

Evolución de las Comunicaciones Multicast: del nivel de red al nivel de aplicación

PEDRO JOSÉ PIÑERO ESCUER Y PILAR MANZANARES LÓPEZ

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
Universidad Politécnica de Cartagena.

pedrop.escuer@upct.es; pilar.manzanares@upct.es

Resumen

La tecnología IP Multicast surgió a finales de la década de los 80 como una solución para las transmisiones de datos desde un servidor hacia un grupo determinado de usuarios. Sin embargo, debido a una serie de razones de índole diversa, su desarrollo no ha sido el esperado en Internet. Como alternativa a esta tecnología ha surgido en los últimos años la tecnología ALM (*Application Layer Multicast*) que traslada la funcionalidad multicast desde el nivel de red al nivel de aplicación, utilizando para ello algoritmos propios de las redes Overlay. En el grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT se ha trabajado en los últimos años tanto con la tecnología IP Multicast como con ALM. Estos trabajos han llevado al diseño de un protocolo de transporte para IP Multicast y al diseño de una aplicación de compartición de ficheros P2P que utiliza una solución ALM para solucionar algunos de los problemas presentes en este tipo de aplicaciones.

Proyecto/Grupo de investigación: Grupo de Ingeniería Telemática. Contribución a los nuevos paradigmas y tecnologías de red para las comunicaciones del mañana (CON-PARTE-1). Entidad Financiadora: Plan Nacional I+D+i. Código: TEC2007-67966-C03-01/TCM.

Líneas de investigación: *Telemática; IP Multicast, ALM, Aplicaciones P2P.*

1. Introducción

El gran crecimiento experimentado por Internet a finales del siglo pasado provocó la aparición de una gran cantidad de nuevas aplicaciones con propósitos muy diversos. Estas nuevas aplicaciones dejaron de utilizar únicamente comunicaciones “de uno a uno” y comenzaron a utilizar comunicaciones “de uno a muchos” (p.e. para difusión de contenidos audiovisuales) o “de muchos a muchos” (p.e para juegos en red). Este cambio provocó la aparición de la tecnología IP Multicast a finales de la década de los 80 como una solución para las comunicaciones desde un servidor a un número determinado de usuarios. Finalmente, en el año 1989 aparece el RFC 1112 que expone los requisitos necesarios para las comunicaciones multicast y define la primera versión del protocolo IGMP (*Internet Group Management Protocol*) utilizado para administrar los grupos multicast.

Sin embargo, la tecnología IP Multicast no ha tenido el éxito ni la difusión que se esperaba en Internet. Se han realizado muchos estudios sobre este tema y en ellos se han identificado diferentes causas. Algunas de las más importantes son la ausencia de un esquema de asignación de direcciones multicast, la falta de un mecanismo de control de acceso al grupo y la dificultad para definir protocolos de encaminamiento adecuados. Estos problemas han provocado que el uso de IP Multicast se enfoque más hacia redes de área local (LAN) o redes *intra-campus* (interconexión de un número limitado de redes LAN).

Dentro de la tecnología IP Multicast hay muchos campos de investigación posibles. Uno de los más importantes es el desarrollo de un protocolo de transporte, ya que TCP (sin duda, el protocolo de transporte más conocido) no puede gestionar sesiones multicast. De manera paralela al desarrollo de la tecnología IP Multicast, a principios del nuevo siglo surgió una nueva tecnología que traslada la funcionalidad multicast del nivel de red al nivel de aplicación. De esta forma la responsabilidad de este tipo de comunicaciones pasa de los elementos de red a los usuarios finales. El nombre que se le ha dado a esta nueva tecnología es ALM (*Application Layer Multicast*).

2. Aplicaciones

La tecnología multicast se puede utilizar en cualquier aplicación que requiera que el flujo de información sea compartido por varios destinatarios. Se puede comprobar como la cantidad de aplicaciones que pueden emplear esta tecnología es muy elevada. Las más importantes se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Aplicaciones en tiempo real.
Son aquellas aplicaciones en las que los datos deben llegar a los clientes con una tasa aproximadamente constante para que su funcionamiento sea correcto. Algunos ejemplos de aplicaciones de este tipo son los juegos en red o la difusión de radio o televisión a través de la red.

- **Aplicaciones Push.**
Son aquellas en las que se envía de manera periódica información determinada a un conjunto de clientes que ha indicado que desea recibirla. La información que se transmite puede ser muy variada (previsiones meteorológicas, noticias de última hora, ...).
- **Aplicaciones distribuidas.**
En este tipo de aplicaciones se aprovecha la capacidad computacional de varios ordenadores para un propósito común. En estas aplicaciones las acciones de un ordenador afectan al resto de ordenadores implicados y la tecnología multicast puede ser un mecanismo muy eficiente para el intercambio de información.

