



DISCA
DEPARTAMENT D'INFORMÀTICA
DE SISTEMES I COMPUTADORS

Reserva Eficiente de Recursos en Redes para Transmisión en Tiempo Real

Presentada Por:

Enrique Hernández Orallo

Dirigida Por:

Dr. Joan Vila i Carbó

Valencia, 11 de junio de 2001.

Notas biográficas

- Formación
 - Licenciado en Informática. 1992. (N.M. 8.67).
 - Comienzo doctorado en 1993.
- Experiencia profesional
 - Inisel (ahora Indra) : 1991-1992.
 - Proyectos tiempo real (Control tráfico aéreo, EFA).
 - Dpto. Internet-Arquitectura Redes. Bancaja: 1992-?
 - Arquitectura de redes (Tele-distribución IP)
 - Sistemas de teleproceso (Protocolos SNA, X-25)
 - Internet (J2EE).

Notas biográficas

- Docencia
 - Profesor asociado TP en U. Valencia.
 - Libro “Programación en C++” (*Paraninfo 1993*)
- Investigación
 - Grupo de Sistemas en Tiempo Real
 - Planificación
 - Soportes de ejecución
 - Sistemas multiprocesadores
 - Nueva línea de investigación
- 3 publicaciones internacionales y 1 nacional.

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

Índice

➤ Motivación y objetivos

- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

Motivación y objetivos

- Aplicaciones multimedia en red
 - Mayor demanda de transmisión en tiempo real
 - ✓ Requieren redes con Calidad de servicio.
- Esto implica:
 - Una gran utilización de recursos en la red

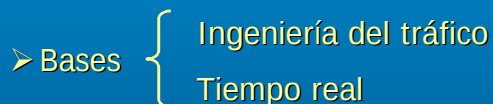
Eficiencia en el uso
de
recursos compartidos



Mayor número
de canales

Motivación y objetivos

- Estado del arte



Líneas de trabajo	Grupo Tenet (89-95)	{	➤ Ferrari: definición/89 Envolvente empírica/94
	Modelos teóricos (89-95)	{	Cálculo de redes (L.Cruz)/91 Ecuaciones de retraso (P&G)/92
	IETF (93-98)	{	Grupos IntServ y RSVP/93 Grupo DiffServ /97
	Modelos de tráfico	{	Autorregresivo, autosemejante,...

7/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Motivación y objetivos

- Soluciones planteadas (ahorro de recursos)
 - Servicio garantizado ⇒ Uso elevado de recursos
 - Servicio estadístico
- ¿De qué depende el uso de recursos?
 - Características del tráfico
 - Calidad de servicio requerida
- **Cuestión:** ¿cómo obtener los parámetros para los modelos a partir del tráfico?
 - Además estos parámetros determinan la reserva.

8/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Índice

- Motivación y objetivos
- **Transmisión en tiempo real**
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

Transmisión en tiempo real

- Redes en tiempo real.
 - **Objetivo:** proporcionar una calidad de servicio (QoS).
 - Garantía de cumplimiento de prestaciones.
 - Retraso, ancho de banda, variación del retraso (jitter), tasa de error
- Características del tráfico multimedia
 - Ancho de banda elevado: 1.2 a 40Mb/s
 - Comprimido. (MPEG, H.261)
 - Alta variabilidad.

Transmisión en tiempo real

- Transmisión en tiempo real [Ferrari90b]

“Se denomina servicio de transmisión en tiempo real aquel cuyos clientes pueden especificar los requerimientos sobre prestaciones y obtener garantía del cumplimiento de estos requerimientos.”

- Calidad de servicio [Vogel95]

“Calidad de servicio representa el conjunto de las características tanto cuantitativas como cualitativas de un sistema distribuido necesarias para alcanzar las funcionalidades requeridas por una aplicación.”

Transmisión en tiempo real

- Tipo transmisión

- Streaming

- Clientes piden vídeo/audio desde un servidor
 - Interactivo: similar a un vídeo o CD.
 - Retraso: varía entre 1 a 10s

- Unidireccional

- Similar a la transmisión de TV y radio
 - No interactivo: sólo ver y oír.
 - Retraso: depende de lo “directo” que se quiera

- Bidireccional

- Similar al teléfono o videoconferencia
 - Retraso muy exigente: 25 a 400ms

Transmisión en tiempo real

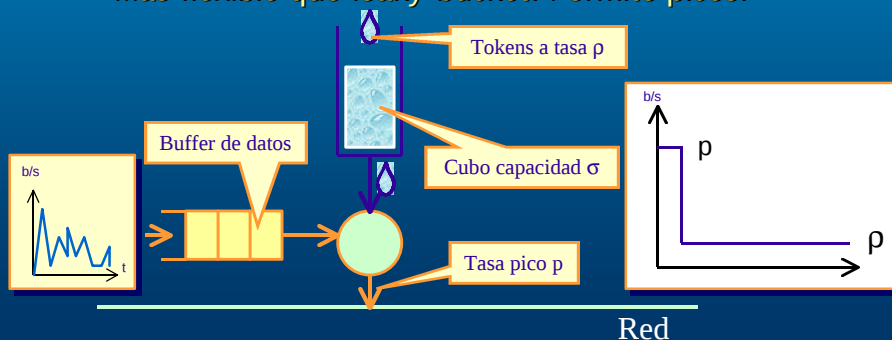
- Soluciones
 - Sobredimensionar:
 - Usar más ancho de banda, buffer, etc
 - Servicios integrados:
 - Tratamiento emisor-receptor.
 - Incorpora la reserva de recursos.
 - Asegura la calidad de servicio.
 - Servicios diferenciados:
 - Clasificar el tráfico $\Rightarrow$ tratamiento diferenciado.
 - Calidad de servicio $\Rightarrow$ Controlar la carga de la red

