

Transmisión eficiente en modo multicast en redes HomePlug-AV

P. J. PIÑERO¹, J. MALGOSA¹, P. MANZANARES¹, J. P. MUÑOZ¹

1. Departamento Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).
Universidad Politécnica de Cartagena.

{pedrop.escuer; josem.malgosa, pilar.manzanares, juanp.gea}@upct.es

Abstract

With the appearance of P2P networks and the rapid progress in the technologies used to set up in-home networks, these will have an important part to play in the Future Internet and the so-called Information Society. Among the different technologies that could be used to set up an in-home network, PLC (Power-line Communications) technology is the one that is eliciting most interest in the industry and the scientific community. However the leader standard in this technology (Homeplug AV) imposes major limitations when it comes to multicast transmissions. Multicast communications are extremely useful in applications which are especially popular in in-home networks so this paper proposes a new method for implementing multicast transmissions in HPAV networks.

Proyecto/Grupo de investigación: Ingeniería Telemática.

Líneas de investigación: *sistemas y servicios p2p; redes Power Line Communications (PLC)*

1 Introducción

Entre las muchas aplicaciones que pueden utilizarse en las redes PLC basada en el estándar HomePlug-AV [1][2], las transmisiones de contenidos multimedia son algunas de las más comunes y frecuentes. En estos casos la utilización de la tecnología IP multicast pueden ser de gran utilidad, ya que ésta optimiza el uso de los recursos de la red. Sin embargo, con el estándar actual, las comunicaciones IP multicast no son posibles. Esto es debido a que, a pesar de que el canal PLC es broadcast, la naturaleza de la modulación OFDM que se utiliza a nivel físico es punto a punto. La técnica que se emplea para realizar transmisiones a un grupo de receptores en las redes HPAV consiste en la transmisión de cada paquete a los

distintos miembros del grupo de manera consecutiva utilizando transmisiones punto a punto. Esta técnica hace que el caudal se reduzca muy rápidamente a medida que aumenta el número de clientes. En este artículo de investigación se propone un nuevo método para realizar comunicaciones multicast sobre redes PLC, el cual consigue tasas de transmisión elevadas incluso cuando el número de miembros del grupo multicast es muy alto.

1.1 Tecnología HomePlug-AV

En las redes PLC, la modulación utilizada para la transmisión de bits es OFDM (*Orthogonal Frequencies-Division Multiplexing*)[5]. Esta modulación se basa en la transmisión simultánea de un gran número de portadoras ortogonales entre sí y con un ancho de banda muy reducido. Concretamente, en HPAV se utilizan 1.155 portadoras en la banda de 1,8Mhz a 30Mhz, por lo que la separación entre portadoras es de aproximadamente 24,4KHz. Sin embargo algunas de estas portadoras coinciden con las bandas de emisión de los radioaficionados y no pueden ser utilizadas, lo que provoca que el total de portadoras útiles se reduzca a 917. La potencia de transmisión de las portadoras que pueden utilizarse está limitada por ley a -50dBm/Hz.

En función de las características del canal que detecte el transmisor, éste eliminará aquellas portadoras con una relación señal a ruido (SNR) más pobre, y además seleccionará la modulación y codificación adecuada para cada una de las portadoras restantes. Esta modulación puede ser desde una simple BPSK (1 bit de información por portadora) cuando la SNR es baja, hasta 1024 QAM (10 bits de información por portadora) cuando la SNR es muy alta. La elección de la modulación será distinta en función de la probabilidad de error de bit deseada. La tabla 1.1 muestra la modulación utilizada en función de la SNR observada para cada portadora, para una BER de 10^{-8} . Estas asignaciones serán las utilizadas en los experimentos realizados en este artículo. Es importante destacar también que una portadora cualquiera se elimina si su SNR está por debajo del mínimo exigido por la modulación BPSK. Los diversos dispositivos electrónicos conectados a la red eléctrica utilizarán la red de comunicaciones mediante el uso de módems PLC. Cada uno de los modems conectados a la red dispone de un mapa de tonos (TM, *Tone map*) para comunicarse con cada uno de los restantes modems. Este mapa de tonos indica el tipo de modulación a utilizar para cada portadora. Conocido el número de bits por portadora, la capacidad de nivel físico del enlace puede ser calculada mediante un cociente entre el número de bits por símbolo y el periodo de cada símbolo OFDM. El valor del periodo de símbolo en HPAV (considerando los intervalos de guarda) es de $46.52 \mu\text{s}$

Por su parte, el nivel MAC de HPAV está diseñado para ser altamente eficiente, proporcionando dos modos de transferencia distintos:

- Transferencias orientadas a la conexión con requerimientos de QoS (ancho de banda garantizado, limitación del jitter y latencia máxima). Este servicio se proporciona utilizando un sistema de acceso al medio TDMA

Modulación	Rango de SNR (dB)
BPSK	12-15
4-QAM	15-20
8-QAM	20-22
16-QAM	22-29
64-QAM	29-35
256-QAM	35-40
1024-QAM	>40

Cuadro 1: Modulación empleada en función de la SNR (BER de 10^{-8})

(Time Division Multiple Access).

