

S.oporte para emisores móviles multicast en PIM-SM

Guillermo Rigotti

UNICEN – Fac. de Ciencias Exactas-ISISTAN

TE: +54-2293-439682 FAX: +54-2293-439681 Email: grigotti@exa.unicen.edu.ar

Abstract. Los protocolos multicast fueron concebidos antes de la aparición de movilidad, y por lo tanto carecen de mecanismos para soportar emisores y/o receptores multicast móviles. En la actualidad, las soluciones propuestas se basan en agregado de funcionalidad externa al protocolo multicast. En este trabajo se presenta una alternativa diferente, que consiste en agregar funcionalidad al protocolo multicast, de manera que pueda manejar emisores móviles sin necesidad de mecanismos externos. El protocolo modificado fue PIM-SM, debido a ser el de mayor difusión en el ámbito de la Internet y presentar versatilidad en cuanto a diferentes alternativas de árboles de distribución.

Keywords: Mobility, Multicast, PIM-SM.

1 Introducción

El servicio multicast en la Internet definido en [1] posibilita la comunicación eficiente entre un emisor y varios receptores. El protocolo multicast más difundido es PIM en sus diferentes versiones, modos denso [2], disperso [3] y bidireccional [4].

Con la aparición de dispositivos móviles como laptops y PDAs, surge la necesidad de desarrollar un soporte para movilidad que permita a esos dispositivos mantener conectividad a nivel de red y superiores mientras se trasladan. Este soporte ha sido desarrollado para IPv4 [5] y mejorado en IPv6 [6]. El principal problema que se intenta resolver es hacer transparente a las aplicaciones el cambio de dirección IP que implica el traslado de los equipos móviles de una red a otra.

La aparición de aplicaciones que demandan transmisión multicast en entornos móviles, como videoconferencias y otras produce la necesidad de desarrollar técnicas que permitan la implementación de servicios multicast en escenarios en los cuales encontramos emisores y/o receptores móviles.

En [6] se considera brevemente este problema, proponiéndose dos alternativas extremas: 1- túnel bidireccional entre el móvil y su Home Agent, con lo cual el equipo móvil es identificado por su dirección original (HoA) y 2- suscripción remota, en la que el móvil se agrega al árbol multicast cada vez que cambia su dirección (CoA). La primera se caracteriza por su bajo overhead en la señalización multicast y un camino no eficiente seguido por los datos; la segunda presenta un overhead de señalización importante pero mayor eficiencia en el envío de datos.

Se han desarrollado soluciones intermedias que mejoran a las anteriores, basadas en general en el agregado de funciones a los routers, sin interferir con los protocolos multicast. Sin embargo, la adaptación del protocolo de ruteo multicast a movilidad presenta ventajas en eficiencia, consumo de recursos y complejidad del software.

Se presenta aquí una propuesta consistente en modificaciones al protocolo PIM—SM para soportar emisores móviles en IP versión 6. Consiste en agregar a PIM la capacidad de discernir entre el emisor móvil (identificado por su HoA) y su ubicación corriente (la CoA del emisor en un momento dado). De esta forma, los cambios de ubicación del emisor pueden ser tratados a nivel de PIM, logrando una mayor eficiencia que con soluciones a más alto nivel y manteniendo la compatibilidad con su versión no móvil. El RP de un grupo detecta el cambio de ubicación de los emisores, y es responsable de informarlo a los routers que conforman el árbol de distribución. Los criterios para el paso de árbol compartido por grupo a árbol específico, tanto para el RP como para los receptores, dependen, como en la versión no móvil, de las políticas de cada router, considerando ahora aspectos de la movilidad de cada emisor.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera, en la sección 2 se hace una referencia breve a trabajos relacionados, en la sección 3 se describen los aspectos más relevantes de la propuesta, comparándola con PIM-SM; en la sección 4 se describen los cambios que deben ser realizados a PIM-SM. En la sección 5 se realiza un primer análisis acerca de la performance de PIM modificado. Finalmente, en la sección 6 se enuncian las conclusiones obtenidas como resultado de este trabajo y se mencionan los aspectos en que éste se continuará. La sección 7 contiene la bibliografía relevante.