3. IP Multicast

La tecnología IP Multicast aporta ventajas frente a las comunicaciones punto a punto o unicast principalmente en tres aspectos: ancho de banda, congestión de la red y carga de los servidores. La primera ventaja es obvia, ya que se transmiten el mismo número de paquetes independientemente del número de usuarios que vayan a recibirla. Esto hace que el ancho de banda consumido por la aplicación sea menor y por tanto hay menos probabilidad de que estas aplicaciones causen congestión en algún segmento de la red. Por último, las aplicaciones multicast consumen menos recursos en el servidor, ya que en las aplicaciones unicast éste debe abrir una nueva sesión (UDP o TCP) para cada usuario que desea recibir la información. En la Fig. 1 podemos observar como el uso de IP Multicast en lugar del tradicional modo Unicast reduce notablemente el ancho de banda empleado.

La tecnología IP Multicast define un nuevo tipo de direcciones IP, las direcciones de clase D o direcciones multicast. Este tipo de direcciones comienzan por un patrón binario identificativo (“1110”), seguido de 28 bits que identifican el grupo multicast. A diferencia de las direcciones IP tradicionales, este tipo de direcciones identifican a un conjunto de equipos dentro de la red. Además también se debe añadir a los routers una funcionalidad adicional de forma que gestione el tráfico multicast de tal manera que se establezca un único flujo de información entre la fuente y el conjunto de destinatarios.

Uno de los problemas que aparece es que las direcciones de clase D no aportan ninguna información acerca de los miembros que componen el grupo multicast. Sin embargo, los routers sí deben conocer la situación exacta de los integrantes del grupo para poder realizar las tareas de encaminamiento. Para solventar este problema aparece el protocolo IGMP, cuya misión es gestionar los grupos multicast. Mediante este protocolo, el router conoce en cada momento los equipos integrantes del grupo y su situación.

3.1. Diseño de un protocolo de nivel de transporte para comunicaciones multicast

El protocolo IP multicast define y solventa toda la problemática asociada a las comunicaciones grupales a nivel de red. Sin embargo, el hecho de comunicar a un grupo de terminales también tiene consecuencias a nivel de transporte (control de flujo, control de la congestión, corrección de errores, etc.). Debido a la naturaleza punto a punto del conocido protocolo de transporte TCP, éste no es válido para la tecnología IP multicast. Por ello, un aspecto clave en la investigación en el campo multicast es el diseño y desarrollo de un protocolo de transporte adecuado.

Si bien una posible solución a este problema hubiera sido la definición de un protocolo de transporte multicast genérico, la complejidad del problema aconseja que en su lugar, se definan diferentes protocolos de transporte multicast que den respuesta a los requisitos y necesidades de aplicaciones multicast concretas.

En este campo de trabajo el grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT ha desarrollado un protocolo de transporte multicast para la distribución rápida y eficiente de información (ficheros y particiones de discos duros) desde un servidor a un conjunto de receptores situados en un entorno intra-campus. Este protocolo se ha denominado MUST (*Multicast Synchronous Transport protocol*).

El protocolo MUST divide el proceso de la transmisión de la información en dos fases diferenciadas. En la primera fase, denominada “*fase multicast*”, el servidor transmite paquetes de datos en modo multicast hacia todos los clientes. En el otro extremo, tras recibir un paquete de datos, los clientes inmediatamente intentarán confirmar la recepción mediante el envío de un paquete de confirmación positiva (ACK). Antes de transmitir su propio ACK, un cliente participará en un mecanismo de contienda con el resto de miembros de su misma subred de forma que únicamente se transmita un paquete ACK por cada paquete de datos, independientemente del número de clientes de la subred. Si el entorno de funcionamiento es una red *intra-campus*, el mecanismo de contienda limitará el número de paquetes de confirmación a un único ACK por cada subred.