- Transferencias no orientadas a la conexión (connectionless) que compartan un mismo canal de comunicaciones (contention). Este modo de transferencia es utilizado tanto por servicios asíncronos pero con requerimiento de QoS como por servicios best-effort y se proporciona mediante un esquema de acceso al medio CSMA/CA basado en prioridades.

A pesar de que el canal de comunicaciones PLC es broadcast, la modulación OFDM hace que las comunicaciones sean siempre punto a punto. En efecto, cuando dos módems se comunican entre sí, los demás modems conectados a la red también recibirán dicha información (por ser transmitida a un medio compartido), pero no serán capaces de decodificarla ya que desconocen el mapa de tonos empleado por la pareja emisor-receptor.

Complementando la modulación OFDM, se utiliza también un tipo de modulación especial, denominada modulación ROBO (ROBust Ofdm) que permite la transmisión broadcast. Este modo de transmisión se emplea siempre que es necesario transmitir paquetes de control (o cualquier otro tipo de paquetes broadcast) que deba ser necesariamente recibido por todos los miembros de la red PLC. El modo ROBO emplea una modulación y una codificación robustas frente al ruido con el fin de asegurar la correcta recepción y decodificación de la información en todos los receptores. Podría pensarse en utilizar este modo de transmisión para proporcionar servicios de streaming. Sin embargo, la tasa de transmisión del modo ROBO está limitada a unos 3Mbps, lo que es claramente insuficiente para la mayoría de las aplicaciones de streaming.

2 Comunicaciones multicast en PLC

Por las características descritas anteriormente, la implementación de transmisiones multicast en redes PLC presenta serios problemas. La utilización de la tecnología IP multicast en este tipo de escenarios se traduce

automáticamente en una serie consecutiva de transmisiones punto a punto a cada uno de los miembros del grupo multicast (ello se hace de manera totalmente transparente para el usuario). De esta forma, la capacidad efectiva de transmisión multicast se puede obtener mediante la siguiente ecuación, donde se puede observar que dicha capacidad efectiva disminuye de manera muy considerable a medida que aumenta el número de destinatarios N ,

$$\frac{1}{C_{total}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \quad (1)$$

El trabajo desarrollado en este proyecto propone una solución alternativa para la implementación de las comunicaciones multicast. El modo de transmisión multicast propuesto consiste en la elección y utilización de un mapa de tonos común para todos los miembros del grupo. En este mapa de tonos común se asignará a cada portadora la modulación que corresponda al miembro del grupo que presenta la peor SNR para esa frecuencia. De esta forma se consigue que todos los miembros del grupo sean capaces de decodificar correctamente la información, con una tasa de error baja. La modulación escogida para cada portadora tendrá una cantidad de bits de información igual o menor a la que se le asignaría para una transmisión punto a punto. Con este modo de transmisión se consiguen dos importantes ventajas con respecto al sistema multicast tradicional de PLC:

- El número de miembros del grupo multicast no tiene que afectar significativamente a la capacidad efectiva de la transmisión multicast.
- El número de accesos del transmisor al canal es menor, ya que solo debe acceder una vez por cada grupo multicast al que desee transmitir información. Esto hace que el retardo introducido por el protocolo de control de acceso al medio (CSMA/CA) sea mucho menor que si se realizaran las múltiples transmisiones en modo punto a punto.

3 Resultados

Para comprobar el funcionamiento y cuantificar los beneficios del modo de transmisión multicast propuesto se estudiaron tres posibles escenarios: una transmisión multicast dentro de una vivienda. Una transmisión multicast a equipos ubicados en dos viviendas pero que comparten una misma fase eléctrica y finalmente, el tercer escenario consiste en dos transmisiones simultáneas e independientes a distintos equipos de las dos viviendas. Todos ellos se han simulado utilizando los modelos del nivel físico y de enlace descritos en las referencias [3][4] respectivamente.