2 Trabajo relacionado

Se describe a continuación dos intentos de incorporar movilidad a protocolos multicast, el segundo referido a PIM-SM.

En [7] se propone DVMRPv6, una adaptación de DVMRP [9] a IP versión 6, que incluye modificaciones a DVMRP, y a los encabezamientos de los protocolos IPv6, Multicast Listener Discovery (MLD) [10], para solicitud de forwarding al grupo por todas las interfaces, y Neighbor Discovery (ND) [10] para informar al router que se trata de un emisor móvil que ha cambiado de red. Como se trata de un paradigma inundación y poda, sólo se considera el problema de los emisores móviles. Cuando un emisor se traslada, se crea un camino desde el nuevo router hasta el anterior (raíz del árbol) (Backward Forced Path) que permite reajustar el árbol de distribución y así continuar con la distribución de paquetes sin interrupción. El mecanismo denominado Reverse Traffic Interface (RTI) controla la integridad del árbol. El procedimiento de señalización es complejo, y las modificaciones a los protocolos considerables.

En [11] se propone una solución al problema de los emisores móviles, orientada a PIM-SM. La movilidad de los emisores resulta transparente tanto a los receptores como a los routers. Esta solución se basa en el agregado de entidades funcionales denominadas MRP (Mobility Aware RP) que extienden las funciones de los RP de PIM-SM. Cada emisor móvil se registra a través de un procedimiento especial con un MRP para informar su HoA y su CoA; en el caso de desplazamiento, el emisor informa acerca de su nueva CoA. Los paquetes multicast son encapsulados por el

emisor móvil y enviados al MRP, quien los desencapsula y los envía por el árbol compartido como provenientes de HoA. Se describen dos procedimientos de registración, uno realizado por el emisor móvil desde redes sin soporte multicast, y otro (PIM-SM based) realizado a través del DR de la red donde se encuentra el emisor; en el primer caso, no se prevé que el MRP entre en la fase 2 de PIM, en el segundo caso, el MRP entra en la fase 2 y construye un árbol con raíz en el DR del emisor, pero en este caso no se indica lo que ocurre si el emisor se desplaza y por lo tanto se produce el cambio de CoA. En ambos casos, es imposible el paso a la fase 3 de PIM-SM, debido a que ni receptores ni routers intermedios tienen conocimiento de la movilidad y de los cambios de CoA del emisor.

3. Generalidades del funcionamiento

PIM-SM es un protocolo diseñado para soportar emisores y receptores no móviles que se caracteriza por su flexibilidad respecto a ofrecer las alternativas de utilizar un árbol compartido por grupo o árboles específicos por emisor; el uso de uno u otro depende en parte de las políticas establecidas en los routers. En este trabajo se propone el agregado de funcionalidad para soportar emisores móviles, conservando sus características y compatibilidad con la versión original.

PIM—SM requiere que el receptor (a través de su DR) inicie el proceso de joining. Respecto de un emisor, podemos distinguir tres fases: en la inicial se envían los datos multicast encapsulados (register) al RP; en la fase 2, el RP puede construir un árbol de distribución con raíz en el emisor, para evitar el proceso de registering; en la fase 3, un DR con receptores puede establecer un árbol específico con raíz en un emisor, para minimizar el recorrido de los paquetes. Para más detalles ver [3].

En nuestra propuesta, se agrega a PIM-SM la capacidad de identificar a un emisor móvil y conocer y actualizar su ubicación cuando éste se desplaza. Se establece un proceso a través del árbol compartido para actualizar ubicaciones (sección 3.1) y un proceso opcional para restaurar los árboles específicos (proceso de restauración, sección 3.2). Además, el RP puede reconstruir el árbol específico hacia un emisor móvil (proceso de reconstrucción).

