

AVISS: Aplicación Adaptativa de Streaming de Vídeo

Guillermo Díaz-Delgado^{a,b}, Cristina Muñoz Jaime^a, Carolina Tripp Barba^a, Mónica Aguilar Igartua^a

^a Departament d'Enginyeria Telemàtica
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
C/ Jordi Girona 1-3, Mòd. C3, Campus Nord, 08034 Barcelona

^b Facultad de Informática
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)
Av. de las Ciencias s/n, Juriquilla, Querétaro, C. P. 76230, México
{gdiaz, ctripp, monica.aguilar}@entel.upc.edu, crismj84@gmail.com

Resumen- En este trabajo presentamos AVISS (*Adaptive Video-Streaming Application*), una aplicación para la transmisión adaptativa de *streaming* de vídeo en redes móviles ad-hoc (MANET, *Mobile Ad-hoc Networks*). AVISS pretende ofrecer una mejor Calidad de Experiencia (QoE, *Quality of Experience*) al usuario final mediante la auto-adaptación a las condiciones cambiantes de operación de la red. Para medir la calidad del vídeo recibido, también se ha definido una nueva métrica llamada Calidad del GoP (QoG, *Quality of GoP*). Esta métrica se calcula en el destino final en tiempo real y depende de la cantidad y tipo de cuadros de vídeo recibidos por cada GoP (*Group of Pictures*) transmitido, por lo que está relacionada con la QoE que el usuario final podría percibir. AVISS ha sido implementado utilizando la versión de RTP/RTCP del simulador de redes NCTUns, y sus prestaciones se han evaluado bajo diferentes condiciones de operación en redes MANET, reconocidas por ser altamente dinámicas.

Palabras Clave- Aplicación adaptativa, Calidad de Experiencia, Calidad del GoP, MANET, *Streaming* de Vídeo.

Abstract- In this paper we present AVISS (*Adaptive Video-Streaming Application*), an adaptive Client-Server application for video-streaming over Mobile Ad-hoc NETWORKS (MANETs). AVISS pretends to offer a better Quality of Experience (QoE) to the end user of the video-streaming system by adapting itself to time-varying operating conditions of the network. In order to measure the quality of the received video, we also define a new metric called Quality of GoP (QoG), which is easy to measure at the destination node, it does not require the original transmitted video as reference and it is related to the QoE end-user could perceive. As a proof of concept, AVISS has been implemented over a modified version of the RTP/RTCP implementation included with the NCTU network simulator (NCTUns) and we have evaluated its performance on simulated MANETs under several different operating conditions.

Keywords- Adaptive Application, MANET, Quality of Experience, Quality of GoP, Video-streaming.

I. INTRODUCCIÓN

Durante varias décadas, los servicios de vídeo se han utilizado con diversos fines, tales como educativos, divulgativos, de entretenimiento y para la seguridad en lugares públicos y privados. Inicialmente, el vídeo era capturado, registrado, transmitido y reproducido de forma completamente analógica. Pero la llegada de los circuitos digitales integrados y de los ordenadores condujo a la

digitalización del vídeo, trayendo consigo el desarrollo de técnicas de compresión para su almacenamiento y transmisión de forma más eficiente [1].

Por otro lado, el actual ritmo de vida de las personas impone la necesidad de trabajar y comunicarse sin depender de las ataduras impuestas por una infraestructura fija de comunicaciones de una determinada tecnología. Hoy día todo individuo quiere estar informado y comunicado, independientemente del momento y de su ubicación, lo que implica que los dispositivos terminales deben ser polivalentes y multifuncionales. El constante incremento del número de terminales inalámbricos y ordenadores portátiles con múltiples interfaces a diferentes tecnologías de comunicación, es sólo una muestra del creciente interés por los sistemas ubicuos y descentralizados [2]. Por ello, en los últimos años se han dedicado gran cantidad de recursos al estudio y desarrollo de las redes inalámbricas en general, y particularmente a las redes ad-hoc y a su versión móvil, las MANET (*Mobile Ad Hoc Networks*) [3], que aún se hallan en proceso de desarrollo e investigación.

Paralelamente, la mejora constante de las prestaciones de los dispositivos empleados ha permitido el desarrollo de nuevos servicios que demandan un mayor nivel de Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) a la red de transmisión de datos, tales como la videoconferencia y el *streaming* de vídeo (*video-streaming*). Entendemos por *video-streaming* el servicio que proporciona la transmisión continua de flujos de vídeo para su reproducción o "consumo" en tiempo real (p. ej. YouTube). Esta demanda de QoS se traduce en un requerimiento de ancho de banda dedicado exclusivamente a la aplicación, así como en la imposición de restricciones respecto a la tasa de pérdidas y al retardo máximo tolerados durante la transmisión de los paquetes de datos entre emisor y receptor. Sin embargo, las redes utilizadas para la provisión de estos servicios (p. ej. Internet o las redes ad-hoc) no ofrecen actualmente ningún tipo de QoS, aunque en los últimos años se han propuesto numerosos mecanismos, protocolos y plataformas que ofrecen cierto nivel de QoS a los servicios multimedia [4-7]. Además, es importante considerar que la provisión de QoS en redes altamente dinámicas requiere de un enfoque holístico, basado en una arquitectura de comunicación entre capas (*cross-layer*), que

incluya la adaptabilidad de la propia capa de aplicación a las posibilidades cambiantes de la red [8]. Esto último es especialmente apropiado para redes inalámbricas que deben brindar soporte a la movilidad de los usuarios [9].

El primer objetivo de este artículo es presentar AVISS (*Adaptive Video-Streaming Application*), una aplicación adaptativa para *streaming* de vídeo diseñada para mejorar la Calidad de Experiencia (QoE, *Quality of Experience*) del usuario. El algoritmo de adaptación de AVISS tiene en cuenta las condiciones dinámicas de operación de las redes de datos IP en general, es decir, la posibilidad de la variación del ancho de banda disponible y el cambio de topología (esto último debido a la congestión en alguna parte de la red o a la caída de los enlaces entre los nodos). Una solución similar ha sido propuesta en [11] para redes IP con infraestructura cableada (p. ej. Internet y ATM), en las que la tasa de error de bit (BER, *Bit Error Rate*) es baja y la mayoría de las pérdidas de paquetes de datos pueden atribuirse a la congestión en la red. AVISS, por su parte, ha sido diseñada pensando sobre todo en la transmisión de *streaming* de vídeo en escenarios muy hostiles como los presentados por las MANETs, las cuales son altamente dinámicas debido a la movilidad de los nodos que las conforman y a que no depende de una infraestructura fija. Gracias a que la transmisión de vídeo en tiempo real es relativamente tolerante a la pérdida de datos, pero poco tolerante respecto al retardo de los mismos [11], AVISS ha sido desarrollada en torno a los protocolos RTP/RTCP (*Real Time Protocol/Real Time Control Protocol*) [12] sobre UDP (*User Datagram Protocol*) [13] como protocolos de transporte.

