

Tema 4: Distribución de Contenidos Multimedia en Internet

Albert Banchs

Redes Multimedia

Universidad Carlos III de Madrid



Este obra se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 España.

Palabras clave: Redes Multimedia, distribución de contenido, Internet TV, Internet video

En el tema anterior se han considerado aplicaciones multimedia en la red Internet actual con un único receptor. De todas formas, también resultan de interés técnicas para distribuir un mismo contenido multimedia a múltiples receptores simultáneamente. Esto es lo que se aborda en el cuarto tema de la asignatura. Concretamente, este tema se centra en dos aplicaciones específicas: la televisión por Internet o 'Internet TV' y el vídeo por Internet o 'Internet video'.

Inicialmente este tema se centra en la aplicación de Internet TV. Se empieza con un análisis del uso de multicast en la red Internet, analizando casos de uso real, y la necesidad de adaptar los algoritmos vistos en el tema anterior, concretamente el control de errores y de congestión, cuando se tienen múltiples receptores.


Primero se estudia un criterio para compartir el caudal en el caso de flujos multicast, para llegar al criterio de *multicast TCP-friendly*. Para abordar el diseño de un algoritmo que cumpla este criterio, se muestra el problema de la implosión para después diseñar una técnica escalable que no sufre este problema y puede emplearse para escenarios con un número arbitrariamente elevado de receptores. El rendimiento de esta técnica se evalúa analíticamente en base a una serie de aproximaciones, confirmando su escalabilidad.

A continuación se aborda un caso de estudio para la aplicación Internet TV: un escenario heterogéneo en el que algunos receptores tienen un caudal elevado mientras que otros lo tienen reducido. Para satisfacer simultáneamente a todos ellos, se proponen dos soluciones: *Destination Set Grouping* y *Receiver-driven Layered Multicast*. Se evalúan las ventajas y desventajas de cada una de estas soluciones, así como los posibles problemas asociados con cada una de estas técnicas en términos de estabilidad, robustez, etc.

Posteriormente se analiza matemáticamente la compartición de recursos con la técnica *Receiver-driven Layered Multicast*, para llegar a la conclusión, mediante algunos ejemplos, que esta técnica es más agresiva que el tráfico TCP por lo que, si bien proporciona ventajas importantes en cuanto a heterogeneidad, no cumple con el criterio de compartición propuesto en la sesión anterior.

La última parte del tema se centra en otra aplicación para la distribución de contenidos multimedia: Internet video. La gran diferencia entre esta aplicación e Internet TV es que con esta última, el contenido se envía a todos los receptores al mismo tiempo, mientras que con Internet vídeo cada receptor puede empezar la visualización del contenido de vídeo en un instante distinto. El gran reto en este caso radica en permitir a cada usuario que pueda visualizar el mismo vídeo en instantes distintos y al mismo tiempo se pueda emplear el protocolo IP multicast, que envía el mismo contenido a todo el mundo, para maximizar la eficiencia.

Para poder conciliar los objetivos expuestos arriba, aparentemente contradictorios, se presentan tres técnicas distintas: *batching*, *patching*, y *pyramide*. Para cada una de estas técnicas se analiza (conjuntamente con los alumnos) el rendimiento en términos de (1) tiempo de espera del usuario, (2) caudal consumido y (3) memoria consumida en el terminal. Todos estos parámetros se calculan analíticamente, para concluir que no hay ninguna técnica ganadora sino que todas ellas tienen sus ventajas e inconvenientes.

 Universidad Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Tema 4: Distribución de Contenidos Multimedia en Internet

Albert Banchs
Redes Multimedia


Palabras clave: Redes Multimedia, distribución de contenido, Internet TV, Internet video

 Este obra se publica bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 3.0 España](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/).

Escenario

- Internet TV, Internet radio, Internet video
- Multiconferencia
- IP Multicast (o protocolo alternativo)
- Internet actual (“Best Effort”)

Múltiples receptores



Tema 3: un único receptor

Técnicas

- IP Multicast
 - Arquitectura
 - Modelo
 - Configuración Internet Service Providers (ISPs)
- Control errores/congestión
- Redes Heterogéneas
- Distribución Bajo Demanda (Internet video)
- Multimedia Caching
- Alternativas a IP Multicast

3.1. IP Multicast

Diseño

- Identificar grupo multicast
 - Dirección Multicast
- Entrar/salir grupo multicast
 - IGMP
- Construir árbol multicast
 - Multicast routing protocol

Dirección Multicast

- Clase D
- 1110X...X : 2^{28} grupos
- Grupo: cualquier dirección
- SDP (Session Description Protocol)
 - Uso no generalizado

