**

**Tecnologías de red**  
Grado en Ingeniería Informática. Esp. Ing. de Computadores  
*Curso 2015/2016*

**Jesús Esteban Díaz-Verdejo**  
Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones  
E.T.S. Ingeniería Informática – Universidad de Granada  
C/ Periodista Daniel Saucedo Aranda, s/n - 18071 – Granada (Spain)  
Teléfono: +34-958 242304 / 05 - Fax: +34-958 240831 - Email: jedv@ugr.es

 © JEDV, 2005

## Esquema

1. Medios compartidos y control de acceso
  - 1.1 Servicios y funciones de la capa de enlace
2. Multiplexación
  - 2.1 Multicanalización en frecuencias
  - 2.2 Multiplexación por división en el tiempo
  - 2.3 Espectro expandido
  - 2.4 Análisis de prestaciones en TDM
    - Fundamentos de teoría de colas
3. Técnicas de acceso múltiple
  - 3.1 Acceso aleatorio
    - ALOHA
    - CSMA
    - CSMA/CD
    - CSMA/CA
  - 3.2 Técnicas libres de colisión
    - Basadas en reserva
    - Basadas en consulta

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

## Bibliografía

**Básica**

- León-García, A.: **Redes de comunicación**, McGraw-Hill, 2002  
8448131975 (**Tema 6**)
- P. García Teodoro y otros; **Transmisión de datos y redes de computadores**, 2ª. ed., Pearson, 2014. ISBN: 9788490354612 (**Tema 3**)

**Complementaria**

- Stallings, W.: **Comunicaciones y redes de computadores**, Prentice-Hall, 7a. ed., 2004  
ISBN: 84-205-4110-9
- Tanenbaum, A.D.; Wetherall, D.J. ; "**Computer Networks**", 5ª ed., Prentice-Hall, 2011, ISBN: 9780132126953

2- Control de acceso al medio

Transmisión de datos y redes de computadores

COMPUTER NETWORKS

v. 2.0.4



## Conceptos básicos

**Objetivo**

**Estudio y análisis de las técnicas para compartir el canal**

- CAPA 2 (ENLACE) del modelo OSI
  - Funciones no recogidas explícitamente en el modelo OSI
  - Subdivisión en dos subcapas: subcapa MAC + subcapa de enlace

**Problemas:**

- Acceso al canal por múltiples estaciones transmisoras
  - Canal de difusión / Enlaces punto a punto compartidos (subred)
- Posible infrautilización del canal en función del ancho de banda disponible vs. ancho de banda de una transmisión
- Características de las transmisiones:
  - Sin apenas variación en el tiempo
  - Con grandes variaciones en el tiempo (acceso aleatorio)
- Uso óptimo de los recursos: tiempo / ancho de banda
- Dimensionado / análisis de prestaciones

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4



**Medios compartidos y control de acceso**

## 1 **Medios compartidos y control de acceso**

- Escenarios (ejemplos)
  - Redes de difusión
    - Colisiones (interferencias) si acceso simultáneo
  - Comunicaciones/redes punto a punto

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

5

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Medios compartidos y control de acceso**

## 1 **Medios compartidos y control de acceso**

**Necesidad de compartir las líneas de transmisión**

- Múltiples equipos usando la línea (redes de difusión)
- Enlaces punto a punto
  - Topologías no completamente conectadas en la subred

**Es aconsejable compartir la capacidad del canal entre varios sistemas/equipos**

- La mayoría de los sistemas requieren un ancho de banda reducido (respecto del canal)
  - Ejemplo: señales de voz (4 kHz) sobre enlaces de 1 MHz
    - ◆ Se podría dar cabida a 250 conversaciones

**Recurso de un sistema de comunicación: tiempo y ancho de banda disponibles**

- Importante planificar la asignación de recursos entre usuarios/sistemas
- Máximo aprovechamiento: todo el ancho de banda todo el tiempo

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

6

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Medios compartidos y control de acceso

## 1 **Medios compartidos y control de acceso**

### Aproximaciones básicas

- **Multiplexación:** transmisión de la información procedente de varias fuentes sobre un mismo canal físico
  - Finalidad: **aumento de la eficiencia**
  - Tres técnicas básicas: **FDM, TDM y espectro expandido**
  - Asignación de recursos fija (o cambios reducidos) **a priori**
- **Acceso múltiple:** análogo a multiplexación
  - Reparto temporal del uso del canal
  - Asignación de recursos **dinámica**
  - Protocolos para la gestión del acceso múltiple

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

7 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada



**Medios compartidos y control de acceso**

## 1 **Medios compartidos y control de acceso** 4

- Aspectos relevantes:
  - Tasas de transferencia efectivas
  - Retardos:
    - En la transmisión del mensaje
    - En el acceso al canal
      - ◆ Teoría de colas
  - Sobre carga / eficiencia
    - Ancho de banda/tiempo no utilizado en transmisión de datos
    - Posible aparición de "colisiones" (interferencias)
  - "Calidad" del reparto
    - Equitativo / no equitativo
    - Garantías de acceso

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

8 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

**Medios compartidos y control de acceso ▶ Servicios y funciones de la capa de enlace**

## 1.1 Servicios y funciones de la capa de enlace

**Capa de enlace (modelo OSI)**

- *¿Cómo se realiza cada salto en la ruta?*
- **Servicio de transferencia de datos seguro a través del enlace físico**
  - Envío de bloques de datos (**tramas**)
  - Sincronización y **control de flujo**
  - Control de errores
  - Límites de las tramas: **delimitación**
  - Fiabilidad: Gestión de tramas duplicadas, deterioradas o perdidas
- **Técnicas de control de acceso al medio (MAC, medium access control)**
  - Compartir canal en redes de difusión (LAN)
  - **Subcapa MAC:** control de acceso al medio, delimitación de tramas y detección de errores
  - **Subcapa de enlace:** control de flujo y recuperación de errores

Este diagrama ilustra la jerarquía de protocolos de red. A la izquierda, se muestra el modelo OSI con siete capas: Aplicación, Presentación, Sesión, Transporte, Red, Enlace y Física. Las capas de enlace (Enlace y Física) se agrupan bajo la etiqueta 'Medio físico'. A la derecha, se detallan los 'Protocolos de capas superiores' que interactúan con las capas superiores del modelo OSI. Los cuadros naranjas representan las 'Subcapas enlace' y 'Subcapa MAC', que se detallan como parte de la capa de enlace.