Transmisión en tiempo real

- Arquitectura de los servicios integrados.
 - Especificación del flujo (*flow spec*)
 - Características del tráfico a transmitir (*TSpec*)
 - Calidad del servicio requerido (*RSpec*)
 - Reserva de recursos (i.e. RSVP).
 - Control de tráfico
 - Control de admisión de nuevos canales.
 - Conformación del tráfico: Leaky bucket, Token bucket
 - Disciplinas de servicio (planificadores):
 - *Non work conserving*: RCSP, RC-EDF
 - *Work conserving*: WFQ $\Rightarrow$ servicio ecuánime ponderado
 - Encaminamiento (*routing*)

Transmisión en tiempo real

- Token bucket
 - Tres parámetros
 - σ : buffer
 - ρ : tasa de drenaje
 - ρ : tasa pico
 - Más flexible que leaky-bucket. Permite picos.



15/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Transmisión en tiempo real

- Comparación de protocolos estudiados

	Modelo De tráfico	Disciplina de servicio	Control de admisión	Reserva de recursos
ATM	Varios: CBR, VBR, rt-VBR, etc		CAC	
Tenet	Modelo Tenet (X_{min} , X_{ave} , I , S_{max})	RCSP, Delay-EDR, Jitter-EDR	Depende de la disciplina. En nodo y receptor.	Una pasada.
RSVP/ IETF	Token bucket	(WFQ o similares)	En receptor.	RSVP. Doble pasada.

16/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- **Descripción del tráfico**
 - Reserva óptima de ancho de banda
 - Optimización de la memoria en los nodos
 - Reserva eficiente para canales de reserva
 - Conclusiones

Descripción del tráfico

- Dado un tráfico se plantean dos problemas:
 - Cómo obtener los parámetros que hay que proporcionar a la red
 - Cada modelo de tráfico (Tenet, Token Bucket, ATM rt-VBR) tiene unos parámetros diferentes.
- Se propone un método para:
 - Comparar gráficamente modelos de tráfico
 - Obtener los parámetros.
- Para ello se utiliza el concepto de la envolvente empírica...

Descripción del tráfico

- Envolverte empírica [Knighly94]:

- Define una cota del tráfico independiente del tiempo.

- Función del tráfico $A(t)$:

- Bits en función del tiempo.

- Función de tráfico limitado $A^*(t)$:

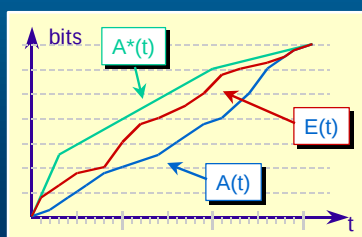
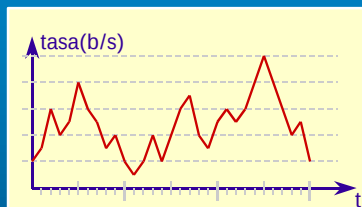
- Cota superior del tráfico independiente del tiempo.

$$A[t, t + t] \leq A^*(t) \quad \forall t \geq 0$$

- Envolverte empírica $E(t)$:

- Función $A^*(t)$ más exacta.

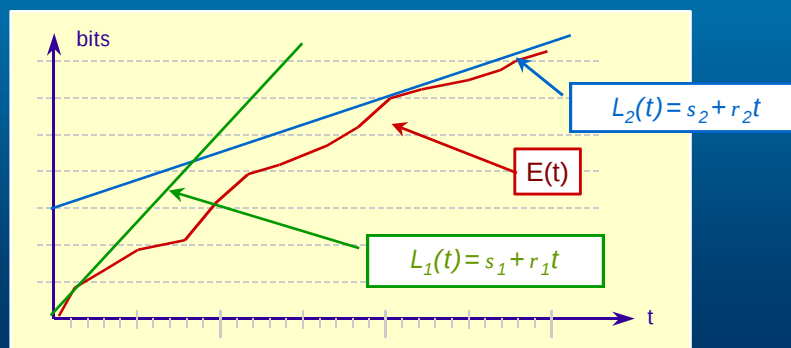
$$E^*(t) = \max_{t > 0} A[t, t + t] \quad \forall t > 0$$



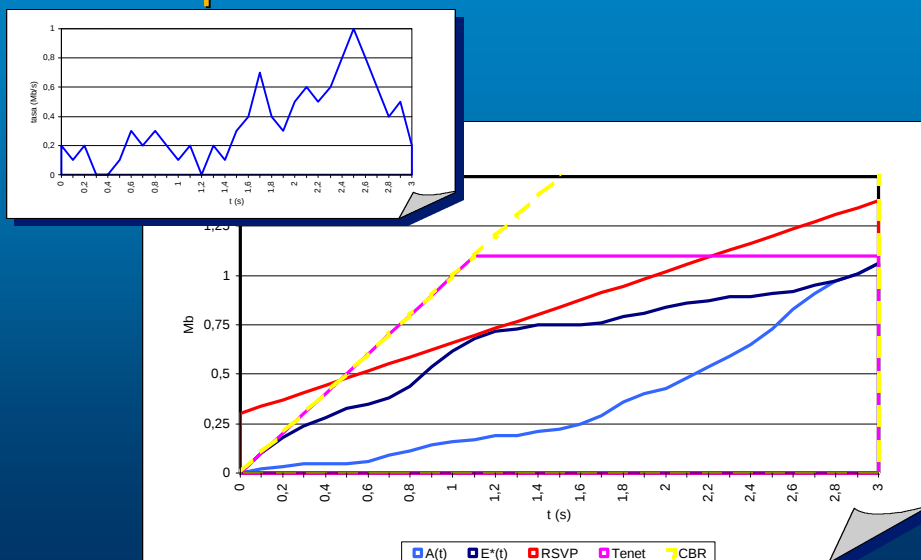
Descripción del Tráfico

- Propiedad de la envolverte empírica:

- Cualquier función de tráfico limitado que contenga a la envolverte estará limitando también el tráfico.