IGMP

- Internet Group Membership Protocol
- Local
 - Entre el terminal y el primer router
- Query (general) / Query (specific) / Report / Leave
- Objetivo: saber si algún terminal pertenece al grupo
- Evitar inundación
 - Maximum Response Time (MRT)
 - Respuesta aleatoria en (0, MRT)
 - Otra respuesta anterior: no responder
- Protocolo “soft-state”
 - Refresco periódico
 - Timeout: Query

Multicast Routing Protocols

- 2 clases
- Group-shared tree
 - PIM-SM (Protocol Independent Multicast – Sparse Mode)
 - Adecuado cuando receptores esparcidos
- Source-based tree
 - PIM-DM (Dense Mode)
 - Más eficiente (camino directo desde la fuente)
 - Más costoso (múltiples árboles por grupo)
 - Adecuado para grupos densos: eficiencia compensa el coste

Group-shared Tree

- Punto central (RP)
- Receptor envía join message al RP con unicast
- El join llega al primer router del árbol multicast
- El receptor se une a través del camino seguido por el join message

Source-based Tree

- Un árbol distinto para cada fuente
- Reverse Path Forwarding (RPF)
- Recibimos paquete
 - camino más cercano a la fuente: reenviar paquete por otros enlaces
 - otro camino: descartar paquete
- Router sin miembros: enviar PRUNE

Modelo Multicast

- Sin restricciones
 - Creación grupo multicast
 - Recibir grupo multicast
 - Enviar grupo multicast
- Sin gestión de grupos
 - Terminales pueden enviar sin unirse al grupo
 - Múltiples transmisores pueden compartir grupo
 - Transmisores no pueden reservar grupos o evitar que otros envíen
 - Número de receptores dinámico y desconocido

Requisitos comerciales

- Control miembros grupo
 - Transmisores autorizados (ataques denegación de servicio)
 - Receptores autorizados (contenidos de pago)
- Direcciones multicast únicas / reservadas
 - Evitar mezcla de sesiones (colisión de direcciones)
- Control de tráfico
 - Tarificación por tráfico
 - Tarificación transmisores / receptores

Configuraciones comerciales

- Sprint, US
 - C. Diot, “Deployment Issues for the IP Multicast Service and Architecture”, Aula Global.
- UUnet, US
 - Lapolla, “IP Multicast makes headway among ISPs”, <http://www.zdnet.com/pcweek/news/1006/06isp.html>
- BBC, UK

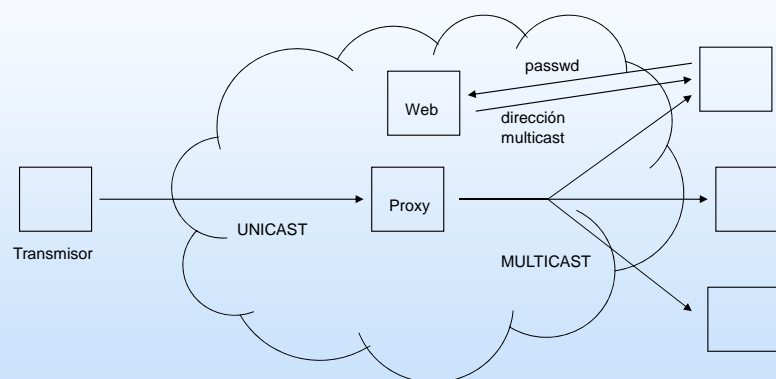
Configuración Sprint

- Modelo original
- Sin control
- Sin tarificación
- Servicio no comercial

Configuración UUnet

- Transmisor envía contenido multimedia a proxy por unicast
- Proxy: unicast a multicast
- Source-based routing (PIM-DM)
- Receptor
 - Página web con password
 - Obtiene dirección multicast

Configuración UUnet (2)



Características configuración UUnet

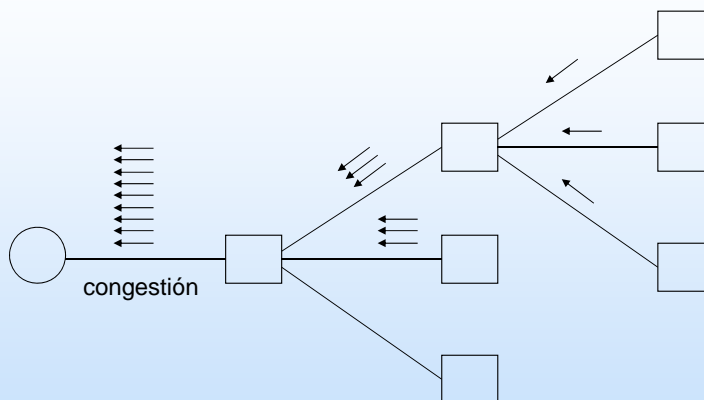
- Eficiente: uso IP Multicast
- Una sola fuente: source-based routing
- Restricción transmisores
 - Proxy
- Control tráfico
 - Proxy
- Dirección reservada
 - Proxy
- Restricción receptores
 - Web
- Un único transmisor: Internet TV, radio
- Incompatible con otras redes (e.g. Sprint)

