

DIRECCIONAMIENTO MULTICAST Y SU APLICACIÓN A NIVEL DE TRÁFICO MULTIMEDIAL SOBRE REDES DE ALTA VELOCIDAD

MULTICAST ADDRESSING AND ITS APPLICATION TO MULTIMEDIA LEVEL OF TRAFFIC ON HIGH SPEED NETWORKS

PAULO ALONSO GAONA GARCÍA¹
ELVIS EDUARDO GAONA GARCÍA²

RECIBIDO: MAYO 2009

APROBADO: SEPTIEMBRE 2009

RESUMEN

El documento presenta un análisis de las características de transmisión multimedial sobre Internet y las características de las transmisiones de tipo multicast sobre un ambiente de comunicaciones cliente-servidor. Como conclusión de la investigación, se incluye un análisis de los resultados obtenidos a partir de la implementación de varios protocolos de enrutamiento con características de transmisión a nivel multicast para el transporte de audio como modelo propuesto para ser implementado en la red académica Rumbo.

Los resultados son parte del proyecto adelantado en la línea de redes y convergencias NGN en el Grupo de Investigación e Interoperabilidad de Redes Académicas (Giira), de la Universidad Distrital.

Palabras clave

Routing, multicast, IP sobre IP, IGMP, PIM sparse-dense mode, rendezvous point, MOSPF, DVMRP, Rumbo.

Abstract

This document presents an analysis of the characteristics of multimedia transmission over the Internet and the characteristics of multicast

-
- 1 Ingeniero de sistemas, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones con Énfasis en Teleinformática de la misma universidad. Candidato a doctor en Ingeniería Informática, Universidad de Salamanca, Madrid, España. Actualmente se desempeña como docente de planta de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital. Es instructor Cisco CCNA. Es director del Grupo de Investigación e Interoperabilidad de Redes Académicas (Giira) de la Universidad Distrital y participa en áreas de investigación en redes, plataformas e-learning y seguridad informática. Correo: pagaonag@udistrital.edu.co
 - 2 Ingeniero electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones con Énfasis en Teleinformática en la misma universidad. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital. Director del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital (Gitud) y miembro del Grupo de Investigación de Telemedicina (Gitem). Correo: egaona@udistrital.edu.co

transfer within a communication environment on client-server ends. It provides an analysis of the results from the implementation of different routing protocols and the transmission characteristics for transporting Audio Multicast. Furthermore, a model for implementation of the Rumbo Academic Network is proposed.

The results are part of the project conducted on the research field of convergence and NGN networks by the GIIRA Research Group at Distrital University.

Key words

Routing, multicast, IP on IP, IGMP, PIM sparse, dense mode, rendezvous point, MOSPF, DVMRP, Rumbo.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte de medios multimediales se ha vuelto uno de los temas principales en todo tipo de transmisiones en la actualidad. Para llevar a cabo esta actividad, se requiere de elementos y protocolos que permitan manejar de manera adecuada esta clase de tráfico, sin que llegue a saturar la red por la cual se desea propagar. Es por ello que la implementación de protocolos de enrutamiento será un elemento de apoyo para manejar el tráfico considerado de tipo multicast. La propuesta parte de la idea de optimizar dicha forma de transmisiones, aprovechando las convergencias y los servicios que se presentan en redes académicas de alta velocidad. Por lo tanto, garantizar tales operaciones requiere de muchas características para su correcto funcionamiento, al igual que para su buen desempeño.

El presente artículo se enmarca en el análisis detallado de las condiciones necesarias para lle-

var a cabo este tipo de transmisión. Es el resultado de un trabajo de investigación consistente en el análisis realizado a diferentes protocolos de *routing* de tipo multicast para determinar características de transmisión y desempeño sobre una red. Para ello se tuvo en cuenta una arquitectura genérica como modelo piloto, con el ánimo de presentarlo como propuesta para su implementación sobre la red académica de alta velocidad Rumbo (Red Universitaria Metropolitana de Bogotá)³.

2. CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE MEDIOS MULTIMEDIALES SOBRE INTERNET

A mediados de los noventa, se presentaban grandes dificultades para la transmisión de información multimedia a través de Internet, debido a la infraestructura existente. Aunque hoy se ha superado en gran medida este inconveniente, hay restricciones por la necesidad de utilizar formatos de audio y video exclusivos de empresas propietarias y por los exigentes requerimientos en comunicaciones para evitar caídas y retardos en la transmisión de información, si se desea realizar en tiempo real.

En las transmisiones multimediales en tiempo real, se requiere de la combinación de el hardware de conectividad y el software de protocolo que permite la comunicación entre programas de nivel de aplicación. Las aplicaciones son las encargadas de proveer los servicios de red de alto nivel para que los usuarios se puedan interconectar.

La proliferación de la tecnología IP ha proporcionado una infraestructura adecuada para el establecimiento de comunicaciones y el desarrollo de servicios multimedia en tiempo real que apoyen el *e-learning* [1]. Dentro de estos parámetros se

³ Sitio web: <http://www.renata.edu.co/>

determina una serie de elementos diferenciadores que hacen parte de la implementación adecuada de este tipo de medios en entornos de aprendizaje virtual, para la mejora en la comunicación y el desarrollo de aptitudes y competencias en los estudiantes.