9

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Multiplexación**

## 2 Multiplexación

Proceso que permite la transmisión de la información procedente de varias fuentes sobre un mismo canal



Dos técnicas básicas:

- **FDM** (Multiplexación por división en frecuencias)
  - Todos los emisores transmiten simultáneamente
  - Rangos diferentes de frecuencias
    - ◆ Usado en radiodifusión y ADSL
- **TDM** (Multiplexación por división en el tiempo)
  - Transmisión basada en turnos a lo largo del tiempo
  - Uso del espectro de frecuencias completo
    - ◆ Usado en telefonía digital

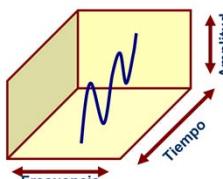
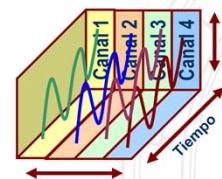
2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Multiplexación ▶ Multicanalización en frecuencia**

## 2.1 Multicanalización en frecuencia

- Uso del canal a lo largo del tiempo

- Se divide el ancho de banda del canal
  - Posible cuando la capacidad del medio excede la de la señal
- Cada señal a transmitir se asigna a una banda de frecuencias
  - Modulación con portadoras diferentes (diferentes frecuencias)
    - Traslación del espectro (*heterodinación* o *mezclado*)
- Separación entre canales
  - **Bandas de guarda**
- La señal transmitida es analógica

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Multiplexación > Multicanalización en frecuencia**

## 2.1 Multicanalización en frecuencia 2

### Multiplexación por división en frecuencias (FDM)

Subportadora  $f_1$

Subportadora  $f_2$

...

Subportadora  $f_N$

$m_1(t)$

$m_2(t)$

$m_N(t)$

$s_1(t)$

$s_2(t)$

$s_N(t)$

$\Sigma$

$m_{FDM}(t)$

Canal compuesto con varios canales

Ancho de banda total

Ancho de banda individual

$f_1$

$f_2$

$Bs_1$

$Bs_2$

$Bs_N$

$B_c$

- Evitar interferencias entre canales
- Actuación de los filtros (separabilidad)

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

12

2- Control de acceso al medio

**Multiplexación > Multicanalización en frecuencia**

## 2.1 Multicanalización en frecuencia 3

**Reconstrucción:**

- Recepción
- Selección de componentes mediante filtros paso banda
- Demodulación

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

13

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Multiplexación por división en el tiempo

## 2.2 Multiplexación por división en el tiempo

### TDM síncrona

- Combinación temporal de las señales
  - Se reparte el tiempo intercalando porciones de las señales
  - Transmisión basada en turnos
- Usualmente se emplean señales digitales

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

14

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Multiplexación por división en el tiempo

## 2.2 Multiplexación por división en el tiempo <sub>2</sub>

**Operación**

- Sondeo ("Scan") secuencial
- Formato de transmisión
  - **TRAMA (FRAME)**: ciclo completo
  - **CANAL**: secuencia de intervalos asignados a una señal
    - Se pueden combinar señales analógicas y digitales
    - **Flags** para principio/fin de ciclo
  - Cada intervalo ("slot" o ranura) contiene un bit o un carácter
  - **Intervalos asignados estáticamente** (envío de ranuras vacías)

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

15 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

**Multiplexación ▶ Multiplexación por división en el tiempo**

## 2.2 Multiplexación por división en el tiempo 3

Escaneado  
Comutador

Memoria temp

$m_1(t)$   
 $m_2(t)$   
 $\vdots$   
 $m_N(t)$

$m_c(t)$

1<sup>a</sup> pos.

**Recuperación:**

- Escaneado de los datos de entrada
- Canal de salida identificado por **posición en la trama (CANAL)**

**Control del enlace TDM**

- Gestión individualizada de cada canal (capas superiores)
  - Control de flujo y de errores realizados a otro nivel

16

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Multiplexación por división en el tiempo

## 2.2 Multiplexación por división en el tiempo 4

- Sincronización/delimitación de tramas
  - Es necesario garantizar la sincronización de las tramas
  - Delimitación usual por **dígitos añadidos**
    - *Canal de control* con patrones predefinidos de bits
- Inserción de bits
  - **Velocidades de transmisión:**
$$C > \sum_{i=1}^N v_i$$
    - Sincronización de las distintas fuentes de datos (relojes)
    - Adecuado para fuentes con tasas de transferencia homogéneas
      - Frecuencia de escaneado determinada por fuente más rápida
      - Posible uso de varias ranuras por trama para las fuentes que no tengan datos
        - Ineficiencia debido a ranuras vacías
    - Inclusión de bits adicionales para ajustar relaciones de velocidades
      - En posiciones fijas para posibilitar su eliminación

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

17

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada



**Multiplexación ▶ Acceso múltiple por división de código**

## 2.3 Acceso múltiple por división de código

**Técnicas de espectro expandido**

- Transmisión de una señal haciendo uso de un mayor ancho de banda del estrictamente necesario

**Objetivos:**

- Reducir las interferencias
- Dificultar la detección en presencia de ruido de fondo
- Mejorar la privacidad

```

    graph LR
      A[Datos] --> B[Codificación]
      B --> C[Modulación]
      C --> D[Canal]
      D --> E[Demodulación]
      E --> F[Decodificación]
      G[Secuencia pseudoaleatoria] --> C
      H[Secuencia pseudoaleatoria] --> E
  
```

- La secuencia pseudoaleatoria se usa para expandir el espectro
- Dos esquemas:
  - De secuencia directa
  - Por salto de frecuencias

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Multiplexación ▶ Acceso múltiple por división de código**

## 2.3 Acceso múltiple por división de código <sub>2</sub>

### Espectro expandido de secuencia directa

- DSSS (*Direct sequence spread spectrum*)
- Secuencia de bits aleatoria con duración de bit inferior a la de la secuencia de datos: **Minibit (chip)**
- Modulación mediante operación XOR de la secuencia aleatoria y datos

secuencia de bits de datos

secuencia de minibits pseudo-aleatoria

secuencia de bits a transmitir

$T_b$

$T_c$

v. 2.0.4

Universidad de Granada

19

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

**Multiplexación ▶ Acceso múltiple por división de código**

## 2.3 Acceso múltiple por división de código 3

**Espectro expandido por salto de frecuencias**

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) o FH
- Se usa la secuencia aleatoria para elegir la frecuencia para cada una de las tramas
  - La expansión del espectro se consigue en base a la utilización de distintas frecuencias portadoras

■ Características de las secuencias pseudoaleatorias
 

- **Ortogonalidad:** garantiza la recuperación de los datos generados por un emisor sin interferencias del resto
- **Longitud infinita:** evita la posible predicción por terceros

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

20

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM

**Eficiencia de ocupación (TDM):**

$$E = \frac{K}{N}$$

- **N**, número de divisiones predeterminadas del canal
- **K**, número medio de emisiones o ranuras ocupadas
- Si **K=N**, la eficiencia es máxima (100%)
- Si las transmisiones son a ráfagas (**K≠N**) se desaprovecha canal

**Retardo**

- **N** fuentes de Poisson con tasa de llegada **λ/N**
- Tiempo medio de transmisión **1/μ**
- **Sin multiplexar**      **Multiplexación TDM (M/M/1)**

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad T_{TDM/FDM} = \frac{N}{\mu - \lambda} = NT$$

■ La situación empeora si las tasas de transferencia no son homogéneas

2- Control de acceso al medio      v. 2.0.4      Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM<sub>2</sub>

### TDM estadística

- La asignación estática de ranuras puede no ser óptima
- Mejora: Asignación dinámica de ranuras
  - Si el emisor no dispone de datos, cede su turno al siguiente
    - Número de ranuras inferior al de fuentes
- Información de **direcciónamiento** en cada ranura
  - **D** bits de datos por ranura
  - **H** bits de cabecera (direcciónamiento) en cada ranura