3.2. Control de Congestión y Errores en Multicast

Escalabilidad

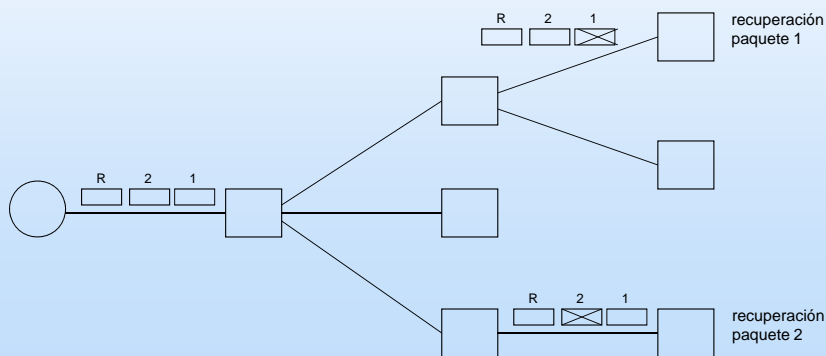
- Escalabilidad: funcionamiento de un protocolo en una red arbitrariamente grande
- Problema escalabilidad en multicast
 - Número de receptores muy elevado (e.g. 10^6)
- Problema
 - Feedback receptores
 - Implosión

Implosión



Control Errores

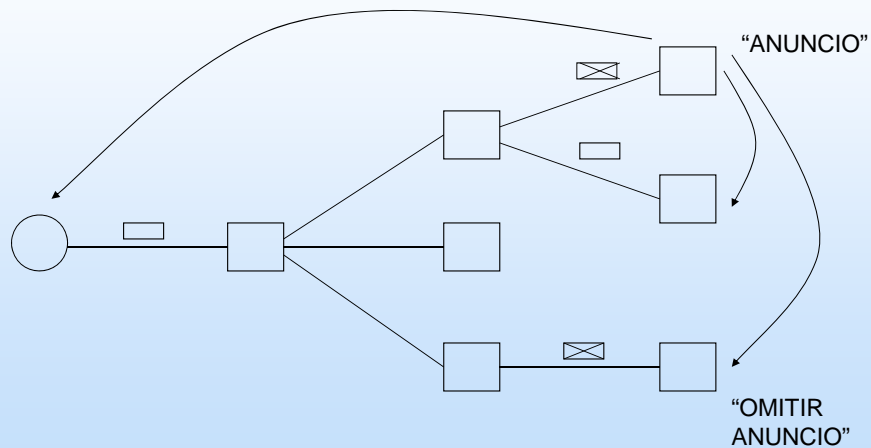
- Técnicas FEC Tema 2
 - Transmisor añade redundancia
 - Directamente aplicable a multicast



Feedback en control errores

- Selección redundancia: feedback receptores
- Problema escalabilidad con feedback
- Solución: Scalable Multicast Feedback (SMF)
- Pérdida:
 - random timer
 - expira timer: anunciar pérdida al grupo multicast
 - recepción anuncio anterior: omitir anuncio
- Fuente:
 - obtiene feedback de paquetes perdidos por algún receptor (feedback limitado)
 - configuración redundancia
- Alternativa:
 - Estrategia feedback utilizada para control de congestión
 - Menos frecuente (anuncio periódico)
 - Se obtiene información de más receptores

Feedback en control errores (2)

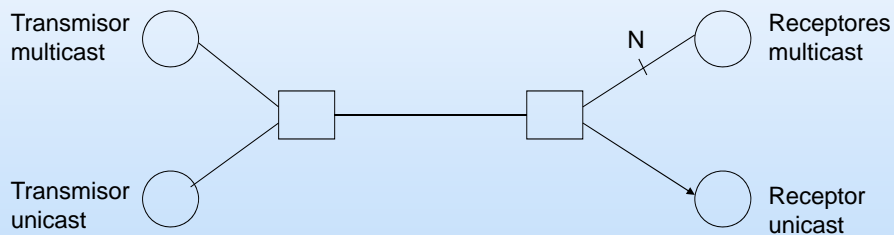


Control de congestión

- Congestión leve
 - control de errores
- Congestión severa
 - adaptación de la tasa de emisión
- Adaptación de la tasa de emisión
 - criterio de compartición de caudal

