

Uso extendido de árboles de distribución multicast por emisor

Guillermo Rigotti
UNICEN – Fac. de Ciencias Exactas
ISISTAN – Grupo de Objetos y Visualización
Pje. Arroyo Seco, (7000) Tandil, Bs. As. Argentina
TE: +54-2293-440363 FAX: +54-2293-440362
Email: grigotti@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Algunas clases de aplicaciones multicast, como RTP y multicast confiable consisten de un emisor y un conjunto de receptores que envían información de feedback a dicho emisor y al conjunto de receptores.

Si el soporte multicast provisto está basado en árboles de distribución por emisor, dicha característica puede causar un overhead excesivo, especialmente en los casos en que el número de receptores crece (en el orden de miles de receptores). La razón de tal overhead es la necesidad de crear un árbol de distribución por cada receptor, para la difusión de su información de feedback.

En este artículo se presenta un uso extendido de los árboles de distribución por emisor. Esto posibilita la distribución de la información generada por los miembros (receptores) del grupo a través del árbol con raíz en el emisor. De esta manera se logra reducir la cantidad de memoria consumida en los routers como consecuencia de mantener un único árbol de distribución por aplicación.

Palabras clave: Multicast Routing, Multicast support.

1. Introducción

En la última década, la transmisión multicast en IP ha experimentado un crecimiento considerable. La creación del MBONE ha dado lugar al desarrollo de un conjunto de aplicaciones multicast con requerimientos variados y a un conjunto de protocolos de ruteo multicast basados en diferentes paradigmas.

El más extendido y probado de estos protocolos es DVMRP [DEERING 88][DEERING 91][PUSATERI 98], ampliamente utilizado en el MBONE y en otras redes con capacidad multicast. En la actualidad, existen varios protocolos de ruteo multicast, cada uno diseñado para actuar eficientemente en función de las características que presentan las aplicaciones y los grupos multicast, de manera de ofrecer una calidad de servicio aceptable y controlar el consumo de recursos en la red.

El aspecto central considerado en este trabajo se refiere al tipo de árbol de distribución construido por el protocolo de ruteo multicast.

La distribución de los paquetes multicast al grupo es llevada a cabo por los routers, y está basada en la construcción y mantenimiento de los árboles de distribución, compuestos de routers y vínculos de transmisión. Dichos árboles cubren todas las subredes con miembros de un determinado grupo.

Los protocolos que utilizan árboles de distribución por emisor, construyen un árbol por cada uno de los emisores al grupo. Dicho árbol tiene como raíz a dicho emisor, cubriendo a los miembros

100 (3)	NEW_OPT (5)	LENGTH (8)	T (2)	TTL (2)	RESERVADO (12)
DOWNSTREAM-ROUTER (32)					

Figura 1. Nueva Opción IP

del grupo. Los paquetes viajan por dicho árbol desde la raíz hacia las hojas. El sentido del árbol es unidireccional.

Los protocolos que utilizan árboles de distribución compartidos construyen un único árbol de distribución por grupo con raíz en un nodo previamente seleccionado, denominado “core” o “rendzevouz point”.

Existen dos tipos de árboles compartidos: unidireccionales y bidireccionales. En los primeros, los emisores encapsulan los paquetes multicast direccionados al grupo y los envían (unicast) a la dirección del nodo core. El core desencapsula los paquetes multicast, y los distribuye utilizando el árbol de distribución correspondiente al grupo.

En los árboles bidireccionales, un emisor¹ inyecta los paquetes multicast directamente en el árbol de distribución. Los paquetes son propagados por todas las ramas del árbol.

Para que un protocolo de ruteo multicast sea capaz de operar en el ámbito de la Internet, debe satisfacer distintos tipos de requerimientos.

Desde el punto de vista de las aplicaciones, debe proveer una calidad de servicio aceptable, tal como ancho de banda asegurado, demoras acotadas punta a punta, etc.

Desde el punto de vista de la red, debe tratar de reducir la cantidad de recursos consumidos como consecuencia de su operación.

Estos requerimientos, en particular los recursos de red consumidos, tópico de este artículo, pueden ser satisfechos a través de la cooperación entre las aplicaciones² y el nivel de red.

Las interacciones que surgen de esta manera entre aplicaciones y nivel de red no significan una pérdida de transparencia de la infraestructura de soporte multicast con respecto al nivel de aplicación.

Estas interacciones deben ser consideradas en un marco general en el cual se provee una API a través de la cual las aplicaciones expresan sus requerimientos al nivel de red y éste, en la medida de lo posible, mapea dichos requerimientos a características operacionales del soporte multicast, de manera transparente a las aplicaciones.

2. Generalidades de la solución propuesta

Con el soporte provisto por la nueva funcionalidad multicast a nivel de red y su API correspondiente, una aplicación receptora (M) miembro de un grupo (G), puede solicitar al nivel de red el envío de información de feedback o de control destinada al emisor del grupo (S) y al resto de los miembros.

