

Caracterización del consumo de energía y el desempeño de las aplicaciones streaming sobre redes inalámbricas WLAN

Juan Pablo Garnica*

Andrés Marín**

José Edinson Aedo***

Fecha de recepción: 10-07-2007

Fecha de selección: 18-04-2008

Fecha de aceptación: 14-01-2008

ABSTRACT

Today's society requires people to be connected anyplace, anytime, through different media, such as text, audio and video. This requirement explains the high adoption rate of streaming applications and wireless LANs (WLANs), and the increasing research in these topics.

This article presents the power consumption characterization for a laptop computer running a streaming multimedia application over a WLAN, as well as the profile for

the WLAN performance while the multimedia application is running. We found that the laptop power consumption changes depending of the network adapter in use, and the network performance is related to the type of media being transmitted over the network, to the communication channel conditions, and the protocol stack implementation.

KEY WORDS

Streaming multimedia, wireless LANs, power consumption, communication systems.

* Estudiante Maestría, Universidad de Antioquia.

** Profesor, Universidad de Antioquia.

*** Profesor, Universidad de Antioquia, Grupo de Microelectrónica y Control, Universidad de Antioquia.

RESUMEN

La sociedad actual demanda que las personas estén comunicadas en todas partes, todo el tiempo, y además que lo hagan a través de diversos medios como texto, audio y video. Esta situación explica el auge que han tenido tanto las aplicaciones streaming como las redes inalámbricas WLAN, lo que a su vez ha propiciado el desarrollo de numerosos trabajos de investigación alrededor de estas tecnologías. En la realización de dichos trabajos es importante conocer en detalle el funcionamiento de las tecnologías involucradas, con el fin de realizar desarrollos de manera eficiente.

En este artículo se presenta la caracterización del consumo de energía de un computador portátil que ejecuta

una aplicación streaming. Así mismo la caracterización del desempeño del sistema de comunicación durante la sesión streaming, que se realiza sobre una red inalámbrica WLAN. Se encuentra que el consumo de energía del computador portátil depende principalmente de la interfaz de red empleada, y que el desempeño del sistema de comunicación depende básicamente de la fuente a reproducir, de las condiciones del canal y de la implementación de los protocolos.

PALABRAS CLAVE

Streaming multimedia, redes inalámbricas, consumo de energía, sistemas de comunicación.

Clasificación Colciencias: Tipo 1

I. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas WLAN están cobrando un gran auge en el mundo,^{1,2,8,5,4} debido a que satisfacen los requerimientos técnicos que exigen los usuarios móviles de hoy, además de la aparición de una gran cantidad de equipos que soportan esta tecnología. Las redes inalámbricas WLAN tienen un comportamiento particular que las distingue de otras redes de computadores, debido principalmente a su naturaleza inalámbrica. Así mismo somos testigos de la popularidad de las aplicaciones streaming, las cuales permiten transmitir diversos medios como audio, video, texto, en tiempo real.

El auge de dichas tecnologías ha generado una gran cantidad de trabajos de investigación a su alrededor que buscan encontrar soluciones a los problemas que enfrentan y propiciar el desarrollo de soluciones más eficientes. Para ello es importante conocer en detalle el funcionamiento de dichas tecnologías.

En el presente artículo se presenta la caracterización de una aplicación streaming sobre una red inalámbrica WLAN, analizando específicamente los aspectos de transferencia de datos y consumo de energía. En la sección 2 se presentan algunos conceptos teóricos que enmarcan la realización del artículo. En la sección 3 se expone la metodología implementada en el desarrollo de las pruebas. En la sección 4 se propone un diseño experimental orientado a la caracterización objetiva de las aplicaciones streaming. En la sección 5 se presentan algunos resultados experimentales obtenidos. En la sección 6 se realiza la descripción de los resultados. En la sección 7

se analizan los resultados obtenidos. En la sección 8 se presenta la caracterización del consumo de energía y el desempeño de las aplicaciones streaming sobre una red inalámbrica WLAN. Finalmente, en la sección 9 se presentan las conclusiones del artículo.

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se muestran algunas generalidades acerca de dos conceptos importantes para el desarrollo del artículo: las aplicaciones streaming y las redes inalámbricas WLAN. Se realiza una presentación básica de cada concepto, se presenta su topología y se describe su funcionamiento básico.

2.1. Aplicaciones streaming

La tecnología streaming se utiliza para aligerar la descarga y ejecución de contenido multimedia, como audio y video, en una red de computadores; ya que permite realizar la reproducción del material aun cuando éste no se haya descargado completamente. Esta característica es especialmente útil en sistemas que tienen restricciones en ancho de banda, razón por la cual dichas aplicaciones han ganado popularidad en los sistemas inalámbricos y en la Internet, escenarios que han estado asociados tradicionalmente a restricciones en ancho de banda.

En la Figura 1 se muestra la topología típica de una sesión streaming. El cliente se encarga de realizar la reproducción del contenido multimedia que se encuentra almacenado en el servidor. Dicho servidor debe gestionar la oferta de contenido que ofrece a los clientes. Generalmente se cuenta

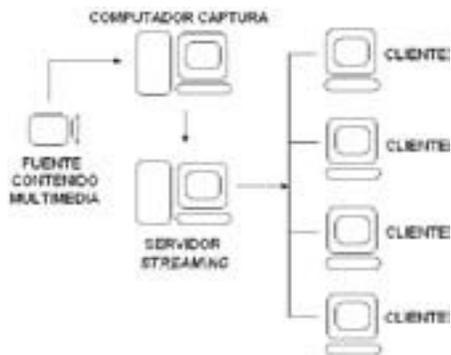


Figura 1. Servicio de streaming básico

con un computador adicional, encargado de generar el contenido que se va a ofrecer.