Descripción del tráfico



21/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- **Reserva óptima de ancho de banda**
 - Optimización de la memoria en los nodos
 - Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

22/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

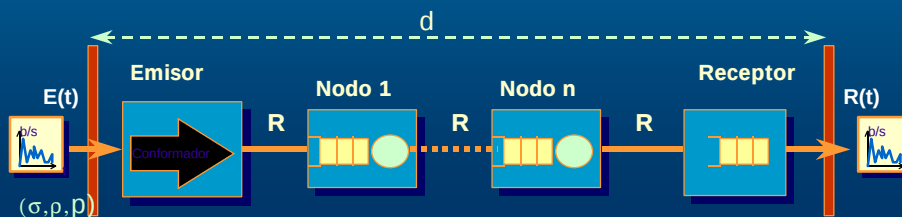
- Problema: la reserva de recursos depende del tráfico y el modelo de red.
- Soluciones planteadas
 - Algoritmos de **codificación** óptimos [Hsu97][Chen97]
 - Selección conjunta de tasa de codificación y transmisión en red
 - **Suavizado** del tráfico [Salehi98] [Reibman95] [Rexford99]
 - Introduce un retraso en la transmisión
 - **Problema**: los métodos anteriores son iterativos y costosos
 - No se pueden usar on-line
- Propuesta: Mejor dos fases [Lakshman98]:
 1. Obtener vídeo codificado optimizando calidad imagen (MPEG)
 2. En transmisión seleccionar la tasa de transmisión óptima

23/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

- Escenario del problema
 - Transmisión de un tráfico conocido
 - Conformado a la entrada (token o leaky bucket)
 - Servicio garantizado
 - **d**: Retraso exigido
 - **R**: Reserva de ancho de banda en los enlaces
 - Parámetros red conocidos



24/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

- Objetivo: minimizar **R** para un retraso dado **d**.
- ¿Cómo se calcula este retraso límite?

$$d = f \left(\begin{array}{c} \text{Modelo del tráfico} \\ \text{Reserva de ancho de banda} \\ \text{Parámetros canal establecido} \end{array} \right)$$

- Dos ecuaciones para el cálculo del retraso

A) IETF/RSVP:

Token bucket

$$d = \frac{(b - M)(p - R)}{R(p - r)} + \frac{M + C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (p > R \geq r)$$

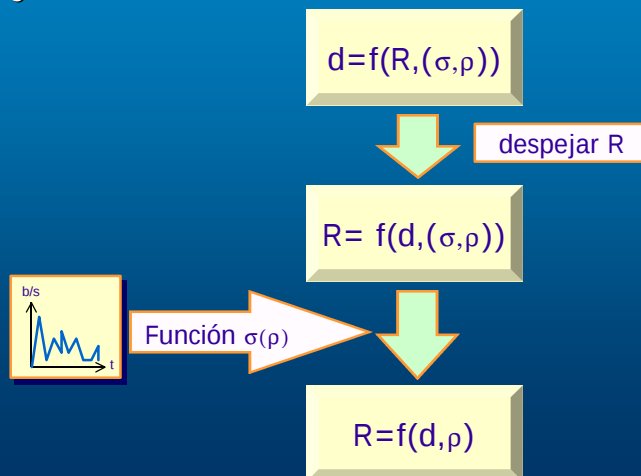
B) Parekh y Gallager (P&G):

Leaky bucket (s, r).

$$d = \frac{s + C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (R \geq r)$$

Reserva de ancho de banda

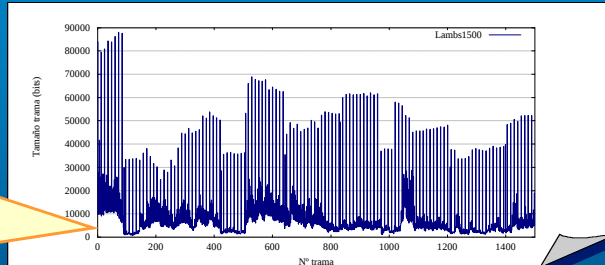
- ¿Cómo se calcula la reserva?



Reserva de ancho de banda

Función $\sigma(\rho)$

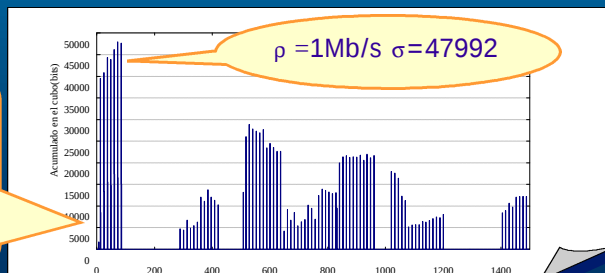
- ✓ Secuencia de n tramas
- ✓ Cada trama E_i bits