Los routers PIM identifican a un emisor unívocamente por su dirección de origen en su red nativa (HoA) y adicionalmente almacenan y mantienen actualizada su dirección corriente (CoA), obtenida al trasladarse a otra red. Las referencias hechas en PIM-SM a un emisor y un grupo (S,G) , por ejemplo $Join(S,G)$, se modifican para incluir además de la dirección de origen del emisor su ubicación, es decir (HoA,CoA, G) en lugar de (S,G) . Los routers intercambian esta información a través de mensajes Join y Prune modificados, compatibles con los utilizados para anunciar emisores no móviles. La HoA se utiliza para identificar al emisor y determinar su árbol de distribución específico; la CoA se utiliza para realizar el chequeo RPF.

Se propone utilizar el árbol compartido para anunciar cambios en la dirección de un emisor. Luego, los routers (DRs y RP) deciden en base a las políticas configuradas, el reestablecimiento o no de los árboles específicos.

Independientemente de la fase, cuando un emisor móvil cambia de red (cambia de CoA), produce, desde su nueva ubicación, el envío de paquetes encapsulados al RP

(registering) quien los distribuye por el árbol compartido. De esta forma los routers que conforman el árbol de distribución compartido continúan recibiendo los paquetes multicast, y se notifican además del cambio de ubicación (CoA) del emisor al recibir un datagram multicast de HoA con la nueva CoA.

Un router que habiendo pertenecido al árbol compartido se una al árbol específico de un emisor y decida podarse de los demás emisores al grupo (enviando un Prune(*,G) a su upstream), debe mantenerse ligado al árbol compartido para recibir la notificación (sin recibir otros datagrams). Si en cambio el router ha hecho podas específicas sobre el árbol compartido (S,G,rpt) en PIM-SM, el comportamiento de PIM-SM asegura que siga perteneciendo al árbol compartido, y que reciba los datagrams encapsulados del emisor desde su nueva ubicación.

Un router que sólo forma parte del árbol específico de un emisor no es notificado de este cambio, y de no ser afectado por los procesos de restauración o reconstrucción del árbol específico descriptos más adelante, eliminará el estado debido a inactividad.

Como complemento al proceso anterior se propone un mecanismo para preservar los árboles específicos que eventualmente podrían originarse en la nueva ubicación del emisor móvil. Este mecanismo, “restauración del árbol específico”, explota el hecho de que al desplazarse el emisor (raíz del árbol), generalmente se modificará el árbol en la cercanía de su raíz, manteniéndose la mayor parte del mismo (más cercana a los receptores) inalterada. Se tiene en cuenta que en algunos routers existirá superposición de estados específico (S,G) y compartido (*,G). Este proceso de restauración es opcional y se inicia en la raíz del árbol.

Independientemente, un RP, al notificarse de un cambio en la ubicación de un emisor, podrá optar por pasar a fase 2, es decir, iniciar la reconstrucción (desde una hoja, representada por el RP) del árbol específico para el emisor. Los procesos de restauración y reconstrucción del árbol son compatibles y complementarios; si un router se ve afectado por el proceso de restauración en su interfaz RPF hacia un emisor, y por el proceso de reconstrucción en una interfaz de salida hacia el RP, asume que desde esta interfaz hasta el RP el árbol está actualizado, y no continúa el proceso de restauración por esa rama; análogamente, el proceso de reconstrucción iniciado por el RP se detiene ya que el árbol está actualizado en dirección al emisor.

3.1 Proceso a través del árbol compartido

En este proceso sólo están involucrados los routers que integran el árbol compartido y no aquellos que sólo integran el árbol específico del emisor móvil. Los pasos son:

- 1— El emisor móvil (identificado por su HoA), se encuentra ubicado en la red R1, y ha adquirido la dirección corriente CoA1. Envía paquetes multicast con dirección de origen CoA1, y dirección de destino G, y con la opción (IPv6) Home Address conteniendo su HoA. El DR de R1 (DR1) se encarga de encapsularlos y enviarlos al RP (fase 1) y/o de distribuirlos en el árbol específico para (HoA, CoA1) si lo hay (se ha completado o bien la fase 2 o 3 para este emisor). Los paquetes generados por DR1 contienen la siguiente información: si son encapsulados, dirección de origen de DR1, dirección de destino del RP, y en el datagram encapsulado, dirección de origen CoA1, dirección de destino G, y opción Home Address conteniendo la HoA del emisor; si se

distribuyen por el árbol específico (ya sea hacia el RP o a algunos receptores), la información es la misma que transporta el datagram encapsulado.