El segundo objetivo de este trabajo consiste en presentar un análisis de prestaciones que ayude a determinar si la utilización de una aplicación adaptativa de *streaming* de vídeo como AVISS es capaz de proporcionar una mejor QoE.

El resto de este documento está dividido como sigue. En la Sección II se describen las características del servicio de *streaming* de vídeo que ofrece AVISS y los mecanismos de adaptación implementados. Las características específicas de la secuencia de vídeo original y el proceso de codificación utilizado para generar los ficheros de vídeo que requiere la aplicación se presentan en la Sección III. Luego, en la Sección IV se describen los experimentos realizados mediante simulación y las métricas analizadas, mientras que en las Secciones V y VI se presentan y discuten los resultados obtenidos al utilizar AVISS en redes ad hoc estáticas (Sección V) y con nodos móviles (Sección VI), los cuales se contrastan contra los resultados obtenidos con una aplicación de *video-streaming* no adaptativa. En la Sección VII se hace una discusión general de los resultados obtenidos en todos los experimentos realizados. Finalmente, en la Sección VIII se presentan algunas conclusiones y se describe el trabajo futuro.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO

La aplicación diseñada, AVISS, consta de dos partes diferenciadas en función del tipo de elemento que la ejecute; es decir, dependiendo de si el nodo actúa como emisor o receptor las funciones a realizar serán diferentes (servidor o cliente del flujo de vídeo, respectivamente).

En la Fig. 1 se muestra cómo el servidor almacena dos flujos de un mismo vídeo codificados con diferentes pasos de

cuantificación, y por tanto diferentes calidades de vídeo: alta calidad (HQ, *High Quality*) y baja calidad (LQ, *Low Quality*). El nodo fuente emite el flujo de vídeo de una u otra calidad en función del estado de la red. La información para evaluar el estado de la red la genera el receptor en función de las pérdidas detectadas y la transmite a la fuente mediante paquetes de señalización RTCP.

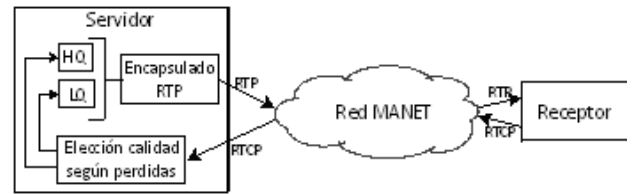


Fig. 1. Esquema general de AVISS.

A. Control adaptativo del flujo de vídeo

La red se monitoriza de forma continuada desde el emisor, mediante la información contenida en los paquetes RTCP generados por el nodo destino, los cuales contienen información (retardo, pérdidas) relativo al flujo de vídeo encapsulado en los paquetes RTP transmitidos por el servidor. Al recibir la información de control, el emisor actualiza una variable que monitoriza las pérdidas del canal. Para realizar este cálculo se ha aplicado un filtro EWMA (*Exponential Weighted Moving Average*) como el definido en la ecuación (1), de forma que se pondera la medida instantánea (*current_losses*) por un factor (α) y el valor acumulado, procedente del histórico (*losses[i-1]*), por un factor ($1-\alpha$). Cuando las pérdidas están por debajo de un determinado umbral se transmite el flujo de alta calidad (HQ), mientras que si están por encima del umbral se transmite el flujo de baja calidad (LQ).

$$losses[i] = (1 - \alpha) * losses[i - 1] + \alpha * current_losses \quad (1)$$

Este mecanismo de adaptación presenta, sin embargo, un inconveniente importante en el caso de que las pérdidas de la transmisión se hallen alrededor del único umbral definido, pues la calidad del vídeo transmitido cambiaría constantemente y en consecuencia se tendría un sistema “nervioso”. Una pequeña variación del porcentaje de paquetes perdidos podría hacer que cambiara el estado percibido de la comunicación, cuando en realidad la desviación es mínima.

Con el objetivo de reducir los cambios innecesarios de calidad del vídeo transmitido, se ha implementado en AVISS, como en [10], un ciclo de histéresis (Fig. 2). Así, cuando el valor de las pérdidas es cercano a alguno de los umbrales y si éstos se traspasan, es necesario un incremento o decremento considerable para volver al estado anterior.

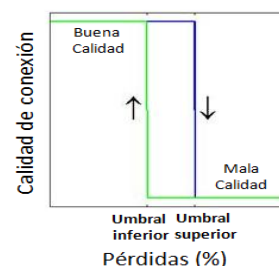


Fig. 2. Ciclo de histéresis.

Por otro lado, en caso de considerarse necesario un cambio en la codificación de los cuadros de vídeo emitidos, el servidor deberá esperar al inicio del siguiente GoP (*Group of Pictures*), pues todos los cuadros de vídeo de un GoP están codificados con la misma calidad y su interdependencia (Fig. 3) obliga esta medida. Para ello, en el encapsulado del primer paquete RTP de todos los cuadros I se ha incluido un campo que indica la codificación utilizada en cada GoP (HQ o LQ).

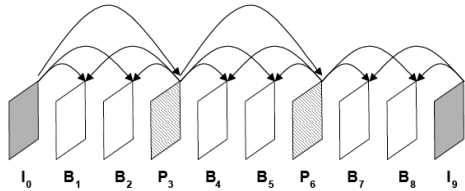


Fig. 3. Dependencias entre cuadros de un GoP.

B. Emisión adaptativa de paquetes RTCP

El intervalo mínimo entre paquetes de señalización RTCP definido en el RFC1889 [12] es de 5 seg., para evitar ráfagas de paquetes de este tipo que limiten excesivamente el ancho de banda disponible. En nuestro caso, esta restricción puede provocar que la información de control quede obsoleta y que la aplicación no responda adecuadamente a los cambios en la red. Para llegar a un compromiso entre el ancho de banda consumido y la precisión de las medidas, se ha optado por controlar de forma dinámica la frecuencia de envío de paquetes RTCP desde el nodo receptor según sea la calidad de la comunicación de extremo a extremo.