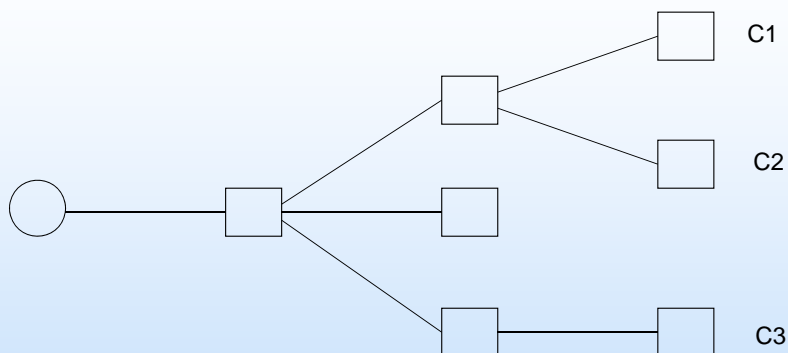
Criterios compartición caudal

1. caudal unicast = caudal multicast
2. caudal unicast = N caudal multicast
3. caudal unicast = $(\log N + 1)$ caudal multicast



critero compartición TCP friendly: opción 1

Caudal TCP Friendly Multicast



C_i – caudal que se obtendría con TCP en la conexión entre el transmisor y el receptor i

¿Caudal TCP friendly multicast?

Definición TCP Friendly Multicast

- Single rate
 - Todos receptores mismo caudal
 - caudal TCP friendly = caudal que obtendría el terminal más desfavorecido con TCP
 - $\min(C1, C2, C3)$
 - terminal más desfavorecido perjudica a los otros
- Multirate
 - Requiere fuentes con capacidad multirate
 - Diferentes receptores tienen diferente caudal
 - Cada terminal recibe su caudal TCP friendly
 - C1, C2, C3
 - Ver capítulo 3.3

TFMCC

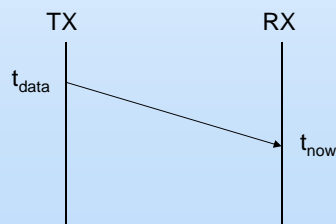
- TFMCC = TCP Friendly Multicast Congestion Control
- Implementa criterio compartición TCP friendly multicast single rate
- Objetivos que cumple
 - Justicia compartición unicast-multicast
 - Justicia compartición datos-multimedia
 - Adaptación tasa: pérdidas limitadas

Funcionamiento TFMCC

- Cada receptor mide su caudal TCP Friendly
- El receptor con menor caudal le comunica al transmisor su caudal TCP friendly
- El transmisor se adapta al caudal TCP de este terminal

TFMCC: Medidas al receptor

- Caudal TCP = $\frac{1.22}{RTT\sqrt{p}}$
- Tasa pérdidas (p): se puede obtener fácilmente mediante números de secuencia
- $RTT = (t_{\text{now}} - t_{\text{data}}) \times 2$ (sincronización necesaria)



TFMCC: Anuncio Medidas Receptores

- Problema: escalabilidad (implosión)
- Solución SMF
 - No funciona
 - No vale el feedback de cualquier receptor
- SMF adaptado
 - random timer
 - expira timer: anunciar tasa medida
 - anuncio anterior con tasa **menor**: omitir anuncio

Análisis escalabilidad SMF adaptado



$$2^{\text{numero_medio_anuncios}} = N$$

$$\text{numero_medio_anuncios} = \log_2 N$$

NOTAS:

- Con un millón de receptores tenemos 20 anuncios
- Por lo tanto esta solución es menos escalable que SMF pero es suficiente para nuestro objetivo
- Con mayores timers aumentamos la escalabilidad pero reducimos la adaptatividad

3.3. Multicast en Redes Heterogéneas

Redes Heterogéneas

- Redes Homogéneas
 - Receptores con caudales similares
 - TMFCC aceptable
- Redes Heterogéneas
 - Tasas diversas
 - TFMCC no aceptable (ver gráfico)
 - solución alternativa

Soluciones para Redes Heterogéneas

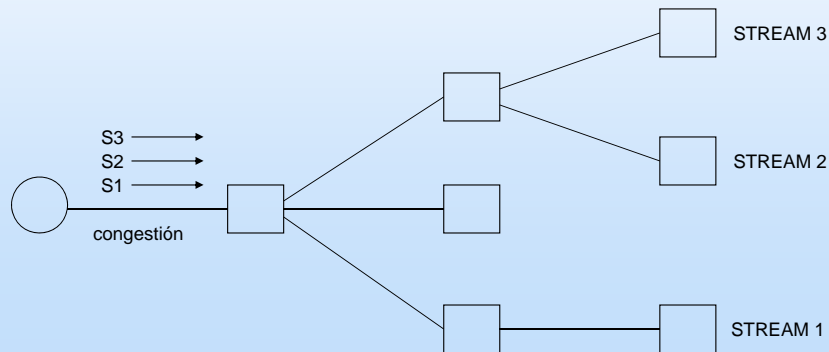
- Codificador por capas
 - RLM (Receiver-driven Layered Multicast)
- Codificador sin capas
 - DSG (Destination Set Grouping)
 - Solución comercial “Suresystem”

