

# Arquitectura de Aplicaciones Multimedia Adaptables en Entornos Inalámbricos

Pedro M. Ruiz, Antonio F. Gómez-Skarmeta, Emilio J. García, Gregorio Martínez y Rafael Marín

**Resumen**— Las aplicaciones adaptables son un concepto clave a tener en cuenta para la transmisión de contenidos multimedia de tiempo real en entornos móviles e inalámbricos en los cuales las condiciones específicas que presenta la red son muy cambiantes y los problemas que aparecen no son únicamente debidos a la congestión —como ocurre en las redes fijas— sino debido también a interferencias en el enlace radio, movimiento de los nodos, etc. En este artículo presentamos una arquitectura para la adaptación dinámica de aplicaciones multimedia que permite minimizar de forma significativa el impacto que provoca el cambio continuo de las condiciones de la red en el nivel de aplicación. El uso de aplicaciones adaptables permite mantener la calidad de servicio percibida por los usuarios en un nivel aceptable. Se presentarán a lo largo del artículo varios resultados empíricos a partir de las pruebas realizadas sobre la arquitectura presentada.

**Palabras Clave**— Aplicaciones adaptables, comunicaciones inalámbricas, calidad de servicio, redes ad-hoc, rendimiento, sistemas multimedia.

## I. INTRODUCCIÓN

EXISTEN muchas aplicaciones multimedia en tiempo real que son capaces de distribuir audio, video, así como otros flujos de información. Sin embargo, pocas de estas aplicaciones cuentan con mecanismos para aprovecharse puntualmente de la información del estado de la red, caracterizada por parámetros como la pérdida de paquetes, variación en el retraso o ancho de banda disponible. Estas aplicaciones tampoco son capaces de adaptarse dinámica y automáticamente a cambios en las condiciones de la red para ofrecer una buena calidad de servicio perceptible al usuario.

Manuscrito recibido el 15 de Abril de 2002. Este trabajo ha sido parcialmente soportado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología Español bajo el proyecto ISAIAS (TIC2000-0198-P4-04).

P. M. Ruiz trabaja para Agora Systems S.A, C/ Aravaca, 12 3ºB, 28040 Madrid (España). Tlf: +34 915335857; Fax: +34 915348477; e-mail: pedro.ruiz@agoratechnologies.com.

A. F. Gómez-Skarmeta trabaja para el Dpto. de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo s/n, 30071 Murcia (España); e-mail: skarmeta@dif.um.es.

E. J. García trabaja para Agora Systems S.A, C/ Aravaca, 12 3ºB, 28040 Madrid (España); e-mail: emilio.garcia@agoratechnologies.com.

G. Martínez trabaja para el Dpto. de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo s/n, 30071 Murcia (España); e-mail: gremar@dif.um.es.

R. Marín trabaja para el Dpto. de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo s/n, 30071 Murcia (España); e-mail: rafa@dif.um.es.

Todo esto unido al hecho de que los parámetros de este tipo, que afectan notablemente a estas aplicaciones, son bastante variables en entornos de comunicaciones inalámbricos y móviles (especialmente en los de tipo ad-hoc), hace que las aplicaciones tradicionales no ofrezcan una buena calidad en estos escenarios.

Algunos estudios como [1] muestran que para aplicaciones no adaptables, la calidad de audio percibida por el usuario empieza a ser extremadamente mala cuando la pérdida de paquetes supera el 20%, incluso cuando se usan técnicas de retransmisión de paquetes para paliar dicha pérdida. Esto demuestra la necesidad de aplicaciones adaptables y de mecanismos de señalización que ofrezcan una cierta realimentación a las aplicaciones, sobre todo en escenarios tan adversos como éstos.

La idea de aplicaciones adaptables era ya conocida para redes fijas. Por ejemplo, en [2] se aplica el concepto a QoS extremo a extremo en redes fijas. Sin embargo, estos resultados no son directamente aplicables en redes móviles. La razón que sustenta esta afirmación, es que en redes fijas los paquetes se pierden normalmente debido a la congestión en la red mientras que en las redes inalámbricas hay muchos factores que influyen en la calidad de servicio extremo a extremo, tales como el acceso al enlace de radio, interferencias, movilidad de los nodos, cambios de la disponibilidad de los enlaces, pérdida de paquetes, etc. De cualquier modo este trabajo demuestra que un cambio dinámico de la tasa de transmisión es suficiente para mejorar la calidad de audio y video. Hay trabajos centrados en redes inalámbricas ([3] y [4]) que ofrecen algunas ideas interesantes como el uso en entornos con un ancho de banda muy escaso de reconocedores de voz para generar ficheros de texto en el emisor, que viajan como texto plano y posteriormente son enviados a un sintetizador de voz que lo reproduce. Sin embargo, sólo consideran flujos de audio y manipulan la adaptación cambiando la frecuencia de muestreo y el tamaño de los paquetes. Además, en su arquitectura, el valor del ancho de banda tiene que ser indicado por el usuario y se requiere que tanto la fuente como el destino se sincronicen vía NTP para calcular la variación en el retraso. Estos requisitos, según nuestro criterio, pueden no ser siempre satisfechos en las futuras redes móviles.