El algoritmo diseñado reduce el período entre emisiones de paquetes de señalización RTCP consecutivos cuando el porcentaje de paquetes perdidos es elevado. Así se consigue tener mayor resolución en las estadísticas. Dicho período se incrementa a medida que la calidad de la comunicación mejora, puesto que no es necesario tal nivel de detalle. Ambas variaciones se realizan de forma gradual, para reducir el impacto de incrementos bruscos en las pérdidas y la consecuente degradación de la calidad experimentada por el usuario. La implementación de este planteamiento se ha realizado mediante la modificación de la fracción del ancho de banda dedicado a la emisión de paquetes RTCP. Tomando en consideración estos dos aspectos, como cota inferior del ancho de banda de señalización (cuando hay buena comunicación) se ha definido el 0.5% del ancho de banda requerido para el envío de datos de vídeo HQ, y como cota superior el 1% (cuando hay muchas pérdidas). El incremento en el número de paquetes de señalización es el costo a pagar por la adaptación dinámica. Cuando la pérdida de paquetes de vídeo es mayor, el número de paquetes RTCP emitidos se incrementa para que la aplicación pueda adaptarse rápidamente a las condiciones de transmisión.

De acuerdo con la especificación de RTP/RTCP [12], el intervalo de emisión entre paquetes RTCP consecutivos debe variar de forma aleatoria en un rango entre 0.5 y 1.5 veces su valor nominal calculado hasta el momento. Esto se hace con el objetivo de disminuir la probabilidad de que se produzca una sincronización indeseada entre paquetes de múltiples participantes de una sesión. Según los valores anteriores, para el caso de una fracción del RTCP del 1%, con un período nominal de 250 ms, el valor resultante se obtendría entre 125 y 375 ms, mientras que para una fracción del RTCP del 0.5%

(período nominal de 500 ms), este rango se situaría entre 250 y 750 ms. De esta manera el servidor podría llegar a recibir hasta 4 paquetes de señalización en el intervalo de un GoP. No obstante, para evitar la emisión de paquetes innecesarios se ha decidido disminuir el rango de aleatoriedad a un valor entre 0.8 y 1.2 veces el valor nominal. Bajo estas circunstancias, en caso de tener una comunicación con un bajo porcentaje de pérdidas, el tiempo entre paquetes variaría entre 400 y 600 ms, mientras que para una comunicación de mala calidad este tiempo se reduciría hasta un valor en el intervalo de 200-300 ms. Aunque a primera vista no resulta evidente la transmisión de un mayor porcentaje de paquetes de control cuando el sistema presenta mayor tasa de pérdidas, el tráfico de control es menor que la cota máxima del 5% del ancho de banda utilizado para la transmisión de datos ([12]).

C. Otras funciones implementadas

El principal objeto de esta aplicación es transmitir GoPs de diferentes calidades a lo largo de la sesión RTP, para adaptarse a las circunstancias del sistema. Esto implica que el receptor debe ser capaz de reconocer la codificación que se ha utilizado, para poder decodificar cada cuadro correctamente. La detección de la codificación empleada en un GoP se puede realizar gracias a que se ha introducido un nuevo campo, tras la cabecera RTP del primer paquete de los cuadros de vídeo tipo I, en el que se indica la calidad con que se ha codificado el GoP que inicia (HQ o LQ).

Para facilitar el trabajo del decodificador también se ha optado por marcar el último paquete de cada cuadro de vídeo, mediante el campo *marker* de la cabecera RTP. Así, el receptor podrá detectar el inicio y el fin de cada cuadro de vídeo dentro del flujo de paquetes RTP que envía el emisor.

III. DESCRIPCIÓN DEL VÍDEO

El vídeo original consiste en una secuencia YUV (luminancia y crominancia) 4:2:0 progresiva con resolución CIF (*Common Intermediate Format*) de 352x288 píxeles con una duración de 300 segundos. La secuencia ha sido codificada en formato MPEG-4 ASP@L3 [14] a 30 cuadros por segundo, y con GoPs cerrados formados por 16 cuadros, según la secuencia: IBBPBBPBBPBBPBBP, con una matriz de cuantificación tipo H.263 [15] sin detección de cambios de escena. Con estas características, se han creado dos ficheros de vídeo comprimido MPEG-4 con calidades diferentes. Para el vídeo de alta calidad (HQ) se utilizó una codificación a tasa constante (CBR, *Constant Bit Rate*) de 384kbps, y para el vídeo de baja calidad (LQ) se utilizó una tasa de 192kbps. A partir de los ficheros de vídeo MPEG-4 se han generado los ficheros de trazas de vídeo con la aplicación MPEG4 [16], los cuales se utilizan como pauta para enviar los datos de los ficheros de vídeo. Gracias a la compresión MPEG-4, el vídeo es adecuado para transmitirse en redes con ancho de banda limitado como las MANETs.

IV. CARACTERÍSTICAS DE LAS SIMULACIONES

En esta sección se describen los experimentos realizados con el simulador NCTUns [17] y las métricas analizadas.

A. Características de las redes

Las redes simuladas son redes inalámbricas multisalto formadas por nodos con interfaces IEEE 802.11b trabajando

en modo ad-hoc [18]. Se ha establecido un rango de transmisión de los nodos de 125 m y un radio de interferencia de 200 m, así como una tasa de transmisión nominal de 11 Mbps. El protocolo de encaminamiento utilizado en las simulaciones generadas es AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*) [19]. Para el caso de las redes con nodos móviles, las trayectorias de movimiento de los nodos se han generado con la herramienta Bonnmotion [20], utilizando el modelo de movilidad *RandomWaypoint*.

Durante los experimentos, las diferentes sesiones de comunicación simuladas se han incorporado con un desfase de 10 segundos respecto al inicio de la sesión anterior, tal como se puede observar en la Fig. 4. Por lo tanto, la máxima duración de una simulación es de 390 seg (cuando se tienen hasta 10 sesiones de comunicación de forma simultánea).

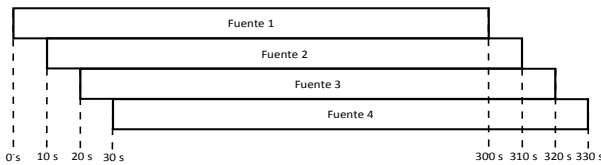


Fig. 4. Inicio desfasado de las comunicaciones.