Para poder aplicar este modelo como objeto de aprendizaje sobre ambientes orientados a Internet, es necesario entender los tipos de reproducción de tal medio de comunicación: transmisión en vivo y transmisión bajo demanda. En cualquiera de estos casos, los datos viajan por Internet con métodos de distribución conocidos como unicast o multicast, que se explicarán más adelante.

3. CARACTERÍSTICAS DEL AUDIO Y SUS APLICACIONES

Los usuarios de Internet se comunican mediante la voz, descargan música, escuchan radio y comparten canciones con otros usuarios a través de redes P2P. Los autores difunden sus obras y las grandes compañías amplían sus negocios distribuyendo música *online* bajo demanda y previo pago.

Las aplicaciones de audio van más allá de la transmisión. Se cuenta con funcionalidades como el lenguaje de marcas extendido para voz (Voice Extensible Markup Language [VoiceXML]) [2], el reconocimiento gramatical del habla (Speech Recognition Grammar Specification [SRGS]), el control de llamadas para navegadores de voz (Voice Browser Control Call [CCXML]) [3], el lenguaje de marcado de síntesis del habla (Speech Synthesis Markup Language [SSML]) [4] y un lenguaje de integración y sincronización de archivos multimedia (Synchronized Multimedia Integration Language [SMIL]) [5]. Todas estas posibilidades potencian el uso de la voz y el sonido en la web con propósitos educativos. Por ejemplo, se puede interactuar con ambientes de aprendizaje a través de la voz para que accedan

invidentes o personas con problemas de movilidad, se puede crear diálogos de audio, mejorar la calidad del contenido sintetizado, manipular y controlar las presentaciones multimedia, etc.

El audio se conoce como la representación de ondas sonoras y, para poderlo digitalizar, se requiere del almacenamiento de su amplitud y de su frecuencia cada cierto periodo de tiempo [6], al que se le conoce como *sample rate*.

La señal de audio consiste en la representación de una señal eléctrica en una señal sonora [7] y se realiza de manera binaria, que es el lenguaje que entienden todos los sistemas de información para establecer una comunicación. A esta representación se le conoce con el nombre de cuantificación [8]. Finalmente, para poder transmitir esta secuencia binaria, es necesario adaptarla al medio de transmisión; es por ello que se utiliza una codificación adecuada para no tener pérdidas de datos binarios [9].

Para soportar el envío de datagramas IP multicast, debe extenderse un módulo IP, y así reconocer direcciones de grupo cuando se está enrutando datagramas de salida.

4. TRANSMISIONES MULTICAST SOBRE INTERNET

Internet es un ambiente de trabajo en red a gran escala, donde el ancho de banda no está garantizado, la transmisión de información se pierde en el camino y la conexión de los clientes varía dependiendo de su conexión. Esto indica un esquema de compresión escalable para los formatos de audio utilizados, con el fin de evitar pérdidas de información cuando se realiza una transmisión [10]. UDP no es un protocolo seguro, ya que no garantiza que todos los paquetes vayan a su destino, y tampoco asegura que lleguen en el orden en que fueron enviados. Este es un protocolo de transporte sobre el cual se construyen otros,

por ejemplo el protocolo RTP, que es un producto del grupo IETF [11].

Recientemente se ha propuesto un sinnúmero de técnicas para automatizar el análisis de la información del audio [12]. Gracias a estos avances tecnológicos, se plantea una serie de elementos dinamizadores que permean todas las características para el desarrollo de una arquitectura acorde con un modelo de comunicación para transmisión de audio en tiempo real.

4.1 ESQUEMA DE CODIFICACIÓN DE AUDIO

Los esquemas de codificación escalable presentes en este apartado son representaciones tomadas de estudios realizados hasta el momento y de estándares trabajados hasta el momento y desde hace diez años [13-14]. Existe un sinnúmero de esquemas de compresión de audio representados en los modelos [15]. Las técnicas de compresión son la herramienta fundamental de la que se dispone para alcanzar el compromiso adecuado entre la capacidad de almacenamiento y de procesamiento requerida.

Según Levine [16], las técnicas de compresión más elaboradas proporcionan una reducción muy significativa de la capacidad de almacenamiento, pero requieren también de un importante procesamiento, tanto para la compresión como para la descompresión. No obstante, de acuerdo con Hamdy [17], las técnicas más simples ofrecen reducciones moderadas con poco procesamiento.

Existen varios problemas en una transmisión multicast [18], todos debidos a la naturaleza de esta. El primero es que una dirección multicast nunca puede ser una dirección de destino, es decir, los clientes no podrán transmitir información al servidor por medio del canal. Esto no es significativo, dado que la finalidad es conseguir un sistema capaz de acomodar a cuantos clientes sean necesarios.