Los paquetes generados recorrerán los routers pertenecientes al árbol de distribución con raíz en S en dirección M a S (hoja-raíz desde el punto de vista del árbol de distribución con raíz en S).

Cada paquete especial (identificado por una nueva opción IP) recibido por un router perteneciente al árbol de distribución es enviado al próximo router del árbol (upstream) en dirección a la raíz (S). Además, el paquete multicast original, será desencapsulado y distribuido en el subárbol con raíz en el router, como cualquier otro paquete multicast originado por el emisor (S).

¹ En el caso de un emisor en una red perteneciente al árbol de distribución. En otro caso, el emisor procede como fue descripto para árboles compartidos unidireccionales.

² La palabra ‘aplicación’ se refiere al soporte multicast a nivel usuario (sobre UDP), tal como protocolos de transporte para multicast confiable.

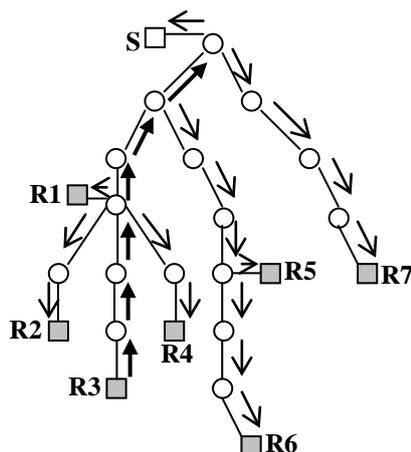


Figura 2. Un paquete "reversed" originado por el receptor R3 es enviado a través del árbol de distribución (S,G), con raíz en S. Los routers se indican con círculos. El origen S y los receptores Ri con cuadrados. Las flechas gruesas indican paquetes "reversed" viajando por el árbol en dirección hojas-raíz hacia S. Las finas representan paquetes multicast desencapsulados originados en R3 e inyectados en el árbol por el router correspondiente.

Las aplicaciones deben ser capaces de distinguir los paquetes multicast originados por S de aquellos originados por los miembros del grupo. Debido a que ambos tipos de paquetes llevan direcciones idénticas (S y G) las aplicaciones deben poder distinguir por otros medios el origen de un paquete. Por ejemplo, a través del uso de ports diferentes para datos e información de control.

La implementación de la nueva funcionalidad propuesta no requiere cambios significativos en el código de los routers. De la misma manera que en mtrace[FENNER 98], un paquete es enviado unicast por cada router a su upstream, cuya dirección se determina utilizando la información disponible en el router.

La ventaja principal de esta solución se aprecia en aplicaciones con un emisor y una gran cantidad de receptores enviando información de feedback al emisor y al resto de los receptores.

Por ejemplo, en el caso de un emisor RTP [SCHULZRINNE 89] enviando información a miles de receptores, cada receptor debe enviar reportes periódicos al emisor. Estos reportes deben ser recibidos a su vez por los demás receptores, para adaptar su tasa de envío basados en el volumen de la información de feedback.

En el caso de protocolos de ruteo multicast que construyen árboles por emisor, es necesario construir y mantener un árbol por cada receptor RTP, ocasionando un overhead significativo en routers y vínculos de transmisión.

En el caso de contar con la capacidad de envío de información desde las hojas hacia la raíz, sólo es necesario un árbol de distribución (el utilizado para el envío de la información RTP), con raíz en el emisor y cubriendo a la totalidad de los receptores. Este árbol será utilizado tanto para el envío de datos originados por el emisor como para el envío de la información de feedback originada por los receptores.

Una consecuencia adicional consiste en que los paquetes conteniendo información de feedback viajan por el árbol de distribución siguiendo el camino inverso al de los datos; los protocolos de transporte multicast, por ejemplo multicast confiable o los translators RTCP pueden explotar esta característica topológica para reducir exposición o localizar procesos a subárboles.

3. La nueva opción IP

Los paquetes que encapsulan información de feedback deben recibir tratamiento especial en cada router y necesitan llevar cierta información de control. Esto se logra a través de una nueva opción IP[6] con valores adecuados en sus campos.

La figura 1 muestra el formato de esta nueva opción. Sus campos son los siguientes:

- Tipo de Opción (Option Type):
 - Flag de copia (Copied Flag) = 1
 - Clase de opción (Option Class) = 0
- Número de opción (Option number) = A ser definido. Indica que el paquete debe recibir tratamiento especial en el router.
- Longitud opción (Option Length): 8
- T (Tipo): Tipo de paquete:
 - 00: (reversed): Indica que el paquete es enviado en dirección hoja-raíz en el árbol de distribución correspondiente a la dirección del paquete multicast encapsulado.
 - 01: (normal): Indica que el paquete es enviado en el sentido raíz-hojas en el árbol de distribución correspondiente a la dirección del datagram multicast encapsulado.
 - 10: Reservado.
 - 11: Reservado.
- TTL: Indica el valor que un router colocará en el campo TTL de un paquete multicast que desencapsula previamente a inyectarlo en el subárbol del cual es raíz:
 - 00: Desencapsular el paquete multicast preservando su valor de TTL original.
 - 01: El valor de TTL del paquete multicast será el valor restante del campo TTL del paquete RVM que lo encapsula.
 - 10: Reservado.
 - 11: Reservado.
- Downstream router: Dirección del último router que ha reenviado el paquete. Esta dirección corresponde a la interfaz a través de la cual el paquete ha sido enviado.