2— El emisor móvil cambia de ubicación, adquiriendo, luego del handover a niveles 2 y 3 una dirección (CoA2) en la nueva red R2, y continúa enviando datagrams multicast, con dirección de origen CoA2, dirección de destino G y opción home address conteniendo su HoA.

3—El nuevo DR de la red 2 (DR2) recibe estos datagrams y debido a no tener un árbol específico para este emisor (HoA, CoA2), los envía encapsulados hacia el RP. con dirección de origen DR2, dirección de destino del RP, dirección de origen del datagram encapsulado CoA2, dirección de destino G, y opción Home address conteniendo HoA del emisor.

4—El RP recibe los registers, los asocia a los recibidos desde la ubicación anterior (por la dirección del emisor (HoA) y el grupo (G)), y toma las siguientes acciones:

4.1— Modifica la dirección del DR (de DR1 a DR2);

4.2— Modifica la dirección corriente asociada al emisor HoA (de CoA1 a CoA2)

4.3—En caso de estar recibiendo por el árbol específico de (HoA,CoA1) —SPT TRUE— pasa a recibir por el árbol compartido (SPT FALSE). De acuerdo a la política configurada en el RP (ahora teniendo en cuenta que se trata de un emisor móvil), éste podrá intentar reconstruir el árbol específico desde la nueva CoA del emisor (fase 2 de PIM), o continuar recibiendo registers. Independientemente de esto, es posible que (si lo había) el árbol específico desde el emisor a uno o más receptores se restablezca; esto ocurre si el emisor móvil tiene configurada la opción de restauración de árbol específico y el nuevo DR lo acepta. De cualquier manera, en el caso de que el RP comience a recibir datagrams por el árbol específico, (SPT TRUE) detendrá el envío de registers por parte del DR2. Esto sólo ocurre si el RP completa el proceso de reconstrucción del árbol específico o si el emisor completa el proceso de restauración del árbol específico.

4.4—El RP comienza el proceso de desencapsulación y reenvío por el árbol compartido para G, de los paquetes multicast encapsulados. Estos paquetes contienen ahora CoA2 como dirección de origen, G como dirección de destino y HoA en la opción Home address.

5— Los routers pertenecientes al árbol compartido para G, procesan los paquetes multicast de acuerdo al estado (*,G) y no al estado (S,G) y (S,G,rpt); la información que pudiera haber acerca del árbol específico para el emisor ya no es tenida en cuenta, porque CoA2 de los datagrams recibidos difiere de CoA1 almacenada para el árbol específico del emisor. Sin embargo, en caso de que estos routers tengan estado específico para el emisor, pondrán el bit SPT en FALSE y mantendrán este estado, por un cierto tiempo, esperando recibir un ChgAddr (proceso de restauración del árbol específico) o un join (reconstrucción desde el RP) para actualizarlo.

3.2 Proceso de restauración del árbol específico

Este proceso es opcional, y se produce sólo en los nodos que forman parte del árbol específico del emisor (HoA) con raíz en la ubicación corriente CoA. Requiere la incorporación de dos nuevas PDUs de control, ChgAddr y ChgAddrReq (sección 4.3).

Este proceso es iniciado por el emisor, y su objetivo es modificar el árbol de distribución específico del emisor en la cercanía a su raíz. Se cambia la raíz del árbol de la CoA anterior a la nueva CoA, geográfica y topológicamente cercanas entre sí. De esta manera se obtienen beneficios respecto de la sobrecarga en la red, demoras, y transparencia respecto a los routers más cercanos a las hojas, ya que el proceso es iniciado desde la raíz y no desde las hojas como el de reconstrucción del árbol.

