

Evaluación de la Tecnología HomePlug AV para la Provisión de Servicios Multimedia en el Hogar

Juan Pedro Muñoz Gea, Josemaría Malgosa Sanahuja, Pilar Manzanares López,
Juan Carlos Sánchez Aarnoutse

{juanp.gea, josem.malgosa, pilar.manzanares, juanc.sanchez}@upct.es
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones,
Universidad Politécnica de Cartagena.
Campus Muralla del Mar, 30202, Cartagena, España.

Abstract—Local area networks based on the emerging power line communication (PLC) standards are attractive for establishing networks with no-new-wires for in-home and in-building (business) applications. The new HomePlug AV standard, deployed by the HomePlug Alliance, offers a data rate in excess of 150 Mbps. This capacity is theoretically able to transmit the most usual multimedia applications at home (IPTV and VoD). The article presents comprehensive field test results addressing such issues as packet delay, interarrival jitter and bandwidth, in order to evaluate the performance of the HomePlug AV standard for the transmission of IPTV and VoD services. The protocols used by these applications and the HomePlug AV specification are also presented.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de red candidatas para proporcionar servicios de red residenciales se pueden clasificar en redes inalámbricas, redes cableadas y redes sin nuevos cables. En [1] aparece un amplio estudio sobre las distintas opciones de infraestructura y tecnologías para redes en el hogar.

Las *redes inalámbricas*, como 802.11 [2], Bluetooth [3] y HomeRF [4], se pueden construir interconectando múltiples puntos de acceso inalámbricos. El gran beneficio de utilizar redes inalámbricas es la capacidad de movimiento sin perder la conectividad de red. Bluetooth pertenece a las redes de área personal, y su cobertura es muy limitada. Por otra parte, aunque HomeRF ha estado en el mercado durante algunos años, todavía no ha sido ampliamente aceptada. Por lo tanto, la tecnología de red inalámbrica más interesante y ampliamente aceptada es la familia 802.11. La red 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz y proporciona una tasa máxima de datos de 11 Mbps; 802.11a soporta velocidades de hasta 54 Mbps y funciona en la banda de 5 GHz; 802.11g también soporta velocidades de hasta 54 Mbps, pero en la banda de 2.4 GHz. Por último, 802.11n, que se espera que vea la luz en Junio de 2009, soportará velocidades de hasta 300 Mbps en la banda de 5 GHz y/o 2.4 GHz. Esta última propuesta añade MIMO y otras muchas nuevas características.

Dentro de las *redes cableadas* destaca Ethernet. Este tipo de redes utiliza un sistema de cableado llamado *cableado estructurado*, que es el que se instala actualmente en nuevas instalaciones de negocios (in-building). Sin embargo, este tipo de infraestructura de telecomunicaciones no es habitual encontrarla en los hogares, ni siquiera en los de nueva construcción.

En la categoría de *redes sin nuevos cables*, están las redes de línea telefónica, redes de cable coaxial y las redes de líneas de baja tensión. Utilizar como infraestructura la línea

telefónica existente, como en HomePNA [5], puede parecer atractivo, pero está limitado por las conexiones telefónicas disponibles en el hogar. Por otra parte, la MoCA (Multimedia over Coax Alliance [6]) propone una infraestructura de red en el hogar utilizando el cable coaxial de TV existente. En la mayoría de los hogares esta infraestructura está muy limitada.

Las redes de comunicación en líneas de baja tensión (Power Line Communication, PLC) fueron introducidas en el mercado de Estados Unidos en 2002, y posteriormente se han extendido ampliamente en Europa. Con múltiples conexiones en casi todas las habitaciones, las líneas de baja tensión residenciales son la infraestructura de red más dominante en el hogar. El estándar PLC HomePlug ha sido desarrollado por la HomePlug Alliance [7]. La versión 1.0 soporta tasas de datos de 14 Mbps, comparable con la tasa de 802.11b; la versión 1.0 Turbo, soporta velocidades de hasta 85 Mbps; por último HomePlug AV tiene una tasa de datos de hasta 150 Mbps.