Una comunicación multicast requiere de routers multicast que soporten un encapsulamiento IP sobre IP [19] para poder llevar a cabo los paquetes del emisor al receptor sin que los routers intermedios los descarten.

Para hacer que los paquetes IP salgan de una red Ethernet y pasen a otras interfaces, se necesitan equipos que hagan de puentes entre las distintas interfaces Ethernet. Pues bien, esto mismo es aplicable al tráfico multicast. Cuando un dispositivo construye canales para comunicar las distintas islas de redes Ethernet, dichos canales se denominan túneles multicast. Las estaciones dedicadas al túnel leen el tráfico multicast-IP y, en los casos en que este deba difundirse al exterior de la red, se convierte en un paquete unicast-IP normal, que será transmitido al otro extremo del túnel por métodos convencionales. El paquete IP-multicast se transmitirá al otro extremo del túnel si existe algún host perteneciente al grupo destinatario de dicho paquete.

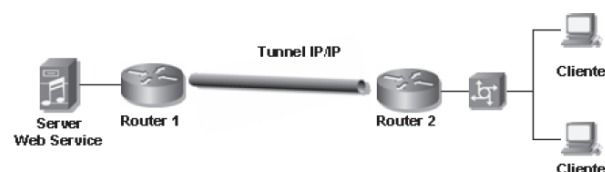


Figura 1. Tunneling IP/IP.

Para transmitir un paquete IP-multicast hay que convertirlo en uno unicast. Hay dos formas de hacer esto:

- El método más antiguo denominado LSR (Loose Source Record), que consiste en usar una de las opciones de la cabecera IP indicando en ella la dirección del grupo multicast al que va destinado y colocando en el campo de dirección destino de la cabecera la dirección IP unicast del otro lado del túnel multicast.

- El método utilizado en la actualidad es encapsular el IP multicast sobre IP unicast, colocando en el campo de protocolo del paquete IP el valor 4, que corresponde a IP encapsulado sobre IP.

5. IP SOBRE IP

IP / IP define un encapsulado mínimo de los datagramas IP ya que, esencialmente, solo se les añade una cabecera al principio. Este sistema es utilizado en redes Mobile-IP, para independizar las direcciones IP de la topología física de la red en un momento dado [20]. No define ningún mecanismo de cifrado o autenticación.

5.1 ENCAPSULAMIENTO IP-IP

Un ejemplo para realizar encapsulamiento de IP sobre IP se usa en Mobile-IP e IP-multicast. Las reglas convencionales de enrutamiento de redes IP comprenden direcciones de red y máscaras de red. Esto hace que conjuntos de direcciones contiguas sean encaminados mediante una sola regla de enrutamiento, lo cual resulta muy conveniente, pero significa que sólo puede usar una dirección IP, en particular cuando está conectado a alguna parte de la red a la que pertenece.

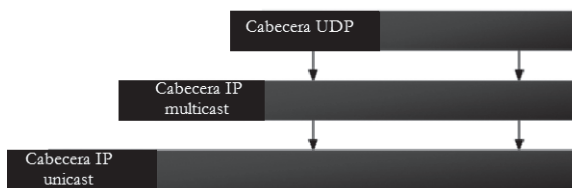


Figura 2. Formato encapsulamiento IP sobre IP .
Fuente: [42].

El encapsulamiento IP / IP (IP tunneling) permite que los datagramas que están destinados a una dirección IP sean encapsulados y dirigidos a

otra dirección IP. Si se va a trabajar durante un tiempo en otra red IP, entonces se podrá poner a punto una máquina de la red habitual para que acepte los datagramas que van dirigidos a la IP y los reenvíe a la dirección que se esté usando de manera temporal.

6. PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA TRÁFICO MÚLTIMEDIA EN INTERNET

Para realizar comunicación de medios en una red se utilizan varios métodos, dependiendo del tipo de servicio a ofrecer. Los más difundidos son:

- Comunicaciones unicast (unidifusión).
- Comunicaciones broadcast (difusión).
- Comunicaciones multicast (multidifusión).

6.1 TRANSMISIÓN UNICAST A UNA ÚNICA PERSONA

El modo de transmisión unicast se caracteriza porque, para cada cliente conectado al servidor, se establece un canal único de comunicación entre ambos [21]. Se trata de comunicación entre un solo emisor y un solo receptor, que consume parte del ancho de banda disponible.

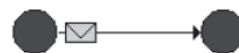


Figura 3. Transmisión unicast.

El efecto que tiene el método de transmisión unicast sobre los recursos de la red es de consumo acumulativo. Cada usuario que se conecta a una transmisión multimedia consume tantos kbps (kilobits por segundo) como la codificación del contenido lo permita. De este modo, se obtienen varios modos finales de emisión.

6.1.1 UNICAST BAJO DEMANDA

Cada cliente tiene un canal propio y por él se envía una copia del contenido que haya solicitado. Los usuarios son considerados de forma independiente, pero cada uno consume parte del ancho de banda. La transmisión bajo demanda es la reproducción de contenido pregrabado, almacenado y disponible para ser consultado en cualquier momento.