Los cambios en el árbol de distribución se producen en la cercanía a su raíz, sin afectar a las zonas más alejadas (desde un router en el que coinciden los RPF para ambas CoAs hacia las hojas), y por lo tanto en los routers de esa parte del árbol, este proceso sólo actualiza la ubicación del emisor móvil de la anterior CoA a la actual, sin alterar el estado interno de PIM (sólo se cambiar la CoA asociada a la HoA).

El overhead es mínimo, ya que enviar un ChgAddr equivale a enviar un datagram multicast sin datos, y sólo involucra cambios (Joins y Prunes) en los routers que se ven afectados por el cambio del árbol.

Como consecuencia de este proceso, pueden verse involucrados nuevos routers en el nuevo árbol específico, y descartarse otros; en ambos casos el proceso es el mismo que el proceso de joining y pruning de PIM. Cuando no es necesario cambiar la topología del árbol, el ChgAddr se propaga sólo para actualizar la nueva ubicación del emisor, este caso se prevé que la reconstrucción del árbol (a través de joins y prunes) pueda haber sido iniciada desde el receptor (el RP), y por lo tanto se omite la propagación del ChgAddr por las interfaces afectadas.

Para iniciar el proceso de restauración del árbol específico es necesario que el emisor móvil pueda solicitar a su DR anterior al desplazamiento el envío del ChgAddr; esto puede hacerse en la misma red local, si el emisor móvil conoce, previo a su traslado, la nueva dirección que adquirirá, o en caso contrario, desde la nueva ubicación del emisor móvil. En ambos casos, este último envía al DR un ChgAddrReq.

El ChgAddr tiene por objeto producir los nuevos joins y prunes en los nodos en los que cambia la interfaz hacia la nueva ubicación, y producir el cambio de estado (nuevo CoA, reset de Keepalive Timer y de SPT bit) en los routers del árbol en los que no cambia la interfaz hacia la nueva ubicación.

El proceso en cada router es el siguiente: cuando se recibe un ChgAddr por la interfaz upstream respecto a la ubicación anterior del HoA, actualiza la CoA del emisor (contenida en el ChgAddr); si la interfaz upstream (en base a la nueva CoA) no cambió, propaga el ChgAddr por las interfaces downstream; si cambió, genera un Join hacia la nueva interfaz upstream, y un Prune hacia la interfaz upstream anterior y propaga el ChgAddr por el nuevo conjunto de interfaces downstream.

4. Modificaciones a PIM-SM

Las modificaciones son simples, y en general se basan en considerar, además de la dirección de un emisor (HoA, referida como S en la documentación de PIM-SM) la dirección actual del emisor en un momento dado (CoA). Las descripciones que siguen están estrechamente relacionadas con los procedimientos llevados a cabo por los routers PIM, para detalles adicionales sobre estos procedimientos, referirse a [3].

Para cada emisor móvil (S) conocido por PIM (identificado por su HoA), se agrega información específica y variable en el tiempo acerca de su ubicación (CoA), con lo que S es reemplazado por (HoA, CoA), donde HoA es la identificación unívoca del emisor y CoA su dirección corriente. Para los procesos que no resultan modificados, PIM utiliza HoA, independientemente del lugar donde se encuentre, mientras que para algunos procesos modificados o agregados, utiliza también CoA, Por ejemplo CoA se

PIM vers	Type	Reserved	Checksum
Source Address (Encoded-Unicast format)			
Group Address (Encoded-Multicast format)			
Old Care of Address (Encoded-Unicast format)			
New Care of Address (Encoded-Unicast format)			

Fig 1. Formato de ChgAddr

utiliza para chequear por la interfaz correcta desde donde deben recibirse los datos multicast emitidos por el emisor y que arriban por el árbol específico; (HoA,CoAi) se utiliza para identificar una instancia del árbol específico de HoA (con raíz en CoAi). Los

procedimientos modificados (no descriptos aquí) son simples y se refieren a forwarding, manejo de estados específicos ((S,G), (S,G,rpt)), y mantenimiento de estado acerca del árbol compartido.