Las viviendas utilizadas en la simulación son como la mostrada en la figura 1. En este plano todos los enchufes disponibles en cada vivienda están numerados del 1 al 26. La tabla 3 muestra los dispositivos conectados a cada uno de los enchufes (los puntos de iluminación están indicados en el plano por un círculo bicolor).

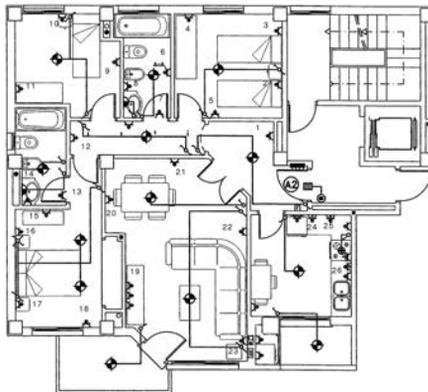


Figura 1: Plano de las viviendas utilizadas en las simulaciones

3.1 Escenario I

En este primer escenario obtendremos el resultado correspondiente a la transmisión desde un equipo situado en el enchufe 9 hasta otros cinco equipos situados en los enchufes 4, 11, 18, 19 y 26 respectivamente.

La figura 2 muestra la SNR del canal entre cada pareja emisor-receptor. Además, en la misma figura se muestra el mínimo valor de la SNR para cada una de las portadoras. A partir de estos valores, y utilizando el esquema de modulación OFDM empleado en las redes PLC, se obtienen las capacidades de canal de nivel físico para cada caso. Una vez obtenidas las capacidades punto a punto entre los diferentes equipos, la capacidad de la transmisión multicast mediante transmisiones punto a punto se obtiene aplicando la ecuación 1

En el mismo escenario, y para los resultados de SNR obtenidos, la capacidad de transmisión multicast del método propuesto en este trabajo se obtiene aplicando el mismo esquema de modulación al valor mínimo de relación señal a ruido en cada portadora (también mostrado en la gráfica, con un trazado más grueso). La capacidad obtenida en la transmisión multicast que emplea transmisiones punto a punto es de 36.603 Mbps. La capacidad de transmisión multicast con el modo de transmisión propuesto es de 152.58 Mbps. Comparando los resultados se puede comprobar como la velocidad de transmisión obtenida mediante el método propuesto es mucho mayor (aproximadamente 4 veces mayor) a la que se consigue con el método utilizado actualmente en los equipos PLC. Destacar también que los resultados serían incluso mejores ya que el transmisor debería acceder al canal cinco veces para el caso punto a punto mientras que solo debería acceder una vez en el método multicast propuesto. Teniendo en cuenta que el protocolo de acceso al medio introduce un retardo cada vez que se quiere acceder al canal (mayor cuanto mayor sea el tráfico remanente de la red), la diferencia de capacidades real sería incluso mayor que la que presentada en este trabajo.

Enchufe	Dispositivo	Enchufe	Dispositivos
1	cto. abierto	14	cto. abierto
2	cto. abierto	15	cargador móvil
3	cto. abierto	16	lámpara
4	módem PLC	17	cto. abierto
5	cargador móvil	18	módem PLC
6	cto. abierto	19	módem PLC
7	máquina de afeitar	20	ventilador
8	cto. abierto	21	cargador móvil
9	módem PLC	22	lámpara
10	lámpara	23	cto. abierto
11	módem PLC	24	cto. abierto
12	aspiradora	25	batidora
13	cto. abierto	26	módem PLC

Cuadro 2: Dispositivos conectados a los diferentes enchufes de la vivienda

3.2 Escenario II

El segundo escenario consiste en una transmisión a varios equipos situados en las dos viviendas. Como en el primer escenario, el transmisor está situado en el enchufe 9A (es decir, el enchufe 9 de la vivienda A) y los receptores miembros del grupo multicast se sitúan en los enchufes 4A, 18A, 11B, 19B y 26B. En este caso cabe esperar que, debido a que la distancia entre la fuente de información y los equipos receptores de la otra vivienda será grande, el valor mínimo de la relación señal a ruido obtenido para cada portadora sea mas bajo que en el escenario anterior.

La figura 3 muestra la SNR del canal entre cada pareja emisor-receptor. Además se muestra el mínimo valor de la SNR para cada frecuencia. Se puede observar como, para el caso de transmisiones entre diferentes viviendas, se obtienen incluso relaciones señal a ruido negativas para algunas portadoras. En este caso, la capacidad de una transmisión multicast tradicional es de 21 Mbps, mientras que la que se alcanza con nuestra propuesta es de 55 Mbps. Aunque el valor obtenido es menor que en el primer escenario, la capacidad multicast resultado del método propuesto sigue siendo mayor que la obtenida mediante el método tradicional.

