

# Gestión de la degradación de las comunicaciones en sistemas de vídeo bajo demanda a gran escala en Internet

Eduardo Grosclaude, Claudio Zanellato, Javier Balladini  
Departamento de Ciencias de la Computación  
Universidad Nacional del Comahue, Argentina  
{oso, czanella, jballadi}@uncoma.edu.ar

Remo Suppi  
Departamento de Arquitectura de  
Computadores y Sistemas Operativos  
Universidad Autónoma de Barcelona, España  
remo.suppi@uab.es

## Contexto

Dentro del marco del proyecto “Software para Aprendizaje y Trabajo Colaborativo” perteneciente a la Universidad Nacional del Comahue, se ha definido una línea de investigación cuyo objetivo es diseñar aplicaciones educativas de Vídeo bajo Demanda (VoD, *Video on Demand*) para dar soporte a los procesos de enseñanza y aprendizaje colaborativo.

## Resumen

Los sistemas de Vídeo bajo Demanda (VoD) ofrecen servicios interactivos y personalizados de visualización de contenidos multimedia. Al localizarse estos servicios sobre redes con concepto *best-effort*, como Internet, se presentan problemas de servicio asociados a la congestión y pérdida de comunicación. En este trabajo se presenta una línea de investigación en sistemas de VoD a gran escala, con énfasis en las propiedades de Calidad de Servicio y Tolerancia a Fallos. Se describen los módulos de Transmisión de *Streams* y de Planificación de Canales Lógicos, ya desarrollados; y el módulo de Garantía de Calidad de Servicio, actualmente en diseño.

## 1. Introducción

Los sistemas de vídeo bajo demanda a gran escala (LVoD, *Large-Scale Video-on-Demand*) brindan un servicio de visualización de vídeos a una gran cantidad de usuarios dispersos geográficamente, permitiendo numerosas opciones, dentro de las que se destaca la interactividad y personalizado de la programación ofrecida a los usuarios (servicio conocido como vídeo bajo demanda verdadero —T-VoD, *True Video-on-Demand*—). Esto significa que es posible elegir, a cualquier hora, la película que queremos ver como si fuera reproducida en nuestro dispositivo de vídeo particular, interactuando con el emisor enviándole nuestras preferencias de visualización (pausar, reanudar, avanzar rápidamente, etc).

La implementación de sistemas de VoD sobre Internet es una tendencia evidente; sin embargo, hasta la actualidad la mayoría de los sistemas de VoD han sido diseñados para trabajar en redes locales y dedicadas, o que permiten hacer reserva de recursos. Cuando el entorno de red pasa de las redes locales a una red como Internet, aumenta la probabilidad de fallos, disminuye el ancho de banda, y se pierde la calidad y clasificación de servicios la que es reemplazada por un modelo de servicio de “mejor esfuerzo”. El tráfico presenta fluctuaciones originadas por estados de congestión.

La congestión puede producirse ya sea por un aumento del tráfico o por una falla física como la caída de enlaces o encaminadores. Cuando un enlace se cae, los algoritmos de encaminamiento derivan el tráfico hacia otros enlaces, pudiendo producir congestión en los enlaces que han recibido la derivación del tráfico. Un interesante trabajo [1], muestra el impacto de la falla de los enlaces en sistemas de voz sobre IP (VoIP). En él se encontró que, a pesar de la protección del encaminamiento IP, las caídas de enlaces y encaminadores fueron seguidas por largos períodos de inestabilidad en el encaminamiento de paquetes, produciendo múltiples descartes de los mismos a causa de reenvíos por caminos incorrectos. Por lo tanto, no sólo hay fluctuaciones en el ancho de banda de las comunicaciones, sino que también es posible que por problemas de encaminamiento, un destino se vuelva inaccesible.