**TDM síncrono**

A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
----	----	----	----	----	----	----	----

Primer ciclo      Segundo ciclo

**Direcciónamiento**

$$E = \frac{K \cdot D}{K \cdot (D + H)} = \frac{D}{(D + H)}$$

**TDM estadístico**

A1	B1	B2	C2	Disponible
----	----	----	----	------------

Primer ciclo      Seg. ciclo

2- Control de acceso al medio      v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas

## Fundamentos de teoría de colas

- Factor de rendimiento en redes de comunicaciones: **retardo medio de la transmisión**
  - Importante impacto en diseño de funciones de red como control de flujo y encaminamiento
- Aparición (natural) de colas en los nodos (conmutación y encaminamiento)
- Colas de entrada y/o salida en los equipos finales
  - Acceso al medio**

The diagram illustrates the internal structure of a router. It shows an 'Origen' (Source) computer icon connected to a central box labeled 'Encaminoador' (Router). Inside the router, there is a 'Cola de servicio' (Service Queue) containing four blue boxes, each labeled 'R'. Following the queue is a 'Módulo de servicio' (Service Module) containing a single green box labeled 'R'. An arrow points from the router to a 'Destino' (Destination) computer icon.

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

23

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas

## Fundamentos de teoría de colas <sub>2</sub>

Componentes del retardo de cada bloque de datos en cada nodo:

- Retardo de procesamiento ( $t_{proc}$ )
  - Tiempo desde que se recibe el bloque hasta que asigna a la salida correspondiente
- Retardo de cola ( $t_q$ )
  - Tiempo desde que se asigna a una cola de salida hasta que comienza a ser transmitido
- Retardo de transmisión ( $t_{trans}$ )
  - Tiempo desde que se inicia la transmisión del primer bit hasta que se finaliza la transmisión del último bit del bloque
- Retardo de propagación ( $t_{prop}$ )
  - Tiempo que tarda un bit en propagarse por el enlace
    - $t_{prop}$  depende de las características de la línea
    - $t_{prop}$ ,  $t_{proc}$  y  $t_{trans}$  son independientes del volumen de tráfico existente
    - $t_q$  **depende del volumen de tráfico**

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

24

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada



Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas

## Fundamentos de teoría de colas 3

 **Teoría de colas**

- Entorno para la evaluación de los retardos en una red
- Desarrollada para análisis del tráfico en redes telefónicas (*Erlang*)

 **Modelo simple de cola**



**Llegada trabajos** → **Cola** → **Salida trabajos**

**Cola de servicio (tamaño n)**

**Módulo de servicio**

*Tiempo de servicio (t<sub>s</sub>)*

**Elementos**

- Llegada de trabajos (aleatoriedad) a tasa media de  $\lambda$  trab./s
- Tasa de servicio  $\mu$  trab./s ( $\mu = 1/E[t_s]$ )
- Tamaño de la cola,  $n$  (se obviará por ahora)
  - ♦ Se debe cumplir  $\lambda < \mu$

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

25

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo



Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas ▶ Teorema de Little

## Teorema de Little

- Tiempo de servicio,  $t_s$ : tiempo empleado en procesar/gestionar cada trabajo
  - En nuestro contexto, tiempo de transmisión de una ranura

### Teorema de Little

$$N = \lambda T$$

- Tasa de llegada,  $\lambda$
- Número medio de trabajos en la cola,  $N$
- Retardo medio  $T$

- Corolario: Número medio de trabajos esperando en la cola,  $N_q$

$$N_q = \lambda W$$

- Tiempo medio de espera en la cola,  $W$

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

26

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas ▶ Teorema de Little

## Teorema de Little <sub>2</sub>

**Ejemplo:** Restaurante de comida rápida

- Un único camarero (servidor)
- Tasa de llegada: dos personas por minuto
- Tiempo de espera para ser atendidos: 3 minutos
- La mitad de los clientes comen en el restaurante y la otra mitad en casa
- Tiempo comiendo en el restaurante: 20 minutos
- ¿Número medio de clientes esperando?

$$N_q = \lambda T = 2 \cdot 3 = 6$$

- ¿Número medio de clientes en el restaurante?
  - Tiempo medio por cliente (**T**)
  - $T = 0,5 \cdot 23 + 0,5 \cdot 3 = 13 \text{ min}$
  - Tiempo medio en la cola **W**=3 min

$$N = \lambda T = 2 \cdot 13 = 26$$

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas ▶ Tipos de colas

## Tipos de colas

Los sistemas de colas quedan definidos por:

- Proceso de llegada: forma de llegada de los trabajos a la cola
- Tipo de servicio: forma en que se atienden los servicios
- Número de servidores

**Llegada trabajos**

**Salida trabajos**

**Utilización**  $\rho = S\lambda$

**Trabajos totales ( $N=E[q]$ )**

**Trabajos en espera ( $N_q=E[w]$ )**

**Tiempo de espera ( $W=E[t_w]$ )**

**Tiempo de servicio ( $S=E[t_s]$ )**

**Tiempo total en cola ( $T=E[t_q]$ )**

**λ trabajos por unidad de tiempo**

**R** **R** **R** → **Servidor** → **R**

v. 2.0.4

Universidad de Granada

28

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

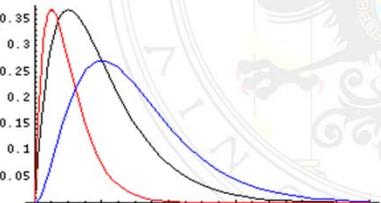
Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM ▶ Fundamentos de teoría de colas ▶ Tipos de colas

## Tipos de colas <sub>2</sub>

 Denominación **X/Y/n**

- **X**: Tipo de distribución de los tiempos de llegada
- **Y**: tipo de distribución de los tiempos de servicio
- **n**: número de servidores
  - Tamaño máximo de la cola

 Tipos de distribuciones (X e Y)

- **Poisson (M)**: llegada según un proceso de Poisson
  - Tiempos entre llegadas exponenciales
  - Probabilidad de llegada de k trabajos
$$P[k] = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

- **Determinista (D)**: llegada determinista, no es un proceso aleatorio
- **Genérica (G)**: llegada según un proceso estadístico que sigue una distribución genérica