4. Operación

En las siguientes secciones se describe la operación de routers y hosts, contemplando el uso de la opción RVM [RIGOTTI 99] en vínculos punto a punto y en vínculos multiacceso.

4.1. Generación de un paquete RVM (reversed)

Un receptor de una aplicación multicast es un miembro (M1) del grupo (G) utilizado por el emisor (S) para enviar sus paquetes a los receptores.

Cuando un receptor necesita enviar información de feedback al emisor (S) y a los otros receptores (por ejemplo un receptor RTP que genera un report RTCP), construye un paquete multicast que contiene dicha información de feedback.

El paquete multicast es generado con dirección de destino G y dirección de origen S, en lugar de M1. Luego la aplicación solicita al nivel de red el envío del paquete en modo RVM.

Cuando solicita el envío, la aplicación debe tener medios (provistos por el API del nivel de red) para configurar el valor de TTL del paquete multicast, el del paquete RVM, y el tipo de tratamiento que cada router dará al TTL del paquete multicast al desencapsularlo para su distribución.

Como ya fue mencionado, la aplicación debe disponer de medios para distinguir el origen de un paquete multicast, ya que tanto paquetes de datos emitidos por S como paquetes con información de feedback emitidos por otros receptores serán recibidos con dirección (S,G). Estos medios consisten por ejemplo en el uso de diferentes ports o de campos específicos en las PDU de la aplicación.

Al recibir el requerimiento de envío por parte de la aplicación, el nivel de red del host donde ésta reside genera un paquete IP con la opción RVM, tipo reversed, en el cual encapsula el paquete multicast para el que se solicitó su envío en modo RVM.

El paquete RVM es generado con el siguiente contenido en los campos de la opción:

- Tipo especifica la dirección en la cual debe ser enviado el paquete, en este caso hoja-raíz (reversed).
- "Downstream router" contiene la dirección IP de la interfaz local a través de la cual se envía el paquete hacia el router upstream.
- TTL en la opción RVM indica el tratamiento a dar al campo TTL del paquete multicast al desencapsularlo. Esta opción posibilita que las aplicaciones controlen el alcance de los paquetes con información de feedback. El alcance se refiere por un lado a la cantidad de routers que el paquete viajará en dirección al emisor (S) – campo TTL del paquete RVM – y por otro lado a la distancia a la cual será difundido el paquete desencapsulado desde cada router – campo TTL del paquete multicast y tratamiento de dicho campo en los routers -.

4.2. Envío de un paquete RVM (reversed)

Un paquete RVM (reversed) es enviado router por router en el árbol de distribución, hacia el origen (S), siguiendo la dirección opuesta a los paquetes multicast generados por S.

Los paquetes son enviados por un router a su upstream, en el caso en que su dirección sea conocida.

En el caso de un host, el cual no tiene conocimiento de información de ruteo, los paquetes son enviados multicast a la dirección “todos los routers en la subred” (224.0.0.2) a través de la interfaz por la cual el host ha realizado el join al grupo (es decir, ha enviado la solicitud IGMP).

En este caso, sólo el Designated Forwarder para el árbol (S,G) (en una red multiacceso) procesará el paquete.

4.3. Recepción de un paquete RVM (reversed)

Las acciones realizadas por los routers al recibir un paquete RVM (reversed) son las siguientes:

- Aceptar o descartar el paquete.
- En caso de aceptarlo, procesarlo:
 - Generar un paquete RVM (reversed) para ser enviado al router upstream.
 - Inyectar el paquete multicast desencapsulado en el subárbol de (S,G) del cual este router es raíz, con excepción del subárbol con raíz en el router que ha enviado el paquete RVM (reversed).

Un paquete RVM (reversed) sólo será aceptado si proviene de un router downstream en el árbol de distribución correspondiente al paquete multicast encapsulado.

Si el paquete recibido está direccionado a “todos los routers en la subred”, será aceptado si se satisfacen las siguientes condiciones:

- La interfaz a través de la cual se recibió el paquete es downstream con respecto al árbol (S,G) y,
- El router es el designated forwarder para (S,G) en dicha interfaz (esta condición es necesaria para evitar la generación de paquetes duplicados).