El objetivo de este artículo es llevar a cabo un estudio real sobre la capacidad de una red PLC HomePlug AV para la transmisión de servicios multimedia en el hogar. El resto del artículo está organizado del siguiente modo. La Sección II presenta la especificación de HomePlug AV. La Sección III presenta las aplicaciones multimedia de VoD e IPTV. La Sección IV presenta los protocolos utilizados por estas aplicaciones multimedia. La Sección V presenta el escenario de medida y la Sección VI los resultados obtenidos. Finalmente, la Sección VII detalla las conclusiones más relevantes.

II. ESPECIFICACIÓN HOMEPLUG AV

La tecnología que debe emplearse para alcanzar las especificaciones HomePlug AV es muy compleja debido a que el canal de comunicaciones, al ser diseñado únicamente para la transmisión de potencia eléctrica, es muy hostil a la transmisión de señal.

La arquitectura HomePlug AV exige que de entre todos los modem-PLC que conforman una misma red, uno de ellos debe hacer las veces de estación central. Dicha estación será la única que poseerá un Coordinador Central (CCo) encargado de reservar el ancho de banda necesario para las conexiones con requerimientos de QoS (tanto las síncronas como las asíncronas pero con prioridades).

1) *Nivel Físico*: La transmisión de señales por el medio físico opera en la banda de frecuencias comprendida entre los 2 y los 28 MHz. Los mecanismos de modulación son tales que, con este pequeño ancho de banda son capaces de

transmitir 200 Mbps (velocidad de canal). El uso de Turbo Códigos Convolutivos para la detección y recuperación automática de errores reduce la tasa real de bits de información transmitida a 150 Mbps.

Los símbolos se transmiten mediante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [8] con un total de 917 portadoras ortogonales disponibles. Además, cada uno de esos 917 tonos puede a su vez modularse independientemente utilizando desde un simple BSK hasta un 1024-QAM.

Finalmente, decir que a todo el entramado de bits de información se le añade un conjunto de bits de control para la corrección de errores (FEC, Forward Error Correction).

2) *Nivel MAC*: El nivel de acceso al medio de HomePlug AV puede llegar a establecer tres tipos diferentes de modos de transferencia:

- Transferencias orientadas a la conexión, con requerimientos de Calidad de Servicio. Este servicio se proporciona utilizando un sistema TDMA.
- Transferencias no orientadas a la conexión, que comparten un mismo canal de comunicaciones pero capaces de establecer prioridades para arbitrar el acceso al medio. Se proporciona mediante un esquema CSMA/CA basado en prioridades.
- Transferencias no orientadas a la conexión, que comparten un mismo canal de comunicaciones. Este modo de transferencia es utilizado por los servicios *best-effort* mediante un esquema CSMA/CA.

Para proporcionar estos modos de transferencia, HomePlug AV - MAC implementa una arquitectura de gestión centralizada. El modem-PLC encargado de realizar dicha gestión debe activar su CCo (módulo Coordinador Central).

III. SERVICIOS MULTIMEDIA EN EL HOGAR

A. Video bajo demanda (VoD)

El vídeo bajo demanda, conocido mediante las siglas VoD, en inglés *Video on Demand*, se basa en una idea muy sencilla. El usuario del servicio, denominado cliente, desde un ordenador, televisor, o cualquier otro dispositivo multimedia, puede elegir desde una interfaz, diseñada específicamente para esta tarea, una película y empezar a reproducirla. También lo puede parar, rebobinar, avanzar, etc.

La petición contiene un comando donde pide qué vídeo desea recibir el cliente. Una vez el servidor ha recibido el comando de reproducción, empieza a transmitir el vídeo. Estos datos, al llegar a la aplicación cliente se almacenan en un buffer de recepción para absorber posibles cortes de la reproducción debidos a la latencia y el *jitter*. En los casos que se vacía el buffer se producen bloqueos (cortes). Otro efecto son las distorsiones que se producen al perderse algunos fragmentos del flujo de datos que nos envía el servidor. Esta técnica se conoce como *streaming*, proveniente del termino inglés *stream*, flujo, y nos permite poder reproducir el vídeo a la vez que lo vamos recibiendo.