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

 Universidad de Granada

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM 3

- La velocidad efectiva de salida de un multiplexor es menor que la suma de las velocidades de las entradas
  - En promedio
  - Periodos de pico
  - Solución: **memorias temporales (buffers)**
  - Compromiso entre tamaño de la memoria y velocidad de la línea
    - Mayor memoria implica mayor retardo
- Análisis de prestaciones
  - I, número de fuentes de entrada
  - R, velocidad nominal de cada fuente, en bps
  - M, capacidad efectiva de la línea, en bps
  - $\alpha$ , fracción media de tiempo que transmite cada fuente ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )
  - K, razón entre la capacidad de la línea y la entrada máxima total

$$K = \frac{M}{IR}$$

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

**Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM**

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM 4

- **K** es una medida de la compresión alcanzada
  - $K=1$  corresponde a un multiplexor síncrono
  - Si  $K < \alpha$ , la entrada excederá la capacidad del multiplexor
- Cola de un único servidor con tiempos de servicio constantes y distribución de llegadas tipo Poisson

$$\lambda = \alpha I \frac{R}{L} \quad S = \frac{L}{M}$$

- Con **L** longitud media de los paquetes (ranuras)
- Utilización de la línea

$$\rho = \lambda S = \frac{\alpha I R}{M}$$

- El tamaño medio de la memoria depende de **p**

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

31

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM**

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM 5

**Multiplexor de memoria infinita**

- Tasa máxima de salida,  $\mu = \frac{M}{L}$
- Suponiendo un comportamiento **M/M/1**

$$T = \frac{1}{\mu(1-\rho)}; \quad W = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)};$$

$$N = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

- Suponiendo **M/D/1**

$$T = \frac{2-\rho}{2\mu(1-\rho)}; \quad W = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)};$$

$$N = \frac{\rho(2-\rho)}{2(1-\rho)}$$

The graph plots 'Normalized average delay' on the y-axis (ranging from 0 to 10) against 'Load' on the x-axis (ranging from 0 to 0.99). Two curves are shown: a solid line for the M/M/1 model and a dashed line for the M/D/1 model. Both curves start at (0,1) and increase monotonically. The M/M/1 curve is steeper than the M/D/1 curve, indicating higher normalized average delay for the same load in the M/M/1 case.

Normalized average delay

Load

M/M/1

M/D/1

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

32

**Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM**

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM 6

(a) Mean buffer size versus utilization

(b) Mean delay versus utilization

Probability of overflow

Buffer size (characters)

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

33

2- Control de acceso al medio

Multiplexación ▶ Análisis de prestaciones en TDM

## 2.4 Análisis de prestaciones en TDM 7

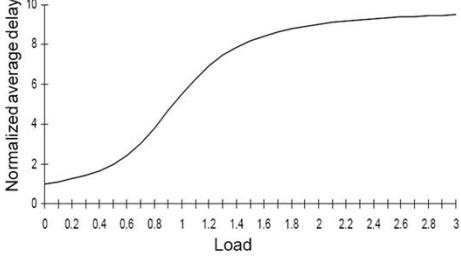
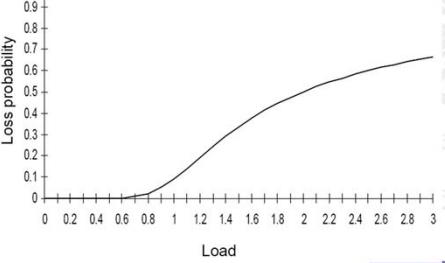
 Multiplexor de memoria finita (**M/M/1/K**)

 Probabilidad de pérdida de paquetes

$$P_{\text{perd}} = \frac{(1-\rho)\rho^K}{1-\rho^{K+1}}$$

$$T = \frac{N}{\lambda(1-P_{\text{perd}})}; \quad N = \frac{\rho}{(1-\rho)} - \frac{(K+1)\rho^{K+1}}{1-\rho^{K+1}}$$

Finite buffer multiplexer

Normalized average delay

Load

Loss probability

Load

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

34

Técnicas de acceso múltiple

### 3 Técnicas de acceso múltiple

Las técnicas de multiplexación implican una división estática del medio

- Adequado cuando todos los emisores transmiten de forma continua
- No adecuado para número de emisores activos bajo y/o tráfico a ráfagas
  - Eficiencia muy baja
  - El tráfico de datos suele ser a ráfagas
    - Tasas de pico respecto de media de 1000 a 1

Retardo medio sufrido por una trama:

- Sin multiplexación
- Con multiplexación en **N** canales

$$T_{FDM/TDM} = \frac{1}{C/(L.N) - \lambda/N} = \frac{N}{C/L - \lambda} = N.T$$

$\lambda$ , tasa llegada tramas,  $L$ , longitud de trama

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

25

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Técnicas de acceso múltiple**

### 3 Técnicas de acceso múltiple 2

- Necesidad de diseñar técnicas de acceso dinámicas para transmisión en redes de ordenadores
  - Caracterizados por **emisiones a ráfagas**
  - Las técnicas resultantes se pueden combinar con las ya descritas
- Transmisión "a demanda"
  - Posible aparición de **Colisiones**
    - Si dos estaciones transmiten simultáneamente se producen **interferencias** (colisión) y ambas transmisiones son erróneas



- Dos tipos de técnicas (básicas):
  - Basadas en contención (acceso aleatorio)
  - Libres de colisión

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

36

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio

## 3.1 Acceso aleatorio

- Las **técnicas de contención** o **técnicas de acceso aleatorio** intentan evitar las colisiones
  - Mecanismos y reglas que minimicen el número de colisiones
  - Normas para los intentos de retransmisión
  - **No se garantiza la no existencia de colisiones**
- Variantes en función de los mecanismos/reglas establecidos
- **Suposiciones / terminología**
  - Modelo de estación: n estaciones independientes
  - Canal único compartido
    - Todas las estaciones pueden transmitir/recibir sobre el único canal disponible
- **Colisiones**
  - Si dos estaciones transmiten simultáneamente se producen **interferencias** (colisión) y ambas transmisiones son erróneas
  - Todas las estaciones pueden **detectar** colisiones
  - Las tramas con colisión deben ser **retransmitidas** (erróneas)

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada



Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

## ALOHA puro y ranurado

- Origen: Abramson, años 70
  - Comunicación inalámbrica en Hawái
- Hay dos variantes básicas: puro y ranurado

### ■ Aloha puro

- Las estaciones pueden transmitir cuando tengan datos disponibles
- Las colisiones se tratan como errores de transmisión
  - Mecanismos de recuperación de errores
  - Si la trama ha sido destruida (**colisión**) se espera un tiempo **ALEATORIO** y se retransmite
    - ◆ Colisión continuada en caso contrario

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

38

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**ALOHA puro y ranurado**

El intento de transmitir puede estropear dos tramas

- Intervalo de vulnerabilidad: intervalo para el que habiéndose transmitido una trama, cualquier otra que accediera o hubiera accedido, provocaría colisión ( $2 t_{\text{trama}}$ )

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

39

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

## ALOHA puro y ranurado 3

 **Eficiencia:** estudio aproximado (Abramson)

Definiciones

- Paquetes de longitud constante  $L$ ,  $t_{trama} = X = L/R$
- **S:** velocidad de llegada de nuevos paquetes: n.º medio tramas generadas durante el tiempo de trama (eficiencia)
  - Normalizada a duración de trama (tramas/X segundos)
  - **Rendimiento del sistema**
- **G:** velocidad de llegada total: n.º medio intentos de transmisión durante el tiempo de trama
  - **Carga total**
  - Tráfico generado vs. tráfico transmitido
    - $G \geq S$
    - Si  $S > 1$  habrá múltiples colisiones
    - Si  $S \rightarrow 0$  habrá pocas colisiones ( $G \approx S$ )

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

40

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

 Universidad de Granada

**ALOHA puro y ranurado**

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

■ Suposición: la generación de tramas sigue una **distribución de Poisson**

- Número medio de  $2G$  llegadas cada  $2X$  segundos
- Prob. de generación de  $k$  tramas durante  $t=\mu$

$$P[k \text{ transmisiones en } 2X \text{ segundos}] = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$