Las soluciones típicas capaces de ofrecer QoS han estado siempre basadas en la idea de intentar reservar un cierto ancho de banda en la red, de tal manera que los paquetes que pertenecen a las aplicaciones en tiempo real reciben un mejor

tratamiento dentro de la red. Esta aproximación se ha demostrado que funciona bastante bien en redes fijas, a pesar de la dificultad de tener una implantación global en Internet. Sin embargo, en redes móviles e inalámbricas –especialmente en aquellas basadas en nodos ad hoc– en las que la red no es siempre capaz de ofrecer ningún tipo de garantía, este enfoque no es suficiente para garantizar al usuario una calidad satisfactoria. No en vano estas redes están caracterizadas por continuos cambios en la capacidad del enlace radio.

Tal y como se ha comentado, la congestión no es la única causa de la pérdida de paquetes en este tipo de redes. Demostraremos que en tales redes un buen nivel de calidad de servicio perceptible por el usuario final se puede alcanzar si la aplicación intenta adaptarse a los cambios de la red, en lugar de usar reservas que luego no se van a poder garantizar.

Uno de los factores que diferencia nuestro trabajo de las aproximaciones comentadas con anterioridad es el hecho de tener en cuenta muchas otras características como es el caso del codec a utilizar, parámetros específicos dentro de cada codec (por ejemplo, factor de calidad para MJPEG), tamaños de la imagen, selección de componentes, etc. La idea básica consiste en que el usuario percibe una mejor calidad en una recepción continua y sin pérdidas del contenido multimedia codificado con codecs menos ambiciosos o con menos imágenes por segundo, que una transmisión de audio y vídeo de calidad máxima con pérdidas continuas de paquetes. La aplicación se adaptará pues para ofrecer la mejor calidad posible de codecs pero sin sacrificar una buena calidad apreciada por el usuario. De manera adicional, destacar que ninguna de las aproximaciones anteriores tiene en cuenta la transmisión simultánea de audio y vídeo. Cuando los flujos de video entran en juego el problema se hace más complejo y todos los parámetros antes mencionados toman una mayor importancia. Además, nuestra aproximación usa una novedosa lógica de señalización para tratar la pérdida de paquetes producida por condiciones adversas en la red.

Aplicaremos nuestra implementación en condiciones extremas de red como *handovers* con importantes cambios de ancho de banda y alto nivel de interferencia en un escenario inalámbrico de tipo ad hoc.

El resto del artículo se organiza del siguiente modo: la sección II describe la arquitectura para aplicaciones adaptables. Por su parte, la sección III describe las extensiones que han sido hechas al nivel de aplicación para ofrecer adaptación de la QoS en tiempo real. La sección IV describe nuestra implementación de la arquitectura de adaptación. Finalmente la sección V muestra algunos resultados empíricos derivados del uso de nuestra aproximación de aplicación adaptable para condiciones extremas de red.

## II. ARQUITECTURA PARA APLICACIONES ADAPTABLES

La calidad de Servicio, QoS, tal como y como se define en la recomendación ITU-E.800 [5], es el efecto colectivo de garantía del servicio, que determina el grado de satisfacción

del usuario de dicho servicio, y se caracteriza por la combinación de factores de rendimiento tales como operabilidad, accesibilidad e integridad.

La idea que subyace en la arquitectura presentada en este trabajo es la de situar algunas de estas características de adaptación en el nivel de aplicación, lo que permitirá a las aplicaciones presentar una mejor calidad de servicio al usuario, en entornos en los cuales las aplicaciones tradicionales ofrecerían una calidad poco satisfactoria. El resultado de aplicar esta aproximación es la obtención de una mejora significativa de QoS percibido por el usuario.

Los puntos principales en esta arquitectura (ver Fig. 1) son los siguientes:

- Mecanismo de señalización de QoS
- Lógica de Adaptación
- Componentes multimedia de la aplicación (audio, etc.)

El primero de ellos, el mecanismo de señalización de QoS, es el protocolo a cargo de enviar y recibir informes (Informes QoS) describiendo las condiciones de la red percibidas por el otro extremo. Cuando tal informe es recibido se le pasa a la Lógica de Adaptación. Adicionalmente, este módulo se encarga de decidir que conjunto de parámetros de la aplicación son más adecuados para las condiciones actuales de la red. Cada uno de estos componentes es descrito en mayor profundidad en los siguientes apartados.

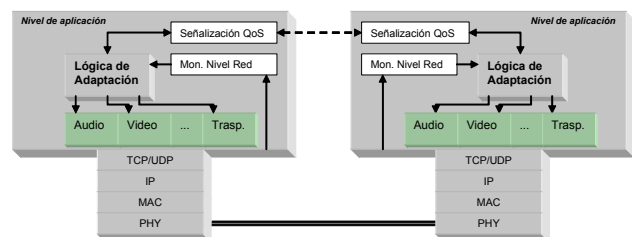


Fig. 1. Arquitectura para aplicaciones adaptables en la que los diferentes módulos se coordinan con la Lógica de Adaptación para configurar los componentes multimedia del modo más apropiado.

### A. Lógica de Adaptación

Tal y como se ha comentado anteriormente, el principal problema que existe a nivel de aplicación con respecto a redes móviles e inalámbricas es el de cómo adaptar en tiempo real los datos que se reciben o se envían por la aplicación a las características específicas e instantáneas de las diferentes redes como por ejemplo el rendimiento o el retardo en la entrega de los paquetes.

En este sentido, adaptar el flujo en tiempo real para garantizar un servicio mínimo puede ser tratado modificando la forma en la que los componentes procesan la información. Por ejemplo, para audio, se consideran al menos dos características para poder alcanzar este objetivo: *Codecs* y *Tasa de Muestreo*.