Se agregaron dos PDUs necesarias para el proceso de restauración de árboles específicos: 1- **ChgAddr (anuncio de cambio de dirección)**: Es emitida por el DR de la red donde residía el emisor previamente a su traslado. Su objeto es informar a los routers que componen el árbol específico del emisor, que éste cambió o cambiará su ubicación; al ser recibida por un router, provoca el comportamiento descrito en el proceso de restauración del árbol específico (sección 3.2). Para generar el ChgAddr, un DR debe ser notificado por el emisor móvil acerca de su cambio de dirección enviando un ChgAddrReq. En el caso en que el emisor móvil conozca su nueva CoA antes del traslado, la notificación puede realizarse desde la red donde reside el DR; en caso contrario, se realiza luego de haber obtenido la nueva CoA, desde la nueva ubicación del emisor. Al igual que las PDUs de control de PIM, el tipo de protocolo IP es 103, y se emite a la dirección IPv6 para el grupo "ALL-PIM-ROUTERS" (ff02::d), con valor de TTL igual a 1. Está compuesta del encabezamiento PIM (con un nuevo tipo definido para esta PDU) y contiene información que identifica unívocamente al emisor y a su árbol (HoA del emisor y grupo), y referencias a las direcciones anterior y actual del emisor (Fig. 1); 2-**ChgAddrReq (Requerimiento de envío de ChgAddr)**: Es emitida por un emisor móvil configurado para conservar el árbol específico, cuando está por trasladarse o se ha trasladado a su nueva ubicación, para solicitar al DR raíz del árbol de distribución específico que envíe un anuncio de cambio de dirección (ChgAddr). Para realizar esta solicitud, el emisor móvil debe conocer su nueva CoA. Esta PDU es unicast, su dirección de origen es la CoA actual del emisor móvil, y su dirección de destino la del DR origen del árbol de distribución. El DR, al recibirla, genera un ChgAddr en el árbol ((HoA,CoA),G) del cual es raíz. El formato es el de las PDU de control PIM, y es el mismo que el de ChgAddr, difiriendo solamente en el campo Type (Fig 1).

Se agrega una nueva opción IPv6 (en el header hop by hop) que contiene la HoA del emisor. Esto permite a los routers asociar el datagram con el árbol específico del emisor, independientemente de la CoA, y a los receptores identificar al emisor. Esta

opción es similar a la opción Home Address (en el header destination options) descrita en [6]. Un paquete lleva esta opción sólo si ha sido generado por un emisor móvil. De esta manera, en la fase 1, un DR puede saber si un emisor es o no móvil cuando comienza a recibir los paquetes vía árbol compartido, y en base a esa información puede decidir si conmutar o no a árbol específico (fase 3).

Se debió modificar el formato de las PDUs Join/Prune como se describe a continuación: en los casos en que un emisor cambia de ubicación y por lo tanto cambia su árbol de distribución, un router debe distinguir entre esos árboles de distribución específicos. Para que esto sea posible, las PDUs Join/Prune deben contener en sus referencias a grupos específicos y emisores específicos, además de los campos S y G, la dirección actual del emisor (CoA). El agregado de esta última dirección sólo está presente si el emisor es móvil, y debe ser posible enviar en una misma PDU y para el mismo grupo, referencias a emisores móviles y no móviles. Para esto se propone una modificación al formato de la codificación de direcciones fuente (Encoded Source Address) que permite distinguir si una dirección fuente codificada se refiere a un emisor fijo o móvil, y en este último caso, contiene una dirección adicional, la CoA del emisor. El campo "reserved" de la codificación de direcciones, se define en PIM con valor 0: se propone un valor diferente de cero para indicar emisor móvil, y en este caso, se agrega, a la dirección del emisor, una nueva dirección, la CoA.

5. Evaluación de la propuesta

Los parámetros de mayor relevancia a analizar son la demora producida en el envío de los datos y la pérdida de paquetes, que afectan a la calidad de servicio, y el overhead introducido en la red como consecuencia del desplazamiento de un emisor.

Como se puede ver en las siguientes subsecciones, los valores son acotados y no introducen cambios significativos en condiciones normales; actualmente se está desarrollando un prototipo para evaluar estos aspectos a través de simulación.