Además de recibir y almacenar la información, durante esta primera fase los clientes también detectarán la pérdida de paquetes de datos. Si se ha detectado un vacío o gap en la recepción, el cliente almacenará una marca de error en las posiciones asociadas a los paquetes perdidos. A continuación tendrá lugar la segunda fase, denominada “*fase unicast*”, que está totalmente enfocada a la corrección de los errores producidos durante la fase anterior. Ahora, cada receptor analizará la información recibida en busca de sus propias marcas de error. Por cada marca de error encontrada, el receptor enviará al servidor un paquete unicast de petición de retransmisión. El servidor responderá al cliente en cuestión mediante el envío de un paquete unicast que encapsule los datos requeridos. Se

puede comprobar como la elección de situar la fase de corrección de errores al finalizar la transmisión multicast simplifica notablemente el diseño del resto de tareas asociadas al nivel de transporte a la vez que confiere independencia a cada subred participante. Una subred que durante la “*fase multicast*” no haya sufrido errores finalizará el proceso de recepción sin estar sujeto a la evolución de las otras subredes participantes.

Posteriormente, para mejorar el funcionamiento en escenarios asimétricos (escenarios donde las subredes tienen capacidades muy diferentes, como por ejemplo la interconexión de redes cableadas y redes inalámbricas) se añadió al protocolo una ventana de transmisión. La definición de una ventana de tamaño variable permitirá al protocolo MUST adaptar rápidamente la tasa de transmisión del servidor en función de las capacidades de las subredes que componen el escenario y de su estado. Con esta mejora el protocolo es capaz de reaccionar rápidamente a los problemas de congestión surgidos en puntos concretos de la red (especialmente en los puntos de acceso, donde las diferentes capacidades de las redes interconectadas pueden causar desbordamiento en los *buffers*). En la Figura 2 se muestra la evolución del tamaño de la ventana de transmisión en un escenario compuesto por clientes situados en una red cableada y clientes situados en una red inalámbrica. Al comienzo del experimento sólo están involucrados en el proceso de transmisión clientes situados en la red cableada. Como puede observarse en la figura, durante este periodo, el tamaño de la ventana alcanza el valor máximo permitido ($W=100$). Sin embargo, aproximadamente a la mitad de la transmisión, varios clientes situados en la red inalámbrica se unen al grupo multicast. Como puede apreciarse en la figura, el algoritmo de control de flujo implementado es capaz de adaptar la tasa de transmisión del servidor a la nueva situación, mediante el redimensionado de la ventana, consiguiendo con ello la sincronización de ambas redes y evitando así la aparición de congestión.

4. Tecnología ALM

Como se ha dicho anteriormente, la tecnología IP Multicast no ha tenido el éxito en Internet como cabía esperar, en gran medida por las implicaciones de esta tecnología a nivel de red. Para eliminar este problema, desde hace varios años se está trabajando en una solución alternativa que consiste en trasladar la funcionalidad multicast del nivel de red al nivel de aplicación, es decir, a los usuarios finales. Esta tecnología se denomina ALM (*Application Layer Multicast*). Las soluciones ALM están basadas en algoritmos propuestos para redes overlay (p.e P2P) modificados convenientemente para conseguir transmisiones de datos multicast.

Los protocolos de redes overlay que se utilizan para implementar las soluciones ALM se pueden dividir en estructurados y no estructurados, por lo tanto las soluciones ALM también se pueden clasificar de la misma forma.

A la hora de ofrecer servicios multicast, las soluciones ALM estructuradas presentan algunas ventajas sobre las no estructuradas debido a su efectividad en el descubrimiento de los nodos, a su definición matemática y a que su mantenimiento es totalmente descentralizado. Dentro de las soluciones estructuradas también se pueden establecer dos tipos, las soluciones basadas en inundación y las basadas en árboles.

4.1. Soluciones ALM estructuradas basadas en inundación

En este tipo de soluciones ALM todos los miembros del grupo multicast forman una red overlay particular. Tenemos entonces que la transmisión multicast se transforma en una transmisión broadcast a todos los miembros de la red overlay. Dentro de este tipo de soluciones, algunas de las más importantes son las siguientes:

- CAN-Multicast

CAN (*Content Addressable Network*) [3] basa su diseño en la utilización de un espacio de coordenadas cartesianas d -dimensional. Este espacio de coordenadas es repartido dinámicamente entre todos los nodos del sistema atendiendo a su identificador (obtenido mediante una función *hash*), de tal manera que cada uno es responsable de una región del espacio total. En función de la región de la que es responsable y de sus vecinos, los nodos encaminarán los mensajes hasta alcanzar el destino. Para realizar transmisiones multicast utilizando este protocolo, los nodos que desean pertenecer al grupo multicast forman un mini-CAN y con ello la transmisión *multicast* se convierte en una mera transmisión broadcast a todos los miembros del nuevo grupo mini-CAN. El principal inconveniente de esta solución es que los algoritmos utilizados para la transmisión broadcast generan paquetes duplicados en algunos nodos.