Una sesión streaming se desarrolla de la siguiente manera: En primer lugar el cliente se conecta con el servidor y éste inicia el envío del contenido de una fuente, ya sea almacenada previamente o codificada en tiempo real. El cliente comienza a recibir la información y genera un buffer de almacenamiento. Cuando se ha llenado el buffer con cierta porción del contenido, el cliente empieza a reproducirlo y a la vez continúa con la descarga del contenido. Si en algún momento la conexión sufre descensos de velocidad, se emplea la información almacenada en el buffer con el fin de mantener la continuidad en la reproducción. Si la comunicación se interrumpe durante un tiempo apreciable, el buffer se vacía y la ejecución del contenido se suspende hasta que se restaure la comunicación.

Para implementar las aplicaciones streaming se ha desarrollado el conjunto de protocolos RTSP⁷ - RTCP-RTP.⁶ Dichos protocolos permiten al usuario controlar la reproducción del contenido, incluyendo las funciones de reproducir (PLAY), pausar

(PAUSE), detener (STOP). Además, permiten al usuario realizar la reproducción parcial del contenido, con lo cual puede iniciarse la reproducción desde cualquier instante de tiempo de la fuente, sin necesidad de transferir la información de los instantes anteriores.

2.2. Redes inalámbricas WLAN

Según su arquitectura se distinguen dos tipos de red:³ el primer tipo corresponde a las redes inalámbricas ad hoc, en las que un grupo de computadores se mantienen comunicados entre sí y constituyen ellos mismos la arquitectura de red, tal como se ilustra en la Figura 2.

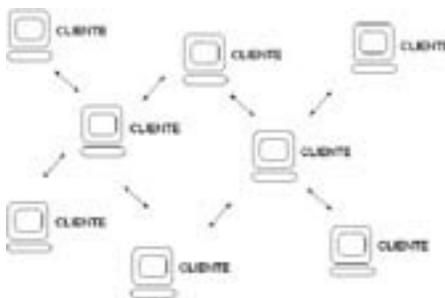


Figura 2. Topología típica de una red ad hoc

Esta arquitectura de red se caracteriza por su topología dinámica, impredecible y aleatoria. Los equipos intercambian información acerca de la topología de manera periódica, la cual se emplea para actualizar la información de enrutamiento. Las redes ad hoc son útiles en situaciones en las cuales se requiere conectividad temporal, como en aplicaciones militares, casos de desastres, redes de sensores, entre otros.

El segundo tipo corresponde a las redes *infrastructure*, las cuales se

basan en un punto de acceso inalámbrico, a través del cual se comunican los computadores que hacen parte de la red. En la Figura 3 se ilustra una topología típica.

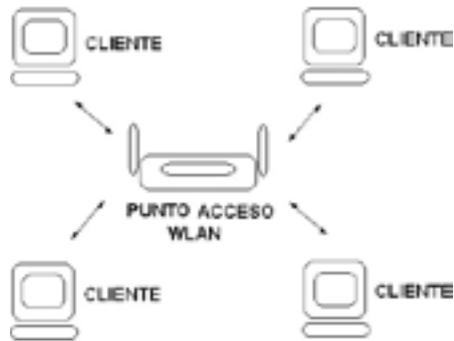


Figura 3. Topología típica de una red infrastucture

El punto de acceso coordina la transmisión y recepción de información de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de un área específica. Aspectos como la cobertura y la cantidad de dispositivos dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice. En una red tipo *infrastructure* se pueden encontrar varios puntos de acceso para dar cobertura a una zona grande o un único punto de acceso para una zona pequeña, ya sea un hogar o un edificio pequeño.

El estándar IEEE 802.11 define la implementación de las redes WLAN. El primer estándar fue aprobado en 1997, detallando las especificaciones del control de acceso al medio (Capa MAC) y la capa física para soportar transmisión de datos a 1Mbps y 2Mbps sobre la banda de 2.4GHz. Se han hecho revisiones constantes del estándar con el fin de cubrir las exigencias del mercado. Los estándares más populares en el comercio son los 802.11a y 802.11b, para los

cuales se encuentra disponible una gama amplia de equipos y servicios. En la actualidad está cobrando auge el estándar 802.11g, que soporta el estándar 802.11b y además permite alcanzar mayores velocidades de comunicación.

3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

A continuación se presenta la metodología de medición empleada para evaluar el consumo de energía de un computador portátil y el desempeño del sistema de comunicación. Dicha metodología fue diseñada para que el procedimiento empleado tenga el menor impacto posible en el desempeño del cliente.

3.1. Plataforma de prueba

Para realizar los experimentos se hace uso de la plataforma de pruebas presentada en la Figura 4.

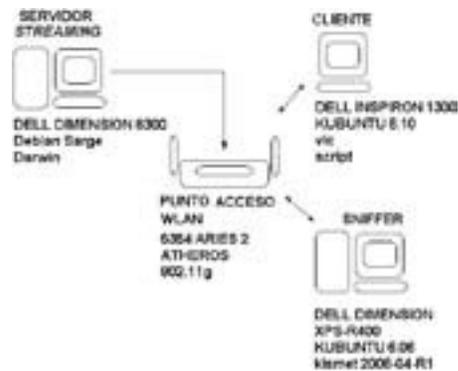


Figura 4. Plataforma de pruebas

En ella se distinguen los siguientes equipos: Un servidor streaming, encargado de mantener disponible el contenido multimedia para los clientes. Un punto de acceso, el cual permite realizar la conexión inalámbrica entre el servidor y los clientes.