Si el paquete recibido está direccionado al router, será descartado si el router que lo ha enviado no es un downstream con respecto a la dirección -(S,G)- del paquete multicast encapsulado.

En cualquier caso, el paquete será descartado si su TTL llega a cero.

La propagación de un paquete RVM (reversed) hacia el origen (S) se realiza de la siguiente manera:

- Determinar la dirección del router upstream con respecto al origen (S) del paquete multicast encapsulado.
- Reemplazar el campo "downstream router" de la opción RVM con la dirección local de la interfaz hacia el router upstream.
- Decrementar en uno el campo TTL del paquete RVM (reversed).
- Enviar el paquete RVM (reversed) modificado de la manera descrita en la sección 4.2.

La propagación del paquete multicast desencapsulado en el subárbol con raíz en este router debe ser realizada de manera tal de evitar el envío del paquete al router desde donde provino el correspondiente paquete RVM (reversed):

- El paquete será enviado a través de todas las interfaces de salida (oifs) contenidas en la entrada MFC de la FIB para (S,G), con excepción de aquella asociada al router que ha enviado el paquete RVM (reversed) (oif_r).
- En el caso de que esta interfaz (oif_r) sea multiacceso, es posible que existan otros routers downstream y/o host miembros conectados al vínculo correspondiente. Para hacer posible que ellos reciban el paquete multicast desencapsulado, el router procede de la manera descrita en la sección 4.4.

4.4. Generación y envío de un paquete RVM (normal)

Un paquete RVM (normal) tiene el mismo formato que uno RVM (reversed). Es enviado en dirección raíz-hojas en el árbol de distribución (S,G).

El objeto de este tipo de paquete es posibilitar la operación en vínculos multiacceso. Cuando un router recibe un paquete RVM (reversed) a través de una interfaz downstream multiacceso, envía un paquete RVM (normal) a través de dicha interfaz. Cada uno de los routers o hosts en esta interfaz tendrá la responsabilidad de aceptar o rechazar el paquete multicast encapsulado.

Para generar un paquete RVM (normal), el router cambia el tipo en la opción RVM, de reversed a normal dejando sin cambiar el campo TTL. Luego envía dicho paquete sobre el vínculo multicast, con dirección "todos los sistemas en la subred" (224.0.0.1). Debe tenerse en cuenta que a pesar de que este paquete es enviado con un TTL mayor que uno, los routers no lo propagarán más allá de la red local debido a que está direccionado a un grupo multicast "well-known".

De esta manera, todos los routers y hosts en el vínculo multiacceso reciben el paquete, y operan de acuerdo a lo descrito en la sección 4.5.

4.5. Recepción de un paquete RVM (normal)

Un router sólo aceptará un paquete RVM (normal) si es recibido a través de la interfaz de arribo (iif) desde el origen que corresponde a las direcciones del paquete multicast encapsulado.

En ese caso, el router deberá chequear el campo "downstream router" de la opción RVM. Si su contenido coincide con su propia dirección en la interfaz, significa que este router es el que ha enviado el paquete RVM (reversed) correspondiente, y por lo tanto, el paquete recibido será descartado.

Si dicho campo no coincide con la dirección IP de la interfaz local, significa que el paquete RVM (reversed) ha sido enviado por otro router, y por lo tanto debe ser procesado.

El proceso consiste en la desencapsulación del paquete multicast y su envío por todas las interfaces de salida de la entrada MFC para (S,G). Su campo TTL es configurado de acuerdo a los valores TTL del paquete RVM, del paquete multicast encapsulado y al valor del campo TTL de la opción RVM.

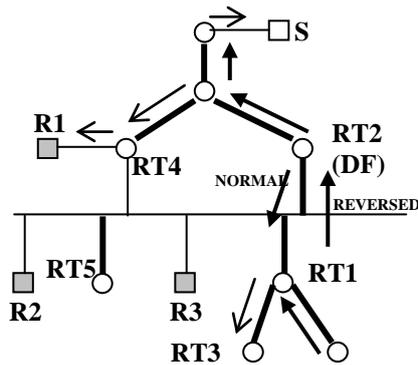


Figura 3 Operación multiacceso. Los vínculos pertenecientes al árbol de distribución (sólo entre routers) se representan con línea gruesa. Los paquetes reversed que contienen paquetes multicast encapsulados con flechas gruesas. Los paquetes multicast desencapsulados con flechas finas.

Un host acepta el paquete RVM (normal) si llega por una interfaz a través de la cual se ha realizado un join al grupo correspondiente a la dirección (G) del paquete multicast encapsulado.

El nivel de red en el host será responsable de la desencapsulación del paquete multicast y de su entrega a las aplicaciones interesadas.

La figura 2 muestra la operación de los routers multicast. En ella se muestra un árbol por emisor con raíz en S. Los routers se indican con círculos y los miembros del grupo multicast (receptores de la aplicación) con cuadrados.

Cada receptor envía información de feedback o de control que debe ser recibida por el emisor (S) y por el resto de los receptores.