La presente investigación propone una nueva arquitectura de un sistema de LVoD distribuido, que permita ofrecer un servicio de T-VoD, con comunicaciones unitransmisión sobre una red sin calidad de servicio como Internet. Este sistema, denominado VoD-NFR (*Video-on-Demand with Network Fault Recovery*), tiene como fin garantizar, ante fallos de la red y caídas de servidores, la entrega del contenido multimedia a los clientes por una red como Internet, sin degradar su calidad y sin sufrir interrupciones durante su visualización.

Dadas las deficiencias que presenta la red de comunicaciones analizada, un sistema de LVoD con QoS (*Quality of Service*) debe ser capaz de: 1. Detectar estados de congestión y ajustar la tasa de transmisión para darles solución. 2. Determinar el ancho de banda de comunicación con los clientes. 3. Planificar la entrega del contenido multimedia de acuerdo al ancho de banda disponible. 4. Detectar inconvenientes en la comunicación entre servidores y clientes, y con la debida antelación, tomar medidas que permitan continuar prestando un servicio de calidad. Estas cuatro responsabilidades que deben cubrir los sistemas de LVoD, pueden ser enmarcadas en tres componentes. Las dos primeras responsabilidades son propias de un *módulo transmisor de streams* (STM, *Stream Transmission Module*), mientras que la tercera y cuarta responsabilidad son tareas de un *planificador de canales lógicos* (LCS, *Logical Channel Scheduler*) y un *módulo de garantía de la calidad del servicio* (QoSA, *Quality of Service Assurance*), respectivamente.

Los componentes STM y LCS ya han sido diseñados, implementados, y parcialmente publicados, mientras que el restante, el módulo QoSA, actualmente se encuentra en proceso de desarrollo. En este trabajo se plantea la necesidad del módulo QoSA y sus desafíos, se describen las generalidades de los módulos STM y LCS, y se explica la interacción entre estos tres componentes claves para proveer gestión de la degradación de las comunicaciones al sistema VoD-NFR. Una vez construido el módulo QoSA, nuestro sistema intentaría representar un modelo de las relaciones generales de componentes de un sistema de LVoD adaptable a la variabilidad de las condiciones de la red, posiblemente implantado en otras arquitecturas y modelos de servicio, desde esquemas centralizados, hasta distribuidos, P2P y P4P.

## 1.1. Trabajos relacionados

Las soluciones actuales de sistemas de LVoD se centran fundamentalmente en el alto nivel de gestión, es decir, en los modelos de servicio, y prácticamente sin considerar que el modelo de servicio no funcionará de manera adecuada en una red con alta probabilidad de fallos. Pocos son los trabajos orientados a la tolerancia a fallos de la red, no obstante, hay mucha investigación con respecto a la tolerancia a fallos de servidores, entre los que se puede mencionar a [2].

Varios trabajos (entre ellos [3]) dan soluciones adecuadas para *streaming* pero inadecuadas

para VoD y, además, la mayoría no describe el mecanismo de detección de fallos de red. En [4] se presenta un mecanismo de detección de fallos de red que dice ser para VoD aunque en realidad está orientado a *streaming* en vivo. Este esquema no funciona para T-VoD, debido a que los contenidos no necesariamente son transmitidos a la velocidad de reproducción, por lo tanto el cliente no dispone de suficiente información para determinar cuándo hay un fallo de red o cuándo el servidor ha decidido suspender momentáneamente su servicio mientras atiende a otros clientes de mayor urgencia. Algo similar ocurre con [5], donde se utiliza un mecanismo de *heartbeat* para proveer tolerancia a fallos de la red en un sistema de VoD. Mediante este esquema, se puede detectar la pérdida total de comunicación y el incremento del retraso de los paquetes pero, sin embargo, no es posible obtener suficiente información de la red para tomar medidas apropiadas.

Pueden encontrarse trabajos relacionados con los módulos STM y LCS en publicaciones que nuestro grupo ha realizado en [6] y [7], respectivamente.