6.1.2 UNICAST EN VIVO

La transmisión en vivo reproduce en el terminal del usuario el audio y el video de un evento a medida que este se desarrolla en el sitio de origen. Cada cliente consume una parte del ancho de banda, pero el directo impide la interacción.

6.2 TRANSMISIÓN BROADCAST A TODO EL MUNDO

Se emite en lo que se considera alcance mundial, es decir, para todos los que quieran recibirlo. Tanto el broadcast como el multicast tienen un gran parecido. La diferencia entre ambos es el alcance de la emisión. El número de routers por los que ha de pasar el paquete viene dado por el número TTL [22]⁴.

6.3 TRANSMISIÓN MULTICAST

El concepto de transmisión multicast en IP surgió hace aproximadamente veinte años con la definición de IGMP, versión 1 [23], versión 2 [24]. Actualmente va en la versión 3 [25]. Desde ese momento, el ámbito de operación de las aplicaciones multicast ha sido restringido a las redes locales y a las intrarredes.

La mayor experiencia en routing multicast ha sido Multicast Backbone o Mbone (backbone de multidifusión) [26]. Utiliza el protocolo IP multicast. Por ende, en 1992 se pone en marcha el Mbone [27], que fue experimental al principio, pero en la actualidad se considera indispensable para decenas de miles de usuarios. Desde entonces, el interés de los usuarios en las aplicaciones multicast ha crecido enormemente lo que genera el desafío en la extensión del soporte multicast a toda la Internet.

Este servicio de transmisión es ideal para radios AM o FM, conferencias, aplicaciones educativas, eventos, etc. En transmisiones de audio bajo demanda el método multicast no aplica, porque cada usuario espera escuchar el contenido de acuerdo con su gusto y conveniencia. Por lo tanto, bajo demanda un mismo paquete de datos se debe enviar en instantes diferentes a cada nueva estación que se conecte.

El multicast está orientado hacia aplicaciones del tipo “uno para muchos” y “muchos para muchos”. En estos casos, presenta claras ventajas cuando se compara con los mecanismos de transmisión unicast y broadcast. En unicast, es necesario que la fuente replique varios flujos de datos idénticos con el objeto de transmitirlos a cada uno de los receptores, lo que da lugar al desperdicio de banda.

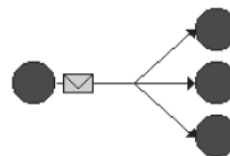


Figura 4. Transmisión multicast.

⁴ TTL: time to live (tiempo de vida). Contador en el interior de los paquetes multicast que determina su propagación.

Con multicast, la fuente de tránsito envía una única copia de los paquetes hacia una dirección de grupo multicast. La infraestructura de red replica estos paquetes de forma inteligente, encaminando los datos de acuerdo con la topología de los receptores interesados en esa información.

Entre las diversas aplicaciones que pueden obtener ganancias con el uso de multicast están: videoconferencias, aprendizaje a distancia, distribución de software, noticias e informaciones de mercado, conciertos en vivo, actualización de bases de datos, juegos distribuidos, procesamiento competidor, simulacros distribuidos, etc. Existen dos combinaciones para este tipo de transmisión que se presentan a continuación.

6.3.1 MULTICAST EN DIRECTO

Todos los clientes que atienden a esa transmisión reciben el mismo contenido a la vez y sólo se consume el ancho de banda correspondiente a un solo cliente. El multicast impide la interacción de los usuarios.

6.3.2 MULTICAST BAJO DEMANDA

Sólo tiene sentido para el primer cliente que acceda al servidor, ya que este solicita el contenido que desea y los que vayan detrás asisten pasivos a la emisión. Es muy poco usado.

7. MÉTODO DE TRANSMISIÓN MULTICAST.

La única diferencia entre un paquete IP unicast y uno multicast está en la dirección de destino.

- Clases A, B y C para unicast.
- Clase D para multicast.

Clase	Rango de direcciones	Bits de más peso
Clase A	1.0.0.0-127.255.255.255	0
Clase B	128.0.0.0-191.255.255.255	10
Clase C	192.0.0.0-223.255.255.255	110
Clase D	224.0.0.0-239.255.255.255	1110

Tabla 1. Rangos de direcciones IP.

7.1 DIRECCIONES MULTICAST EN LA RED

La dirección multicast (de clase D) es un nombre lógico. No incluye ninguna información topológica sobre la localización de los hosts (al contrario que en la IP unicast). Esta dirección lógica ha de convertirse de manera distribuida en el conjunto de destinatarios (que puede variar dinámicamente). Los problemas a resolver en este tipo de transmisiones son:

- Multicast dentro de la red.
- Multicast entre subredes.

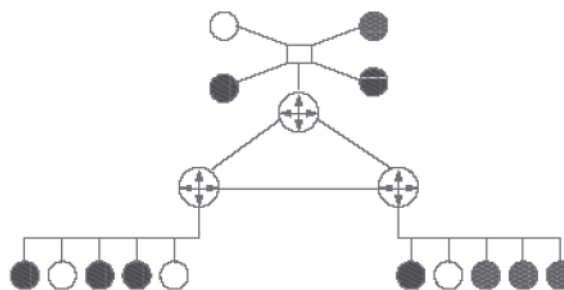


Figura 5. Multicast entre varias subredes.