Un cliente, sobre el cual se ejecuta el reproductor streaming y un *script* que permite obtener los datos de consumo de energía. Además se hace uso de un *sniffer*, encargado de medir el desempeño del sistema de comunicación, sin afectar el funcionamiento del cliente.

3.2. Pasos para la medición

Una vez implementada la plataforma propuesta, se lleva a cabo un procedimiento de tres pasos para realizar la toma de medidas: el primer paso corresponde a una etapa de preparación, donde se encienden todos los equipos y se inician las aplicaciones. Se configura la red inalámbrica para que todos los computadores se puedan comunicar. Los equipos se ubican muy cercanos entre sí. Se asegura que el cliente cuente con batería y se conecta su alimentación externa, hasta lograr la carga plena. Se terminan todos los procesos ajenos a la reproducción, medida o funcionamiento esencial del computador mismo. De la misma manera, se desconectan los periféricos que no son indispensables para el desarrollo de la prueba (como dispositivos USB) y se desactivan las aplicaciones que puedan ejecutarse automáticamente (por ejemplo, un salva pantallas). Se deshabilita el sonido ya que la reproducción del contenido de audio afecta la medición del consumo de energía del computador. El resto de los equipos permanecen en situación normal de operación y no se ejecutan aplicaciones adicionales sobre éstos.

En el segundo paso se inicia la toma de medidas, para lo cual se desconecta la alimentación externa del cliente, se ejecutan luego las aplicaciones de

diagnóstico en todos los computadores y finalmente se inicia la reproducción del contenido streaming. Cabe anotar que estos pasos deben realizarse a la mayor brevedad posible. Se asegura la reproducción ininterrumpida del contenido streaming. Cuando ocurre alguna interrupción, se repite la prueba. Una vez finalizada la reproducción, concluye la ejecución de los programas de diagnóstico, los cuales deben almacenar la información capturada en archivos con ubicación conocida, para luego procesar la información.

En el tercer paso se efectúa la repetición de medidas una vez concluida la captura de los datos de interés, paso en el cual se conecta nuevamente el cargador de batería del cliente, se espera hasta que la batería llegue nuevamente al estado de plena carga y solo allí podrá repetirse la secuencia de pasos para la toma de medidas y dar trámite al diseño experimental planeado.

3.3. Otras consideraciones

Una vez que se lleva a cabo la toma de medidas, de acuerdo con las recomendaciones anteriores, se realiza el análisis de los resultados. Para ello se hace uso de un *script* con el cual se obtienen tanto las gráficas requeridas como las estadísticas importantes en la caracterización de las aplicaciones streaming. Para el análisis del consumo de energía, se obtienen las gráficas de nivel de batería, corriente en la batería, voltaje en la batería y potencia en la batería. Así mismo se presentan los valores de señal inalámbrica y potencia de ruido reportados por la interfaz inalámbrica del computador cliente. Para el

análisis del desempeño, se presentan las gráficas de transferencia de bytes, diferencia de tiempo (delta), paquetes perdidos, paquetes repetidos y jitter. Así mismo se incluyen algunas estadísticas relacionadas con el tráfico de información, tales como valores máximo, mínimo y promedio del tamaño de los paquetes, cantidad de paquetes enviados, paquetes repetidos y paquetes perdidos, así como la velocidad de transferencia de información. Cabe anotar que el valor de delta corresponde a la diferencia de los tiempos de envío entre los paquetes consecutivos, y el valor de jitter se calcula como la diferencia entre los valores de delta obtenidos.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

En esta sección se presenta el diseño experimental empleado, en el cual se ha tenido en cuenta la naturaleza de las redes inalámbricas WLAN y la naturaleza de las aplicaciones streaming. Se ha estimado que es necesario implementar distintos escenarios de prueba que permitan establecer el impacto de los parámetros del sistema de comunicación en la operación de las aplicaciones. Para ello, se propone la siguiente secuencia de experimentos:

1. Prueba con fuente A: Se realiza una prueba de reproducción de una fuente (contiene audio y video) en formato mp4, codificado a un nivel de 256Kbps.
2. Prueba con fuente A, variando nivel de codificación: Se realizan pruebas con la misma fuente, codificada a 112Kbps y 512Kbps.
3. Prueba con fuente A, en condiciones de canal degradado: Se

realiza una prueba de reproducción con un nivel de señal baja, producto de un canal inalámbrico degradado.

4. Prueba con fuente A, en red cableada: Se reemplaza el punto de acceso inalámbrico por un concentrador, para evaluar la comunicación en una red cableada.
5. Prueba con fuente B: Se realiza una prueba con un video diferente, para evaluar el efecto del cambio de contenido en la comunicación.
6. Prueba de consumo base: Prueba de consumo del computador portátil sin realizar ninguna operación.

Con el fin de abarcar los distintos tipos de fuente posibles, se escoge la fuente A con alto nivel de movimiento y la fuente B con bajo nivel de movimiento. Las pruebas se realizan sobre una red inalámbrica WLAN IEEE 802.11g tipo infrastructure.

5. REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS

Se realizan los distintos experimentos propuestos en el diseño experimental, teniendo en cuenta las indicaciones realizadas en la metodología de medición. En la Figura 5, en la Figura 6 y en la Figura 7 se presentan algunos de los resultados obtenidos para la fuente A, codificada a 112 Kbps, en una red inalámbrica WLAN con condiciones de canal degradado.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se realiza la descripción de los resultados obtenidos en los experimentos. En primer lugar se

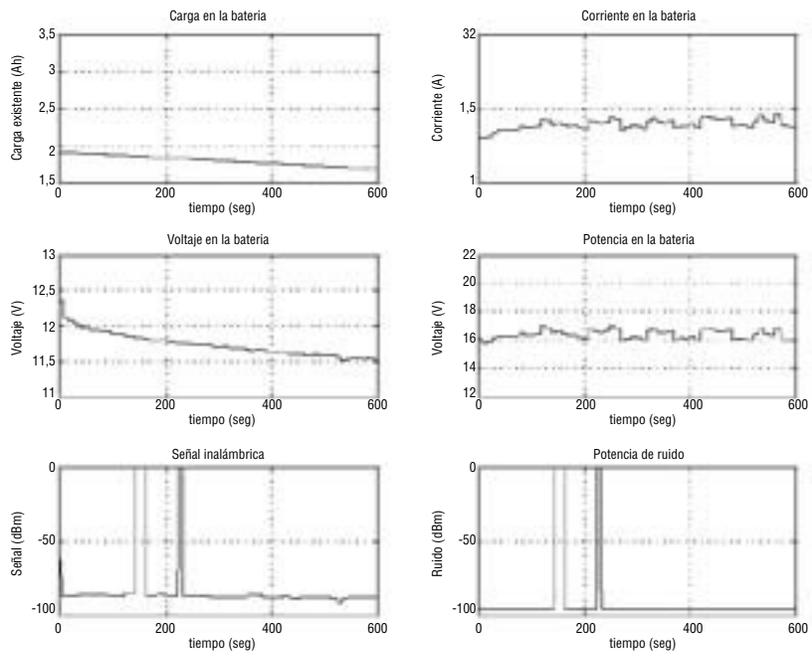


Figura 5. Resultados de consumo de energía

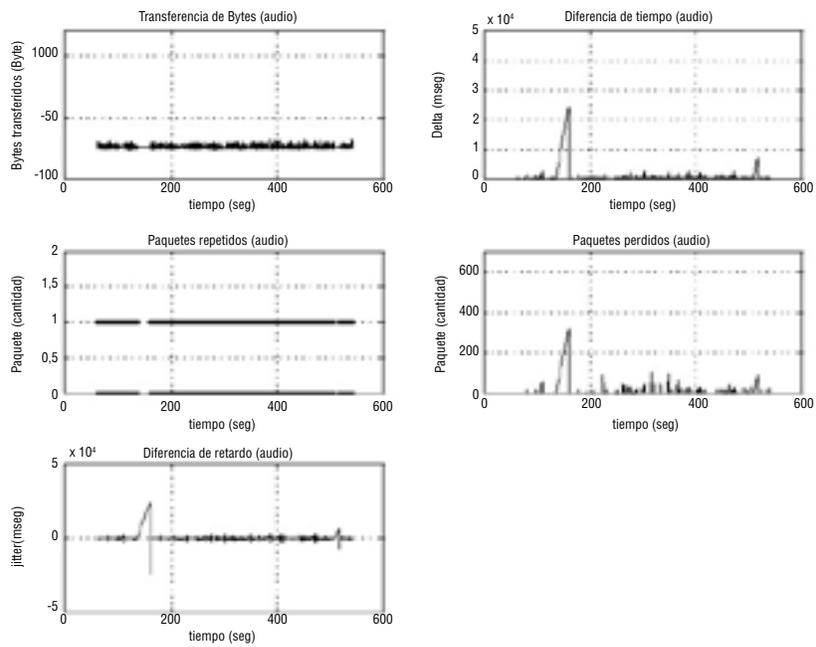


Figura 6. Resultados de tráfico del flujo de audio

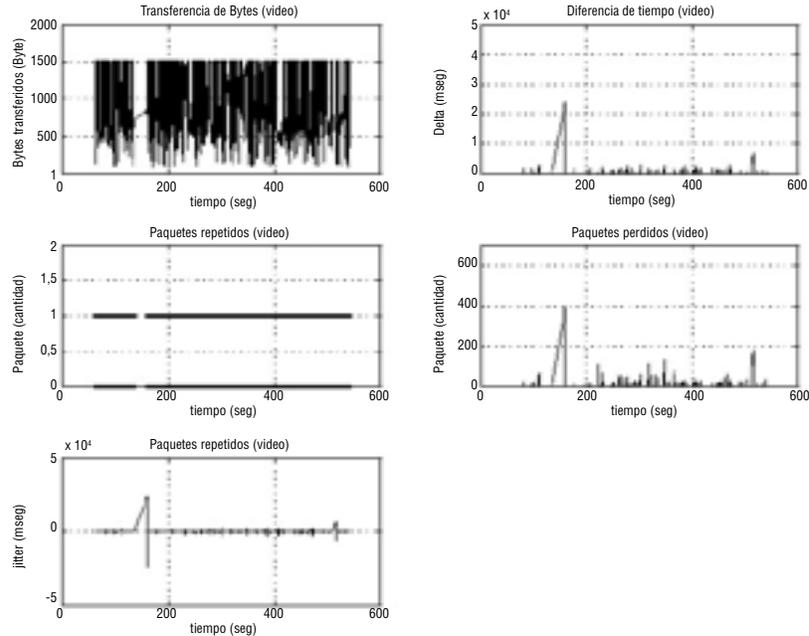


Figura 7. Resultados de tráfico del flujo de video

presentan los aspectos relacionados con el consumo de energía del computador portátil, y en segundo lugar se estudian los aspectos relacionados con el desempeño del sistema de comunicación.