El ciclo de histéresis programado en la aplicación tiene un umbral inferior igual al 5% de pérdidas de los paquetes RTP, mientras que el umbral superior es del 10%.

B. Diseño de experimentos

Las simulaciones se realizaron siguiendo un Diseño de Experimentos (DOE, *Design of Experiments*) de tipo factorial [21], con el fin de determinar el efecto de diferentes factores en el comportamiento y rendimiento de las redes y de la aplicación desarrollada. Los factores considerados en estas simulaciones han sido los siguientes:

- Tamaño de la superficie de la red
- Número de nodos en la red
- Máximo número de transmisiones simultáneas
- Máxima velocidad de movimiento de los nodos

Así, se definieron los siguientes 3 escenarios de red, en los cuales se ha hecho variar el número de transmisiones simultáneas y la velocidad de los nodos:

- Escenario mediano: Red mediana (20 nodos) y superficie mediana (500m x 500m).
- Escenario grande: Red grande (50 nodos) y superficie grande (1250m x 500m).
- Escenario denso: Red grande (50 nodos) y superficie mediana (500m x 500m).

Asimismo, se definieron tres etapas de experimentación. Las dos primeras fases se realizaron utilizando la aplicación adaptativa, mientras que en la tercera etapa se utilizó una aplicación convencional no adaptativa. Cabe destacar que se realizaron cinco repeticiones de cada una de las simulaciones, a fin de obtener estimaciones más fiables, y los resultados mostrados son el promedio de los valores obtenidos en cada repetición.

En la Fig. 5 se ha representado el conjunto de simulaciones realizadas para cada escenario de red.

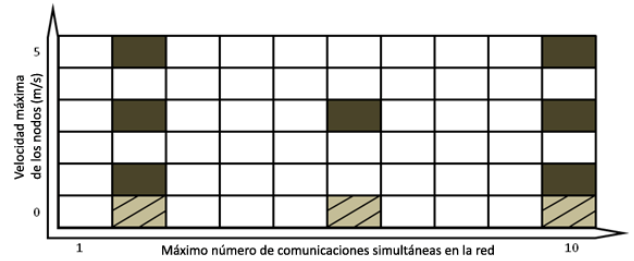


Fig. 5. Simulaciones realizadas para cada escenario de red.

C. Métricas analizadas

Para este estudio se han buscado métricas objetivas y cuantificables, que representen el comportamiento de la aplicación en los escenarios simulados. Con este objetivo se han analizado las siguientes métricas:

- *Retardo extremo a extremo*: Contempla el retardo únicamente de los cuadros de vídeo que el receptor recibe correctamente, y dentro de la ventana temporal establecida.

- *Pérdidas de los paquetes*: Básicamente se analizan las pérdidas de los paquetes RTP, promediando las diferentes fuentes y realizaciones de una misma simulación.

- *Pérdidas de cuadros de vídeo*: Se estudian las pérdidas, considerando como tal los cuadros de vídeo incompletos, pero también aquellos que han llegado en un tiempo superior a 2 segundos al instante en que se requerían.

- *Calidad de GoP (QoG, Quality of GoP)*: Esta métrica pretende medir, basada en datos estadísticos, la calidad de percepción del vídeo que tendrá el usuario final. Para ello se ha calculado un porcentaje de calidad según la cantidad y tipo de cuadros de vídeo de un mismo GoP recibidos correctamente (a tiempo y decodificables) en el receptor. La QoG se calcula en el destino final en tiempo real, no requiere como referencia el vídeo originalmente transmitido y está relacionada con la Tasa de Vídeo Decodificado y Reproducible (DFR, *Decodable Frame Rate* [22, 23]), por lo que es un estimador de la QoE percibida por el usuario final.

Según la dependencia jerárquica entre los cuadros de un GoP, con respecto al proceso de decodificación del vídeo (ver Fig. 3), se ha asignado un peso específico a cada cuadro. Así pues, se ha considerado como más valioso el cuadro de tipo I, seguido de los cuadros de tipo P, cuya importancia decrece a medida que aumenta su posición dentro del GoP, y finalmente los cuadros de tipo B, manteniendo todos ellos el mismo valor. En la Tabla 1 se presenta la contribución de los diferentes cuadros de vídeo a la QoG.

Tabla 1. Contribución de los cuadros de vídeo a la QoG.

Tipo de cuadro	Contribución
Cuadro I	0.30
1er cuadro P	0.22
2o cuadro P	0.16
3er cuadro P	0.11
4o cuadro P	0.07
5o cuadro P	0.04
1 Cuadro B (x10)	0.01

V. SIMULACIONES EN REDES ESTÁTICAS

En esta sección se presentan los datos globales obtenidos de la evaluación de prestaciones de AVISS en redes ad-hoc estáticas, es decir, en las que los nodos permanecen fijos.

A. Retardo extremo a extremo

La evolución temporal del retardo medio extremo a extremo consta de tres fases diferenciadas, como se muestra en la Fig. 6. En primer lugar, se puede apreciar que, cada vez que se establece una nueva transmisión de vídeo desde un nodo fuente (instantes 0, 10, 20 y 30 segundos de la Fig. 4), se incrementa considerablemente del retardo medio para todas las fuentes simultáneas. Luego, cuando se llega al máximo número de fuentes simultáneas, el retardo permanece casi constante (caso de 2 fuentes simultáneas) e incluso decrece ligeramente (casos de 6 y 10 fuentes simultáneas). Por último, en la etapa de finalización de las transmisiones (instantes 300, 310, 320 y 330 segundos de la Fig. 4), el retardo medio decrece rápidamente.

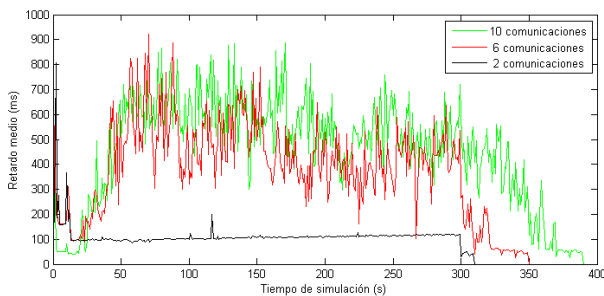


Fig. 6. Evolución del retardo en red densa con aplicación adaptativa.