- Chord-Multicast

Chord [4] es un protocolo que distribuye los nodos según su identificador formando una estructura en anillo. Cada nodo conocerá al siguiente nodo en el anillo (su vecino) y a una serie de nodos situados a diferentes distancias de él (tabla de *fingers*). En función de esta información, un mensaje avanzará por el anillo alcanzando el destino con el menor número de saltos. Para realizar transmisiones multicast los nodos implicados forman un anillo particular y, al igual que en CAN, las transmisiones multicast se convierten en transmisiones broadcast dentro del anillo. La diferencia principal con CAN es el algoritmo para la difusión de información, que consigue eliminar completamente los paquetes duplicados.

4.2. Soluciones ALM estructuradas basadas en árboles

En las soluciones ALM basadas en árboles, nodos de diferentes grupos multicast se unen al mismo overlay. Después, cada grupo multicast forma un

árbol construido sobre la red overlay. Algunas soluciones de este tipo son:

- Scribe

Se trata de una solución ALM basada en el algoritmo Pastry [5], que es el utilizado para la construcción de los árboles de distribución multicast. A diferencia de los algoritmos anteriores, donde los miembros del grupo multicast creaban una instancia particular de CAN o Chord, el sistema Scribe es común a todos los miembros del grupo multicast.

- Bayeux

El funcionamiento de este algoritmo es similar al anterior, pero utiliza para la construcción de los árboles de difusión multicast el algoritmo Tapestry [6]. Las diferencias fundamentales entre ambos algoritmos son que Bayeux funciona mejor que Scribe en escenarios dinámicos, mientras que en Bayeux los nodos necesitan mayor información para el mantenimiento del árbol, lo que provoca que los procedimientos de suscripción y salida del grupo multicast sean más costosos que en Scribe.

4.3. Construcción de una topología P2P híbrida para intercambio de archivos.

Como se ha comentado anteriormente, las redes P2P pueden catalogarse, según el protocolo que utilicen, en redes estructuradas y no estructuradas. A la hora de diseñar una aplicación P2P para intercambio de archivos cada tipo de solución presenta ventajas e inconvenientes. Las aplicaciones basadas en redes P2P no estructuradas presentan la ventaja de que la búsqueda de información soporta búsquedas complejas. En cambio, debido a que se basan en técnicas de inundación, se debe limitar la vida de los mensajes de búsqueda, lo que no asegurará la localización de un contenido buscado aunque éste exista. Por el contrario, las aplicaciones basadas en redes P2P estructuradas permitirán localizar siempre un contenido que exista en la red, gracias a los mecanismos de creación, mantenimiento y gestión de la misma. Sin embargo, estas búsquedas no serán búsquedas complejas, sino que cada fichero o contenido vendrá definido por un nombre o clave que servirá para su publicación en la red y su posterior búsqueda. Además, las soluciones P2P estructuradas ofrecen mecanismos de reorganización muy eficientes para solventar cambios en la red (aparición o desaparición de terminales).

Otra de las líneas de investigación que se ha desarrollado recientemente en el grupo de ingeniería telemática ha consistido en el diseño de un sistema de intercambio de archivos P2P que aproveche las ventajas de los dos tipos de redes, es decir, un sistema híbrido. Los usuarios pueden realizar búsquedas complejas como ocurre en las redes no estructuradas. Sin embargo, la red se organiza y se gestiona de una forma estructurada. Los nodos de la red (o *peers*) se unirán a una red estructurada, pero además serán asignados de manera automática a diferentes subgrupos de una manera aproximadamente uniforme. Uno de los

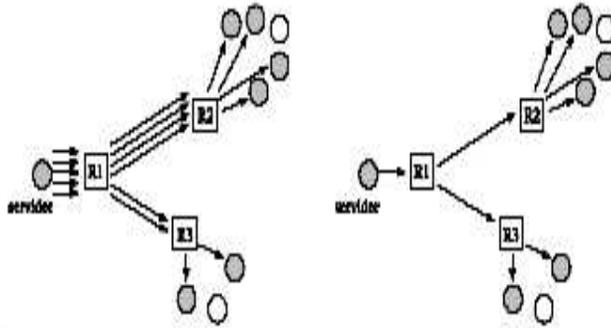


Figura 1: Izquierda: Envío de información desde un servidor a varios receptores utilizando comunicación unicast tradicional. Derecha: tecnología IP Multicast.

miembros de cada grupo tomará el papel de líder o *SuperPeer*. Todos los líderes o *SuperPeers* se unirán a un grupo multicast definido a nivel de aplicación.