6.1. Consumo de energía

Se espera que la característica de carga de la batería exhiba un comportamiento logarítmico, sin embargo se obtuvo una característica similar a una línea recta que va desde el valor inicial hasta el valor final de carga. Esto se debe a que la descarga presentada por la batería es poco significativa y no se alcanza a apreciar el comportamiento esperado inicialmente. Los niveles entre los cuales varía la carga de la batería dependen del estado de carga actual, por lo cual se realizaron todas las pruebas con la batería en estado de plena carga

(siguiendo las indicaciones de la metodología de medición).

La corriente en la batería inicia en un cierto valor, al comenzar con el experimento. Luego aumenta su valor promedio, coincidiendo con el inicio de la reproducción de la fuente de prueba. Esto comprueba que una vez iniciada la reproducción comienzan procesos que aumentan apreciablemente el consumo del cliente. Sin embargo, al terminar el video no se aprecia de forma evidente el retorno del equipo al estado inicial de consumo. En otros casos, no se aprecia claramente el cambio de estado de consumo del cliente en ningún momento. La gráfica de corriente en la batería está formada por variaciones constantes (escalones), lo cual denota la actividad de procesos en el cliente. Estos procesos están relacionados con el manejo de la memoria, según pruebas anteriores.

La característica de voltaje en la batería exhibe una forma similar a una gráfica exponencial, decreciente y cóncava hacia arriba. Esto indica que la batería empleada en los experimentos se descarga más rápidamente cuando tiene mayor nivel de carga, y disminuye la velocidad de descarga conforme baja su nivel de carga. La gráfica de voltaje presenta además unas pequeñas variaciones con respecto a la forma promedio, lo cual indica picos de consumo en los que cambia instantáneamente el voltaje disponible. En todos los casos de red inalámbrica ideal, se nota que el voltaje reportado al final de las pruebas es menor que el reportado en el caso de red cableada. Esto se debe a que la batería presenta un mayor nivel de descarga con la interfaz inalámbrica.

La gráfica de potencia en la batería es muy similar a la de corriente en la batería, y presentan prácticamente la misma silueta. Las gráficas de potencia son muy similares entre los experimentos realizados con red cableada. Sin importar la fuente empleada, los niveles promedio y la forma de las gráficas de potencia son muy similares. Así mismo lo son las gráficas de potencia en los experimentos con redes inalámbricas. Sin embargo, existe una diferencia apreciable entre los experimentos realizados con red cableada y con red inalámbrica.

En los experimentos con red inalámbrica en condiciones ideales, el nivel de señal recibida en el radio oscila alrededor de los -30 dBm, en todos los casos. No parece haber relación alguna entre la forma de la gráfica y algún evento en particular. Se presume que

este nivel depende exclusivamente de las condiciones instantáneas del canal, las cuales cambian constantemente de manera impredecible. Sólo en ciertos casos se presentan algunos patrones, que no se corresponden con otros eventos en particular. Para el caso de los experimentos en red inalámbrica en condiciones de canal degradado, el nivel de señal recibida oscila alrededor de los -90 dBm. Este hecho deja el radio en el umbral de la desconexión de la red inalámbrica, y pequeñas reducciones en su valor causan incluso la desconexión del cliente. Estas desconexiones se aprecian en aquellos puntos en los que el nivel de señal alcanza el valor de cero (0), lo cual indica que el equipo cliente ha perdido la asociación del punto de acceso inalámbrico.

6.2. Desempeño

El servidor streaming envía la información de audio en un flujo (stream) independiente del flujo de video. Por lo tanto, se analizarán por separado los resultados de cada uno de los flujos.

6.2.1. Flujo de audio

Para el caso de la red cableada, la gráfica de transferencia de bytes muestra que el tamaño de los paquetes es muy similar al valor promedio, lo que indica una baja desviación. En efecto, este hecho es confirmado por las estadísticas obtenidas. Conforme aumenta el nivel de codificación de la fuente de prueba, aumenta el tamaño promedio de paquete, la desviación típica y el total de bytes transmitidos. Esta característica es muy similar para ambas fuentes de prueba. Sin embargo, cada una exhibe una forma

particular que se repite sin importar el canal de comunicación. El total de bytes recibidos depende de la fuente. Este valor decrece cuando aumenta la cantidad de paquetes perdidos y aumenta cuando crece la cantidad de paquetes repetidos.