En la Fig. 6 también se puede observar cómo se produce un incremento puntual en el retardo cada vez que se incorpora una nueva fuente al sistema. Al introducirse un nuevo flujo, el protocolo de enrutamiento necesita un cierto tiempo para hallar un camino entre el origen y el destino, así como para actualizar las tablas de encaminamiento de los nodos intermedios, por lo que el retardo extremo a extremo es ligeramente superior al inicio de cada nueva comunicación.

Cabe destacar que el comportamiento en el eje temporal es similar en ambos tipos de aplicaciones (convencional y adaptativa), si bien se ha comprobado que el retardo medio es mayor cuando se emplea la aplicación adaptativa. Este fenómeno se muestra en la Fig. 7 (columna de la izquierda de cada grupo), junto con los resultados obtenidos con la aplicación estándar al transmitir el vídeo HQ (columna central) y el vídeo LQ (columna de la derecha).

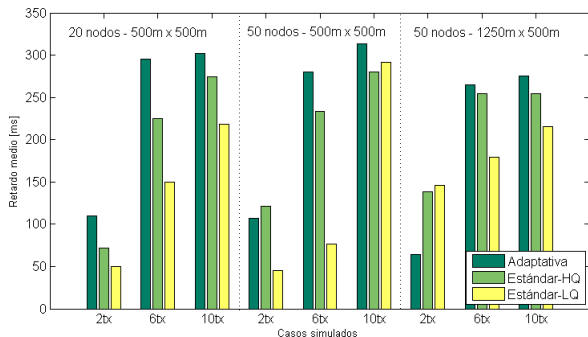


Fig. 7. Retardo medio según el tipo de aplicación empleada.

La razón principal del empeoramiento del retardo, se debe a las nuevas funcionalidades que incorpora la aplicación adaptativa (potencial cambio del flujo a emitir a lo largo del tiempo). De esta manera, al añadir nuevas tareas en los nodos de origen y destino, el retardo se ve afectado.

En la aplicación convencional se ha detectado, además, un comportamiento diferenciado del retardo al aplicar distintas tasas de codificación del vídeo. En la Fig. 8 se observa cómo en una red con tráfico moderado (6 transmisiones simultáneas) se producen retardos mucho mayores cuando se transmite el vídeo con mayor calidad, mientras que para una red con mayor tráfico (10 transmisiones simultáneas) se obtienen unos valores muy similares para ambas calidades del vídeo, debido a la saturación del sistema. Sin embargo, se ha de especificar que el comportamiento mostrado se refiere al retardo de los cuadros de vídeo considerados como válidos. Esto significa que en estos datos sólo se han computado los cuadros de vídeo completos recibidos dentro de la ventana temporal de recepción para su decodificación.

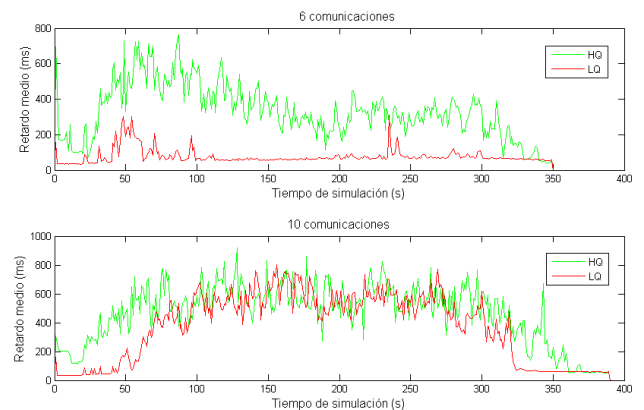


Fig. 8. Evolución del retardo (aplicación convencional).

B. Comportamiento de los paquetes

La evolución general de los paquetes se basa en un incremento de las pérdidas a medida que aumenta el número máximo de comunicaciones en la simulación. Cuantas más fuentes se hallen operativas simultáneamente, mayor será el tráfico que circula por la red, y por tanto hay una probabilidad mayor de pérdidas, causadas principalmente por colisiones y saturación en los nodos.

En la Fig. 9 se puede observar cómo, con la aplicación adaptativa, se reduce el porcentaje de pérdida de paquetes en aproximadamente un 5% respecto a la emisión de vídeo de alta calidad.

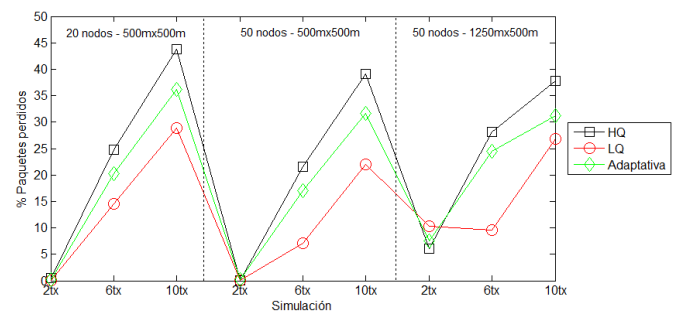


Fig. 9. Paquetes perdidos según aplicación.

Este comportamiento se debe a que, con la aplicación adaptativa, el número medio de paquetes necesario para transmitir un cuadro de vídeo completo es menor que para el vídeo de alta calidad, por lo que hay menos paquetes circulando en la red, y por tanto las pérdidas se reducen. En

el caso específico de 2 fuentes simultáneas en una red de 50 nodos en una superficie de 1250mx500m, se puede observar que se presentan más pérdidas que en los otros escenarios. Esto se debe principalmente a que las rutas entre las fuentes y los destinos móviles se pierden con mayor frecuencia debido a que las distancias entre ellos son mayores.

C. Comportamiento de los cuadros

Un cuadro de vídeo se transporta en uno o varios paquetes, de manera que el análisis referente a los cuadros tendrá rasgos similares al comportamiento observado en los paquetes. Así, al transmitir el vídeo con la aplicación adaptativa se obtienen pérdidas menores que al transmitir únicamente el flujo de vídeo de alta calidad, pero mayores que con la secuencia de vídeo de baja calidad. En la Fig. 10 se han representado las pérdidas de los cuadros para un escenario denso, desglosadas en función de la calidad de los cuadros de vídeo emitidos. Según el algoritmo de adaptación de la aplicación diseñada, cuando el canal tenga muchas pérdidas sólo se emitirá los cuadros de baja calidad; por lo mismo se pierde un número mayor de cuadros de vídeo cuando están codificados con una tasa menor.