Todo sistema VoD ideal debe cumplir con los siguientes requisitos: gran capacidad de almacenamiento; grandes anchos de banda (la calidad del vídeo es directamente proporcional al ancho de banda necesario para transmitirlo); servicio en tiempo real; calidad de servicio.

B. Televisión IP (IPTV)

Otro servicio importante es la transmisión de la señal de televisión en una red IP. Se pueden incorporar servicios de TV digital terrestre (DVB-T), TV satélite digital (DVB-S) y televisión analógica directamente en la red de área local y distribuir radio y TV en directo.

En todos los casos, los canales son distribuidos como *streams* IPTV. Los *streams* de los canales pueden ser visualizados usando un *set top box*, o un PC conectado a una red a través de un software apropiado.

IV. PROTOCOLOS Y FORMATOS DE TRANSMISIÓN

A. Protocolos

1) *RTP (Real-time Transport Protocol)*: RTP es un protocolo de transporte desarrollado específicamente para realizar streaming de datos en redes IP. Todos los flujos multimedia se encapsulan en paquetes RTP. Normalmente se encapsula sobre UDP/IP, aunque es compatible con otros protocolos tales como ATM o IPv6. Primeramente fue diseñado para realizar multicast en tiempo real de datos, pero también se puede utilizar en comunicaciones unicast.

RTP proporciona la información necesaria para las aplicaciones multimedia para una correcta transmisión como marcas de tiempo, números de secuencia, seguridad, identificación de contenidos y otros mecanismos. RTP ayuda a las capas inferiores a tener control sobre los recursos y añadir fiabilidad, control de flujo/congestión y otros mecanismos para transportar información de tiempo real.

La marca de tiempo es el campo de información más importante para las aplicaciones de tiempo real. El receptor lo utiliza para reconstruir la temporización original y poder reproducir los contenidos a la tasa apropiada. Esta marca también se utiliza para sincronizar flujos diferentes con propiedades temporales diferentes, como el audio y el vídeo en MPEG.

2) *RTSP (Real Time Streaming Protocol)*: RTSP es un protocolo de nivel de aplicación que controla la entrega de datos de audio y vídeo con propiedades de tiempo real. RTSP actúa como con un mando a distancia de red para los servidores multimedia, proporcionando control VCR al usuario: Setup, Play, Stop, Pause, FF y REW, y también acceso aleatorio a cualquier parte de un clip multimedia. El formato de los mensajes RTSP tiene una sintaxis similar a los mensajes HTTP.

3) *SDP (Session Description Protocol)*: SDP fue creado para transmitir información sobre los flujos multimedia: anuncio de sesión, invitación de sesión y otras formas de inicio de sesión multimedia. Comunica información necesaria para la participación en la sesión. Puede ser utilizado por muchos tipos de red y aplicaciones.

B. Formatos y codecs

1) *MPEG2-PS* y *MPEG2-TS*: El estándar MPEG2 (ISO/IEC 13818) [9] define dos maneras de construir la trama de datos. Por un lado tenemos el *Transport Stream* y por otro el *Program Stream*.

El *Program Stream* es la estructura que define MPEG2 para el almacenamiento de datos en medios libres de errores, como pueden ser los DVDs, discos duros, CD-ROMs, etc.

Un Program Stream está formado por paquetes de longitud variable. En un *Program Stream* sólo podemos encontrar datos relativos a un único programa.