Cálculo iterativo
[Reibman95]

$$s_i = \max\{0, s_{i-1} + E_i - \frac{r}{f}\}$$

$$s(r) = \max_{0 \leq i \leq n} s_i$$

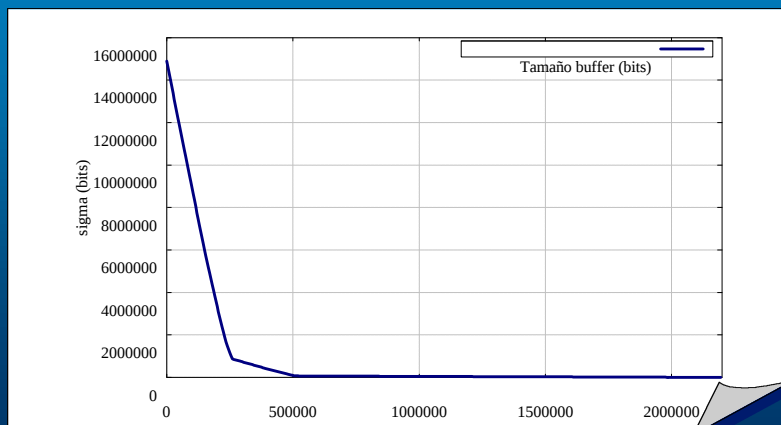


27/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

- Ejemplo función $\sigma(\rho)$



28/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

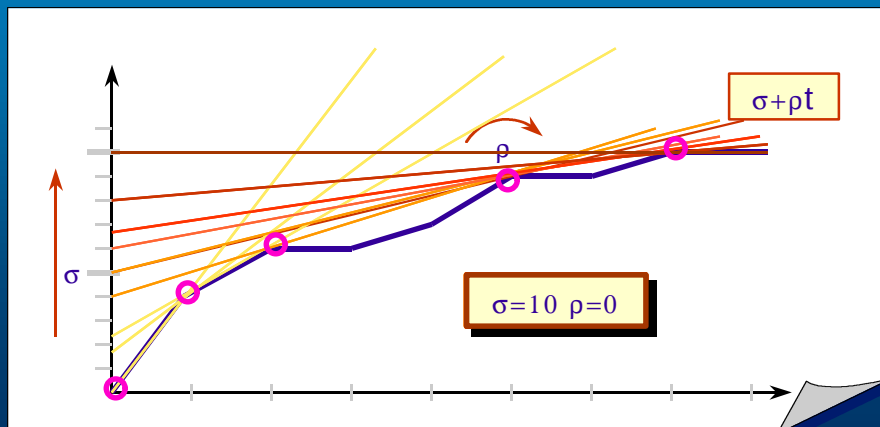
- Cálculo de la reserva óptima
 - Minimizar $\mathbf{R} = \mathbf{f}(\mathbf{d}, \rho)$
 - [Teorema1]: Reserva óptima cuando $\mathbf{R} = \rho$.
 - [Corolario1]: Los valores σ, ρ que optimizan la reserva en IETF/RSVP son óptimos para la ecuación de P&G
 - ¿Cómo optimizar R?:
 - Método iterativo basado en función $\sigma(\rho)$:
 - 20 o 25 iteraciones se encuentra la solución
- Propuesta: nuevo método
 - Utilizar puntos envolventes

29/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

- Puntos envolventes:
 - Las rectas sólo tocan la envolvente en unos puntos



30/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Reserva de ancho de banda

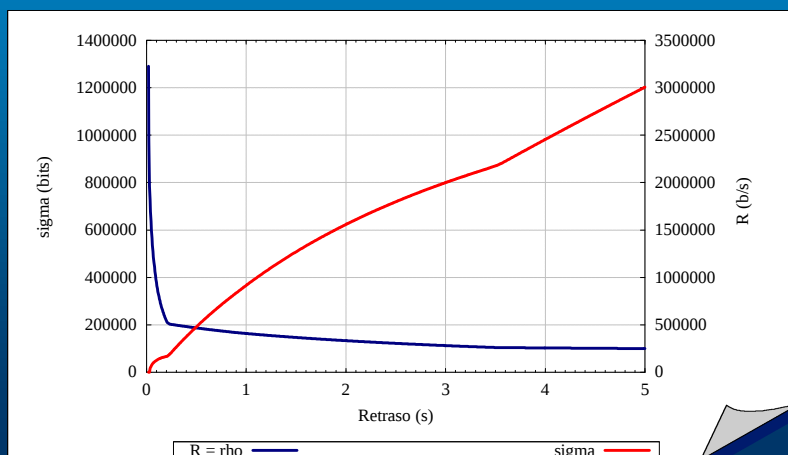
- Puntos envolventes.
 - **Idea:** Es una descripción condensada del tráfico que permite obtener los valores de σ en función de ρ .
 - Nueva función $\sigma'(\rho)$ **equivalente** a $\sigma(\rho)$.
 - Compromiso entre traza del tráfico y parámetros del modelo.
- Cálculo de reserva óptima.
 - Usando los puntos envolventes se obtiene de forma rápida y eficiente la reserva óptima.
 - Algoritmo figura 4.11.
 - Coste **$O(\log m)$** .

Reserva de ancho de banda

- Evaluación experimental:
 - Se han implementado los algoritmos de puntos envolventes y optimización.
 - Se han usado 20 trazas de vídeo [Rose95a] de 40000 tramas ($\frac{1}{2}$ hora).
 - El número de puntos envolventes está entre **34** y **84**.
 - ✓ Esto implica que el método es muy eficiente: **en 5 ó 6 iteraciones se encuentra la solución óptima.**

Reserva de ancho de banda

- Reserva en función del retraso (LAMBS1500)



33/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

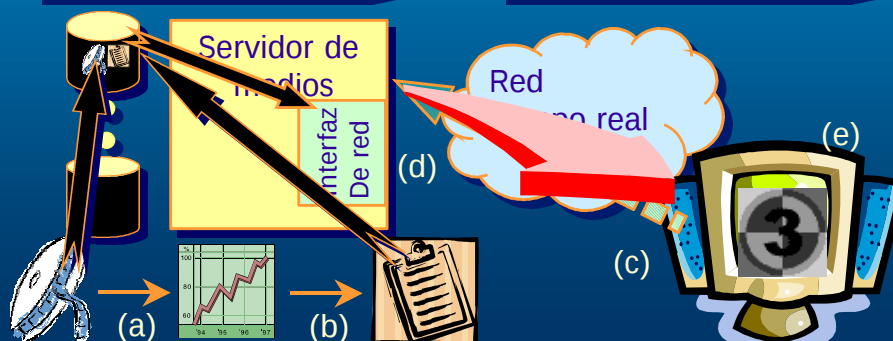
Reserva de ancho de banda

Conclusiones:

- nuevo método para optimizar el ancho de banda online
- Aplicación al vídeo bajo demanda.