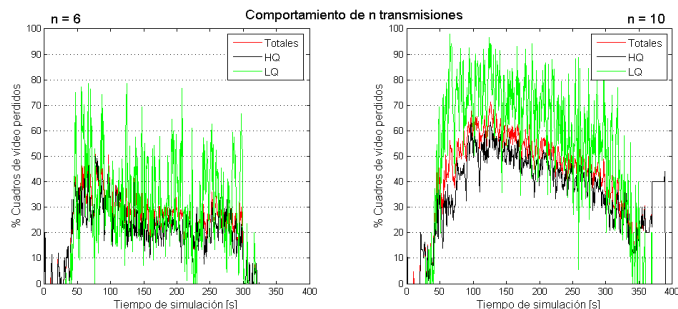


Fig. 10. Cuadros perdidos con aplicación adaptativa.

En estas situaciones se puede apreciar como los elevados valores obtenidos en los cuadros de tasa de codificación menor tiene escasa influencia en el cómputo de las pérdidas. Esto se debe a que los parámetros escogidos provocan que alrededor del 90% se emitan paquetes de alta calidad, por lo que el peso de este tipo de paquetes es mucho mayor.

D. Calidad subjetiva de vídeo

La distribución de las pérdidas puede ser un factor más importante para el usuario final que el número de paquetes y cuadros perdidos. Por esta razón, es de gran importancia la calidad global percibida por el receptor. Según se puede observar en la Fig. 11 esta calidad depende en gran medida de la cantidad de tráfico inyectado en el sistema. Así pues, con una cantidad de tráfico reducido la propuesta adaptativa ofrece un mejor comportamiento que con la aplicación estándar y vídeo de alta calidad (HQ), mientras que en intervalos con múltiples comunicaciones activas se observa una notable degradación en la calidad subjetiva respecto de la aplicación estándar y vídeo de baja calidad (LQ), aunque es ligeramente superior a la obtenida con la aplicación estándar y vídeo de alta calidad (HQ). Con la aplicación adaptativa el número de cuadros de vídeo que alcanzan el destino, por cada GoP transmitido, es mayor que con la aplicación estándar transmitiendo vídeo HQ, pero menor que cuando sólo se transmite vídeo LQ. Sin embargo, la calidad promedio de los cuadros de vídeo de la aplicación adaptativa es mayor que cuando sólo se transmite vídeo LQ.

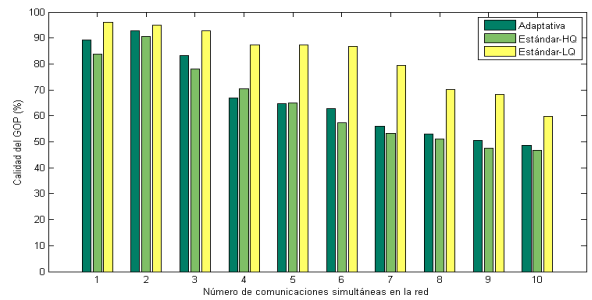


Fig. 11. Calidad del GoP en red grande.

VI. SIMULACIONES EN REDES MÓVILES

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de prestaciones de la aplicación adaptativa de *video-streaming* en redes MANET, esto es, redes ad-hoc con nodos en movimiento.

A. Retardo extremo a extremo

Tras evaluar el retardo medio en los tres escenarios bajo diferentes velocidades con la aplicación diseñada, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Fig. 12.

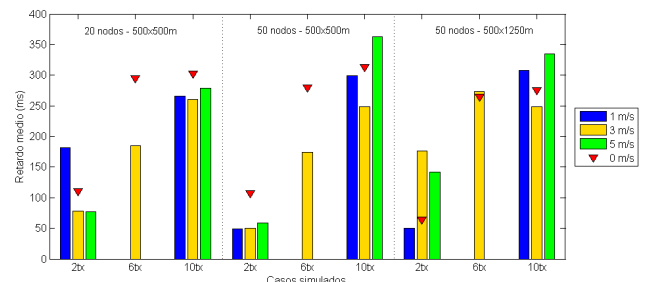


Fig. 12. Retardo en función de la velocidad de los nodos.

Como se puede apreciar, el retardo extremo a extremo de los cuadros tiende a ser mayor en la red estática (triángulos en Fig. 12). Esto se debe a que en una red con cierta movilidad de los nodos, las rutas varían constantemente, lo que favorece la conectividad entre el nodo origen y el destino al menos durante algún período, además de que se disminuye la probabilidad de que un nodo converjan varias rutas, lo que produciría que las colas de esos nodos se llenaran, provocando un mayor retardo debido a un congestionamiento. En resumen, en redes con un cierto grado de movilidad el tráfico parece que se balancea.

B. Comportamiento de los paquetes y de los cuadros

La movilidad en los nodos implica casi siempre una pérdida de ruta entre fuente y destino, por lo que es habitual que se produzca un incremento sustancial de los paquetes que se pierden. En casos extremos se pueden ocasionar desconexiones, si la duración de este intervalo con pérdida de información es suficientemente elevada (del orden de decenas de segundos). De manera general, el porcentaje de paquetes y cuadros perdidos aumenta conforme aumenta la velocidad de los nodos y la carga en la red.

Los valores medios obtenidos varían en función del escenario y la velocidad simulados (Fig. 13). En el escenario de mayores dimensiones, las distancias que debe recorrer el flujo hasta llegar al destino son mayores, y por tanto la probabilidad de pérdida del cuadro es mayor, ya que hay más paquetes que llegan tarde y se dan por perdidos.

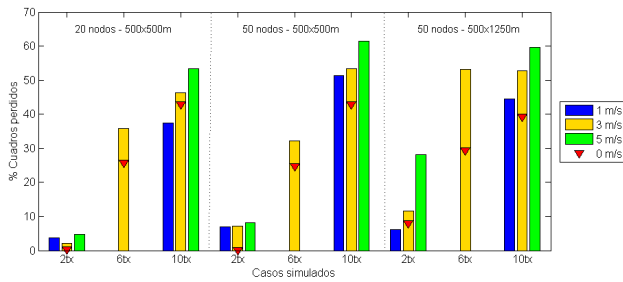


Fig. 13. Pérdidas de cuadros en función de la velocidad de los nodos.