3.3 Escenario III

En el último escenario consiste en una transmisión a dos grupos multicast diferentes. Cada uno de los grupos estará formado por tres equipos situados

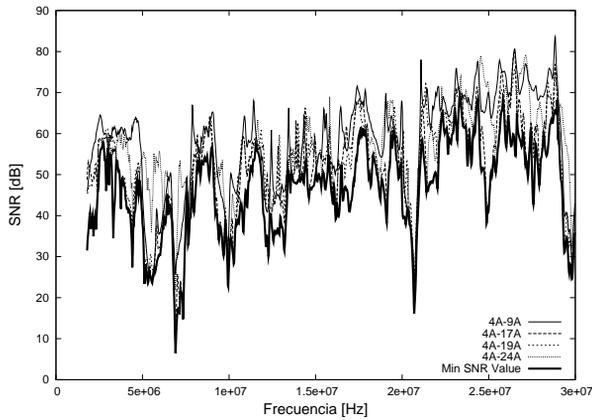


Figura 2: SNR para la transmisión del escenario I

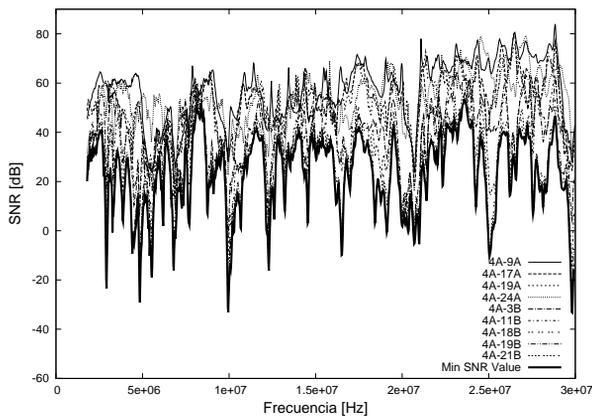


Figura 3: SNR para la transmisión del escenario II

en las dos viviendas. El transmisor está situado en el enchufe 9A, los miembros del primer grupo multicast están situados en los enchufes 4A, 19A y 26B, y los miembros del segundo grupo están situados en 26A, 11B y 18B respectivamente. En este escenario, utilizando el método multicast propuesto, el servidor únicamente deberá transmitir un flujo de información por cada grupo multicast, en lugar de los seis flujos necesarios en el caso de utilizar el método multicast basado en transmisiones punto a punto. En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos. La capacidad multicast total empleando el método basado en transmisiones punto a punto es igual a la que se obtendría si los seis equipos pertenecieran al mismo grupo multicast. En cambio, la capacidad total que obtendría el emisor al transmitir a los dos grupos multicast mediante el método propuesto se obtiene aplicando la ecuación 1 a las capacidades obtenidas para

cada uno de los grupos por separado. Se puede observar como la capacidad multicast obtenida (39 Mbps), vuelve a ser mayor que la obtenida mediante transmisiones punto a punto (19 Mbps). Además, es interesante destacar que la disminución de la capacidad obtenida al transmitir a varios grupos multicast depende de la cantidad de grupos, y no del número de miembros que los forman, como sí ocurre en el caso del método multicast mediante transmisiones punto a punto.

Grupo	Enlace	Capacidad (Mbps)
1	9A-4A	192
1	9A-19A	185
1	9A-26B	110
2	9A-26A	158
2	9A-11B	98
2	9A-18B	61
	point-to-point Multicast	19
	Multicast grupo 1	109
	Multicast grupo 2	60
	Multicast	39

Cuadro 3: Resultados obtenidos en el escenario III

Referencias

- [1] HomePlug AV Specification (2007)
- [2] Homeplug Powerline Alliance. <http://www.homeplug.org>.
- [3] Sancha, S.; Canete, F. J.; Diez, L.; Entrambasaguas, J. T. , *A Channel Simulator for Indoor Power-line Communications*, Power Line Communications and Its Applications. ISPLC '07. IEEE International Symposium on, pp.104-109 (2007).
- [4] Min Young Chung, Myoung-Hee Jung, Tae-Jin Lee, Yutae Lee, *Performance analysis of HomePlug 1.0 MAC with CSMA/CA*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 24(7): 1411-1420 (2006).
- [5] Bahai, A. R. S., Saltzberg, B. R., Ergen, M., *Multi Carrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM*, Springer (2004).