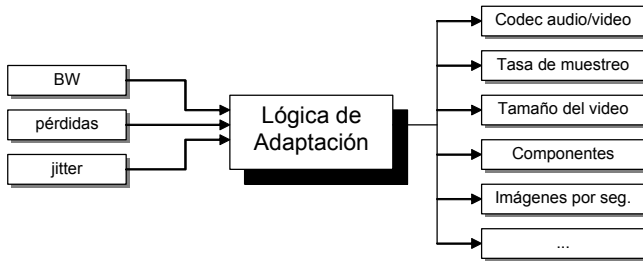


Fig. 2. La arquitectura de la lógica de adaptación toma como entradas unos valores que definen los parámetros de la red y generan como resultado una combinación de parámetros de aplicación que mejor se adaptan a las condiciones actuales de la red.

Tal y como muestra la Fig. 2, la Lógica de Adaptación puede ser vista como una función con algunas entradas y varias salidas. Estas salidas pueden caer dentro de una o varias de las siguientes categorías: codecs, parámetros específicos de un codec, frecuencia de muestreo, tamaño del componente y componente utilizado. La parte más difícil para la Lógica de Adaptación es la decisión de qué componentes utilizar cuando la aplicación excede el ancho de banda disponible.

La dificultad reside en tomar la decisión correcta a la vez que se tienen en cuenta algunas preferencias subjetivas que provenientes de los usuarios; diferentes usuarios pueden tener diferentes preferencias en distintos momentos. Por tanto, parece razonable, y de hecho forma parte de las vías futuras a este trabajo, el aplicar técnicas de inteligencia artificial tales como clustering difuso a un conjunto de reglas definidas por el usuario para generar un nuevo conjunto de reglas en términos de ancho de banda, tasa de pérdida, número de tramas por segundo, etc.

La mayoría de efectos negativos percibidos por el usuario se deben a pérdidas de paquetes. La entrada más importante para la Lógica de Adaptación será, por lo tanto, el porcentaje de pérdidas de paquete extremo a extremo. Los problemas de retardo extremo a extremo pueden hacer también sentir al usuario una sensación negativa, pero puede ser normalmente evitado con una gestión de buffers adecuada sin necesidad de reducir el ancho de banda utilizado.

Todas estas heurísticas sobre la importancia relativa de las diferentes entradas han sido incluidas en el comportamiento de la Lógica de Adaptación. La descripción detallada del Algoritmo de Adaptación que se aplica a cada Informe QoS recibido se presenta en la Fig. 3. Como se puede apreciar, las diferentes combinaciones de parámetros se organizan en niveles de calidad ofrecida por la combinación de parámetros. A mayor calidad ofrecida mejores condiciones de red son necesarias para evitar pérdida de paquetes y por lo tanto degradación en la QoS percibida por el usuario. Una bajada del nivel de calidad sólo se llevará a cabo cuando el porcentaje de pérdida de paquetes extremo a extremo exceda un 5% o tres informes de QoS no lleguen a su destino – posiblemente por una congestión en la red o demasiadas interferencias-. Además, el nivel de calidad es aumentado siempre que lleguen cuatro informes de QoS consecutivos indicando una pérdida de paquetes del 0%. Estos parámetros han sido establecidos según nuestra propia experiencia. Sin

embargo, también podrían ser ajustados de acuerdo a las pruebas de laboratorio y podrían ser igualmente calculados dinámicamente de acuerdo a un escenario de red concreto. Finalmente, técnicas inteligentes como el aprendizaje supervisado podrían ser también aplicadas para calcular estos valores. La dificultad de aplicar tales técnicas se deriva principalmente de la existencia de componentes subjetivos en la QoS percibida por el usuario que puede variar de persona a persona y que son muy difíciles de modelar matemáticamente.

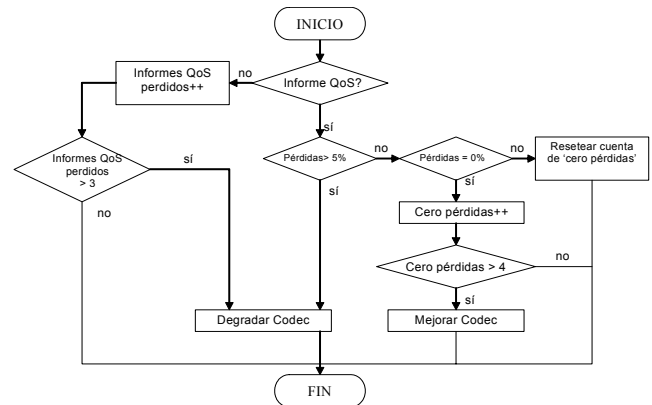


Fig. 3. El algoritmo de adaptación está diseñado de forma que no se deje llevar por estados esporádicos y sólo cuando parece ser que las condiciones han cambiado lanza la adaptación de la calidad.

### B. Mecanismo de Señalización de QoS

La señalización de la calidad de servicio es otro punto clave en la arquitectura de adaptación ya que es el único mecanismo de retroalimentación que tiene la fuente de la calidad de recepción en el otro extremo. Es básicamente un mecanismo de transporte extremo a extremo para señalar datos; no se necesita ningún protocolo especial. De hecho, puede ser suficiente con el empleo de un *socket* TCP o UDP entre ambos extremos o incluso un protocolo estándar como el *Session Initiation Protocol* (SIP).

En nuestra implementación esta calidad se medirá en términos de porcentaje de paquetes perdidos y retraso medio experimentado por los paquetes de datos en la red. La información se transmite en un paquete de señalización llamado "Informe QoS". Un mensaje Informe QoS presenta la estructura mostrada por la Fig. 4.