El *Transport Stream* es la estructura que se define para la transmisión en medios susceptibles de errores. Por lo tanto todas las aplicaciones *streaming* se realizarán en este formato. El formato de *Transport Stream* utiliza paquetes de longitud constante, llamados *transport packets* o paquetes de transporte. El tamaño de estos paquetes es de 188 bytes. La información de señalización en un *Transport Stream* se realiza mediante el *Program Specific Information* (PSI) que se transmite mediante tablas, las cuales son encapsuladas en secciones MPEG2. La aplicación más importante del formato *Transport Stream* es la transmisión de televisión digital.

2) *MP2T*: MP2T establece el uso de MPEG2 Transport Stream para la transmisión simultánea de audio y vídeo. La encapsulación como payload de RTP se especifica en el RFC 2250.

3) *MPV*: MPV establece el uso de flujos de vídeo MPEG1 y MPEG2, como se especifica en los estándares ISO/IEC 11172 y 13818-2, respectivamente. El formato de payload RTP se especifica en el RFC 2250.

4) *AC3*: AC3 es un sistema de codificación de audio multicanal de alta calidad que se utiliza para los DVD, televisión por cable, televisión satélite y otros medios. El formato de payload RTP para transportar audio utilizando este estándar de compresión de vídeo se especifica en el RFC 4184.

C. Políticas de servicio

Las políticas de servicio son todo el conjunto de políticas o reglas que definen de qué forma serán enviados los diferentes flujos de datos a los clientes. Estas pueden ser: unicast (un flujo exclusivo por cada cliente), multicast (un único flujo para un grupo de clientes) y broadcast (un único flujo para todos los terminales de la red, sean o no clientes).

V. ESCENARIO

A. Introducción

La red PLC ha sido implementada mediante la utilización de adaptadores Ethernet PowerLine AV modelo PLE200 de Linksys [10]. Este adaptador conecta el dispositivo Ethernet de un ordenador a la red eléctrica de 220 V. Se han establecido dos escenarios distintos, uno para IPTV y otro para VoD. En ambos escenarios se dispone de un servidor y de 9 clientes. En las pruebas realizadas, estos clientes se incorporan al servicio correspondiente en intervalos de 2 minutos.

El software utilizado por el servidor es VideoLAN VLC [11]. Se trata de una solución completa para transmisión de vídeo, desarrollada por desarrolladores de todo el mundo, dentro de un proyecto GPL. Puede ser usado para transmitir archivos y televisión en vivo sobre la red en modo unicast o multicast. Además, también puede ser usado como cliente para recibir, decodificar y visualizar flujos MPEG. Por lo tanto, también podemos utilizar este software en los clientes.

Las pruebas se han llevado a cabo en un aula con 10 PCs marca HP con procesador Intel Core 2 Duo a 2,13 GHz, 2 Gb de memoria RAM y tarjeta Ethernet 10/100/1000 Mbps. En todos los ordenadores, con sistema operativo Windows XP SP-2, se ha instalado VLC versión 0.8.6.

Para la realización de las medidas se ha utilizado la herramienta Wireshark [12]. Se trata de un analizador de protocolos *open source* utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones. Añade una interfaz gráfica y muchas opciones de organización y filtrado de información.

B. IPTV

Para realizar la prueba de televisión IP se ha utilizado la tarjeta de televisión AVerTV Hybrid Volar HX de AVer-Media [13]. El servidor VLC se ha configurado para la emisión en modo Multicast (utilizando dirección destino 228.228.228.228) de un flujo MPEG2 utilizando el codec MP2T, que como ya se dijo anteriormente designa el uso de MPEG2-TS para la transmisión simultánea de audio y vídeo.

C. VoD

Para realizar la prueba de VoD se ha utilizado un fichero VOB (DVD-Video Object o Versioned Object Base). Se trata de un tipo de fichero contenido en los DVD-Video, que incluye el vídeo, audio, subtítulos y menús en forma de *stream*. Los ficheros VOB están codificados siguiendo el estándar MPEG2. Concretamente, el fichero utilizado se encuentra codificado a una tasa de bit de 4800 kbps. El vídeo es ofrecido bajo el protocolo RTSP mediante un módulo especial del VLC llamado VLM (VideoLAN Manager). Además, el servidor utiliza también el protocolo SDP en combinación con RTSP para informar sobre las características del flujo multimedia. En este caso se utilizan dos flujos distintos para el audio y el vídeo. Concretamente el flujo de vídeo utiliza el codec MPV, mientras que el de audio utiliza el codec AC3.