- Rendimiento: tasa de llegadas total  $G$  por la probabilidad de transmisión con éxito

$$S = GP[0] \Rightarrow$$

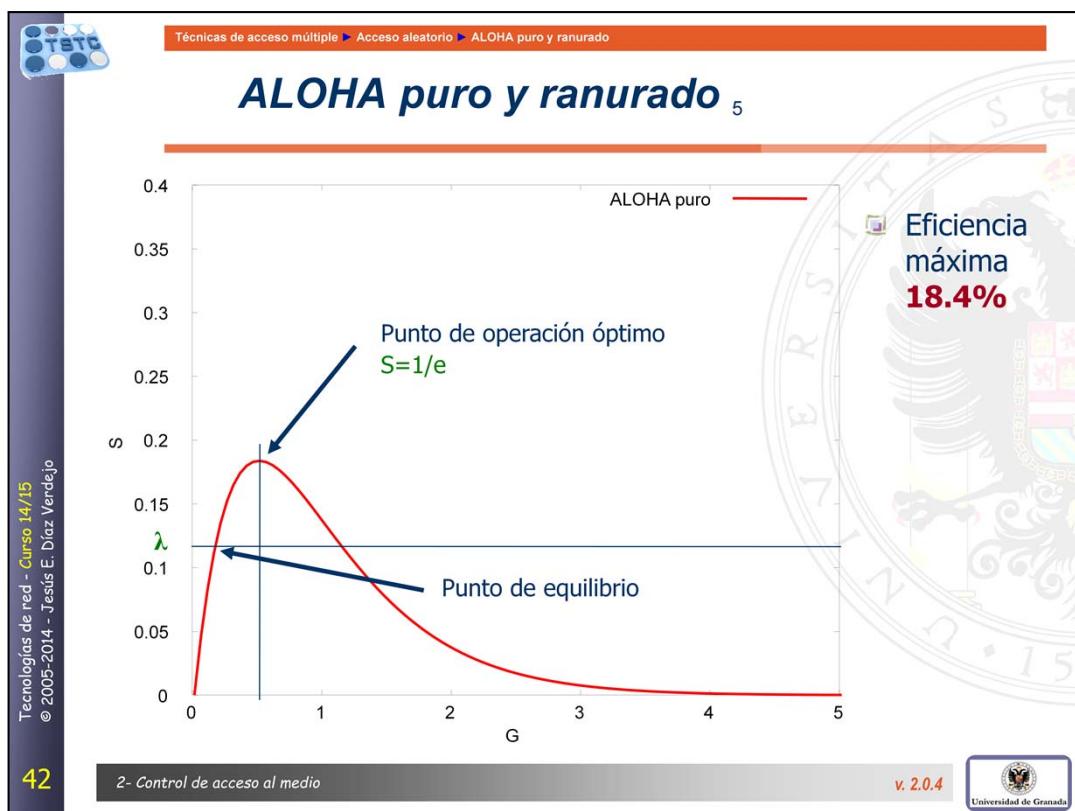
$$S_{ALOHA} = Ge^{-2G}$$

■ Rendimiento máximo  $S=1/2e$  para

G	S <sub>Ge<sup>-G</sup></sub>	S <sub>Ge<sup>-2G</sup></sub>
0	0.0000	0.0000
0.5	0.1840	0.1840
1	0.3680	0.1840
2	0.3680	0.0000
8	0.0000	0.0000

v. 2.0.4

Universidad de Granada



Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

## ALOHA puro y ranurado 6

Análisis del **retardo**:

- Número medio de intentos de transmisión por paquete

$$G / S = e^{2G}$$

- Intentos fracasados por paquete

$$\varepsilon = G / S - 1 = e^{2G} - 1$$

- Retardo: transmisión seguida de retransmisiones
  - Tiempo de retroceso medio: **B** (tiempo para retransmisión)
  - Tiempo de propagación: **t<sub>prop</sub>**

$$E[T_{aloha}] = X + t_{prop} + \underbrace{(e^{2G} - 1)}_{\text{1ª. transmisión}} \underbrace{(X + 2t_{prop} + B)}_{\text{Retransmisiones}}$$

- Normalizado

$$E[T_{aloha}] / X = 1 + a + (e^{2G} - 1)(1 + 2a + B / X) \quad \text{con} \quad a = \frac{t_{prop}}{X}$$

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

**ALOHA puro y ranurado**

## Aloha ranurado

- División del tiempo en intervalos correspondientes a 1 trama
- Sólo se puede iniciar una transmisión al principio del intervalo
  - Cada trama sólo podrá colisionar durante el tiempo de trama
    - ♦ Vulnerabilidad  $t_{trama}$  ( $\mu=G$ )

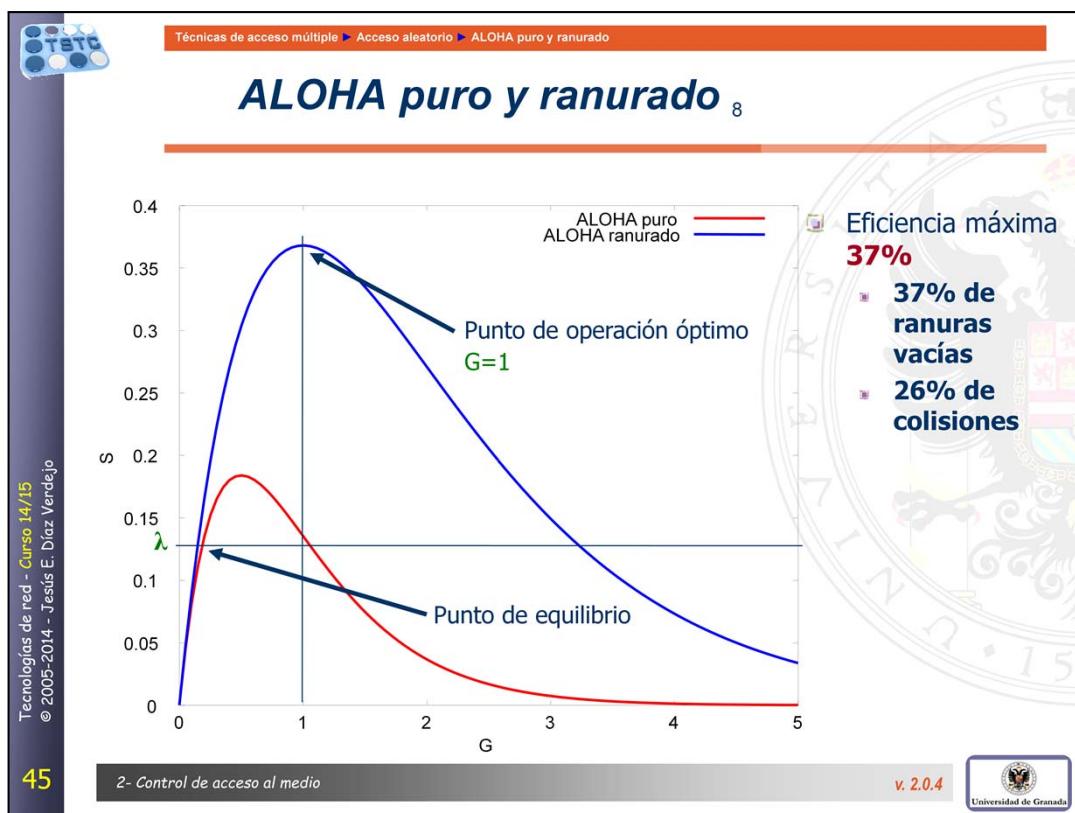
$$S_{ALOHAranurado} = Ge^{-G}$$

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada



Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

## ALOHA puro y ranurado 9

### Retardos

$$E[T_{aloha-ranurado}] / X = 1 + a + (e^G - 1)(1 + 2a + B/X) \quad \text{con} \quad a = \frac{t_{prop}}{X}$$