Tipo	% Pérdidos	Retardo	Preferencias de usuario	BW Estimado
------	------------	---------	-------------------------	-------------

Fig. 4. Los campos de un mensaje Informe QoS se emplean para informar tanto del porcentaje de pérdidas como el retardo y ancho de banda estimado. Para un posible uso futuro se ha añadido también un campo con las preferencias de usuario.

Un aspecto adicional a tener en cuenta es que el paquete de retroalimentación tiene que atravesar la red de vuelta al servidor por sí mismo, y la probabilidad de que realmente lo haga a tiempo es inversamente proporcional a su importancia.

Es decir, un paquete de retroalimentación es más importante cuando transporta información sobre una red congestionada y no es tan importante cuando tan sólo comunica que todo va bien. Algunos experimentos llevados a cabo en [6] demuestran que un transporte UDP es mucho más apropiado para la retroalimentación que un transporte que haga uso de TCP. Las retransmisiones TCP normalmente implican información de QoS obsoleta, especialmente en una red congestionada. Para resolver esta limitación, se pueden utilizar dos mecanismos, que se detallan a continuación:

- Priorizar los Informes QoS
- Enviar Informes QoS periódicos

El primero está relacionado con la idea de dar una mayor prioridad a estos mensajes de señalización en todos los routers de comunicación intermedios. De esta forma, cuando los routers intermedios tienen datos que mandar, en primer lugar enviarán los mensajes de señalización y luego el resto de los paquetes de datos: se da a los mensajes de señalización una mayor probabilidad de alcanzar el destino. Este mecanismo funciona muy bien pero sus principales inconvenientes están relacionados con su dificultad de implementación, especialmente en redes de tipo ad hoc.

Para las pruebas que se presentan hemos usado la segunda aproximación, que está basada en la idea de que los clientes manden Informes QoS periódicos hacia los emisores. De esta forma, siempre que aparezcan problemas de red, el emisor puede detectar que faltan informes ya que los estará esperando a intervalos periódicos. En este sentido el emisor usará la heurística de reducir el nivel de calidad cuando un cierto número de estos informes se haya perdido.

### III. CAPACIDADES DE ADAPTACIÓN

La aplicación CSCW ISABEL [7] ha sido extendida para adaptar en tiempo real su comportamiento de manera dinámica a los recursos disponibles. Las capacidades de adaptación implementadas más importantes son las siguientes:

*Codecs.* Los codificadores/decodificadores usados por emisor y receptor son la parte más determinante para audio y vídeo. En realidad la aplicación puede manipular contenidos codificados de acuerdo a varios estándares tales como H.263 o Motion JPEG (MJPEG) para video, y G.711/G.722/G.726 para audio, a la vez que soportando diferentes niveles de calidad de codificación. Cada estándar tiene sus propias restricciones y parámetros, y la aplicación puede escoger entre ellas ante peticiones del usuario o basadas en información que proviene de más bajo nivel. La característica más importante que ha sido añadida es que los parámetros del codec son controlados de manera automática por la Lógica de Adaptación y los codecs pueden ser cambiados dinámicamente evitando al máximo cualquier retraso en el restablecimiento de la sesión.

*Frecuencia de muestreo.* También el tratamiento del ratio al cual las imágenes son muestreadas, enviadas y mostradas puede ser adaptado para ajustarse a los requisitos de la red en uso. En términos de audio, la calidad puede ser variada desde el más bajo nivel de inteligibilidad hasta un nivel perfecto para el oído humano, siempre y cuando haya recursos suficientes. Para el video, transmitir a un menor número de imágenes por segundo permitirá ahorrar ancho de banda de manera significativa. En la mayoría de las situaciones las aplicaciones no necesitan alcanzar el número óptimo de 25 fps para hacer al usuario sentir una buena calidad. Además, se usan algunas heurísticas tales como limitaciones prácticas de algunos dispositivos de captura que hacen sentir una mejor sensación subjetiva de calidad cuando se usan divisores de 24 fps: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 y 24 fps.

*Tamaño del componente.* Los requisitos de ancho de banda de una transmisión de video o una presentación dependen en gran medida del tamaño de los videos o imágenes. Además, esta adaptabilidad permite a los distintos terminales tener en cuenta las capacidades de cada dispositivo. Cuanto más grande es el tamaño del video, mayor es el consumo de ancho de banda. En escasez de ancho de banda el usuario preferirá ver videos más pequeños que un gran vídeo congelado debido a una pérdida elevada de imágenes.

*Uso de componentes.* En escenarios con ancho de banda limitado el usuario puede preferir usar sólo algunos componentes en lugar de usarlos todos con una pobre calidad. Por ejemplo, en escenarios de 30 Kbps el usuario puede preferir recibir sólo un flujo de audio GSM sin pérdidas antes que baja calidad de video y un flujo ininteligible de audio.

*Buffering.* Buffers adaptables, inteligentes y dinámicos pueden ayudar a ofrecer una mejor calidad en condiciones adversas de la red, tal y como se comentó con anterioridad en este artículo.

### IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para medir la eficiencia de nuestro mecanismo así como su mejora frente al empleo de aplicaciones tradicionales, hemos seleccionado dos entornos especialmente adversos. El primero de ellos consiste en un handover vertical entre dos redes en el que la diferencia de ancho de banda es muy grande. Este escenario intenta reproducir lo que podría ser un handover entre wireless LAN y GPRS o wireless LAN y UMTS. El segundo es aún más extremo y consiste en una red ad-hoc *multi-hop*, que son especialmente conocidas por la dificultad que entrañan para las aplicaciones dado su bajo rendimiento y sus parámetros de red totalmente cambiantes.