La cantidad de paquetes depende de la fuente. En la red cableada se tiene una menor cantidad de paquetes en la prueba con la fuente codificada a 512 Kbps, le sigue la fuente codificada a 112 Kbps y finalmente se tiene mayor cantidad de paquetes en las pruebas con la fuente codificada a 256 Kbps. Sin embargo, en las redes inalámbricas se tiene la menor cantidad de paquetes para la fuente a 112 Kbps, aumenta en el caso a 256 Kbps y se tiene un máximo en la fuente codificada a 512 Kbps. En todos los casos aparece una menor cantidad de paquetes cuando se presentan pérdidas y aparece una mayor cantidad de paquetes cuando se presentan repeticiones. El tamaño promedio de los paquetes es muy similar entre fuentes con el mismo nivel de codificación. La desviación estándar permanece casi constante para el mismo nivel de codificación, y aumenta de la misma forma que el nivel de codificación de la fuente. El tamaño mínimo de paquete es casi constante, y aumenta conforme crece el nivel de codificación. Así mismo ocurre con el tamaño máximo de paquete.

Tanto en el caso de la red cableada como en el caso de la red inalámbrica en condiciones ideales, se presenta una mayor cantidad de paquetes perdidos que paquetes repetidos. En el caso de la red inalámbrica en condiciones de canal degradado

se presenta una mayor cantidad de paquetes repetidos que paquetes perdidos. El tiempo de reproducción depende de la fuente de prueba, y es posible que se prolongue cuando se presentan desconexiones. La velocidad de paquetes recibidos cambia aleatoriamente en todos los casos. La velocidad de bytes recibidos depende de la fuente, y aumenta su valor conforme aumenta el nivel de codificación. Así mismo aumenta cuando se presentan repeticiones y disminuye cuando se presentan pérdidas.

La característica de delta es muy variable, indicando diferencias en las condiciones instantáneas del canal. El valor promedio permanece en el mismo rango para todos los escenarios de prueba. Sin embargo, cambia aleatoriamente. Así mismo ocurre con los valores de desviación típica, máximo y mínimo, pero aparecen los valores pico cuando ocurren desconexiones. Los valores de delta se hacen muy grandes sólo en el caso de la red inalámbrica. Incluso en el caso de la red inalámbrica en condiciones ideales de conexión, algunos valores de delta pueden presentar niveles altos. Estos aparecen aleatoriamente, y en algunos casos de manera repetida. Se presentan valores pico cuando ocurren las desconexiones.

No se presentaron paquetes repetidos en los experimentos por red cableada. Los paquetes repetidos aparecen únicamente en los experimentos con redes inalámbricas. En condiciones ideales aparecen aleatoriamente. En condiciones de canal degradado, siempre aparecen paquetes repetidos. Los paquetes repetidos dependen de las condiciones actuales del canal, ya que son similares las pruebas reali-

zadas en las mismas condiciones del entorno.

No se presentaron paquetes perdidos en los experimentos por red cableada. Aparecen paquetes perdidos siempre en el caso de la red inalámbrica, en mayor cantidad en condiciones pobres de canal. Se presentan los valores pico cuando ocurren las desconexiones.

El jitter es muy variable en todos los escenarios de prueba. El valor promedio es muy similar en todos los casos, cercano a cero. Esto indica un balance en la variación de los retardos. La desviación típica obtenida cambia de valor aleatoriamente. El rango de los valores promedio de jitter es similar en cada canal, se tiene un valor mínimo en la red cableada, aumenta en el caso de la red inalámbrica ideal y es máximo para la red cableada en condiciones pobres de canal. Se alcanzan los valores pico cuando se presentan desconexiones. Aparecen valores apreciables de jitter en el caso de la red inalámbrica, de forma aleatoria. Se presentan los valores pico cuando aparecen las desconexiones.

6.2.2. Flujo de video

El tamaño de los paquetes es muy variable, con un tope de 1.508 Bytes y 1.526 Bytes. En todos los casos se recibe una mayor cantidad de paquetes que en el flujo de audio. La forma de la gráfica de transferencia de bytes depende de la fuente de prueba. En el video con mayor cantidad de movimiento se ve una gráfica más densa, que indica mayor cantidad de información transmitida. Es más densa conforme aumenta el nivel de codificación. La desviación en bytes es siempre alta. El tamaño promedio

de paquete depende de la fuente y del nivel de codificación. Se conservan siempre los tamaños mínimo y máximo de paquete, en todos los casos. El total de información recibida depende de la fuente, y es mayor para la fuente con un mayor nivel de movimiento. Sin embargo, la diferencia se va reduciendo apreciablemente conforme aumenta el nivel de codificación. El total de paquetes depende del video, y aumenta conforme aumenta el nivel de codificación. Disminuye si se presentan pérdidas y aumenta si se presentan repeticiones. La velocidad de paquetes recibidos (paq/seg) depende de la fuente y de su nivel de codificación, y aumenta conforme aumenta este nivel de codificación. Se presentan los valores pico cuando aparecen las desconexiones. La velocidad de transferencia de información Byte/seg depende del video y del nivel de codificación, y aumenta conforme aumentan éstos. Se encuentran los valores pico cuando se presentan desconexiones. En todos los casos se obtiene una mayor velocidad de paquetes y bytes que en el caso del flujo de audio.

En cuanto al valor de delta, su valor promedio es muy variable y en general es menor que en el caso del flujo de audio. Su valor mínimo es similar en todos los casos, alrededor de 1 ms. El valor máximo depende del canal: se tienen los menores valores en el caso de la red cableada, aumenta en el caso de la red inalámbrica ideal y se presentan los valores máximos para el canal degradado. Se alcanzan los valores pico cuando se presentan desconexiones. En general, presenta una característica muy similar al caso del flujo de audio.