1ª fase: Offline $O(n^2)$
Vídeo al servidor

2ª fase: Online $O(\log m)$
Visualización



34/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

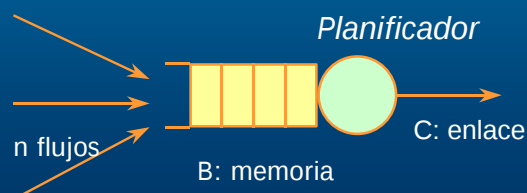
DISCA - UPV

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- **Optimización de la memoria en los nodos**
- Reserva eficiente para canales de reserva
- Conclusiones

Optimización memoria en nodos

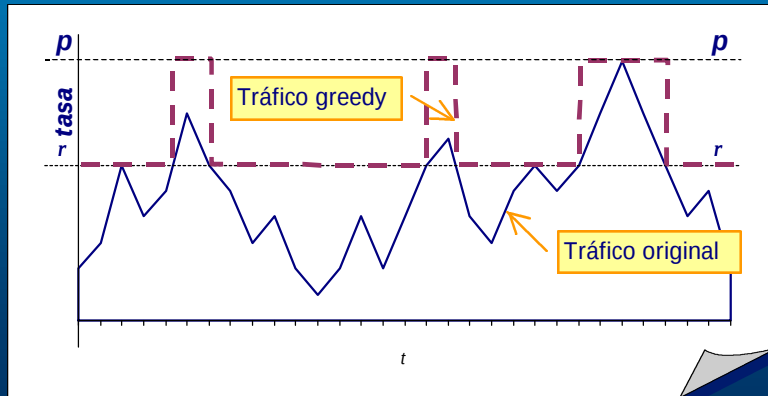
- Objetivo: minimizar la memoria total B.
 - Un nodo con enlace de capacidad C.
 - n flujos de entrada
 - Tráfico regulado a la entrada (*token bucket*)
 - Ancho de banda remanente $\Rightarrow \sum_{i=0}^n R_i < C$



Optimización memoria en nodos

Soluciones existentes: Elwalid [Elwalid95] y Presti [Presti99]

- Usan un modelo de tráfico greedy (ON-OFF)
- Se obtiene a partir de los parámetros token bucket: (σ, ρ, p)



37/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Optimización memoria en nodos

- Nuevo método de optimizar

Basado en los puntos envolventes.

- Pocos puntos $\Rightarrow$ Se pueden transmitir al nodo.
- Permiten calcular σ en función de ρ . Función $\sigma(\rho)$.

– Objetivo:

- Obtener la asignación de ancho de banda de cada canal c_i que minimiza el buffer total B .

$$\sum_{j=0}^n c_j = C \wedge c_j \geq R_j \quad \xrightarrow{\text{minimiza}} \quad B = \sum_{j=0}^n s_j(c_i)$$

– ¿Cómo?

- Mayor ganancia en canales con mayor pendiente.
- Se asigna por orden decreciente de pendientes hasta buffer remanente 0.

38/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Optimización memoria en nodos

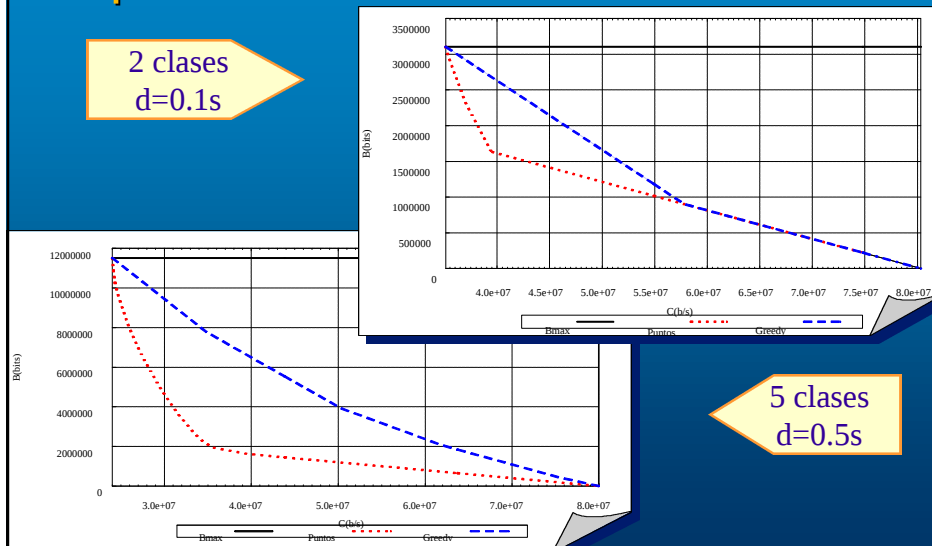
- Implementación
 - Algoritmo figura 5.5: Cálculo iterativo $\Rightarrow$ no dinámico
 - Solución: Utilizar una tabla.
 - Funcionamiento dinámico.
 - Contiene los puntos de todos los canales
 - Implementable por hardware
 - Sólo hace falta enviar los puntos por encima de R_i
- Evaluación
 - Comparación respecto esquema de Presti.
 - Se calcula B en función de C.