## 2. Líneas de Investigación y Desarrollo

El sistema VoD-NFR consiste de tres componentes que conforman la arquitectura base del sistema: el STM (*Stream Transmission Module*), el LCS (*Logical Channel Scheduler*) y el módulo QoS (Quality of Service Assurance). Estos tres componentes son descriptos a continuación.

### 2.1. Módulo transmisor de *streams*

El STM es uno de los módulos del sistema VoD-NFR más complejo de diseñar e implementar, y es el componente base que permite al resto de los componentes hacer su trabajo correctamente. Su objetivo es proporcionar un transporte de datos de los vídeos del servidor a los clientes, con soporte de servicio T-VoD, y también de proveer información del estado de las comunicaciones.

El STM incluye un Planificador del Tráfico de Red (NTS, *Network Traffic Scheduler*) para cumplir con parte de sus responsabilidades. El NTS se encarga de las transmisiones de datos por la red y de generar información sobre el estado de las comunicaciones con cada uno de los clientes. Para esto, el NTS utiliza un protocolo de control de congestión TCP-Friendly, denominado ERAP, especialmente diseñado para VoD-NFR y presentado en [6]. ERAP extrema el ahorro de recursos para soportar la elevada carga de trabajo típica de servidores de VoD. El STM aumenta la funcionalidad del NTS, mediante un protocolo de capa superior denominado STP (*Stream Transmission Protocol*) que se ocupa de mantener el origen y la sección de contenidos enviados, para que el cliente pueda clasificar los datos recibidos.

### 2.2. Planificador de canales lógicos

El LCS es el encargado de decidir qué canal lógico es servido en cada momento para garantizar la QoS, y de adaptarse dinámicamente al ancho de banda disponible de las comunicaciones. Es decir, es el responsable de distribuir el ancho de banda del servidor entre los distintos canales, respetando las necesidades de contenido multimedia de los clientes asociados a esos canales. El LCS desarrollado para este sistema soporta vídeos VBR (*Variable Bit Rate*) y es del tipo *anticipación*. Esta última propiedad permite, al sistema, adaptarse a las fluctuaciones del ancho de banda de las comunicaciones, evitando degradar la calidad de los vídeos cuando el ancho de banda es menor al

requerido. Las soluciones de *anticipación* son aplicables a vídeos prealmacenados (en el servidor) o que el cliente recibe con cierto retraso desde el momento de la generación de la señal de vídeo. El LCS define un mecanismo que prioriza la atención de ciertos clientes sobre otros. En [7] hemos publicado un esquema de priorización basado en las necesidades de contenido multimedia de los clientes. Teniendo en cuenta también los estados de reproducción de cada cliente, con posterioridad hemos mejorado el esquema, el cual se encuentra en proceso de publicación.

### 2.3. Módulo de garantía de QoS

El módulo QoSA tiene tres responsabilidades fundamentales: aceptar o rechazar solicitudes de vídeos de acuerdo a la disponibilidad de recursos del servidor, balancear la carga del sistema, y detectar los fallos de comunicación con el cliente para luego tomar las medidas apropiadas que permitan garantizar la QoS de la entrega de los vídeos.

Las dos primeras responsabilidades son normalmente encontradas en cualquier sistema de VoD. La aceptación de una petición de un nuevo cliente, significa que ha sido aceptado por el balanceador de carga y también que el servidor tiene recursos disponibles para prestarle servicio. Este componente debe garantizar que la aceptación de la petición no compromete el buen funcionamiento del servidor, lo que significa que la QoS del contenido multimedia entregado a los clientes que ya habían sido aceptados para ser servidos, no será comprometida.