Los valores de delta, paquetes repetidos y paquetes perdidos son muy similares a los valores correspondientes al flujo de audio, al igual que los valores relacionados con el jitter. La velocidad más alta obtenida en las pruebas es de 0.57 Mbps. No existe correlación evidente entre los flujos (streams) de audio y de video, en ningún parámetro de prueba. Son dos comunicaciones totalmente independientes. Sin embargo, los valores de delta y jitter son del mismo orden.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos. En lo referente al consumo de energía del computador portátil, es importante señalar que no existen diferencias apreciables entre las pruebas que emplean distintas fuentes o distintos niveles de codificación. Tampoco se aprecia una dependencia considerable del consumo de energía con respecto a las retransmisiones, la cantidad de paquetes repetidos ni tampoco el nivel de señal de la interfaz inalámbrica. El consumo de energía del computador portátil depende principalmente de la interfaz de red empleada, ya que se notaron cambios considerables entre los experimentos con el equipo sin realizar ninguna comunicación, empleando la interfaz de red cableada y la interfaz de red inalámbrica.

Es importante resaltar varios resultados en relación con el desempeño del sistema de comunicación: las aplicaciones streaming envían la información de audio y video a través de flujos independientes, que presentan parámetros de desempeño muy diferentes. En condiciones ideales

de comunicación, se presenta una mayor cantidad de paquetes perdidos en comparación con la cantidad de paquetes repetidos. En condiciones pobres de canal (inalámbrico) se presenta una mayor cantidad de paquetes repetidos que paquetes perdidos, debido a que el mecanismo de control en la comunicación intenta reponer los paquetes que se van perdiendo y para ello realiza una gran cantidad de retransmisiones de cada uno de los paquetes que reporta como perdidos. Esta retransmisión de paquetes se coordina a nivel de la capa de acceso al medio, como parte del estándar WLAN 802.11, que reporta como perdido un paquete enviado cuando no se recibe acuse de recibo (ACK) del cliente. Parámetros como el tamaño del buffer de reproducción y el tamaño máximo de paquete influyen sobre el desempeño de la comunicación; ya que éstos determinan la forma como se hace la división de la información en paquetes los cuales a su vez determinan si la comunicación será por ejemplo más propensa a problemas de congestión, implicará el envío de mayor cantidad de información, entre otros. La fuente empleada determina la forma como se realiza la comunicación; ya que de ésta depende la cantidad de información a transmitir, la paquetización, el uso del canal, entre otros. La variabilidad aleatoria de las condiciones del canal inalámbrico, propio de los medios radiados, determina una aleatoriedad en los parámetros de comportamiento del canal que implica un cambio continuo en la forma como se realiza la comunicación.

8. CARACTERIZACIÓN

En esta sección se realiza la caracterización del consumo de energía

y el desempeño de las aplicaciones streaming sobre redes inalámbricas WLAN.

En el Cuadro 1 se presentan algunos valores de consumo obtenidos en las distintas pruebas, agrupadas en tres grupos: CABLE que corresponde a las pruebas realizadas sobre la red cableada, WLAN que corresponde a las pruebas realizadas sobre la red inalámbrica y WLAN D que corresponde a las pruebas realizadas sobre la red inalámbrica con canal degradado. En la columna DESCARGA se presenta el promedio de los valores de descarga de la batería. En la columna CORRIENTE se presenta el promedio de la corriente promedio obtenida en cada prueba. En la columna POTENCIA se presenta el promedio de los valores promedio de la potencia instantánea, definida como el producto entre la corriente instantánea y el voltaje instantáneo. Finalmente, en la columna ENERGÍA se presenta el promedio del consumo de energía promedio obtenido en cada caso, definido el consumo como el producto entre la potencia promedio y el tiempo de prueba.

En el Cuadro 2 se presentan algunos valores que permiten evaluar el desempeño del sistema de comunicación, relacionado específicamente con el flujo de audio de la fuente bajo prueba. Se agrupan los resultados en varios grupos, que corresponden

a cada fila del Cuadro, y que reúne los resultados obtenidos en pruebas con cierto canal de comunicación (CABLE, WLAN, WLAN D) y cierto nivel de codificación de la fuente (112Kbps, 512Kbps, 1Mbps). En la columna PAQUETE se presenta el promedio de los valores promedio de tamaño de paquete durante cada prueba. En la columna BW se presenta el valor promedio de los valores promedio de ancho de banda obtenidos. En la columna DELTA se presenta el promedio de los valores promedio obtenidos en los experimentos. En la columna JITTER se presenta el promedio de los valores promedio de jitter.

En el Cuadro 3 se presentan algunos valores que permiten evaluar el desempeño del sistema de comunicación, relacionado específicamente con el flujo de video de la fuente bajo prueba. El Cuadro 3 presenta la misma distribución del Cuadro 2.

Es importante resaltar que los valores presentados en los cuadros anteriores corresponden a los experimentos realizados según el diseño experimental presentado en este artículo. Por lo tanto no constituyen un resultado general, válido para cualquier escenario de prueba y en cualquier condición. Sin embargo, representan valores que se encuentran típicamente en los escenarios particulares definidos en este artículo, los cuales permiten abstraer

Cuadro 1. Resultados de consumo sobre red cableada.

Prueba	Descarga [ah]	Corriente [a]	Potencia [w]	Energía [j]
CABLE	0,198	1,198	14,157	8494
WLAN	0,238	1,436	16.779	10067
WLAN D	0,236	1,425	16.497	9898

Cuadro 2. Resultados de consumo sobre red inalámbrica.