Demoras: La demora en la llegada de los paquetes, debida al desplazamiento de un emisor, puede dar origen a la pérdida de paquetes a nivel aplicación, si estos no son emitidos y/o recibidos dentro de los parámetros de la calidad de servicio negociada.

La demora está compuesta por los tiempos de handover de niveles 2 y 3 ($H(2,3)$), la demora propia del protocolo multicast (p. ej. construir un nuevo árbol de distribución) y la diferencia de tiempos de tránsito de los paquetes entre los dos árboles.

Para ilustrar los posibles casos, consideremos al emisor E en sus ubicaciones anterior al desplazamiento (E_o) y posterior (E_n), a un receptor R y al RP. La demora debido al proceso de encapsulación/desencapsulación se indica como Dreg.

En todos los casos está presente el tiempo de handover. No aparece como componente ningún tiempo propio del protocolo, por ejemplo la reconstrucción de árboles, ya que inmediatamente luego del traslado, se comienza a enviar vía el RP. Si suponemos que las demoras al RP desde las dos ubicaciones del emisor se compensan, aparecen como componentes más importantes el proceso de registering (en el caso del árbol específico y de fase 2 de PIM) y la triangularización de tráfico (en el caso de árbol específico). Los posibles casos son los siguientes:

a-R recibiendo por árbol específico: $D=d(En,RP)+d(RP,R)-d(Eo,R)+Dreg+H(2,3)$

b-R recibiendo por el árbol compartido:

b.1: RP en fase 2: $D=d(En,RP)-D(Eo,RP)+Dreg+H(2,3)$

b.2:- RP en fase 1: $D=d(En,RP)-D(Eo,RP)+H(2,3)$

Pérdida de paquetes: Sólo se consideran las pérdidas producidas por los mecanismos multicast propuestos a nivel de red cuando se traslada un emisor. El único caso de pérdida se produce cuando un router recibe un paquete de datos con dirección de origen igual a la CoA anterior al desplazamiento del emisor, luego de haber actualizado sus tablas con la nueva CoA: al no coincidir la dirección de origen con la dirección corriente almacenada en el router, el paquete es descartado. Esto puede ocurrir como consecuencia de un reordenamiento de paquetes en la red, que haga que un datagram multicast resulte demorado, ya que el emisor nunca envía datos sin que antes se informe acerca de su cambio (ya sea explícitamente con un ChgAddrReq o a través de su nuevo DR que encapsula los datos y los envía al RP). El caso más probable es cuando el receptor, conociendo su nueva CoA, anuncia su desplazamiento antes de haberlo efectuado; este anuncio puede ser casi inmediato al envío del último paquete multicast, sin que medie el tiempo de handover a niveles 2 y 3.

Overhead: Podemos distinguir un overhead fijo, independiente de las acciones que tomen los routers, y un overhead producto de la reconstrucción y/o restauración de los árboles específicos, que depende de las políticas establecidas.

El overhead fijo está presente en los mensajes Join/Prune y en los datos multicast.

Mensajes Join/Prune: estos mensajes se envían periódicamente al router upstream; se componen de avisos de Join y Prune para pares emisor/grupo (S y G) identificados por su dirección codificada. Cuando se anuncia la dirección de un emisor móvil, se agrega su dirección actual, 16 bytes más a los 32 originales de la dirección codificada. Datos multicast: los datos multicast deben recorrer el árbol de distribución con raíz en la CoA del emisor, por lo que deben llevar esta dirección de origen para no ser descartados por los routers. Para poder identificar al emisor, se requiere que contengan la HoA. Para esto se agrega la opción Home Address en el encabezamiento IPv6 (18 bytes adicionales por datagram multicast).

En los casos en que el RP sea configurado para pasar nuevamente a fase 2, se producirá la reconstrucción del árbol desde el RP al nuevo emisor y la poda del camino ya no utilizado en las cercanías de la ubicación anterior del emisor. Si llamamos Rc al router más cercano a la ubicación anterior en el cual no coinciden las interfaces hacia la nueva ubicación y hacia la anterior, el costo de reconstrucción del árbol consiste del envío de Joins desde el RP hasta Rc, que sólo modifican la CoA; desde Rc hasta la nueva ubicación se producen Joins que agregan nuevos routers, y desde Rc hasta la ubicación anterior, Prunes que desvinculan del árbol a los routers.