39/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Optimización memoria en nodos

2 clases
 $d=0.1s$

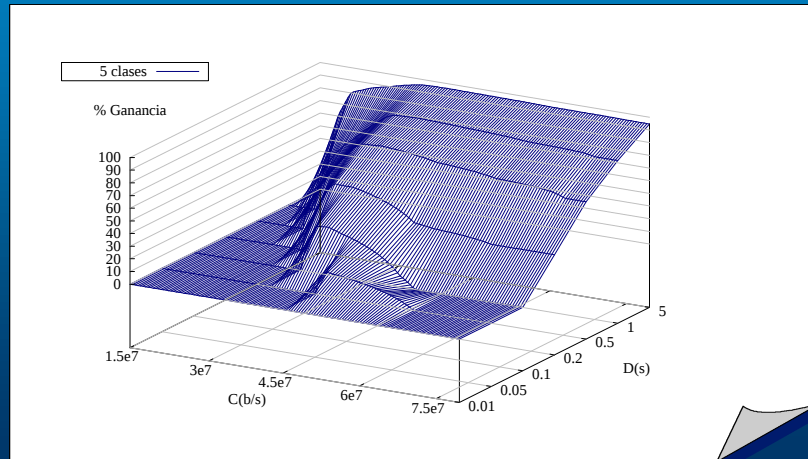


40/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Optimización memoria en nodos

- Ganancia 5 clases.



41/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Optimización memoria en nodos

- Aplicación a varios nodos
 - Problema no abordado por Presti y Elwalid.
 - El tráfico se distorsiona en la red
 - Caracterización de la distorsión en la red
 - Se establece una cota a la distorsión
 - Solución sub-óptima
 - Conformación del tráfico en la red
 - Utilización n-leaky bucket (no afecta el retraso [Cruz91b]).
 - Macrocanal
 - Agrupar tráfico mismo origen-destino
 - permite un balanceo entre ancho de banda y memoria.

42/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

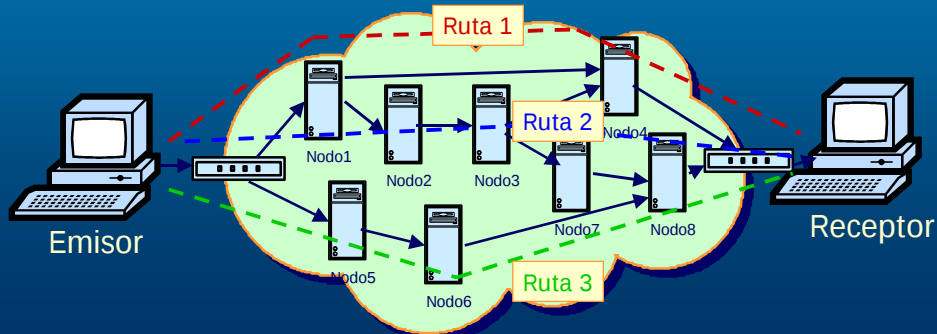
DISCA - UPV

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- **Reserva eficiente para canales de reserva**
- Conclusiones

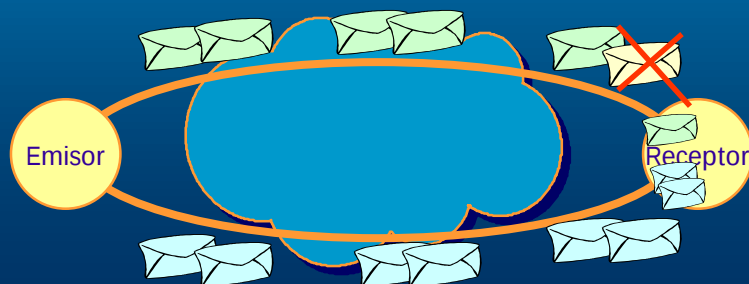
Canales de reserva

- Objetivo
 - Proporcionar fiabilidad a la transmisión en tiempo real.
- ¿Cómo?
 - Redundancia en recursos



Canales de reserva

- Múltiples canales activos [Ramanathan92][Kao94]
 - Redundancia activa
 - Los paquetes son enviados **simultáneamente** a través de todos los canales
 - **Inconveniente**: Costoso, todos los canales están en uso.

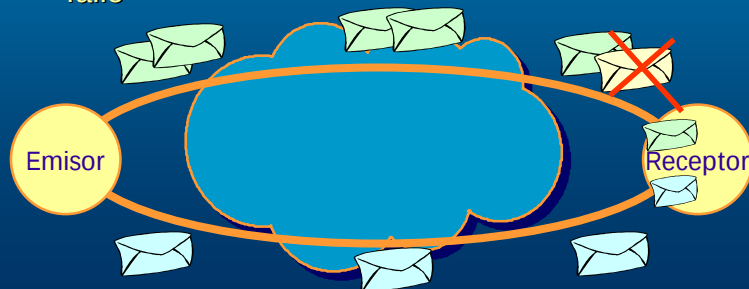


45/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

- Activación en fallo [Banerjee93]
 - Redundancia pasiva
 - Backup se establece cuando hay **fallo** en el primario
 - Se requiere un mecanismo de detección de fallo.
 - **Ventaja**: Canal secundario sólo se usa cuando hay fallo