Prueba	Paquete [Byte]	BW [Mbit/seg]	Delta [mseg]	Jitter [ms]
CABLE - 112K	246	0,021	92,854	0,016
CABLE - 256K	314	0,039	63,988	0,009
CABLE - 512K	830	0,069	95,975	0,019
WLAN - 112K	251	0,020	103,261	0,022
WLAN - 256K	328	0,032	79,879	0,010
WLAN - 512K	839	0,076	94,960	0,013
WLAN D - 112K	259	0,050	63,783	0,006
WLAN D - 256K	331,834	0,087	30,685	0,002
WLAN D - 512K	848,758	0,082	83,311	0,007

Cuadro 3. Resultados de consumo sobre red inalámbrica.

Prueba	Paquete [Byte]	BW [Mbit/seg]	Delta [mseg]	Jitter [ms]
CABLE - 112K	774	0,081	76,633	0,029
CABLE - 256K	992	0,191	41,604	0,000
CABLE - 512K	1295	0,389	26,636	0,000
WLAN - 112K	774	0,074	85,006	0,026
WLAN - 256K	1029	0,158	53,167	0,016
WLAN - 512K	1287	0,422	25,802	0,000
WLAN D - 112K	804	0,209	49,631	1,763
WLAN D - 256K	1063	0,362	23,524	0,000
WLAN D - 512K	1310	0,513	20,626	0,000

conclusiones importantes acerca del funcionamiento de las aplicaciones streaming sobre redes inalámbricas WLAN, y de esa forma establecer los rasgos particulares que diferencian estas tecnologías.

9. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Con base en las pruebas realizadas y su posterior análisis se encuentra que el consumo de energía del computador portátil depende principalmente de la interfaz de red empleada. Aunque interfaces como la inalámbrica poseen varios modos de operación con consumos particu-

lares y que en algunos escenarios de prueba se hizo un uso distinto de estos modos, el consumo medido no cambia apreciablemente. Así mismo se determina que el comportamiento del sistema de comunicación depende principalmente de la fuente reproducida, las condiciones del canal y los parámetros de operación de los protocolos de comunicación. En una red inalámbrica la comunicación es muy similar a una red cableada convencional, y se diferencia de ella en que la comunicación inalámbrica es más propensa a la aparición de errores y problemas de congestión, debido a la pérdida de paquetes. Los valores de

delta dependen principalmente de la forma como se divide la información en paquetes en el servidor streaming y los valores de jitter son bastante similares en todos los casos, con valores en promedio muy pequeños, lo cual revela una baja influencia del canal en la dinámica del sistema de comunicación.

Como trabajo futuro se propone determinar el efecto de los protocolos en el desempeño del sistema de comunicación.

Es importante determinar la dependencia entre los parámetros de configuración de los protocolos de comunicación con la dinámica de la transferencia de información en aplicaciones streaming sobre redes inalámbricas WLAN; debido a que su influencia puede ser definitiva en el desempeño de las aplicaciones.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CODI de la Universidad de Antioquia y a Colciencias - Colombia por su apoyo en la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. P.T. Mathiopoulos A. Salkintzis. The evolution of mobile data networking, 2001.
2. Nikos Passas Apostolis K. Salkintzis. The evolution of wireless lans and pans. *IEEE Wireless Communications*, 10(6):4–5, 2003.
3. Kitti Wongthavarawat Aura Ganz, Zvi Ganz. *Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS*. Prentice Hall, September 2003.
4. David Kotz, George Cybenko, Robert S. Gray, Guofei Jiang, Ronald A. Peterson, Martin O. Hofmann, Daria A. Chan, Kenneth R. Whitebread, and James Hendler. Performance analysis of mobile agents for filtering data streams on wireless networks. *Mob. Netw. Appl.*, 7(2):163– 174, 2002.
5. Vijay Raghunathan, Trevor Pering, Roy Want, Alex Nguyen, and Peter Jensen. Experience with a low power wireless mobile computing platform. In *ISLPED '04: Proceedings of the 2004 international symposium on Low power electronics and design*, pages 363–368, New York, NY, USA, 2004. ACM Press.
6. H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550 (Standard), July 2003.
7. H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier. Real Time Streaming Protocol (RTSP). RFC 2326 (Proposed Standard), April 1998.
8. Jiangtao Wen Wenjun Zeng. 3g wireless multimedia: technologies and practical issues. In *Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing*, pages 249– 254. IEEE Computer Society, 2002.

CURRÍCULOS

Juan Pablo Garnica. Ingeniero Electrónico de la Universidad de Antioquia. Candidato a Magíster de la misma Universidad. Ha sido gerente técnico de Metroalarmas e Ingeniero de montaje y soporte de Maganet S.A. Es docente ocasional de la Universidad de Antioquia.

Andrés Marín Lopera. Ingeniero Civil e Ingeniero de Sistemas de la Universidad Nacional de Medellín. Magíster en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Medellín. Profesor titular de la Universidad de Antioquia. Ha sido Analista de Sistemas e Ingeniero de Servicio Técnico Especializado en la empresa Integral S.A.

José Edinson Aedo Cobo. Obtuvo el título de Ingeniero Electricista

por la Universidad del Valle en 1987 y el grado de Maestría y Doctorado por la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, en 1992 y 2000 respectivamente. Actualmente es profesor del departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Antioquia y dirige el grupo de Investigación de Microeléctrica y Control en dicha Universidad. ☼