En el caso de que se produzca la restauración del árbol a partir del emisor en su nueva ubicación, tendremos el envío de ChgAddr (downstream) más Prune (upstream) desde la nueva ubicación hasta Rc, y desde Rc la distribución por el árbol específico completo (incluye a todos los receptores) del ChgAddr. En caso de iniciarse ambos procesos concurrentemente, la rama hacia el RP no es afectada por los ChgAddr.

Cambios al código de PIM-SM: Se desarrolló una implementación de PIM-SM en lenguaje Tcl ampliado con la funcionalidad de Network Simulator (Ns) [12]. La implementación siguió estrictamente la especificación de PIM-SM, obviándose la parte relacionada con vínculos de acceso múltiple y descubrimiento de RPs, no

relevantes para este trabajo. Posteriormente se adaptó el código a nuestra propuesta, resultando sólo en modificaciones menores.

6 Conclusiones

En este trabajo se abordó el problema de emisores móviles multicast. A diferencia de la mayoría de las soluciones propuestas para este tipo de problema, que consisten en crear un soporte para movilidad multicast independiente del protocolo multicast, se planteó aquí la posibilidad de adaptar un protocolo multicast a movilidad. En nuestro caso en particular se seleccionó PIM-SM por ser el de mayor difusión, complejidad y versatilidad. A través del código implementado se llegó a la conclusión de que al menos en este caso, las modificaciones al protocolo resultaron simples. Un primer análisis realizado muestra que tanto la demora y el overhead producidos como consecuencia de incorporar movilidad al protocolo se mantienen acotados a valores normales, iguales y/o menores que los de incorporar un nuevo emisor en PIM-SM.

En la actualidad se está trabajando en la simulación de nuestra propuesta, a efectos de compararla con el funcionamiento de PIM-SM y de PIM-SM con un soporte de movilidad externo. Más adelante se analizarán las nuevas amenazas a la seguridad que puede originar esta propuesta y se propondrán soluciones. Posteriormente se abordará el aspecto referido a la manera en que los RPs y DRs adquieran y utilicen información respecto de los emisores móviles (por ejemplo tasa de envío, tasa de movilidad, etc) para adaptarse a las diferentes situaciones, en base a las políticas configuradas.

7 Bibliografía

1. Deering, S.: "Host Extensions for IP Multicasting", RFC 1112, August 1989.
2. Adams, A., Nicholas, J., Siadak, W.: "Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)", RFC 3973, January 2005.
3. Fenner, B., Handley, M., Holbrook, H., Kouvelas, I.: "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)", RFC 4601, August 2006.
4. Handley, M., Kouvelas, I., Speakman, T., Vicisano, L.: "Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM)", RFC 5015, October 2007.
5. Perkins, C. Ed.: "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3344, August 2002.
6. Johnson, D., Perkins, C., Arkko, J.: "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
7. Chang, R., Yen, Y.: "A Multicast Routing Protocol with Dynamic Tree Adjustment for Mobile IPv6", *Journ. Information Science and Engineering* 20, pp. 1109-1124, 2004
8. Waitzman, D., Partridge, C., Deering, S.: "Distance vector multicast routing protocol," RFC 1075, 1988
9. Deering, S., Fenner, W., Haberman, B.: "Multicast Listener Discovery (MLD) for IPv6", RFC 2710, October 1999
10. Narten, T., Nordmark, E., Simpson, W.: "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, December 1998
11. Romdhani, I., Bettahar, H., Bouabdallah, A.: "Transparent handover for mobile multicast sources", in P. Lorenz and P. Dini, eds, *Proceedings of the IEEE ICN'06*, IEEE Press, 2006.
12. Fall, K. (ed): "Ns Notes and Documentation", VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, Xerox PARC, March 2006.