La información originada por el emisor S (no mostrada en la figura) consiste en paquetes multicast con direcciones de origen y destino S y G respectivamente. Estos paquetes son enviados normalmente a través del árbol de distribución mostrado.

Las flechas gruesas representan los paquetes RVM (reversed) originados por el nivel IP en un receptor (en este caso R3). Estos paquetes son generados en respuesta a requerimientos de la aplicación y encapsulan a paquetes multicast con información de feedback de nivel aplicación. Esta información será distribuida al emisor y a los demás receptores.

Los paquetes son enviados router por router hacia el origen S, utilizando la información disponible en cada router para determinar el próximo. El paquete RVM (reversed) llega finalmente a S o es descartado por un router en caso de que su TTL llegue a cero.

Al recibir un paquete RVM (reversed), además de propagar el paquete hacia su upstream, un router desencapsula el paquete multicast generado por la aplicación y lo inyecta en el subárbol del cual él es raíz. Este paquete viajará como uno generado por el emisor S, debido a que ha sido generado con direcciones (S,G). Esto se indica con flechas finas en la figura.

Debe tenerse en cuenta que los paquetes multicast desencapsulados son distribuidos en forma selectiva por cada router que los desencapsula, quien evita enviarlos por la interfaz downstream por la cual arribó el paquete RVM (reversed).

Un host miembro del grupo recibe un paquete multicast desencapsulado de su designated router, de la misma manera en que lo recibe un router. Este es el caso de R1 y en particular S, en la figura 2.

Las interacciones entre el host donde reside la aplicación (en este caso R3) y su designated router requieren aclaraciones adicionales. Debido a que el host no tiene necesariamente conocimiento de la dirección unicast del designated router en la LAN, los paquetes deben ser direccionados a "todos los routers multicast en la subred". De esta manera, los paquetes serán recibidos por todos los routers pero procesados sólo por el designated router.

En las siguientes situaciones se deben generar paquetes RVM (normal):

1. Un router no tiene manera de determinar sobre qué interfaces propagar el paquete desencapsulado o,
2. El paquete RVM (reversed) arriba sobre una interfaz multiacceso.

En ambos casos, el router genera un paquete RVM (normal) y lo distribuye en lugar de distribuir el paquete multicast encapsulado, delegando la responsabilidad de la distribución del paquete multicast a cada router downstream.

Un paquete RVM (normal) es enviado en dirección opuesta (raíz-hojas) a la de un paquete RVM (reversed).

La figura 3 muestra una red multiacceso con dos hosts miembros del grupo G: R2 y R3, y cuatro routers, RT5, RT4, RT2 (designated router) y RT1. RT1 recibe un paquete RVM (reversed) de su router downstream. Su responsabilidad consiste en desencapsular el paquete y distribuirlo en el subárbol correspondiente (a RT3) y propagar el paquete RVM (reversed) hacia S.

RT1 envía un paquete RVM (reversed) direccionado a RT2, quien deberá inyectarlo en la red multiacceso.³

Si RT2 desencapsula el paquete multicast y lo inyecta en el árbol de distribución (con dirección (S,G)), este paquete será aceptado por R2, R3 RT5, y RT1, quien no tiene manera de determinar que se trata de un duplicado.

Para evitar esta situación, RT2 cambia el paquete RVM de reversed a normal, y lo envía multicast con direcciones (S,G). Este paquete será aceptado por los hosts R2 y R3, y por los routers RT1 y RT5. RT1 determina que el paquete es un duplicado debido a que el contenido del campo “downstream router” de la opción RVM coincide con la dirección IP local de la interfaz de arriba, y en consecuencia lo descarta.

RT5, R2 y R3, desencapsulan el paquete multicast y lo procesan normalmente como si fuera un paquete originado por S.

5. Análisis

El uso de RVM influye sobre varios aspectos: carga en los vínculos de transmisión, demoras entre los receptores y overhead de memoria y proceso en los routers.

Estos aspectos serán analizados de manera general, pero debe ser tenido en cuenta que la ventaja de utilizar RVM depende de las características de la aplicación (número de receptores, generación de información de feedback a intervalos regulares o esporádica) y de las características del soporte multicast (pertenencia implícita o explícita, tiempo de validez de la información de podas).

En este análisis no se considera la explotación de las características topológicas inherentes a RVM que podrían disminuir el overhead. Esta disminución podría producirse debido a que la aplicación podría inyectar la información de feedback en forma selectiva en ciertos subárboles o llevar a cabo procesos localizados de la información para reducir el volumen de la transmisión. La explotación de estas características topológicas por las aplicaciones queda abierta a futura investigación.