VI. RESULTADOS

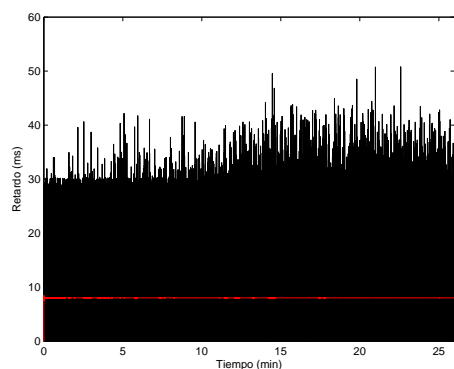
Los resultados extraídos en los dos escenarios anteriores son el retardo, el *interarrival jitter* y el ancho de banda. El retardo se define como el tiempo entre llegada de paquetes sucesivos. El *interarrival jitter* es una estimación de la varianza estadística del tiempo entre llegada de paquetes RTP. El cálculo exacto se puede encontrar en el RFC 3550. Por último, el ancho de banda mide el tamaño de las tramas recibidas, a partir de la cabecera IP, por unidad de tiempo.

Los resultados representados se corresponden con el primer cliente que solicita ambos servicios. De esta forma podemos detectar la posible influencia que tiene el número de clientes sobre la calidad de recepción de vídeo.

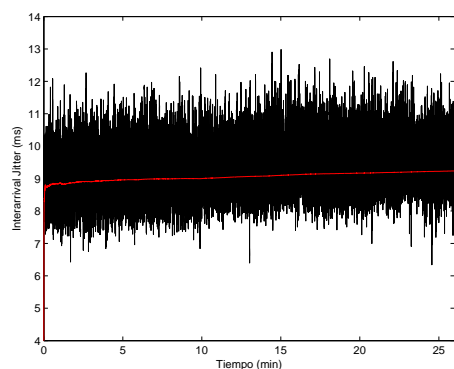
A. IPTV

A la vista de los resultados representados en la Fig. 1 se puede establecer, como era de esperar, que el número de clientes no tiene ninguna influencia sobre la transmisión multicast de televisión, ya que no se aprecian cambios en el retardo cada vez que se incorpora un nuevo cliente al servicio (en intervalos de 2 minutos). Esto es debido a que se transmite un único flujo multicast al que los distintos clientes se suscriben según sus intereses.

Se puede observar que el retardo presenta un valor medio de 8 ms. Teniendo en cuenta que el tamaño medio de los paquetes IP es de 1359 bytes, se puede deducir que el ancho de banda medio se encuentra entorno a 1350 kbps. Finalmente, indicar que el valor medio del *interarrival jitter* se encuentra entorno a los 9 ms.

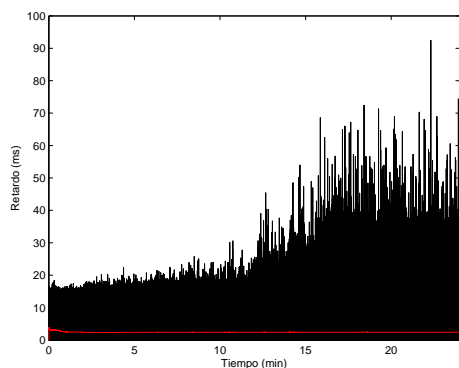


(a) Retardo instantáneo y medio.