### Número de intentos

- Probabilidad de requerir  $k$  intentos (ALOHA ranurado)
  - Probabilidad de transmitir con éxito  $e^{-G}$
  - $k-1$  colisiones seguidas de una transmisión con éxito

$$P[k] = e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1}$$

- Número esperado de transmisiones,  $E$

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} kP[k] = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1} = e^G$$

- Pequeños incrementos en la carga producen drásticos decrementos en el rendimiento
  - ◆ Aparición de inestabilidades en la operación

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

46

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ ALOHA puro y ranurado

## ALOHA puro y ranurado 10

### Estabilidad y tasa de transferencia máxima

- Tasa de intentos de transmisión

$$G(n) = (m - n)q_a + nq_r$$

- m número total de estaciones
- n número de nodos con tramas pendientes de retransmitir
- $q_a$  probabilidad de transmisión de una nueva trama
- $q_r$  probabilidad de retransmisión de tramas
  - Uniforme en Aloha puro y ranurado

- Probabilidad de éxito

$$P_{exito} \approx G(n)e^{-G(n)}$$

- Máxima probabilidad para  $G(n)=1$

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**ALOHA puro y ranurado** 11

The graph plots  $mq_a$  (y-axis, 0 to 0.4) against  $G$  (x-axis, 0 to 5). Two curves are shown: a blue curve for ALOHA pure ( $G(n)$ ) and an orange curve for ALOHA slotted ( $G(n=0)$ ). The ALOHA pure curve starts at (0,0), peaks at approximately  $(G \approx 1.2, mq_a \approx 0.36)$ , and then decreases. The ALOHA slotted curve starts at approximately  $(G \approx 0.5, mq_a \approx 0.33)$  and decreases more gradually. Three regions are identified: 'Punto estable (deseado)' (stable point) at the peak of the blue curve, 'Equilibrio inestable' (unstable equilibrium) between the two curves, and 'Punto estable (no deseado)' (undesired stable point) at the intersection of the two curves (around  $G \approx 3.5$ ).

Objetivo: hacer que  $G(n)$  sea 1 (dinámicamente)

- $n$  es desconocido por los nodos
  - sólo se puede estimar a partir de realimentación (número de colisiones)
- Múltiples estrategias para determinar  $n$  (o, equivalentemente, ajustar  $q_r$ )

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

48 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA

## CSMA

**Acceso múltiple con detección de portadora  
(Carrier Sense Multiple Access)**

- Mejora: es posible detectar si el medio está en uso
  - Protocolo con detección de portadora
  - Kleinrock y Tobagi (1975)

**CSMA persistente (1-persistente)**

- Se examina el canal para ver si se está transmitiendo
  - Si está libre, se transmite
  - Si no está libre, se espera persistentemente hasta que lo esté

Estación A

Estación B

Estación C

Estación D

Estación E

v. 2.0.4

Universidad de Granada

49

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA

## CSMA<sub>2</sub>

**Existencia de colisiones:**

- Dos estaciones que esperan transmitir lo harán simultáneamente al liberarse el canal
- Por efecto del **retardo**: puede no detectarse como ocupado el canal (destrucción de tramas)



**Si se produce una colisión, se espera un intervalo (aleatorio) y se reintenta**

- De acuerdo al procedimiento de recuperación de errores establecido
- 1-persistente: probabilidad 1 de transmitir si canal libre

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

50

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA

## CSMA<sub>3</sub>

### CSMA no-persistente

- Antes de enviar se comprueba la línea y
  - Si está vacía, se envía la trama
  - Si está ocupada, se espera un periodo aleatorio antes de volver a comprobar

Estación A

Estación B

Estación C

Estación D

Estación E

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

51

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA

## CSMA<sub>4</sub>

### CSMA p-persistente

- Se aplica a canales ranurados
- Si el canal está **vacío**, se intenta transmitir con probabilidad **p**
  - Con probabilidad  $q=1-p$  se espera al siguiente intervalo
- Si el canal está **ocupado**, se espera un tiempo aleatorio antes de volver a comprobarlo

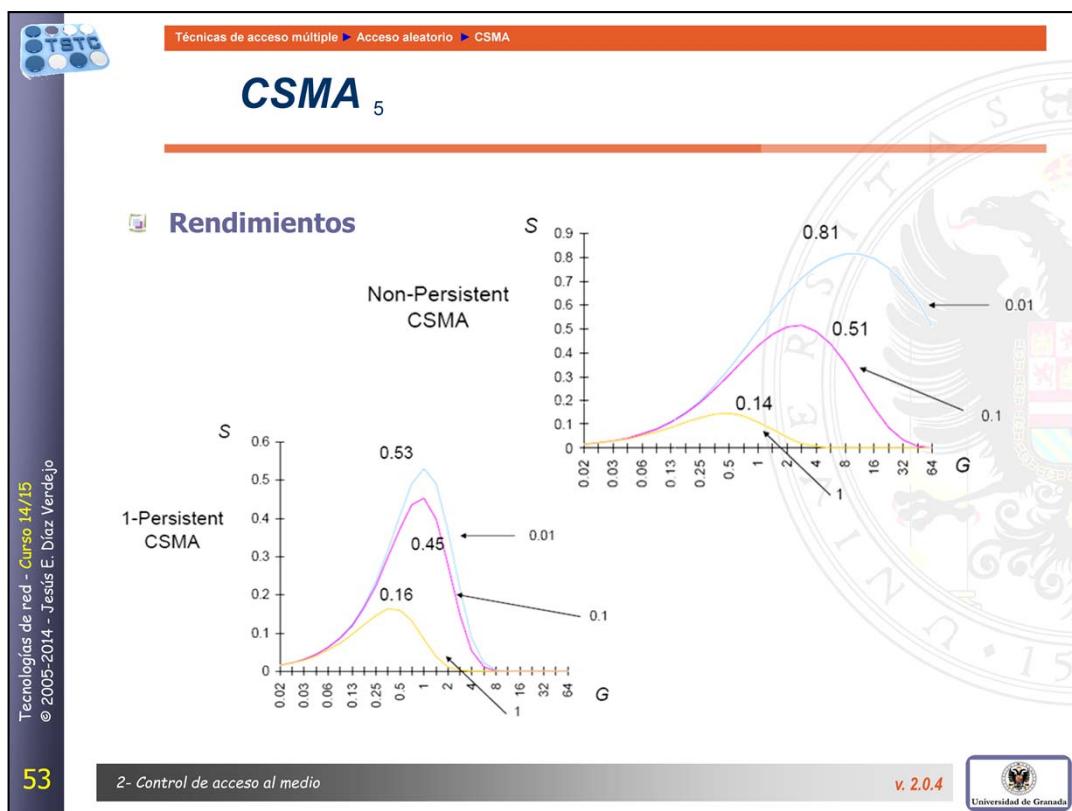
Estación A  
Estación B  
Estación C  
Estación D  
Estación E