5.1 Overhead en vínculos de transmisión

Los paquetes a ser transmitidos son de dos tipos, paquetes de datos (datos y feedback desde el punto de vista de la aplicación) y paquetes de control, generados por el protocolo de ruteo multicast para construir y mantener los árboles de distribución, y paquetes RVM que encapsulan los paquetes

³ Tener en cuenta que un paquete “reverse” originado por un host local, es enviado a la dirección multicast “todos los routers en la subred” pero procesado sólo por RT2.

multicast; estos últimos producen un overhead de 28 bytes debido a la encapsulación y a la opción RVM.

Para simplificar el análisis, se supone que la información de feedback generada por un receptor debe ser propagada al resto de los receptores y al emisor. Se consideran dos casos, receptores que envían información de feedback de manera esporádica, disparada por un evento (como por ejemplo un paquete perdido en SRM [FLOYD 96]), o receptores que envían en forma periódica (el caso de RTCP).

Para comparar el overhead producido por RVM con el producido como consecuencia de utilizar un árbol de distribución por cada uno de los receptores que envían feedback, se tiene en cuenta lo siguiente:

S: emisor de los paquetes de datos (desde el punto de vista de la aplicación).

R: conjunto de los receptores de la aplicación, R_i .

Cf: carga en paquetes como consecuencia del flooding inicial producido por protocolos con esquema de pertenencia implícita. Esta carga no incluye los mensajes de poda generados por los routers no interesados en recibir dichos paquetes, y es considerada la misma para cada receptor R_i que genera un paquete multicast.

Pr: carga en bytes debido a mensajes de poda; es considerada la misma para todo árbol de distribución.

CR $_i$: carga en paquetes generada por el envío de un paquete multicast a través del árbol de distribución con raíz en el receptor R_i y que cubre al origen S y a los demás receptores.

CS: carga en paquetes generada por el envío de un paquete multicast sobre el árbol de distribución con raíz en S y que cubre a todos los receptores.

Di: distancia en routers desde S a un R_i , utilizando el árbol de distribución con raíz en S.

Orvm: overhead en bytes debido a la encapsulación de un paquete multicast en uno RVM (28 bytes).

Pl: longitud en bytes de un paquete multicast (con información de feedback) generado por un receptor.

En el caso de protocolos de ruteo multicast con mecanismos de pertenencia implícita, como PIM-DM o DVMRP, es posible estimar de manera gruesa la carga generada por un receptor R_i durante un período de tiempo en el cual produce N_i paquetes de feedback. Como fue mencionado, las situaciones consideradas son las siguientes:

Transmisiones esporádicas con intervalos entre dos transmisiones sucesivas mayores que el tiempo de vida de la información de poda del protocolo de ruteo multicast (utilización de árboles de distribución con raíz en cada receptor):

$$St_i = N_i * (Cf * Pl + Pr)$$

Transmisiones periódicas, con intervalos entre dos transmisiones sucesivas menores que el tiempo de vida de la información de poda del protocolo de ruteo multicast:

$$Rt_i = C_i * Pl * (N_i - 1) + Cf * Pl + Pr$$

Transmisiones (esporádicas o regulares) utilizando RVM (un único árbol de distribución con raíz en S)

$$RVMt_i = C_s * Pl * N_i + D_i * Orvm * N_i$$

Para facilitar la comparación entre las expresiones anteriores, consideramos un receptor promedio con un costo $C_i = C_s$.

Esta suposición está basada en el hecho de que la ubicación del emisor (S) de una aplicación no depende de la red, como puede ocurrir en el caso de un nodo core, que puede ser ubicado en una posición estratégica.

Puede verse que el uso de RVM genera menor carga en la red que el uso de múltiples árboles de distribución en el caso de transmisiones esporádicas, debido a que el costo de flooding en el que se incurre al enviar cada paquete es mayor que el costo de la encapsulación RVM ($C_f * P_l + P_r$ contra O_{rvm}).

En el caso de transmisiones periódicas, el uso de un árbol de distribución por receptor produce un flooding al comienzo de cada período de flooding y poda; este overhead debe ser comparado con el producido por RVM ($C_f * P_l + P_r$ contra $O_{rvm} * \text{número de transmisiones en cada período de flooding y poda}$). Esta relación depende de la longitud de los paquetes de datos, del número de paquetes enviados en cada intervalo y del número y distribución de los receptores en la red.

Además, la magnitud de P_r y C_f depende del protocolo de ruteo multicast utilizado. DVMRP produce menor overhead que PIM-DM debido a su flooding selectivo sólo a los routers dependientes con respecto a la raíz del árbol.

En el caso de protocolos con mecanismos de pertenencia explícita, el overhead es menor que en el caso anterior, debido a que la información de control intercambiada para crear y mantener los árboles de distribución está restringida a los routers y vínculos pertenecientes a los árboles con raíz en los receptores de la aplicación. La carga depende además del tiempo de vida de las entradas en los routers y no de la cantidad de datos enviada.

RVM produce una concentración de tráfico en los vínculos pertenecientes al árbol de distribución con raíz en el emisor de la aplicación, ya que éstos deben soportar los datos de la aplicación y la información de feedback.