#### A. Escenario de Handover Vertical

Para realizar las pruebas, hemos configurado un testbed que permite que las características adaptables de la aplicación puedan ser fácilmente demostradas en un escenario de handover, así como los beneficios de tal comportamiento en contraste con el que se encuentra en aplicaciones no adaptables. La parte de audio de la aplicación de

videoconferencia ISABEL ha sido seleccionada como un buen ejemplo de un servicio de ancho de banda variable sobre RTP [8]. Los resultados pueden ser, por lo tanto, extrapolados al caso donde más componentes (audio, video, texto o pizarra) sean usados, tan sólo considerando cada uno de ellos como un flujo separado.

### 1) Infraestructura Hardware

El testbed, como se muestra en la Fig. 5, consiste en un número de PC-routers y un portátil, que es usado como nodo móvil (MN). Los enlaces de red son la mayoría Ethernet, y hay un enlace ISDN PPP (64 Kbps), que sirve para el propósito de limitar el ancho de banda efectivo en una de las ramas del testbed.

El MN será forzado a ejecutar un handover entre los dos PC-routers de más bajo nivel, que actúan como puntos de acceso para las dos redes separadas. Esto forma un escenario típico de handover entre una red de banda ancha a otra de bajos recursos.

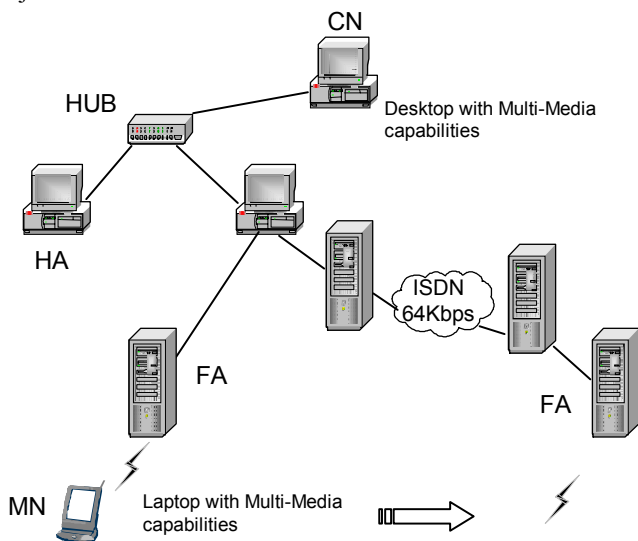


Fig. 5. El escenario usa Mobile IP para provocar un handover entre dos redes con una gran diferencia en el ancho de banda disponible. La comunicación multimedia se establece entre un nodo móvil y un PC en la parte fija de la red.

### 2) Software

Todos los sistemas usan el Kernel 2.4.17 de Linux y tienen una pila dual IPv4/IPv6. En la actualidad, sólo tienen instalado Hierarchical Mobile IP (HMIP [9]), pero el mismo testbed se ejecutará en el futuro con otros protocolos de Macro/Micro-movilidad, ambos utilizados sobre IPv4/IPv6. Los roles de cada nodo son mostrados en la Fig. 5.

La aplicación de videoconferencia adaptable a usar es una versión extendida de ISABEL, que está instalada tanto en el MN como en el Correspondent Node (CN), de tal manera que

la comunicación puede ser establecida entre ambos interlocutores en cualquier momento.

Entre el conjunto completo de técnicas de adaptación anteriormente descrita, el cambio del Codec de audio ha sido seleccionado para demostrar estos conceptos en el entorno de handover. Dos codecs han sido utilizados, uno que requiere un alto ancho de banda y otro que requiere un ancho de banda bajo, tal y como se muestra en la Tabla I:

TABLA I  
LISTA DE CODECS USADOS

Codec	Sampling Rate	Sampling Depth	Bit Rate (mono)
PCM	8000 Hz	16 bit	~128 Kbps
GSM	8000 Hz	16 bit	~14 Kbps

Aunque la aplicación soporta más codecs, el cambio en el ancho de banda disponible es tan brusco que se pasa directamente del mayor al más pequeño.

Los datos mostrados en las siguientes secciones han sido extraídos de las estadísticas RTCP en el nodo móvil.

### 3) Funcionamiento sin Adaptación

El primer conjunto de pruebas cubre el funcionamiento de una aplicación simple que carece de capacidades adaptables. La Fig. 6 muestra el efecto de un handover desde una red Ethernet a una red RDSI con un ancho de banda más limitado

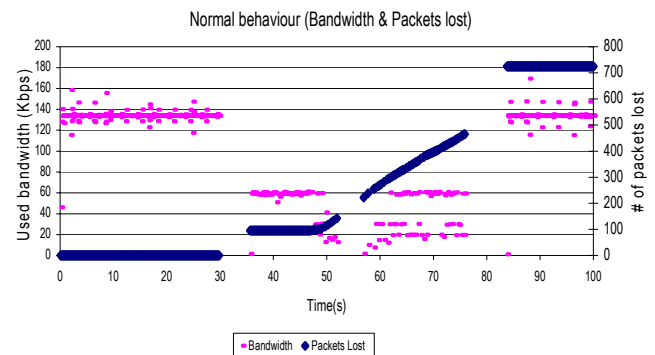


Fig. 6. El ancho de banda antes del primer handover es el asociado al codec PCM y no hay pérdidas. Durante y después del handover, empieza a haber pérdidas: el ancho de banda es el máximo disponible lo cual indica que el enlace está saturado.