Destination Set Grouping

- Transmisor:
 - stream 1 – caudal 1 – dirección multicast 1
 - stream 2 – caudal 2 – dirección multicast 2
 - ...
 - stream N – caudal N – dirección multicast N
- Receptor:
 - Medir caudal TCP friendly
 - Unirse grupo multicast con caudal inmediatamente inferior
 - Alternativa:
 - Receptor no TCP friendly
 - Unirse al grupo que proporciona mejor calidad considerando el compromiso caudal - pérdidas

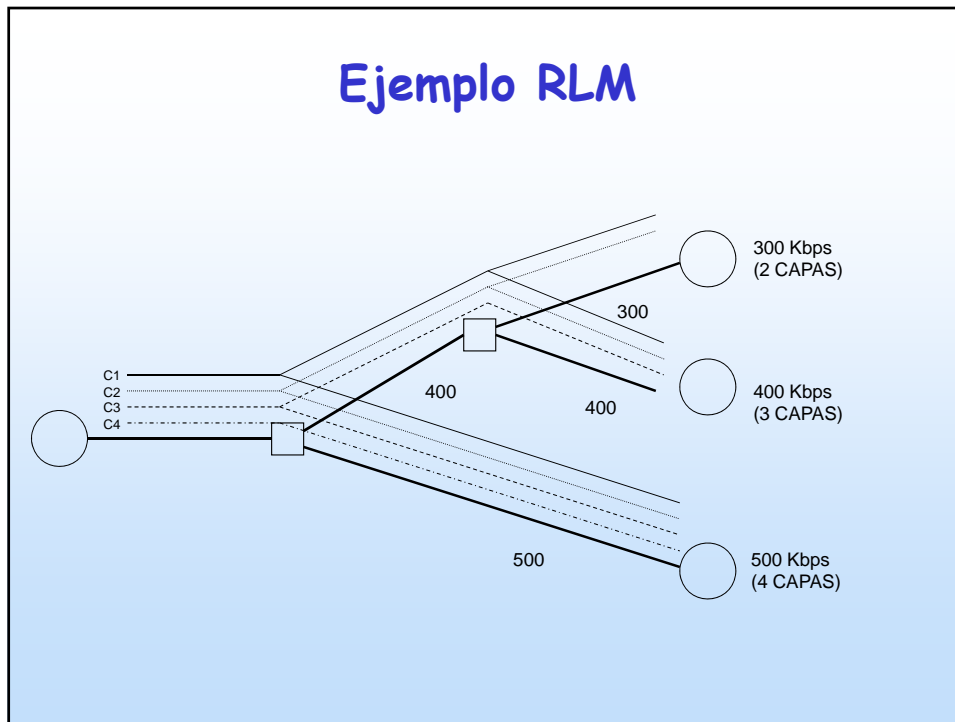
Problema Destination Set Grouping

- Redundancia / Ineficiencia
 - duplicación de datos en múltiples streams
- Solución: RLM (codificación por capas)



RLM (Receiver-driven Layered Multicast)

- Transmisor:
 - Codificación por capas
 - Enviar capa i al grupo multicast i
- Receptor:
 - “Probing-based scheme”
 - Periódicamente: “JOIN EXPERIMENT”
 - Unirse al grupo capa superior
 - Si pérdidas > umbral: salir grupo



Ventajas RLM

- Eficiencia
 - No redundancia datos
- Granularidad
 - Como consecuencia del punto anterior, se puede incluir más diversidad de caudales (granularidad) sin tener que pagar un alto precio en eficiencia
 - Típicamente entre 10 y 64 capas

Desventajas RLM

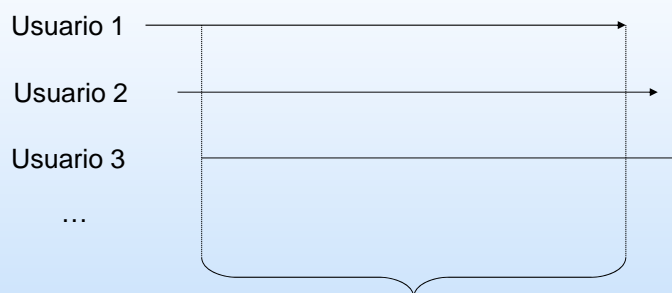
- Inestabilidad
 - En el gráfico anterior
 - El segundo receptor prueba C4
 - Esto produce pérdidas en el primer receptor
 - El primer receptor reduce a C1 !!!
- No TCP friendly
 - Algoritmo de regulación tasa agresivo
- Falta robustez
 - Problema genérico de la codificación por capas
 - Si se pierde un paquete de la capa i , todas las capas superiores son inutilizables

3.4. Técnicas de Video On Demand (VOD)

Video On Demand (VOD)