Sin embargo, esta característica no representa un problema ya que la información de feedback o bien es esporádica o bien está acotada a través de mecanismos propios de cada aplicación, como en el caso de RTP/RTCP, donde su volumen no puede superar el 5% del volumen de los datos.

5.2 Demoras

Las demoras producidas por el nivel de red tienen una fuerte influencia sobre las aplicaciones.

En aplicaciones como videoconferencia, las demoras entre los receptores deben estar acotadas para que sea posible ofrecer una calidad de servicio aceptable.

Las demoras entre receptores influyen en forma directa en la tasa de envío de los reportes RTCP, que permiten mantener acotado el volumen de la información de control y proveer un feedback lo más preciso posible de los receptores al emisor.

Las demoras entre receptores son también importantes en casos como el de SRM, ya que su performance depende de la sintonía de los timers utilizados para solicitud de retransmisiones de paquetes en error y para efectuar dichas retransmisiones.

Un aspecto importante a ser analizado es el de las demoras producidas como consecuencia del uso de RVM y su comparación con las producidas utilizando un árbol de distribución por cada receptor para la distribución de la información de feedback.

Las alternativas a RVM consisten en el uso de múltiples árboles por emisor con raíz en cada receptor (a nivel aplicación), como en el caso de PIM-DM o DVMRP, o mecanismos de pertenencia explícita con árboles compartidos⁴ unidireccionales o bidireccionales, como en el caso de PIM-SM [DEERING 96] o CBT [BALLARDIE 97] [BALLARDIE 98] respectivamente.

El uso de RVM produce mayores demoras que el uso de árboles específicos. Estas demoras, producidas como consecuencia del uso del árbol con raíz en el emisor de la aplicación, son las mismas

⁴ En este caso, el uso de RVM no es posible debido a que los routers no tienen referencia a una interfaz hacia el origen del paquete, sino al core.

que las que se obtendrían como consecuencia de utilizar un árbol compartido bidireccional con su core ubicado en el lugar del emisor; y, en el caso más desfavorable, duplican la demora emisor-receptor.

En el caso de transmisiones esporádicas combinadas con mecanismos de pertenencia explícita, existe un compromiso entre overhead y demoras. Si los árboles con raíz en cada receptor son creados previamente a la (posible) transmisión de información de feedback o de control por parte del receptor, el overhead producido por la creación y mantenimiento de dichos árboles puede ser excesivo.

Si cada árbol es creado cuando el receptor necesita enviar información, el proceso de joining puede introducir demoras inaceptables para la aplicación.

5.3 Overhead en routers

El overhead producido en los routers se refiere a los aspectos ocupación de memoria y volumen de proceso.

La cantidad de memoria rápida en los routers depende del número de entradas en la FIB (Forward Information Base). Estas entradas deben ser accedidas cada vez que arriba un paquete multicast al router.

RVM produce una reducción en la memoria rápida que es proporcional al número de receptores de la aplicación, debido a la necesidad de mantener un único árbol de distribución. Para llevar a cabo el proceso de paquetes RVM, no es necesaria memoria adicional en los routers.

En el caso de utilizar un árbol de distribución por receptor, la memoria ocupada en los routers crece en una proporción relacionada con el número de receptores de la aplicación.

En protocolos con mecanismos de pertenencia explícita, sólo son afectados los routers pertenecientes a los árboles de distribución creados. En protocolos con mecanismos de pertenencia implícita, todos los routers del dominio son afectados debido a la necesidad de mantener entradas negativas en las caches (negative cache entries en PIM-DM o DVMRP).

Una entrada en la FIB ocupa aproximadamente 13 bytes: 32 bits para la dirección de grupo, 32 bits para la dirección del origen, 5 bits para la interfaz de arribo y 32 bits para la lista de interfaces de salida. No se consideran los timers y flags necesarios para el mantenimiento de las entradas ya que éstos no ocupan memoria rápida en los routers.

El proceso adicional debido a la utilización de RVM afecta sólo a los routers pertenecientes al árbol de distribución con raíz en el emisor de la aplicación. Estos routers deben desencapsular cada paquete multicast contenido en cada paquete RVM recibido. Luego deben generar un nuevo valor de TTL para el paquete multicast, y por último, entregar el paquete multicast al mecanismo de distribución utilizado para difundir estos paquetes.

Además, el paquete RVM debe ser modificado antes de ser enviado al nodo upstream para cambiar la dirección contenida en el campo "downstream router" de la opción.

El costo de realizar estas operaciones es mínimo, demandando sólo unas pocas instrucciones. Además debe tenerse en cuenta que la cantidad de paquetes RVM procesados por un router depende de la cantidad de receptores que dependen (downstream en el árbol de distribución) de él. Esto significa que el overhead será mayor en los routers cercanos al emisor de la aplicación.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

La extensión a multicast en IP presentada posibilita el uso de árboles de distribución por emisor para el envío de información de control desde las hojas hacia la raíz.