El handover ocurre entre los segundos 30 – 35, así que todos los paquetes se pierden en ese período. La alta latencia es solamente atribuible a los parámetros particulares de esta instalación de H-MIP (principalmente debido a los largos períodos de anuncios de los agentes) y no puede ser considerado como el rendimiento útil de un protocolo de movilidad ajustado. Sin embargo, para los propósitos de estas pruebas, que no tratan explícitamente con los procedimientos de movilidad, una fuerte discontinuidad en la comunicación ayuda en el aislamiento del comportamiento de la aplicación

después de que ésta se restaure y por tanto ponga de manifiesto las capacidades a nivel de servicio.

La situación de pérdidas se observa fácilmente mientras se mantiene el codec PCM y el ratio de datos enviados desde el CN al MN es de 128 Kbps; después del handover el límite es impuesto por los 64 Kbps de RDSI. Por tanto, muchos paquetes en exceso se pierden, después de una transición inicial (en la que los buffers UDP se vacían). En este sentido es importante destacar que esta pérdida de paquetes es crítica para aplicaciones en tiempo real como ésta, y el efecto es el deterioro de la calidad del audio experimentada por los usuarios finales.

El transitorio puede explicarse viendo el gráfico del Jitter de la Figura 7.

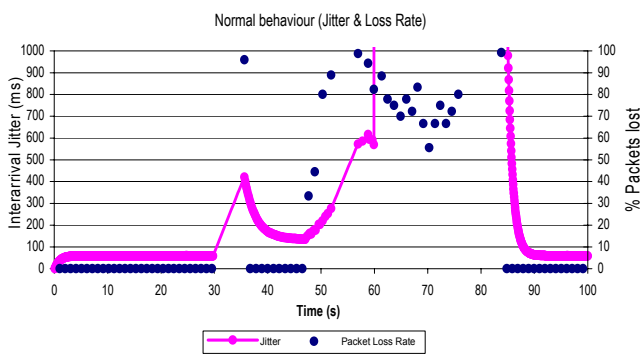


Fig. 7. Después del handover las pérdidas son muy elevadas, y la congestión del enlace de 64 Kbps ocasiona que el jitter experimentado por los paquetes que no se descartan se eleve hasta valores inaceptables.

Inmediatamente después del handover, los paquetes almacenados en el buffer UDP son recuperados por la aplicación, pero dado que son paquetes antiguos, su timestamp afecta al cálculo del jitter en la misma cantidad de tiempo almacenado en el buffer (entre 5 y 10 segundos). Es igualmente notorio que el jitter es muy variable en el tránsito por la red RDSI (mientras se mantenía constante a 60 ms justo antes), lo cual está también relacionado con la alta pérdida de paquetes; esto sólo empeora la calidad percibida de audio.

Un segundo handover tiene lugar entre los segundos 76-84, cambiando de nuevo al enlace de mayor ancho de banda. Las Figuras 6 y 7 muestran como la situación queda finalmente estabilizada, y cómo las pérdidas de paquetes y el jitter vuelven a sus valores iniciales.

#### 4) Funcionamiento con adaptación

El comportamiento adaptable de la aplicación se lleva a cabo cuando ésta comprueba, de alguna forma, que el ancho de banda disponible ha cambiado. En el caso más simple, que es el que se ha estudiado de manera empírica, la reacción consiste únicamente en la selección del codec disponible de menor ancho de banda (GSM). Una lógica más compleja podría manejar la selección de uno entre una serie de codecs diferentes, cada uno con unas características particulares. La

Figura 8 muestra el comportamiento esperado.

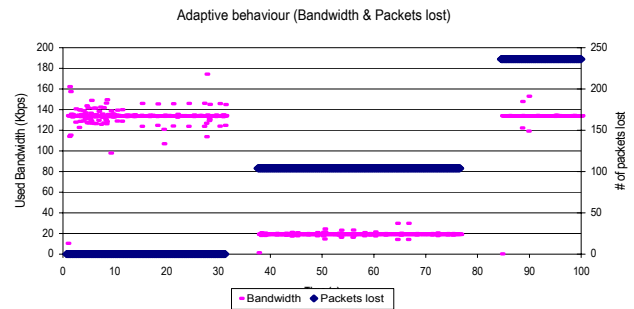


Fig. 8. Tras el primer handover, la aplicación se adapta, dejando las pérdidas en el 0%. Tras el segundo, la aplicación vuelve a adaptarse, esta vez al mayor ancho de banda.

Al finalizar el handover (alrededor del segundo 36 en la gráfica), la aplicación es informada de la nueva situación de ancho de banda. Antes del desbordamiento de los buffers UDP, se indica al lado emisor que debe adaptarse, y casi inmediatamente el nuevo codec es seleccionado: el ancho de banda consumido cae por debajo de los 20 Kbps (gracias al uso del codec GSM), posibilitando que todos los paquetes sean cursados a través del enlace RDSI, sin pérdidas (parte plana en el centro de la gráfica). De este modo, la calidad de audio es sustancialmente mejor que la del primer caso, sin adaptación. El Jitter se muestra en la Figura 9.