- Streaming contenido vídeo/audio
- Inicio del streaming: instante de petición del usuario
 - Diferente que en Internet TV
- Uso de IP Multicast deseable
 - Por motivos de eficiencia
 - Especialmente cuando hay muchos usuarios (vídeos populares)

Video On Demand (VOD) (2)



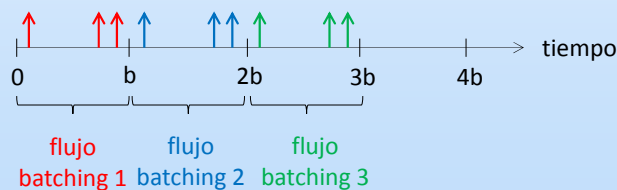
- n streams simultáneos con el mismo contenido
- uso de multicast deseable para n grande

VOD: Objetivos y técnicas

- Objetivos
 - Permitir al usuario **elegir el inicio** del streaming (al menos, dentro de un intervalo razonable desde su petición)
 - Uso de **IP multicast** (al menos de forma parcial) por motivos de **eficiencia**
- Técnicas
 - Batching
 - Patching
 - Pyramide

Batching

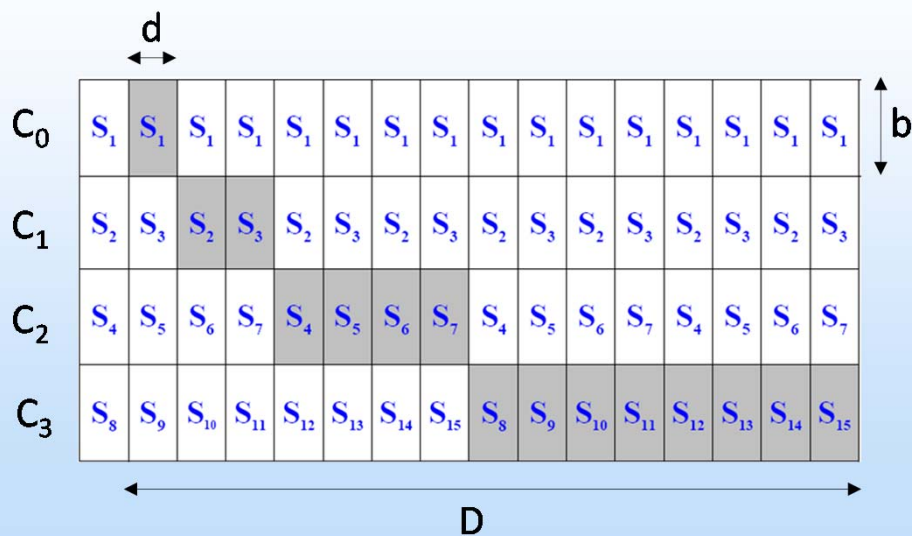
- Algoritmo
 - Dividir tiempo en intervalos de duración b
 - Servir clientes del mismo intervalo con el mismo stream multicast
- Propiedades
 - Número máximo de streams: L/b (L = duración del vídeo)
 - Tiempo máximo de espera: b (más el playout time, que es despreciable frente a b)



Patching

- Algoritmo
 - Stream multicast existente (iniciado en un instante anterior)
 - Unirse al grupo multicast del stream existente
 - Almacenar contenido enviado al grupo multicast en un buffer
 - Recibir contenido intervalo anterior mediante un stream adicional unicast (llamado patching stream)

Pyramide



Pyramide (2)

- Ventaja
 - Menos grupos multicast
 - Más eficiente
- Desventaja
 - Capacidad para recibir múltiples streams
 - Más caudal de acceso
 - Más capacidad de buffering

Prestaciones

	Tiempo espera	Núm. streams multicast	Memoria buffer
BATCHING	b	L/b	0
PATCHING	0	L/b	b (W)
PYRAMIDE	b	$\log_2(L/b)$	$L/2$

3.5. Multimedia Caching

Motivación

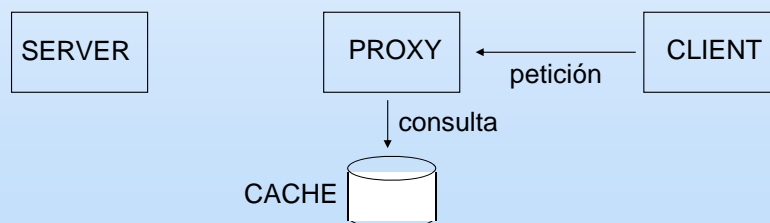
- Motivado por situaciones en que el cuello de botella (“bottleneck”) se encuentra en enlaces troncales
- Almacenar contenido en un proxy ubicado cerca de la red de acceso en la primera descarga
- Descargas posteriores
 - desde el proxy
 - más caudal (enlace acceso)
 - tiempo de descarga menor
- Capacidad de almacenamiento del proxy limitada
 - Almacenar contenidos más “populares”
- Adecuado para tráfico web y multimedia