La creación de los subgrupos permitirá las búsquedas complejas entre sus miembros. Sin embargo, si la búsqueda en el subgrupo al que pertenece el nodo no obtiene resultados, se consultará al resto de subgrupos. Para ello se emplearán las comunicaciones multicast entre los líderes de los grupos. Para las comunicaciones multicast de este nivel superior se utiliza el algoritmo Chord-multicast descrito anteriormente. La estructura del sistema se muestra en la Figura 3. Este sistema híbrido ha permitido desarrollar un sistema de compartición de información con anonimato.

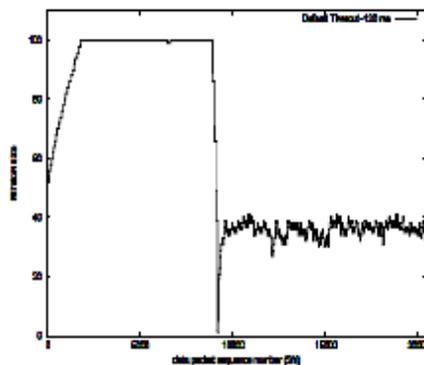


Figura 2: Evolución de la ventana de transmisión en un entorno intra-campus asimétrico.

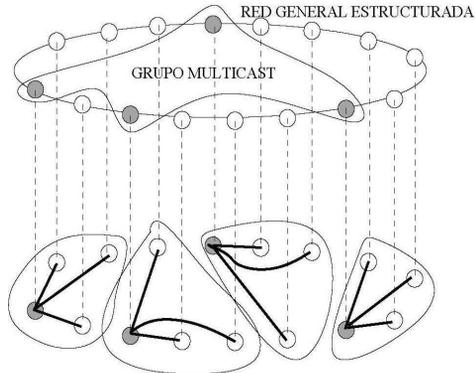


Figura 3: Arquitectura del sistema P2P híbrido.

5. Conclusiones

Las tecnología IP multicast surgió como una solución para las transmisiones de datos desde un servidor hacia un grupo determinado de usuarios. Sin embargo, debido a una serie de razones tanto técnicas como no técnicas, su desarrollo no ha sido el esperado en Internet. Como alternativa a esta tecnología ha surgido en los últimos años la tecnología ALM que traslada la funcionalidad multicast desde el nivel de red al nivel de aplicación. Este tipo de tecnología utiliza los algoritmos propios de las redes Overlay para realizar transmisiones multicast.

En el grupo de ingeniería telemática se ha trabajado en los últimos años en posibles soluciones a los problemas que presentan tanto la tecnología IP multicast como la tecnología ALM. En el primer caso se ha trabajado en el diseño de un protocolo eficiente de transporte para redes que utilizan IP multicast, mientras que en el segundo caso se ha trabajado en una estructura para redes P2P que utiliza una solución ALM para mejorar su funcionamiento.

Referencias

- [1] S.E. Deering, Host extensions for IP Multicast, RFC 1112, Internet Engineering Task Force, August 1989, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>.
- [2] P. Manzanares-Lopez, J. C. Sánchez-Aarnoutse, J. M. Malgosa- Sanahuja, J. García-Haro, A Synchronous Multicast Application for Asymmetric Intra-Campus Networks: Definition, Analysis and Evaluation, Proc. of the International Conference on Architectura of Computing Systems (ARCS), LNCS, March 2006.
- [3] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, S. Shenker, A Scalable Content-Addressable Network. In: Proceedings of ACM SIGCOMM, San Diego, CA, USA, August 27-31, pp. 161-172. ACM (2001).

- [4] I. Stoica, R. Morris, D.R. Karger, , M.F. Kaashoek ,Hari, H. Balakrishnan, Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet Applications. In: Proceedings of ACM SIGCOMM, San Diego, CA, USA, August 27-31, pp. 149-160. ACM (2001).
- [5] A. Rowstron, Druschel, P. Pastry, Scalable, Decentralized Object Location and Routing for Large-Scale Peer-to-Peer Systems. In: Proceedings of the IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms (Middleware), LNCS 2218, Heidelberg, Germany, November 12-16, pp. 329-350. Springer (2001).
- [6] B.Y. Zhao, L. Huang, J. Stribling, S.C.Rhea, A. D. Joseph, Kubiawicz, J. D. Tapestry, A Resilient Global-Scale Overlay for Service Deployment. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 22(1), 41–53 (2004).