7.2 MULTICAST DENTRO DE UNA RED

Existen dos estrategias básicas a nivel de enlace:

- Utilizar paquetes de Broadcast o utilizar paquetes especiales. Una red Ethernet [19] (y otras tecnologías⁵) soportan Multicast a nivel de enlace.

Las tarjetas son capaces de escuchar en una o varias direcciones Ethernet Multicast.

7.3 ENVÍO DE DATAGRAMAS IP MULTICAST EN INTERNET

Para que el concepto Multicast funcione, no basta con que los routers multicast puedan determinar por medio del protocolo IGMP cuáles equipos pertenecen a un determinado grupo multicast en los segmentos de red a los que este se conecta [28]. Además, deben estar en la capacidad de tomar las decisiones necesarias para enrutar los datagramas multicast entre dichas subredes, asegurando que los enviados por un equipo determinado lleguen a todos los miembros de cada grupo multicast. Por otro lado, tienen que procurar que no se produzcan bucles, esto es, que cada datagrama llegue a sus destinatarios sólo una vez, es decir, debe existir una determinada política de enrutamiento multicast.

Todos los protocolos de enrutamiento multicast hacen uso del protocolo IGMP para conocer la filiación de los equipos finales a cada determinado grupo multicast, pero difieren en la forma de intercambiar dicha información entre routers vecinos, así como en las técnicas empleadas en la construcción de los árboles de distribución.

8. ELEMENTOS INTERMEDIOS PARA COMUNICACIÓN MULTICAST

Existe un protocolo dedicado a la formación de grupos de multidifusión en Internet. IGMP se encarga de formar grupos de interés con el ánimo de optimizar al máximo el rendimiento de los enlaces a nivel WAN entre usuarios y dispositivos remotos. Con este protocolo se gestiona la cantidad de solicitudes realizadas por los participantes en peticiones de tipo multicast.

Para simular tales peticiones de manera simultánea se utilizó un software con características de transmisión de audio sobre una arquitectura cliente-servidor a nivel de comunicaciones. A continuación se presenta el modelo planteado.



Figura 6. Arquitectura propuesta de tres capas para el componente de audio implementado.

Bajo el anterior modelo de comunicaciones se determinó un esquema de funcionamiento genérico con la implementación de un protocolo de enrutamiento multicast que ofreciera los mejores tiempos de respuesta a solicitudes realizadas por los usuarios.

⁵ Tecnologías a nivel de enlace, establecidas en la norma IEEE 802.

9. PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MULTICAST

Todos los protocolos a nivel IPv4 multicast [29] hacen uso del protocolo IGMP para conocer la filiación de los equipos finales a cada determinado grupo multicast. Difieren en la forma de intercambiar dicha información, así como en las técnicas empleadas en la construcción de los árboles de distribución de las rutas para encontrar la óptima.

Dentro del análisis teórico consultado, se encuentran dos categorías importantes para realizar enrutamiento tipo multicast. Esta clasificación depende del tipo de métrica a implementar: si es por vector distancia con el algoritmo de bellman-ford [30], o si es por estado enlace con el algoritmo de dijkstra [31]. Se podrían dividir en dos grandes categorías, según las siguientes técnicas:

Basados en técnicas simples:

- Inundación (flooding).
- MAC-layer Spanning Trees.

Basados en técnicas de árboles centrados en la fuente (source-based trees):

- Reverse Path Broadcasting (RPB).
- Truncated Reverse Path Broadcasting (TRPB).
- Reverse Path Multicasting (RPM).

9.1 PROTOCOLOS DE VECTOR DISTANCIA

Se basan en el algoritmo del “camino más corto” de Bellman-Ford, en el que cada nodo distribuye todo el mapa de enrutamiento a sus vecinos de forma periódica, de tal forma que cada uno se va haciendo una imagen de la red en su conjunto. El nodo asigna un “peso” o métrica a cada ruta, en función de los saltos necesarios para alcanzar otro nodo. Su principal ventaja es la sencillez de operación y, por ende, de implementación.

Su mayor desventaja es el problema de escalabilidad. A medida que la red se hace mayor y más compleja, el algoritmo se torna menos eficiente lo que produce un mayor consumo de ancho de banda en los enlaces, por la diseminación de las tablas de enrutamiento.

9.2 PROTOCOLOS DE ESTADO ENLACE

Se basa en el concepto de un “mapa distribuido”, es decir, que todos los nodos tienen una copia del mapa de la red, que se actualiza periódicamente. Se han desarrollado a partir de un algoritmo más eficiente que el de Bellman-Ford, propuesto por E.W. Dijkstra, llamado “el camino más corto primero” [32] (shortest path first).

Algunas de sus principales ventajas son: la rápida convergencia a la descripción real del estado de la red, la ausencia de creación de bucles, el soporte de métricas (costes asociados a un determinado enlace) múltiples, el soporte de múltiples rutas a un mismo destino, etc. Como contrapartida, requieren mayor poder de procesamiento en los routers y son complejos de implementar y/o configurar.

10. IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MULTICAST

Entre los protocolos de enrutamiento de multidifusión implementados se encuentran:

- **DVMRP**: Protocolo de enrutamiento de multidifusión de vectores de distancia [33].
- **MOSPF**: Extensiones de enrutamiento multicast en OSPF [34].
- **PIM-SM**: Protocolo independiente de multidifusión en modo denso [35].

Teniendo en cuenta el modelo de comunicaciones cliente-servidor en la parte de servicios multicast, se realizó la implementación del siguiente modelo arquitectónico orientado a la web para simular ambientes de trabajo.



Figura 7. Modelo de comunicación física.

En la red LAN, comprendida por el router 2, se trabajó aproximadamente con veinte clientes, cada uno de los cuales hacía solicitudes constantes al servidor que se encontraba al otro extremo, en el router 1.

10.1 IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE DVMRP

Para la implementación de este protocolo se tuvo en cuenta su funcionamiento con base en el algoritmo vector distancia. Por lo tanto, no resulta clave en ambientes de trabajo con este tipo de métricas debido al gran consumo de ancho de banda que utiliza. Dentro de todas las implementaciones realizadas, este protocolo fue el que peor resultados arrojó. A continuación se presenta el esquema de la medición realizada con esta implementación mediante el software commview⁶.

	ENTRANTES	SALIENTES	PASANTE
Paquetes	27	8.972	47.461
Bytes	3.469	3.605.923	28.492.382
Bytes x segundo	2	1.351	14.771

Tabla 2. Tráfico generado con implementación DVMRP.

10.2 IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE MOSPF

Esta implementación arrojó buenos resultados, teniendo en cuenta su política del algoritmo de estado enlace al realizar inundación y propagación sobre la red. Pero si se considera que es un protocolo de inundación, cuando hay muchos participantes interesados en ser parte de un grupo de trabajo la convergencia era más lenta para la creación de los grupos de multidifusión mediante IGMP. A continuación se presenta el esquema de la medición realizada con esta implementación mediante el software commview.

	ENTRANTES	SALIENTES	PASANTE
Paquetes	14	122	11.872
Bytes	1.786	14.008	4.423.895
Bytes x segundo	3	21	6.625

Tabla 3. Tráfico generado con implementación MOSPF.

10.3 IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE PIM

Teniendo en cuenta los resultados de Donoso en su tesis doctoral [36] sobre una arquitectura MPLS, este protocolo presentó una confiabilidad sobre la red bastante alta y eliminó el innecesario

⁶ Commview, versión de evaluación: <http://www.tamos.com/>

rio tráfico multicast por los enlaces WAN. De esta forma facilitó un ancho de banda estable. El protocolo PIM se basa en dos modos de operación, el protocolo PIM sparse mode y dense mode.

1. **Modo denso.** Estos protocolos están diseñados para trabajar sobre redes, preferiblemente con un ancho de banda amplio y que los miembros del grupo se encuentren densamente distribuidos a través de la red [37].
2. **Modo disperso.** En este caso los miembros del grupo están ampliamente dispersos a través de la red. Este tipo de protocolo se caracteriza por usar árboles compartidos (llamados puntos de reunión o *rendezvous point* [RP]), en donde los receptores escuchan al router origen y mantienen el estado del árbol multicast. Por cada grupo multicast existe un árbol compartido [38].

En el proyecto se realizó la implementación utilizando las bondades de estos dos modos de manera híbrida, tanto en modo denso como en modo disperso, con el fin de poder definir ambos ambientes de trabajo a través de Internet, según la topología de la red propuesta anteriormente. Una de las características primordiales de esta implementación es la utilización de RP [39] o puntos de reunión, donde se concentra la mayor cantidad de grupos de multidifusión de manera óptima para enrutar este tipo de tráfico.

Dentro de la implementación realizada se recomienda que los RP sean descubiertos de forma automática por los enrutadores, de tal forma que el proceso sea más eficiente y a prueba de fallas. El protocolo que se recomienda es el Bootstrap Router (PIMv2) [40]. Aunque este es un poco más complejo que el Auto-RP (propietario de Cisco), asegura la interoperabilidad con enrutadores de otras marcas. Esto, además de evitar la configuración estática de los RP, asegura una redundancia en caso de falla de los RP.

Dentro de los resultados obtenidos mediante esta implementación se recomienda que las interfaces se configuren como de tipo sparse-dense, de modo que si todos los RP fallan, la red tenga oportunidad de conmutar a modo denso evitando que se pierda tráfico. A continuación se presentan los resultados de la medición realizada mediante el analizador de protocolos commview:

	ENTRANTES	SALIENTES	PASANTE
Paquetes	22	1.425	16.491
Bytes	1.809	72.012	4.649.622
Bytes x segundo	2	70	4.492

Tabla 4. Tráfico generado con implementación PIM.