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

52

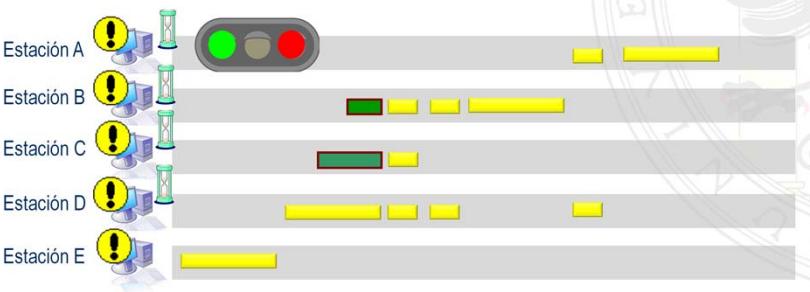


Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD

## CSMA/CD

 **CSMA/CD (CSMA with collision detection)**

- CSMA con detección de colisión
  - Es mejor que ALOHA al no intentar transmitir cuando está ocupado
- Mejora: **detectar la colisión** cuanto antes y desistir
- Tras detectar una colisión se espera un intervalo arbitrario



Estación A  
Estación B  
Estación C  
Estación D  
Estación E

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

54

**CSMA/CD**

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD

Aparecen intervalos y *slots* de contención

La duración de los *slots* de contención está relacionada con el retardo máximo

La detección de colisión es un proceso analógico: se escucha el canal para detectar cambios en la señal transmitida  
El sistema de codificación debe permitir la detección

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

55

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD

## CSMA/CD 3

**Eficiencia**

$$\rho = \frac{t_{trama}}{t_{trama} + t_p + R \cdot 2 \cdot t_p} \quad t_{trama} = \frac{L_{trama}}{v_{trans.}} \quad t_p = \frac{D}{v_{prop}}$$

- $t_p$ , tiempo de propagación,
- $R$ , númer. medios intervalos de contención antes transmitir con éxito
- $v_{trans.}$ , velocidad de transmisión
- $D$ , distancia entre estaciones más alejadas
- $v_{prop}$ , velocidad de propagación de las señales en el medio (típicamente,  $2,8 \times 10^8$  m/s)

Para evaluar  $R$  se calcula la probabilidad de transmisión con éxito para  $n$  estaciones con una probabilidad  $P$  de transmitir en un instante dado

$$P_{éxito} = \binom{n}{1} \cdot P \cdot (1-P)^{n-1}$$

$$\Rightarrow E[R] = \sum_{i=1}^{\infty} P_{éxito} \cdot (1 - P_{éxito})^{i-1} = \frac{1}{P_{éxito}}$$

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

56

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD

## 2.3 CSMA/CD 4

- El rendimiento máximo se producirá cuando todas las estaciones usan el valor de  $p$  que maximiza  $P_{\text{éxito}}$ 

$$P_{\text{éxito}}^{\text{máx}} = n \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1}$$
  - La probabilidad de éxito tiende a  $1/e$  al aumentar  $n$
- En condiciones óptimas, el número de ranuras de contención será
 
$$P[j \text{ ranuras}] = (1 - P_{\text{éxito}}^{\text{máx}})^{j-1} P_{\text{éxito}}^{\text{máx}}$$

$$E[J] = \sum_{i=1}^{\infty} i P_{\text{éxito}}^{\text{máx}} (1 - P_{\text{éxito}}^{\text{máx}})^{i-1} = \frac{1}{P_{\text{éxito}}^{\text{máx}}}$$
  - Para  $n$  alto,  $P_{\text{éxito}}^{\text{máx}} = 1/e$
$$E[J] = e = 2,718$$
- **Rendimiento máximo:** todo el tiempo se consume en transmisiones seguidas de períodos de contención
  - Cada tiempo de transmisión de un paquete  $E[x]$  está seguido de intervalos de contención

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

57 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD

## 2.3 CSMA/CD 5

### Rendimiento máximo

$$\rho_{\max} = \frac{E[X]}{E[X] + t_{prop} + 2et_{prop}} = \frac{1}{1 + (2e+1)a} \quad \text{con} \quad a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}}$$

### Retardo

- Evaluación bastante compleja
- Si todas las tramas tienen la misma longitud

$$\begin{aligned} \frac{E[T]}{X} &= \rho \frac{1 + (4e+2)a + 5a^2 + 4e(2e-1)a^2}{2\{1 - \rho(1 + (2e+1)a)\}} + \\ &+ 1 + 2ea - \frac{(1 - e^{2a\rho}) \left( \frac{2}{\rho} + 2ae^{-1} - 6a \right)}{2(e^{-\rho}e^{-\rho a-1} - 1 + e^{-2\rho a})} + \frac{a}{2} \end{aligned}$$

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

58 2- Control de acceso al medio v. 2.0.4 Universidad de Granada

**Técnicas de acceso múltiple ▶ Acceso aleatorio ▶ CSMA/CD**

## CSMA/CD 6

### Retroceso exponencial binario

(*Binary Exponential Backoff*)

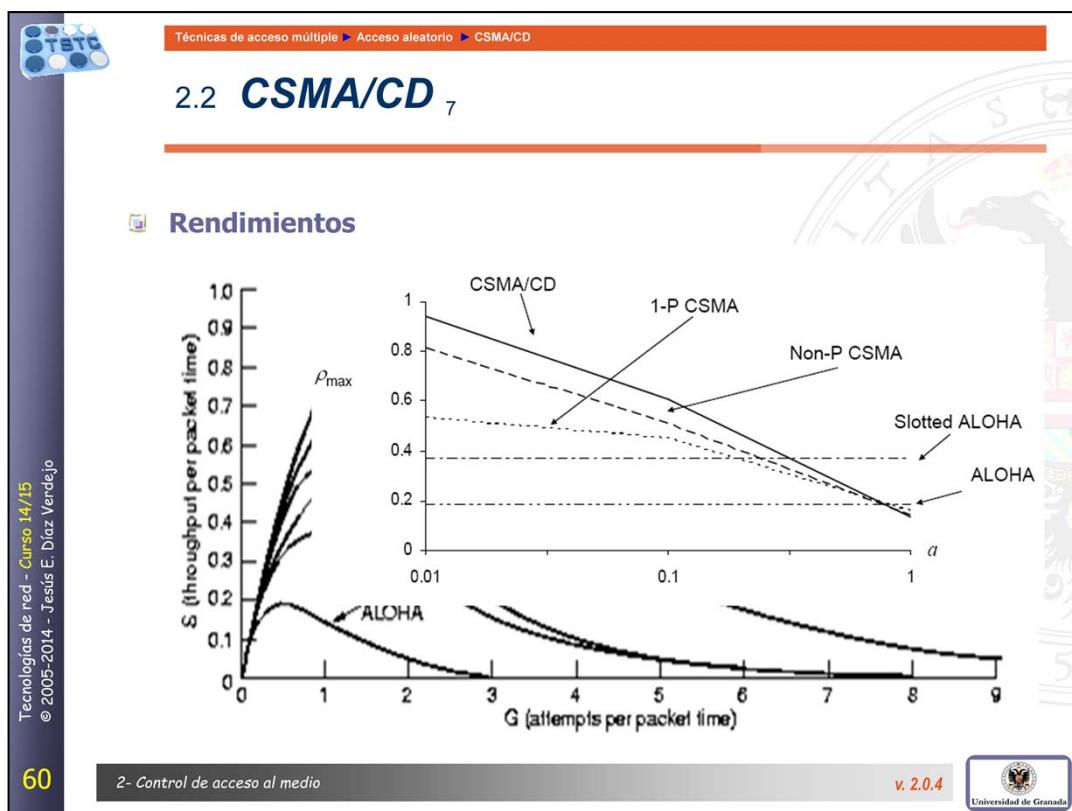
- Adaptación del tiempo de espera tras una colisión a las condiciones del canal
  - Adaptación de  $q_r$  de forma dinámica
  - Tras una colisión se usan ranuras de duración  $2t_{prop}$
  - Primera colisión: se espera **0** o **1** ranuras (al azar)
  - Segunda colisión: se espera **0, 1, 2** o **3** ranuras (al azar)
  - En general, se espera hasta  $2^n$  ranuras
  - Usado en IEEE 802.3
    - máximo 1024,  $n=10$
    - Tras **16** colisiones se abandona (con notificación de error)