El campo de aplicación de RVM consiste en aplicaciones con una gran cantidad de receptores enviando feedback y que requieren el uso de información topológica para reducir la cantidad de recursos consumidos en la red y/o mejorar la performance y calidad de servicio ofrecida.

En estos casos, el uso de un árbol por emisor por cada receptor de la aplicación produce un overhead excesivo, mientras que el uso de árboles compartidos impide el uso de información topológica para mejorar la performance.

El uso de RVM no implica pérdida de transparencia de la infraestructura multicast con respecto a las aplicaciones. Debe ser considerado en un contexto en el cual se provee un conjunto de funciones para soporte multicast a través de un API multicast general. Esto posibilitará la cooperación entre las aplicaciones y el soporte a nivel de red de manera de explotar cuando sea posible la combinación entre características de las aplicaciones y características del soporte multicast, obteniendo menor consumo de recursos y mejor calidad de servicio

La principal ventaja de RVM es una reducción significativa de los recursos de red consumidos, principalmente memoria rápida en routers y ancho de banda en los vínculos de transmisión.

La reducción en memoria se debe al mantenimiento de menor cantidad de entradas en la FIB, mientras que el ancho de banda es reducido como consecuencia de evitar el flooding periódico de los datos en la red para cada receptor. La magnitud de estas reducciones es del orden de la cantidad de receptores de la aplicación.

En ciertos casos, dependiendo de la aplicación, los paquetes multicast pueden ser restringidos a ciertas subredes utilizando la noción de topología inherente a RVM, causando una mayor reducción en los recursos consumidos.

Las ventajas mencionadas deben ser contrastadas con el overhead en routers producido como consecuencia del proceso RVM y el posible incremento de las demoras entre receptores.

RVM ofrece ventajas adicionales, por ejemplo su uso permite fácilmente localizar procesos a subárboles para reducir el volumen de la información a enviar y evitar exposición no deseada. Estos aspectos están siendo analizados y serán evaluados a través de simulación.

Otro aspecto de interés a analizar es la manera en que RVM se relaciona con propuestas específicas concernientes a protocolos de multicast confiable, como por ejemplo PGM [SPEAKMAN 98] y OTERS [LI 98].

7. Referencias

[BALLARDIE 97] A. Ballardie, "Core based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture", RFC 2201, September 1997.

[BALLARDIE 98] A. Ballardie, B. Cain, Z. Zhang, "Core Based Trees (CBT version 3) Multicast Routing – Protocol Specification", Internet Draft, <draft-ietf-idmr-cbt-spec-v3-00.txt>, March 1998.

[DEERING 88] S. Deering, C. Partridge, D. Waitzman, "Distance Vector Multicast Routing Protocol", RFC 1075, November 1988.

[DEERING 91] S. Deering, "Multicast Routing in a Datagram Internetwork", Ph.D. dissertation, Stanford Univ., Palo Alto, CA., Dec. 1991.

[DEERING 96] S. Deering, D. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, C. Liu, L. Wei, "The PIM Architecture for Wide Area Multicast Routing", IEEE/ACM Trans. Networking, Vol 4 pp 153-162, Apr. 1996.

[DEERING 98] S. Deering, D. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, A. Helmy, D. Meyer, L. Wei, "Protocol Independent Multicast Version 2 Dense Mode Specification", Internet Draft, <draft-ietf-pim-v2-dm-01.txt>, Nov. 1998.

[FENNER 98] W. Fenner, S. Casner, "A 'traceroute' facility for IP Multicast", Internet Draft, August 1998. <draft-ietf-idmr-ipm-03.txt>.

[FLOYD 96] S. Floyd, V. Jacobson, C. Liu, S. McCanne, L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Lightweight Session and Application Layer Framing", Proc. ACM SIGCOMM'95, Aug. 1995.

[LI 98] D. Li, D. Cheriton, "OTERS (On-Tree Efficient Recovery using Subcasting): A Reliable Multicast Protocol", Department of Computer Science, Stanford University, 1998.

[POSTEL 81] J. Postel, "Internet protocol", RFC 791. September 1981.

[PUSATERI 98] T. Pusateri, "Distance Vector Multicast Routing Protocol, version 3", Internet draft, March 1998. <draft-ietf-idmr-dvmrp-v3-06.txt>.

[RIGOTTI 99] G. Rigotti, "Reversed Multicast (RVM)", Internet Draft, <draft-rigotti-rvm-00.txt>, May 1999.

[SCHULZRINNE 89] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 1889, Jan. 1996.

[SPEAKMAN 98] T. Speakman, D. Farinacci, S. Lin, A. Tweedly, "PGM Reliable Transport Protocol Specification", Internet draft, <draft-speakman-pgm-spec-02.txt>, August 1998.