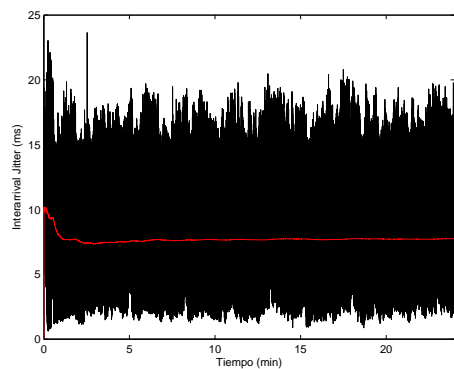


(b) Interarrival jitter instantáneo y medio.

Fig. 1. IPTV



(a) Retardo instantáneo y medio.



(b) Interarrival jitter instantáneo y medio.

Fig. 2. VoD

B. VoD

En la Fig. 2(a) se representa el valor medio del retardo entre paquetes. Como se observa, este parámetro es independiente del número de clientes y tiene un valor de 2,4 ms. Sin embargo, si se observan las muestras instantáneas, se aprecia que a partir del minuto 16 (coincidiendo con la entrada del noveno cliente en el sistema) aparecen valores del retardo muy por encima del valor medio, lo que provoca que el noveno cliente perciba una calidad del vídeo muy degradada. Por otra parte, teniendo en cuenta que en este caso el tamaño medio de los paquetes IP es de 1481 bytes, se puede deducir que el ancho de banda medio se encuentra entorno a los 5000 kbps. Si del tamaño medio del paquete IP anterior eliminamos el tamaño de las cabeceras IP (20 bytes), UDP (8 bytes) y RTP (12 bytes), obtenemos que el ancho de banda medio de los datos es de 4800 kbps, correspondiéndose con la tasa de bit del fichero de vídeo.

Por último, indicar que el valor medio del *interarrival jitter* se encuentra entorno a los 7,75 ms. Tanto este valor medio, como los valores instantáneos, son independientes del número de clientes en el sistema.

VII. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos podemos concluir que la tecnología PLC HomePlug AV es lo suficientemente robusta para transmitir servicios IPTV independientemente del número de clientes que existe en la red. Por otra parte, esta misma tecnología cuando se utiliza para ofrecer un servicio VoD es capaz de garantizar calidades de servicio aceptables si el número de clientes no supera aproximadamente la decena. Este valor es suficientemente grande, atendiendo a los tamaños habituales de los hogares y familias españolas. Por lo tanto, la tecnología HomePlug AV puede utilizarse en escenarios in-home para la provisión de servicios multimedia.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido apoyada por la subvención de proyecto TEC2007-67966-C03-01/TCM (CON-PARTE-1) y también se ha desarrollado en el marco del "Programa de Ayudas a Grupos de Excelencia de la Región de Murcia, de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM (Plan Regional de Ciencia y Tecnología 2007/2010)". Juan Pedro Muñoz Gea también agradece al MEC la concesión de una beca FPU (referencia AP2006-01567).

REFERENCIAS

- [1] T. Zahariadis, K. Pramataris, and N. Zervos, "A comparison of competing broadband in-home technologies," *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 133–142, 2002.
- [2] "Ieee 802.11 wireless local area networks," <http://www.ieee802.org/11/>, 2008.
- [3] "Bluetooth," <http://www.bluetooth.com>, 2008.
- [4] "Homerf archives," http://www.cazitech.com/HomeRF_Archives.htm, 2008.
- [5] "Homepna website," <http://www.homepna.org>, 2008.
- [6] "Moca website," <http://www.mocalliance.org>, 2008.
- [7] "Homeplug power alliance," <http://www.homeplug.org>, 2008.
- [8] A. R. Bahai and B. R. Saltzberg, *Multi-Carrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM*. Plenum Publishing Co., 1999.
- [9] "Generic coding of moving pictures and associated audio information," ISO/IEC International Standard 13818, 1994.
- [10] "Linksys," <http://www-es.linksys.com>, 2008.
- [11] "Vlc media player," <http://www.videolan.org/vlc/>, 2008.
- [12] "Wireshark," <http://www.wireshark.org>, 2008.
- [13] "Avermedia," <http://www.avermedia.es>, 2008.