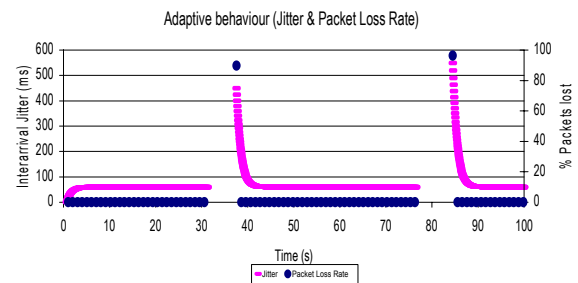


Fig. 9. Después de la adaptación el enlace de 64 Kbps deja de estar congestionado y por lo tanto el jitter que experimentan los paquetes vuelve a situarse en sus 30 ms que es lo normal.

La situación es completamente diferente a la descrita en la sección previa: el jitter es constante y limitado a 60 ms, excepto en el punto donde tienen lugar los handovers: todo el tráfico de paquetes es procesado en el instante adecuado.

Después del segundo handover (segundos 76-84), la situación se invierte, y se usa de nuevo el codec PCM. La calidad del audio está garantizada por el alto ancho de banda de Ethernet.

### B. Escenario de red Ad-hoc Multi-hop

Para demostrar como las aplicaciones multimedia adaptables pueden mejorar la QoS percibida por el usuario en el caso de redes inalámbricas, hemos desarrollado un testbed formado por una red multi-hop ad hoc en la que la fuente y el destino de datos multimedia están conectados por una red ad hoc. Como muestra la Fig. 10, un equipo adicional se introduce en el mismo enlace radio para generar interferencias –ambos tomando parte del mismo ancho de banda y también accediendo a los mismos medios compartidos. La idea no es simular un entorno real pero si comprobar la reacción de la aplicación bajo diferentes niveles de interferencia. De este modo, en cada período de interferencia de 100 segundos introducimos períodos de 50 segundos sin interferencia de manera que los diferentes tests pueden empezar desde las mismas condiciones iniciales.

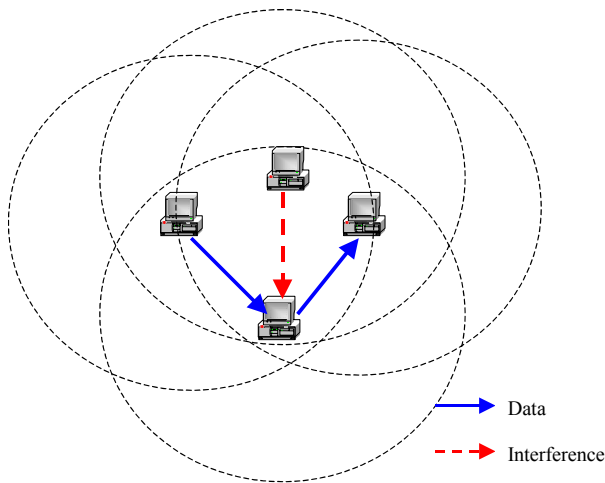


Fig. 10. Para forzar comunicaciones multihop en lugar de directas, se han configurado los nodos de forma que pertenecen a subredes IP diferentes. Otro nodo en el mismo canal general as interferencias tanto radio como de paquetes de datos.

Como muestra la Fig. 11, una aplicación tradicional en tales entornos comienza a perder paquetes cuando los períodos de interferencia tienen un mayor carga. Cuando se hace uso de un comportamiento adaptable, el número total de paquetes se reduce considerablemente en un 66% (de 6981 paquetes a 2387). Las pérdidas de paquetes que se producen en la parte de adaptación son debido a las pérdidas puntuales que no exceden del nivel de pérdida inicial del (5%) que la aplicación requiere para lanzar el proceso de adaptación. Como se ve en la siguiente figura, estas pequeñas pérdidas no son suficientes para dañar en exceso la percepción del usuario del audio porque el porcentaje de pérdida en la mayoría de casos es mantenido por debajo del 20% que muchos estudios [1] han identificado como el punto a partir del cual el audio se comienza a considerar de muy mala calidad.

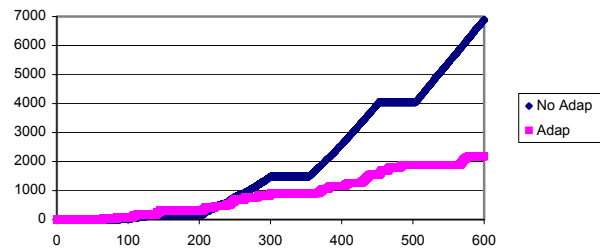


Fig. 11. Conforme va aumentando la interferencia generada, las pérdidas de paquetes se van produciendo. Sin embargo, se puede apreciar claramente como el uso de adaptación en la aplicación permite reducir en gran medida la pérdida total de paquetes.

Si observamos la variación del porcentaje instantáneo de los paquetes perdidos en el tiempo –que se muestra en la Fig. 12– podemos ver, como se esperaba, que la aplicación adaptable tiende a usar codecs de menor ancho de banda en periodos de carga alta (350-450 segundos y 500-600 segundos). De esta forma, incluso en tales situaciones de gran carga, la mayoría de los porcentajes de pérdida de paquetes se mantienen a 0% y sólo algunos puntos instantáneos superan ese 0%.