Soluciones Multimedia Caching

- Existen múltiples soluciones para caching
- En este capítulo nos centraremos en una solución concreta:
 - Aplicaciones streaming
 - Codificación por capas
 - Compartición caudal TCP-friendly
 - Solución comercial “Realsystem proxy”
<http://service.real.com/help/library/whitepapers/rproxy/proxy.html>

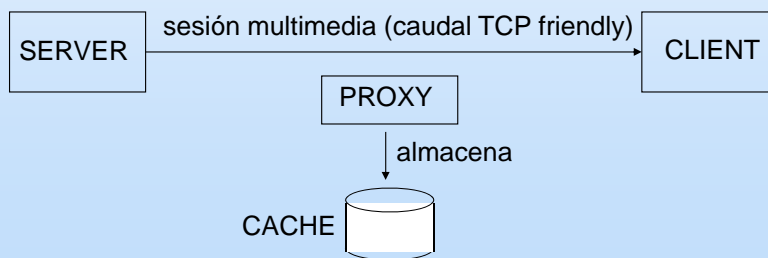
Algoritmo Multimedia Caching (1)

- Inicio sesión streaming
 - Cliente envía petición al proxy
 - Proxy consulta cache:
 - Sesión almacenada: Cache Hit
 - Sesión no almacenada: Cache Miss



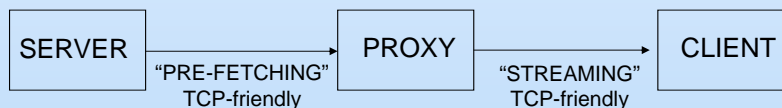
Algoritmo Multimedia Caching (2)

- Cache Miss
 - Comunicación TCP-friendly cliente-servidor
 - Proxy transparente a la comunicación
 - Proxy almacena contenido de la sesión en cache
 - Cache llena: “*replacement algorithm*”



Algoritmo Multimedia Caching (3)

- Cache Hit
 - Sesión almacenada en proxy
 - Comunicación proxy-cliente
 - RTT menor: playout time menor
 - Comunicación servidor-proxy
 - “Pre-fetching”: obtener contenido no almacenado (pérdidas, capas superiores)



Pre-fetching

- Pre-fetching = descargar con antelación al proxy
- Contenidos pre-fetching
 - Paquetes perdidos
 - Capas superiores (caudal cliente > caudal almacenado)
- Antelación pre-fetching:
 - demasiada antelación: predicción capas superiores necesarias poco exacta
 - demasiado poca: peligro que los paquetes lleguen demasiado tarde para enviarlos al cliente
 - solución: pre-fetching window con prioridades

Replacement algorithm

- Algoritmo para determinar qué stream/capa se elimina de la cache cuando está llena
- Objetivos
 - Streams “populares”: más capas almacenadas y menos variaciones
 - Número de capas almacenadas para un stream: número de capas solicitadas por los clientes
 - No eliminar una capa de un stream a no ser que todas las capas superiores de este stream se hayan eliminado
- Idea del algoritmo
 - Mantener índice de popularidad capas
 - Eliminar la capa menos popular

Replacement algorithm (2)

- Popularidad capa i stream j

$$P = \sum_{x=t-\Delta}^t whit(t)$$

Δ ventana de popularidad

whit: weighted hit (peso ponderado)

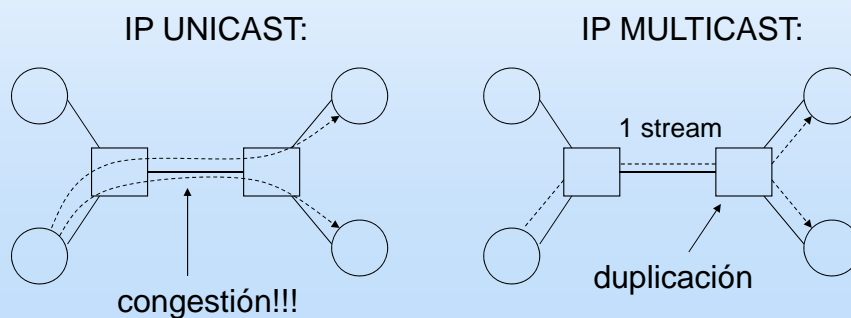
$$whit(t) = \frac{PlayBackTime}{StreamLength}$$

- Cache llena
 - eliminar capa con P_{ij} menor
- Nota: $P_{ij} > P_{(i+1)j}$ (se elimina siempre la capa superior primero)