Estación A

1ª colisión    2ª colisión    3ª colisión    4ª colisión    Transmisión con éxito

v. 2.0.4

Universidad de Granada



Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión

## 3.2 Técnicas libres de colisión

- En CSMA/CD no hay colisiones cuando una estación "adquiere" el canal
  - Se producen colisiones durante el periodo de contención
  - Disminución importante del rendimiento para distancias largas y tramas cortas o en alta ocupación
- Protocolo adecuado para baja carga (si  $N \rightarrow \infty$ ,  $U \rightarrow 0$ )
- El acceso al medio no está garantizado
- Protocolos libres de colisión: **no hay colisiones** ni durante el periodo de contención
- Dos grupos de técnicas:
  - Basados en reserva
  - Basados en consulta (sondeo)

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

61

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

**Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión ▶ Basadas en reserva**

## Basadas en reserva

### Asignación de bits

- Se intenta determinar qué estaciones desean transmitir (reserva), y
- Se establecen las reglas para que sólo una pueda hacerlo

#### Operación

Diagram illustrating the operation of the reservation-based access mechanism:

- The diagram shows two contention periods (labeled "Ranuras de contención") and four transmission periods (labeled "Trama 1" through "Trama 5").
- Each period has 8 slots (0-7).
- In the first contention period, stations 1 and 3 want to transmit.
- In the second contention period, stations 1 and 5 want to transmit.
- This results in collisions in both contention periods.
- The transmission periods follow, and after Trama 5, the cycle starts again.

- Se establecen períodos de contención con  $N$  slots (para  $N$  estaciones)
- Si la estación  $i$ -ésima quiere transmitir envía un bit 1 en el slot  $i$
- Tras los  $N$  slots se conoce qué estaciones desean transmitir
- La transmisión se realiza en orden numérico
- Tras la transmisión de todas las tramas se reinicia el ciclo
- Mejora y generalización de TDM asíncrono
- Variantes con contención para la realización de la reserva

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

62

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión ▶ Basadas en reserva

## Basadas en reserva<sub>2</sub>

 **Eficiencia:**

- Una estación con **número alto** debe esperar en promedio (si la línea está vacía)  
**N/2** tramas (turno para reservar) + **N** (reserva)
- Si el **número es bajo**, sólo tendrá que esperar **N/2** tramas
- En **promedio**, tendrán que esperar **N** tramas
- La eficiencia es:
  - baja ocupación
  - alta ocupación
    - con **L** longitud de trama

$$\rho = \frac{L}{N+L}$$
$$\rho_{\max} = \frac{LN}{LN+N} = \frac{L}{L+1}$$

• En alta ocupación sólo hay **1** bit por trama de sobrecarga

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

63

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

 Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión ▶ Basadas en consulta

## Basadas en consulta

- En los sistemas de reserva es necesario que todas las estaciones hagan reservas explícitamente
- Métodos de sondeo: las estaciones acceden al medio por turnos
  - En un instante dado, sólo una de las estaciones tiene permiso para transmitir
  - Cuando ha terminado, pasa el permiso a otra estación
- Varios métodos para pasar el permiso (testigo)
  - Centralizado: una estación gestora se encarga de gestionar los permisos
    - Mensajes de sondeo para determinar estaciones con transmisiones pendientes
  - Distribuido: las estaciones se van pasando el permiso en un orden preestablecido
    - Si no desean transmitir, pasan el permiso a la estación siguiente

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

64

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión ▶ Basadas en consulta

## Basadas en consulta <sub>2</sub>

### Paso de testigo

- Las estaciones intercambian un **testigo** (*token*) que autoriza a la estación que lo posee a transmitir
  - Estructura de la red en anillo
- Una vez recibido el paquete se libera y envía el testigo
- Problemas (entre otros):
  - Pérdida de testigo
  - Monopolización de la red por el poseedor del testigo



2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

65

Técnicas de acceso múltiple ▶ Técnicas libres de colisión ▶ Basadas en consulta

## Basadas en consulta 3

 **Eficiencia:**

■ Suponemos que:

- Sólo se emite una trama durante el tiempo de posesión del testigo (limitado)
- La topología es en anillo

■ Baja carga: sólo una de las estaciones desea transmitir

$$U = \frac{t_{trama}}{t_{trama} + t_p}$$

■ Alta carga: todas las estaciones desean transmitir

$$U = \frac{N \cdot t_{trama}}{N \left( t_{trama} + \frac{t_p}{N} \right)} = \frac{t_{trama}}{t_{trama} + \frac{t_p}{N}}$$

2- Control de acceso al medio v. 2.0.4

 Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

66



## Conceptos básicos

**Objetivo**

**Estudio y análisis de las técnicas para compartir el canal**

- CAPA 2 (ENLACE) del modelo OSI
  - Funciones no recogidas explícitamente en el modelo OSI
  - Subdivisión en dos subcapas: subcapa MAC + subcapa de enlace

**Problemas:**

- Acceso al canal por múltiples estaciones transmisoras
  - Canal de difusión / Enlaces punto a punto compartidos (subred)
- Posible infrautilización del canal en función del ancho de banda disponible vs. ancho de banda de una transmisión
- Características de las transmisiones:
  - Sin apenas variación en el tiempo
  - Con grandes variaciones en el tiempo (acceso aleatorio)
- Uso óptimo de los recursos: tiempo / ancho de banda
- Dimensionado / análisis de prestaciones

Tecnologías de red - Curso 14/15  
© 2005-2014 - Jesús E. Díaz Verdejo

67

2- Control de acceso al medio

v. 2.0.4