Cabe destacar el elevado porcentaje de cuadros perdidos con la aplicación adaptativa al moverse los nodos. Si bien pareciera que existe una mayor conectividad, es decir mayor número de rutas entre origen y destino que reducirían estas pérdidas, este efecto es compensado por una densidad mayor, lo que provoca un mayor número de colisiones al tratar de acceder al medio compartido.

C. Calidad subjetiva de vídeo

El movimiento de los nodos implica un aumento de las pérdidas, por lo que la calidad global percibida se degrada a medida que aumenta la velocidad de los nodos (Fig. 14). Esto se produce principalmente debido a las desconexiones de las sesiones RTP, provocadas por la falta de conectividad entre emisor y receptor, así como por el consiguiente aumento de las pérdidas.

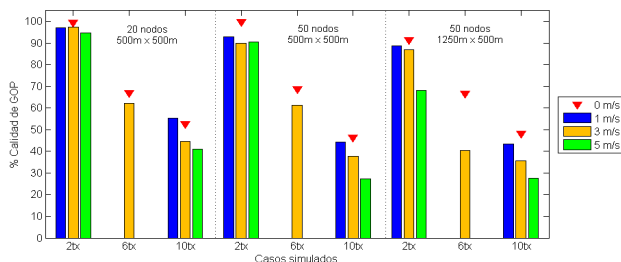


Fig. 14. Calidad del GoP en función de la velocidad de los nodos.

También cabe recordar que a medida que se incrementa la velocidad aumenta la señalización existente en el sistema. Por un lado, la adaptación del intervalo entre paquetes RTCP añade más tráfico al sistema; por otro lado, la movilidad implica tener que buscar más a menudo nuevas rutas alternativas entre emisor y receptor, lo que produce un incremento de la señalización del protocolo de encaminamiento.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

En primer lugar, cabe destacar que comparando la aplicación AVISS con la aplicación estándar que transmite sólo cuadros de vídeo de alta calidad, con AVISS se obtiene una mejora de la calidad global del vídeo reproducido en el receptor. Ello se debe a la capacidad de adaptación de la fuente de vídeo diseñada, que envía cuadros de vídeo de dos calidades diferentes (tasas de transmisión diferentes) según sea el estado de la red a lo largo del tiempo, medido en términos del porcentaje de pérdida de paquetes en la red. Esto puede apreciarse claramente en la Fig. 9, en que se observan mayores pérdidas de paquetes con la aplicación adaptativa que con la aplicación convencional y flujo de baja calidad (LQ), pero menores pérdidas de paquetes que con la

aplicación convencional y flujo de alta calidad (HQ). Equivalentemente, la calidad subjetiva percibida por el usuario con la aplicación adaptativa se halla entre las percibidas con la aplicación convencional y un solo tipo de flujo, como muestra la Fig. 11, siendo ligeramente superior a ambos casos para un número alto de comunicaciones simultáneas. Este ligero incremento de la calidad de GoP está asociado a una disminución de los paquetes y de los cuadros perdidos, por lo que estas dos métricas también mejorarán respecto a la emisión en alta calidad. No así el retardo extremo a extremo de los cuadros, representado en la Fig. 7, que por el contrario experimenta un ligero incremento respecto a las dos implementaciones de la aplicación estándar. Esto es debido al tiempo necesario para conmutar entre los flujos de alta y baja calidad. Como ya se ha comentado, este incremento en el retardo se produce por el consumo de recursos del origen y el destino, al incrementarse las tareas que deben realizar estos nodos, específicamente en la gestión de los dos flujos de distintas calidades para ir enviando GoPs de una u otra calidad, así como el hecho de que el control dinámico del flujo RTCP diseñado, introduce un mayor número de paquetes en el sistema. El segundo aspecto a destacar es la disparidad de resultados entre los diferentes escenarios simulados. La bondad de la métrica estudiada en cada caso también depende del resto de variables, es decir, de la velocidad de los nodos, del número de transmisiones y de la aplicación utilizada. Por estas razones no se puede afirmar que exista una red óptima respecto de la evaluación de una métrica o para una velocidad específica de movimiento de los nodos, sino que en función de diversas características pueden esperarse mejores o peores resultados.

Otra característica de gran importancia es el empeoramiento de las medidas cuando se aplica un sustancial grado de movilidad en los nodos que constituyen la red. En estas situaciones la calidad global se degrada, pues aumenta la pérdida de paquetes y, por lo tanto, de cuadros de vídeo, debido a que la movilidad en los nodos produce cambios en la topología de red y enlaces que se rompen. En este estudio se ha comprobado que el comportamiento temporal de las pérdidas, tanto para una carga de tráfico moderada como elevada, es relativamente independiente de otros factores como son la velocidad de los nodos o el número de transmisiones activas. Esta misma tendencia se observa en el retardo extremo a extremo. Ambas métricas tienen una evolución en la que pueden distinguirse tres fases en el escenario analizado en la Fig. 6: incorporación secuencial de nuevas fuentes, mantenimiento del máximo número de fuentes y desconexión progresiva de las comunicaciones. La primera etapa se caracteriza por un fuerte incremento de las pérdidas por cada nueva incorporación al sistema; durante la segunda fase las pérdidas se estabilizan, llegando incluso a decaer ligeramente a partir de un cierto instante que depende de las condiciones del escenario; finalmente, en el intervalo de desconexiones existe también un descenso, sólo que en este caso el decaimiento depende de si en la fase anterior se había producido o no un decremento de las pérdidas. En lo que a pérdidas se refiere, en todos los casos puede distinguirse un fuerte incremento inicial conforme se incorporan nuevas fuentes.

VIII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo hemos presentado el diseño e implementación de AVISS, una aplicación para la transmisión adaptativa de *streaming* de vídeo en redes MANET que ofrece una mejor Calidad de Experiencia (QoE) al usuario final. La capacidad de adaptación de AVISS está basada en la transmisión de vídeo codificado con diferentes calidades (*multirate*), con lo cual se puede ajustar la tasa de transmisión a las condiciones de operación de la red. A partir de los resultados presentados, los cuales fueron obtenidos mediante la simulación de diversos escenarios de redes móviles ad hoc, podemos concluir que esta implementación de AVISS presenta algunas mejoras respecto de un servicio de *streaming* de vídeo no adaptativo, y supone una mejora en la percepción del vídeo por parte del usuario. No obstante, esto viene asociado a un incremento del retardo extremo a extremo de los cuadros de vídeo.