46/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

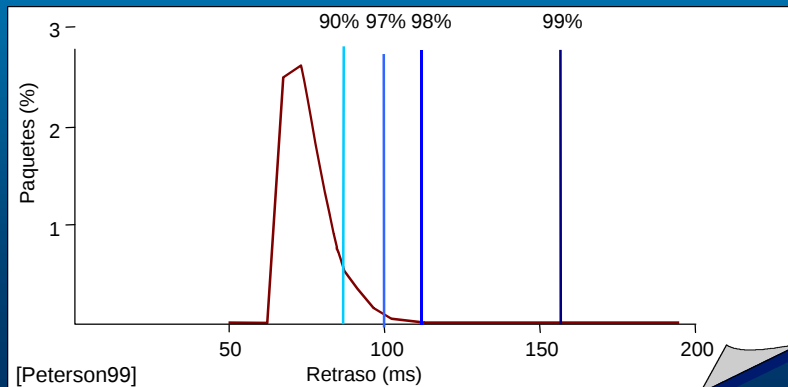
DISCA - UPV

Canales de reserva

- Mejoras propuestas (bibliografía)
 - Reutilizar canal de reserva para tráfico no prioritario.
 - “Overbooking”[Zheng92]: Si alguno de los canales de backup se sabe que no se pueden activar simultáneamente se pueden reutilizar los recursos.

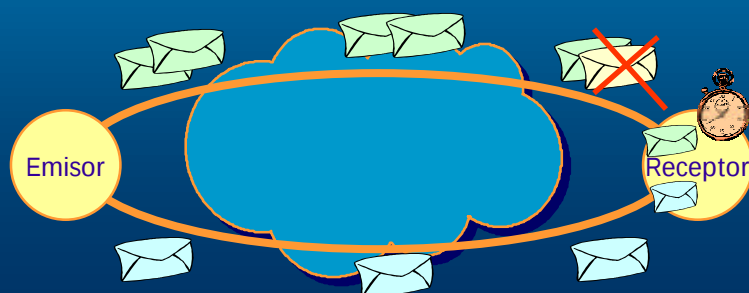
Canales de reserva

- Base del nuevo esquema
 - Distribución de llegadas de paquetes.
 - Retraso más exigente $\Rightarrow$ mayor ancho banda



Canales de reserva

- Activación anticipada
 - **Detección de fallo:** Sospechar el fallo cuando un paquete se retrasa “demasiado”.
 - **Ventaja:** Implica una reducción en la reserva de recursos.



49/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

- Retraso en los canales (d_{total})

- Copia múltiple:

- $d_A = d_B$

- Activación en fallo

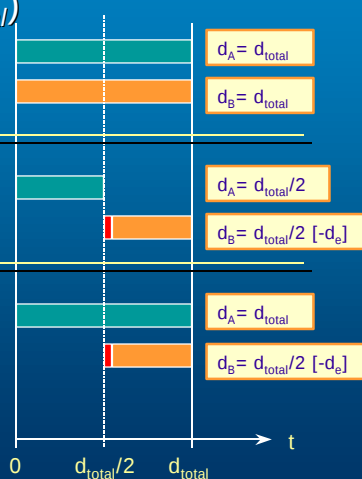
- $d_{total} = d_A + d_e + d_B$

- Activación anticipada

- $d_{total} = \max(d_A, d_f + d_e + d_B)$

- $d_f = d_A/2$

- Se asume d_e cero.



50/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

- ¿Cómo evaluar el nuevo esquema?
 - Dado un retraso d_{total} : ¿cuál es el uso de recursos?
Comparación con los otros dos esquemas.
 - Concepto de “falsos fallos”.
 - Activación del canal de reserva cuando realmente no hay fallo.
- Dos tipos de evaluación
 - Analítica
 - Cálculo de la reserva de recursos
 - Experimental (simulación)
 - Objetivo: obtener la tasa de falsos fallos en función del tipo de tráfico y red.

51/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

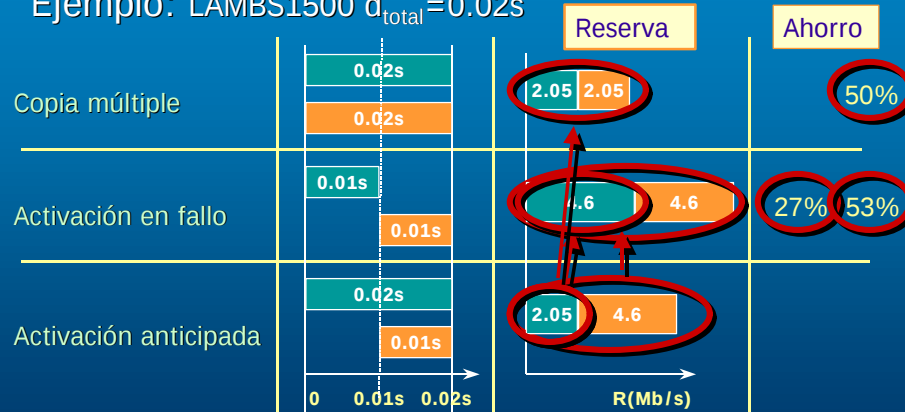
- Evaluación analítica
 - Se usan los métodos de cálculo de reserva visto
 - A partir de un retraso se obtiene la reserva óptima
 - Se usan tres tipos de redes.
 - **Red 1**: Red IP típica $\Rightarrow$ 3 nodos
 - **Red 2**: Red IP larga $\Rightarrow$ 9 nodos
 - **Red 3**: Red tipo ATM
 - El canal primario y secundario tienen los mismos parámetros
 - Carga: Se utiliza el tráfico MPEG de Rose.
 - **LAMBS**: VBR
 - **SOCCER**: VBR con grandes picos
 - **NEWS**: casi CBR