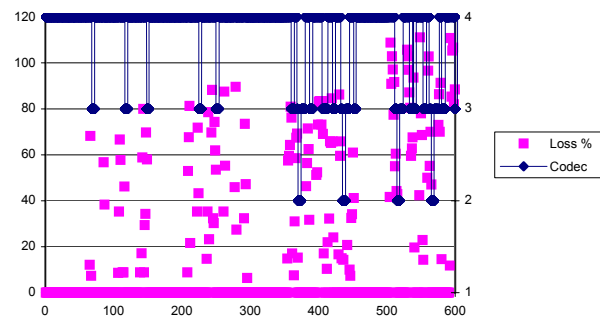


Fig. 12. La mayoría del tiempo, la aplicación usa el códec de mayor calidad excepto en periodos de gran interferencia en los que reduce dicha calidad. Sin embargo, incluso en dichos periodos la mayoría de las pérdidas se encuentran en el 0%.

Estos resultados también son soportados por las figuras de la distribución de pérdida de paquetes en el tiempo. Su valor medio ha sido calculado por ambas aproximaciones y hemos encontrado que al usar aplicaciones adaptables, el valor medio es del 14% frente al 34% en caso de la no adaptación. Sin embargo, este valor no es realmente significativo si no es tomado en cuenta con la distribución de probabilidad asociada. Como presentamos en la figura 13, en el período de mayor carga (500 a 600 segundos), cuando no se usa adaptación, aunque el porcentaje medio de pérdida de paquetes es del 34%, la mayoría de valores están realmente en el rango 75%-100%. Sin embargo, en nuestro caso aunque el valor medio es del 14%, la mayoría de los valores están en el rango de 0%-14% siendo 0% la moda de la distribución. Esto demuestra que salvo en picos muy puntuales, la aproximación

adaptable ofrece una buena calidad de audio (por debajo del umbral del 20% de pérdidas) en situaciones en que las aplicaciones tradicionales son incapaces de ofrecer menos del 75% de pérdidas de paquetes.

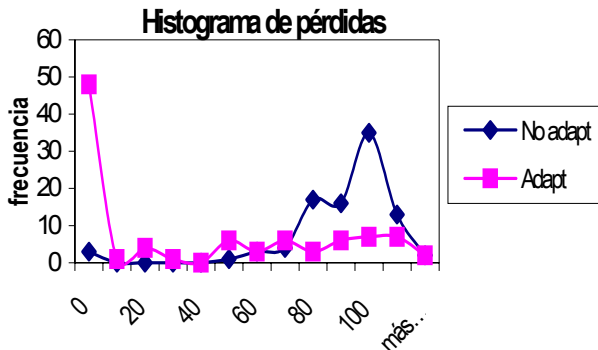


Fig. 13. El histograma demuestra que la aplicación no adaptable en el periodo de mayor carga pierde la mayoría de los paquetes mientras que cuando se usa la aplicación adaptable la mayoría de las pérdidas son inferiores al 14 % siendo la moda de la distribución 0%.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo hemos presentado nuestros trabajos de diseño y posterior implementación de un marco de trabajo para el desarrollo y la implantación de aplicaciones multimedia adaptables en entornos inalámbricos. Su rendimiento ha sido probado de manera satisfactoria en un escenario de enrutamiento multi-hop inalámbrico y en el caso simulado de un handover vertical entre wireless LAN y GPRS o UMTS.

A través de un testbed de ejemplo y algunos experimentos, en este artículo se han demostrado las ventajas que estos mecanismos pueden ofrecer para mejorar la calidad de servicio percibida por un usuario final en un escenario de condiciones cambiantes, garantizando un adecuado nivel de servicio incluso ante cambios importantes y continuados de ancho de banda. Además, se ha mostrado como las aplicaciones pueden ayudar en ofrecer una buen nivel de calidad de servicio incluso en situaciones en las que la red no es capaz de ofrecer ningún tipo de garantía.

Como trabajo futuro, se plantea la posibilidad de utilizar técnicas inteligentes que permitan la óptima selección de los parámetros de la aplicación, que hagan que ésta se adecue de la mejor manera posible a las condiciones actuales de la red.

Además, la completa integración del control de la calidad de servicio de más bajo nivel facilitaría el objetivo final de alcanzar un óptimo nivel de QoS.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo y todos aquellos que han contribuido a este trabajo ofreciendo tanto su tiempo como ideas interesantes.

## REFERENCES

- [1] J.-C. Bolot y A. Vega-García, "The case for FEC-Based Error Control for Packet Audio in the Internet", ACM Multimedia Systems, 1998.
- [2] D. Sisalem, "End-to-End Quality of Service Control using Adaptive Applications", IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service, 1997.
- [3] M. Kazantzidis, S. J. Lee y M. Gerla, "Permissible throughput Network Feedback in AODV MANETs", Proceedings of ICC 2001, Helsinki, Finland, Junio de 2001.
- [4] T.-W. Chen, M. Gerla, M. Kazantzidis, Y. Romanenko e I. Slain, "Experiments on QoS Adaptation for Improving Enduser Speech Perception over Multihop Wireless Networks", Proceedings of QoS Mini Conference in conjunction with IEEE ICC'99, Vancouver, Canada, Junio de 1999.
- [5] ITU-T Recommendation E.800 (08/94) "Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability".
- [6] M. Kazantzidis, L. Wang y M. Gerla, "On Fairness and Efficiency of Adaptive Audio Application Layers for Multihop Wireless Networks", Proceedings of IEEE MOMUC'99, San Diego, CA, Noviembre de 1999.
- [7] ISABEL, <http://agoratechnologies.com/productos/isabel.html>
- [8] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederik y V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications", IETF, RFC 1889, Enero de 1996.
- [9] Código H-MIP, <http://www.cs.hut.fi/Research/Dynamics/>