Para medir la calidad del vídeo se ha definido una métrica llamada Calidad del GoP (QoG) cuyo valor depende de la cantidad y el tipo de los cuadros pertenecientes a un mismo GoP que son recibidos y decodificados en el receptor. Esta métrica es fácil de medir en el destino, no requiere como referencia el vídeo transmitido y está relacionada con la Tasa de Vídeo Decodificado y Reproducible, por lo que es un estimador de la QoE percibida por el usuario.

A lo largo de esta investigación han surgido algunas ideas que podrían ayudar a mejorar los resultados obtenidos. Un primer estudio consistiría en analizar las prestaciones de AVISS en escenarios más densos, en los que se asegure que en todo momento exista conectividad entre el origen y el destino de una comunicación. Igualmente, nos proponemos hacer un análisis de las prestaciones de AVISS utilizando otros protocolos de encaminamiento como DSR [24], así como con otros modelos de movilidad, como el modelo Manhattan o el de Movilidad Grupal hacia Puntos de Referencia (*RPGM, Reference Point Group Mobility*).

Un aspecto que se podría implementar para reducir la pérdida de calidad de los GoPs consiste en proteger los paquetes que transportan datos de los cuadros de vídeo tipo I e incluso P, ya sea mediante un mecanismo de FEC (*Forward Error Correction*) o dándoles un trato diferenciado prioritario en las colas de espera de los nodos. Esto se lograría incluyendo técnicas de gestión de la QoS (*Quality of Service*). Asimismo, podría estudiarse el comportamiento del sistema utilizando el mecanismo RTS/CTS (*Request To Send/Clear To Send*) para reservar el canal de radio al transmitir tramas de datos entre dos nodos para disminuir el número de colisiones en presencia de nodos concentradores de flujos debido a la topología de la red.

Otro aspecto de estudio es la elección de los umbrales para el cambio del vídeo de una calidad a otra, ya que los umbrales podrían ajustarse de forma dinámica en función del estado de la red. Por último, podría estudiarse la evolución de las diferentes métricas con vídeo codificado a más de dos calidades distintas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos ITACA (TSI2007-65393-C02-02) y CONSEQUENCE (TEC2010-20572-C02-02). Asimismo, G. Díaz-Delgado ha contado con el apoyo de becas de CONACYT, PROMEP-

UAQ, México y Fundación Carolina, España. Igualmente, C. Tripp Barba ha contado con la beca FI-Agaur y el programa Doctores Jóvenes en Áreas Estratégicas de la UAS, México. Finalmente, los autores desean agradecer los comentarios de los revisores.

REFERENCIAS

- [1] J. G. Apostolopoulos, W.-T. Tan, and S. J. Wee, "Video Streaming: Concepts, Algorithms and Systems," Hewlett-Packard Laboratories, September, 2002.
- [2] G. Mapp, D. Cottingham, F. Shaikh, P. Vidales, L. Patanapongpibul, J. Balioisian, and J. Crowcroft, "An Architectural Framework for Heterogeneous Networking," WINSYS, August 2006.
- [3] S. Corson, and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," RFC2501, January 1999.
- [4] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," RFC: 1633, June 1994.
- [5] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, and D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers," RFC 2474, December 1998.
- [6] S.-B. Lee, G.-S. Ahn, X. Zhang, and A. T. Campbell, "INSIGNIA: An IP-Based Quality of Service Framework for Mobile Ad Hoc Networks". *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Academic Press, Special issue on Wireless and Mobile Computing and Communications, vol. 60, no. 4, pp. 374-406, April 2000.
- [7] H. Xiao, W. K. G. Seah, A. Lo, and K. C. Chua, "A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE VTC, May 2000.
- [8] G. Díaz Delgado, V. Carrascal Frías, and M. Aguilar Igartua, "Cross-Layer Optimization for Video-streaming Transmission with QoS over Ad hoc Networks: A Holistic Approach," *Journal of Communications Software and Systems*, Special issue on Cross-Layer Design for QoS Support in Wireless and Hybrid Networks, Croatian Communication and Information Society, ISSN 1845-6421, vol. 3, no. 3, September 2007.
- [9] Q. Zhang, and Y.-Q. Zhang, "Cross-Layer Design for QoS Support in Multihop Wireless Networks," *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 1, pp. 64-76, January 2008.
- [10] I. Busse, B. Deffner, and H. Schulzrinne, "Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP," *Computer Communicationse*, vol. 19, no. 1, pp. 49-58, January 1996.
- [11] M. Postigo-Boix, J. Garcia-Haro, and M. Aguilar-Igartua, "Cost minimization study of semi-elastic flows using Internet," ICC, April-May, 2002.
- [12] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," RFC 1889, January 1996.
- [13] J. Postel, "User Datagram Protocol," RFC 768, January 1980.
- [14] Moving Picture Experts Group (MPEG), MPEG home page, 2009, [Online]. <http://www.chiariglione.org/mpeg/>
- [15] International Telecommunication Union, "Video Coding for Low Bitrate Communication," ITU-T Recommendation H.263, 1996
- [16] Arizona State University, Trace Website, Tools for Research, 2009, [Online]. <http://trace.eas.asu.edu/>
- [17] NCTUns 6.0 Network Simulator and Emulator, 2009, [Online]. <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>
- [18] IEEE Std 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999), "IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), New York, USA, June, 2007.
- [19] C. Perkins, E. Belding-Royer, and E. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, July 2003.
- [20] University of Bonn, BonnMotion, 2009, [Online]. <http://iv.cs.uni-bonn.de/wg/cs/applications/bonnmotion/>
- [21] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 6th ed., New York, John Wiley, 2005.
- [22] A. Ziviani, B. E. Wolfinger, J. F. Rezende, O. C. M. B. Duarte, and S. Fdida, "Joint Adoption of QoS Schemes for MPEG Streams," *Multimedia Tools and Applications Journal*, Kluwer Academic Publishers, ISSN:1380-7501, vol. 26, no. 1, pp. 59-80, May 2005.
- [23] H. Koumaras, A. Kourtis, C.-H. Lin, and C.-K. Shieh, "End-to-End Prediction Model of Video Quality and Decodable Frame Rate for MPEG Broadcasting Services," *International Journal On Advances in Networks and Services*, ISSN:1942-2644, vol. 1 no. 1, pp. 19-29, 2008, [Online]. http://www.iariajournals.org/networks_and_services/
- [24] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," RFC4728, February 2007.