La tercer responsabilidad es el problema al que apunta nuestra línea de investigación. VoD-NFR ha sido diseñado desde un principio para soportar la detección de los fallos de red. El módulo QoSA dispone de información actualizada del estado de las comunicaciones que obtiene del STM, así como también del estado de reproducción del cliente, provisto por el LCS. Con esta información, el componente QoSA, estaría en condiciones de decidir si una determinada comunicación con un cliente es suficiente o no para continuar con la prestación del servicio. Además de determinar cuál es la mejor forma de aprovechar esta información para detectar los fallos de red, es necesario diseñar un esquema de recuperación del fallo. Una vez determinado el proceso de detección del fallo de red y el de recuperación, el módulo QoSA sería capaz de cumplir con la tercera responsabilidad asignada.

## 3. Resultados Obtenidos/Esperados

Con el objetivo de evaluar el comportamiento del nuevo sistema VoD-NFR, se ha diseñado y desarrollado un prototipo que funciona en entorno real y de simulación (N2 [8]).

El estudio experimental se ha dividido en tres fases incrementales, comenzando por un único componente hasta valorar el sistema completo. En la primera fase, se evaluó el módulo STM mediante pruebas reales y de simulación, donde se midieron parámetros de rendimiento y consumo de recursos bajo una alta carga de trabajo, típica de servidores de VoD. En la segunda fase, se analizó el LCS y su integración con el STM que demuestran la adaptabilidad del sistema a las fluctuaciones del ancho de banda de la red. En la última fase, tenemos previsto desarrollar pruebas del sistema completo para verificar el funcionamiento del mecanismo de detección y recuperación de fallos del módulo QoSA a construir.

Los resultados obtenidos con el STM y el LCS han sido plenamente satisfactorios, y pueden observarse en [6] y [7], respectivamente. Actualmente, nos hemos planteado estudiar el compor-

tamiento del flujo de tráfico en la red de comunicaciones de la Universidad Nacional del Comahue y, de acuerdo a esta experimentación, diseñar un esquema de detección y recuperación de fallos a implantar en el módulo QoS, que permita continuar prestando servicio a la mayor cantidad posible de clientes afectados por problemas temporales de la red.

## 4. Formación de Recursos Humanos

Parte de los estudios del sistema VoD-NFR han sido realizados en la Universidad Autónoma de Barcelona, España, dentro del proyecto “Procesamiento de Altas Prestaciones: Arquitectura, Entornos de Desarrollo y Aplicaciones” (TIN-2004-03388), que han dado lugar a la tesis doctoral de Javier Balladini, quien actualmente es miembro del grupo de investigación que trabaja en la línea presentada en este trabajo. Nuestro grupo de investigación está orientado a continuar desarrollando y adaptar el sistema de acuerdo a las necesidades planteadas por el proyecto “Software para Aprendizaje y Trabajo Colaborativo” (E04/065) de la Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

## Referencias

- [1] Catherine Boutremans, Gianluca Iannaccone, and Christophe Diot. Impact of link failures on voip performance. In *NOSSDAV '02: Proceedings of the 12th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video*, pages 63–71, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [2] Steven Berson, Leana Golubchik, and Richard R. Muntz. Fault tolerant design of multimedia servers. *SIGMOD Rec.*, 24(2):364–375, 1995.
- [3] Tai T. Do, Kien A. Hua, and Mounir A. Tantaoui. Robust video-on-demand streaming in peer-to-peer environments. *Comput. Commun.*, 31(3):506–519, 2008.
- [4] T. Anker, D. Dolev, and I. Keidar. Fault tolerant video on demand services. *Proceedings of 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 244–252, 1999.
- [5] A. Maharana and G.N. Rathna. Fault-tolerant video on demand in rserpool architecture. *International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM)*, pages 534–539, 20–23 Dec. 2006.
- [6] Javier Balladini, Leandro Souza, and Remo Suppi. A network scheduler for an adaptive VoD server. In *E-Business and Telecommunication Networks, Communications in Computer and Information Science*, volume 9, pages 237–251. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [7] Javier Balladini, Leandro Souza, and Remo Suppi. Un planificador de canales lógicos para un servidor de VoD en internet. *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2006)*, 2006.
- [8] Steven McCanne and Sally Floyd. NS2 - Network Simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2009.