Esta implementación presentó los mejores resultados en cuanto al rendimiento del canal y la utilización del ancho de banda en un entorno de trabajo local y orientado hacia Internet, si se tiene en cuenta que hubo múltiples peticiones de manera simultánea sobre el componente de audio.

11. RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTACIÓN DE ENRUTAMIENTO MULTICAST

A partir del anterior análisis topológico, según Servin [41], se tiene en cuenta los siguientes elementos para el transporte de tráfico multicast:

1. Conocimiento previo de la topología de red a implementar. Para ello se basó en un modelo de arquitectura LAN-WAN-LAN.
2. Determinar la adaptación tanto de routers como de switches de soporte de tráfico IP-multicast.

3. Soporte del dispositivo de enrutamiento del protocolo que permitirá el tráfico multicast, para este caso, PIM-Sparse Dense Mode.
4. Verificar que los equipos de redes puedan soportar IP-multicast [42] sin degradar su desempeño.

12. CONCLUSIONES

Los protocolos de enrutamiento multicast son, por lo general, más complejos que sus homólogos en unicast y su desarrollo ha sido más lento, por lo que aún presentan mayores deficiencias, sobre todo cuando se aplican a redes complejas. Sin embargo, su evolución ha sido más rápida, debido en gran medida al gran interés que ha despertado en función de sus enormes posibilidades de aplicación, tanto en redes académicas como entre las grandes y pequeñas empresas relacionadas con el sector de las telecomunicaciones. También, por qué no, por la presión de usuarios finales y empresas que hacen uso de Internet en demanda de un medio multicast que permita ampliar sus horizontes de oferta de servicios multimedia de forma eficaz y económica.

Los usuarios involucrados en una sesión multicast tendrán la capacidad de unirse a esta o abandonarla a su voluntad, mediante la implementación del protocolo IGMP. Cuando un usuario se une a una sesión multicast ha de tener la posibilidad de negociar las características de los flujos multimedia a intercambiar durante la conferencia, según sus capacidades y las que pueda brindar la plataforma.

Se logró determinar que hay bajos índices de pérdidas de paquetes, a pesar de que el transporte de este tipo de información se realiza me-

dante el protocolo UDP, que se considera bastante rápido pero poco fiable y seguro. Uno de los factores primordiales para garantizar este éxito son los protocolos de nivel superior que aseguran la transmisión, el control y la reserva de ancho de banda de los recursos en tiempo real. Sin la implementación de estos protocolos mediante la técnica de encapsulamiento sería imposible mantener comunicación en tiempo real, realizar el control y determinar el estado de la conexión entre el servidor y los clientes.

Durante el estudio y desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta los proyectos que funcionan actualmente para poder realizar este tipo de transmisiones en Latinoamérica. Por ello el modelo piloto propuesto fue orientado a la integración de las superautopistas de información suramericanas con las que funcionan en Norteamérica, como Internet 2 [43], y en Europa, como Geant [44]. Estos proyectos, que se desarrollan desde mediados de 2001 y en los que se involucran varios países latinoamericanos a través de la red académica Clara⁷, se basan en modelos de comunicación a través de redes académicas. A nivel nacional se realiza mediante el empalme y acoplamiento de la Red Renata [45], a través de la red Rumbo, donde operan varias universidades metropolitanas, para lograr integrar de esta forma una gran red académica y de investigación.

Debe existir la posibilidad de definir listas de acceso (ACL) adecuadas para equipos de routing en el momento de crear una sesión multicast. Esto con el fin de definir qué direcciones o permisos se restringen a usuarios externos.

7 Red Clara: Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas. Sitio web: http://www.redclara.net/07/02/05_11.htm

REFERENCIAS

- [1] W3C. Voice Extensible Markup Language (VoiceML). Disponible en (5-2006): <http://www.w3.org/TR/voicexml20/>
- [2] W3C. Voice Browser Control Call (CCXML). Disponible en (4-2010): <http://www.w3.org/TR/ccxml/>
- [3] W3C. Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL). Disponible en (3-2006): <http://www.w3.org/TR/SMIL/>
- [4] W3C. Synchronized Multimedia (SMIL). Disponible en (4-2010): www.w3.org/AudioVideo/
- [5] M. J. Rosenberg, *Strategies for delivering knowledge in the digital age*. Columbus, Ohio: McGraw Hill, 2001.
- [6] M. Nelson, *The data compression book*, 2ª ed. New York: M&T Books, 1995.
- [7] L. Ze-Nian y M. S. Drew. *Fundamental of multimedia. School of computing science Simon Fraser University*. Sweden, Suecia: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [8] M. Zanuy, *Tratamiento digital de voz e imagen y aplicación a la multimedia*. Barcelona: Alfaomega, 2001.
- [9] B. Kleijn y K. Paliwal, *Speech coding and synthesis*. Ámsterdam: Elsevier, 1995, cap. 3.
- [10] J. Foote, "An overview of audio information retrieval". *ACM Multimedia Systems*, vol. 7, pp. 2-10, 1999.
- [11] IETF RFC 1889. AVT de Internet Engineering Task Force. Disponible en (4-2010): <http://www.ietf.org>
- [12] T. Verma, *A perceptually based audio signal model with application to scalable audio compression*. Tesis PhD, Stanford University, 1999.
- [13] G. Stoll et al., "Extension of ISO/MPEG-audio layer II to multi-channel coding. The future standard for broadcasting, telecommunication, and multimedia applications". Proc. 94th Conv. Aud. Eng. Soc., Mar. 1993, preprint 3550.
- [14] J. Johnston et al., "The AT&T perceptual audio coder (PAC)". Presentado en AES Convention, Nueva York, Oct. 1995.
- [15] B. Edler et al., "ASAS-analysis/synthesis codec for very low bit rates". Presentado en AES 100th Convention, May. 1996.
- [16] L. Levine, *Audio representations for data compression and compressed domain processing*. Tesis PhD, Stanford University, 1998.
- [17] K. Hamdy et al. "Low bit rate high quality audio coding with combined harmonic and wavelet representations". En Proc. ICASSP, May. 1996.
- [18] D. E. Comer, *Internetworking with TCP/IP*, vol.: 1 *Principles, protocols, and architecture*, 2ª ed. Englewood Cliffs, Nueva Jersey: Prentice Hall, 1991.
- [19] Perkins, RFC 2003: "IP Encapsulation within IP". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2003.html>
- [20] W. Simpson, RFC 1853: "IP in IP Tunneling", Feb. 2001. Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1853.html>