52/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

Ejemplo: LAMBS1500 $d_{total}=0.02s$



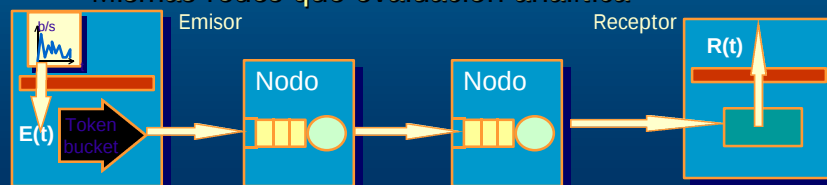
- Tasa de falsos fallos (TFF) = 0.04

Canales de reserva

- Conclusiones analíticas
 - El nuevo esquema es un compromiso entre los dos
 - Ahorro de recursos está entre el 5 al 30% sobre activa en fallo
 - Considerando sólo canal primario: 10 al 55%.
 - Por tipo de tráfico (mayor a menor)
 - NEWS, LAMBS, y SOCCER.
 - Por redes:
 - Red 1 y 2 (IP) : muy similares. Ahorros elevados.
 - Red 3 (ATM) : Ahorro más reducido. $\Rightarrow$ Tamaño paquete pequeño.
 - La TFF que sale es baja (< 0.084)

Canales de reserva

- Evaluación experimental
 - **Objetivo:** Evaluar cuantos falsos fallos se producen.
 - Comprobar distribución de llegada de paquetes.
 - **RTNetSim:** Simulador de redes en C++.
 - Conformación tráfico como token bucket o leaky bucket.
 - Planificador WFQ.
 - Implementación parcial RSVP
 - Nivel de carga (0% al 100%)
 - Mismas redes que evaluación analítica

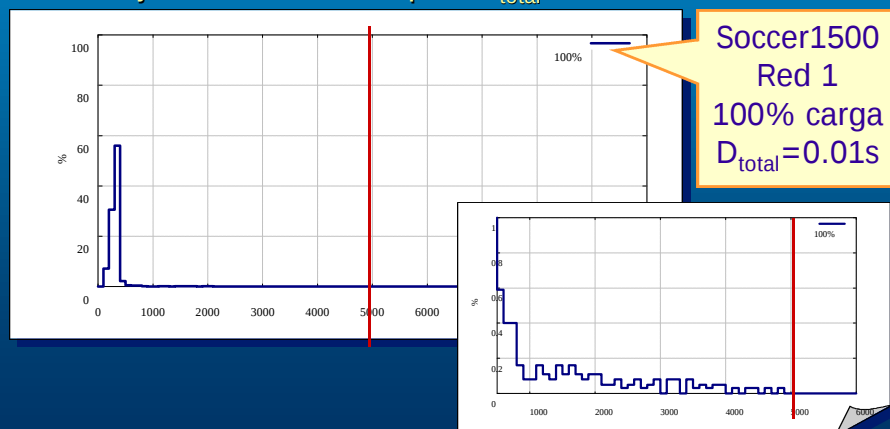


55/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

- Resultados evaluación experimental
 - **Objetivo:** % tráfico supera $d_{total}/2$.



56/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV

Canales de reserva

Análisis resultados

– **Token bucket**

- Redes 1 y 2 (tipo IP)
 - Paquetes llegan mucho antes.
 - Sólo hay un falso fallo con tráfico SOCCER.
- Red 3 (tipo ATM):
 - Los retrasos son muy bajos
 - Retrasos cerca modelo $\Rightarrow$ Está más cerca del modelo flujo
 - Se producen más falsos fallos.
- Sólo cuando la red está muy cargada ($>75\%$) se producen falsos fallos (tráfico SOCCER).

– **Leaky bucket**: No es práctico

- Se propone una mayor reducción de recursos

Índice

- Motivación y objetivos
- Transmisión en tiempo real
- Descripción del tráfico
- Reserva óptima de ancho de banda
- Optimización de la memoria en los nodos
- Reserva eficiente para canales de reserva
- **Conclusiones**

Conclusiones

- Dado un tráfico...
 - ¿Cómo obtener los parámetros del flujo?
 - Envolverte empírica
 - Comparación de tráfico
- Optimización de la reserva
 - Concepto de puntos envolventes
 - Nuevo método para optimizar ancho de banda
 - Acotado $O(\log m)$
 - Optimización memoria en nodos
 - Mejora ampliamente el método basado en tráfico ON-OFF
 - Se plantea su aplicación a la red

Conclusiones

- Fiabilidad para transmisión en tiempo real
 - Problema: gran uso de recursos
 - Se establece el esquema de activación anticipada
 - Se muestra que el ahorro de recursos es importante.
- Modelo Red ORNet
 - cómo implantar todos los esquemas vistos.
 - Aplicación al vídeo-bajo-demanda.

Conclusiones

- Líneas de trabajo futuras
 - Aplicación puntos envolventes en servicio estadístico
 - Propiedades de los puntos envolventes.
 - Modelos de tráfico y,
 - caracterización de tipos de tráfico
 - Variación de los puntos envolventes en la red
 - Canales de reserva:
 - Se puede disminuir la reserva si se considera que el retraso del primer paquete es mínimo
 - Implementación
 - Implementar la red ORNet.

61/62 Tesis doctoral: Enrique Hernández Orallo

DISCA - UPV



DISCA
DEPARTAMENT D'INFORMÀTICA
DE SISTEMES I COMPUTADORS

Reserva Eficiente de Recursos en Redes para Transmisión en Tiempo Real

Presentada Por:

Enrique Hernández Orallo

Dirigida Por:

Dr. Joan Vila i Carbó

Valencia, 11 de junio de 2001.