3.6. Application Layer Multicast

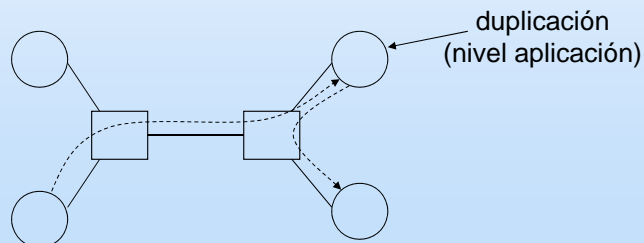
Motivación

- Problema: distribución a muchos usuarios
- IP unicast: ineficiente
- IP multicast: problemas de implantación (duplicación en routers)



Solución

- Application Layer Multicast (ALM)
- Duplicación en terminales (nivel aplicación)
- Eficiente
- Transparente operador/red: facilidad implantación
- Experiencias satisfactorias (concierto 8 millones de receptores)
- Peercast (<http://www.peercast.com>)



Algoritmo de enrutamiento

- Dificultad: elección de los terminales donde realizar la duplicación
- Necesidad de un algoritmo de enrutamiento

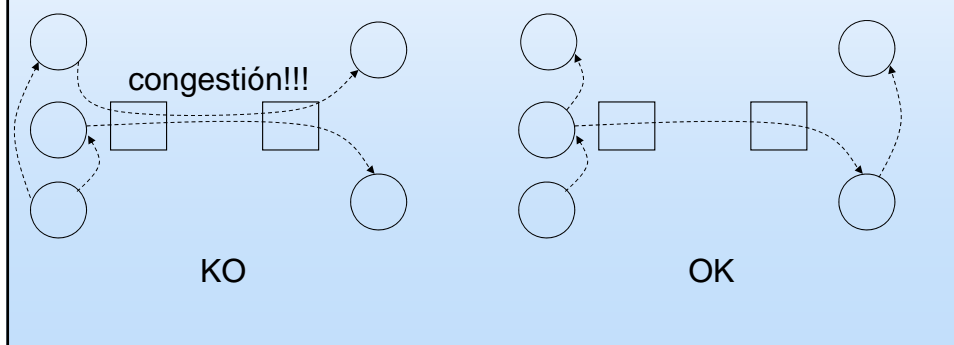


Tabla enrutamiento

- Node ID = f(dirección IP)
 - 20 bits (en realidad 128) en grupos de 4
 - Distribución uniforme
- Tabla enrutamiento nodo 65a73
 - Dir. IP: de todos los nodos cuyo prefijo encaja con el ID, aquél más cercano al nodo en términos de RTT

ID	DIR. IP	ID	DIR. IP
1x	_____	6fx	_____
2x	_____	651x	_____
...		...	
NO (6x)	_____	65fx	_____
...		65a1x	_____
fx	_____	...	
61x	_____	65afx	_____
...		65a71	_____
NO (65x)	_____	...	
...		65a7f	_____

Ejemplo enrutamiento

- Algoritmo
 - Encontrar entrada en tabla enrutamiento cuyo prefijo (izquierda) se corresponda con la dirección (ID) destino del paquete
 - Reenviar paquete a la dirección IP indicada por la entrada en la tabla
- Ejemplo
 - origen: 65a73
 - destino 78c4d

PRIMER SALTO:	7x	→	795fa
SEGUNDO SALTO:	78x	→	785c7
TERCER SALTO:	78cx	→	78c45
CUARTO SALTO:	78c4d		

EJEMPLO: 4 SALTOS
NÚM. MÁXIMO SALTOS = 5

Recuperación de fallos

- Problema: fallo siguiente salto
- Es un caso común
 - Grupo dinámico
 - Distinto a enrutamiento en Internet (routers estáticos)
- / entradas adicionales en la tabla de enrutamiento (/ vecinos)
 - /2 ID's superiores más cercanos
 - /2 ID's inferiores más cercanos
- Fallo siguiente salto
 - enviar paquete al vecino con ID más cercano al ID destino
 - Esto conlleva saltos adicionales
 - Para que se produzca un error tienen que fallar simultáneamente /2 nodos con ID's adyacentes

Construcción Tabla Enrutamiento

- Ejemplo: Nodo X se une al grupo
 - X = 65f03
 - Contactar nodo ya presente en el grupo más cercano a A (en términos de RTT)
 - A = 78fc3
 - A envía un paquete con destino X
 - el paquete llega al destino del grupo con ID más cercano a A (Z)
 - Z = 65f07
 - Camino: 78fc3 → 61f05 → 65c09 → 65f53 → 65f07
 - l vecinos: vecinos de Z
 - Entradas 651x – 65fx: entradas nodo 65c09 (nodo 65x más cercano a X)

Comunicación Multicast

- Tabla enrutamiento
 - Comunicación unicast
 - origen → destino
- Protocolo enrutamiento multicast
 - similar a IP multicast
 - en lugar de ejecutarse entre los routers IP multicast, se ejecuta entre los nodos que forman parte del grupo