- [21] D. Thaler, RFC 2991: "Multipath issues in unicast and multicast next-hop. Selection". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2991.html#ixzz0miS8w4nj>
- [22] J. Mogul, RFC 919: "Broadcasting Internet datagrams". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc919.html>
- [23] S. E. Deering, RFC 988: "Host extensions for IP multicasting", 1986. Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc988.html>
- [24] W. Fenner, RFC 2236: "Internet Group Management Protocol", 2ª versión. Disponible en (4-2010): www.faqs.org/rfcs/rfc2236.html
- [25] B. Cain, RFC 3376: "Internet Group Management Protocol", 3ª versión. Disponible en (4-2010): <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3376.txt>
- [26] S. E. Deering, RFC 1112: "Host extensions for IP multicasting", 1989. Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1112.html>
- [27] R. Metcalfe, RFC 919: "Broadcasting Internet datagrams", Oct. 1984, May. 1996. Disponible en (4-2010): <http://www.cse.ohio-state.edu/cgi-bin/rfc/rfc919.html>
- [28] W. Beau, *Developing IP multicast networks*, vol. 1: *Cisco system*. Indianápolis: Cisco Press, 2000.
- [29] Z. Albanna, RFC 3171: "IANA guidelines for IPv4 multicast address assignments", Disponible en (4-2010): <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3171.txt>
- [30] F. Bellman, RFC 2453: "RIP version 2. Network Working Group", 1991. Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2453.html>
- [31] Dijkstra, RFC 1245: "OSPF protocol analysis. Network Working Group", 1991. Disponible en (4-2010): www.rfc-editor.org/rfc/rfc1245.txt
- [32] M. Thomas, *OSPF network design solutions*. Indianápolis: Cisco Press, 2001.
- [33] D. Waitzman, RFC 1075: "Distance vector multicast routing protocol". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1075.html>
- [34] J. Moy, RFC 1585: "MOSPF: analysis and experience". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1585.html>
- [35] D. Estrin, RFC 2362: "Protocol Independent Multicast-sparse mode (PIM-SM)". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2362.html>
- [36] Y. Donoso y J. L. Marzo, *Una propuesta para la especificación de multidifusión IP sobre MPLS con calidad de servicio*. Universidad de Girona, 2002.
- [37] A. Adams, RFC 3973: "Protocol Independent Multicast. Dense mode (PIM-DM)". Disponible en (4-2010): <http://www.faqs.org/rfcs/rfc3973.html>
- [38] B. Fenner, RFC 4601: "Protocol Independent Multicast. Sparse mode (PIM-SM)". Disponible en (4-2010): <http://tools.ietf.org/html/rfc4601>
- [39] T. Pusateri, RFC 4602: "Protocol Independent Multicast. Sparse mode (PIM-SM): IETF proposed standard requirements analysis". Disponible en (4-2010): <http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=4602>

- [40] D. F. Estrin, *RFC 2362: "Protocol Independent Multicast. Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification"*, Jun. 1998. Disponible en (4-2010): <http://www.ietf.org/rfc/rfc2362.txt>
- [41] A. Servin, *Arquitectura de IP multicast para backbone de Internet 2 en México*. Tecnológico de Monterrey, 2002.
- [42] J. Kurouse, *Redes de ordenadores, un enfoque descendente orientado hacia Internet*. Madrid: Pearson-Addison Wesley, 2004.
- [43] Internet 2 Group. Disponible en (4-2010): <http://www.internet2.edu/>
- [44] Geant Group. Disponible en (4-2010): <http://www.geant.net/pages/home.aspx>
- [45] Renata. Disponible en (4-2010): <http://www.renata.edu.co/>