

Adaptative Routing Bridges : Nuevos enfoques para redes campus conmutadas

Guillermo A. Ibáñez Fernández, Ingeniero de Telecomunicación
Arturo Azcorra Saloña, Doctor Ingeniero de Telecomunicación
Universidad Carlos III Madrid
Teléfono de los autores : 91-6248494
gibanez@it.uc3m.es, azcorra@it.uc3m.es

RESUMEN. Las redes campus basadas en Ethernet requieren nuevas funcionalidades en los nodos que garanticen rendimiento y seguridad con mínima gestión y configuración. Los Puentes Encaminadores (Routing Bridges) son la más reciente propuesta para mejorar la escalabilidad, seguridad y utilización de las redes campus frente al relativo desaprovechamiento que IEEE 802.1D actualmente supone (difusión mediante árbol de distribución) debido a la inutilización de segmentos para evitar los bucles. Se explican las últimas propuestas en elaboración para redes campus empleando Puentes Encaminadores, las cuales evitan los problemas asociados a los dominios conmutados actuales tales como tormentas de tramas, menor seguridad, compartimentación insuficiente de la red e infrautilización de ancho de banda por uso del spanning tree. Se analiza la problemática de las propuestas realizadas hasta el momento. Se propone un nuevo protocolo de asignación de direcciones basado en árbol de distribución y la aplicación de enfoques nuevos para encaminamiento.

1 Introducción

Las redes locales en general, y Ethernet en particular, nacieron siendo esencialmente de medio compartido (*the Ether*) de alta capacidad, frente a las tecnologías WAN que se basaban en conmutación, y caudales de transmisión inferiores en general a los disponibles en LAN. Sin embargo, la evolución de las tecnologías LAN y WAN están haciendo converger las soluciones tecnológicas utilizadas en ambos entornos. Las redes LAN basadas en Ethernet de la actualidad son mayoritariamente conmutadas, punto a punto, full-duplex, incorporan multiplexión IEEE 802.1Q y soportan distancias de transmisión idénticas a las soportadas por los enlaces WAN convencionales.

En la Ethernet original predominaba la difusión e inundación como mecanismos básicos y hoy se busca la mínima difusión de las tramas por las mismas razones que se evitan en las redes WAN: rendimiento y control de tráfico. Paralelamente, las redes WAN han incorporado las tecnologías LAN por su robustez, y su buena relación precio/prestaciones, estando ya bastante implantadas en entornos de acceso y metropolitanos, y de forma creciente en entorno propiamente de área extensa. Esta tendencia continuará en el futuro, ya que se espera que se

demanden de las tecnologías LAN nuevas funcionalidades, a medida que las redes campus aumentan de tamaño, capacidad y complejidad. Las últimas funcionalidades incorporadas incluyen agregación de enlaces (multiplexión inversa), redes locales virtuales (VLAN), árbol de distribución múltiple (por VLAN), IGMP en capa 2 y algunas otras, que hacen más crítica y compleja su gestión. Los dominios conmutados actuales presentan problemas tales como tormentas de tramas que se extienden por todo el dominio conmutado, seguridad de la red relativamente baja si no se implementa IEEE 802.1X [8], infrautilización del ancho de banda disponible si se emplea árbol de distribución (*Spanning Tree*), así como la necesidad de administración y configuración manual de las direcciones IP, realizando una correspondencia entre cada VLAN y una subred lógica IP.

2 Tendencias en Redes Campus

Una interesante propuesta de evolución de la tecnologías LAN es la realizada en Autonet [5], ya que constituye uno de los primeros antecedentes de red local autoconfigurable. Autonet utiliza todo el ancho de banda disponible en sus enlaces empleando encaminamiento arriba/abajo (*up/down*), soportado sobre el protocolo de árbol de distribución (STP [15]) modificado. Las tramas Autonet se utilizan para encapsular las tramas

Ethernet, y las direcciones empleadas son de 12 bits para simplificar el encaminamiento. La traducción de direcciones UID (direcciones MAC 48 bit) a direcciones cortas Autonet (12 bit) se realiza mediante aprendizaje de las tramas recibidas. Las direcciones cortas de los Host y Puentes son asignadas por el Puente Raíz, que asimismo distribuye la información de topología y de árbol de distribución, de forma piramidal hacia abajo. Un inconveniente considerable de Autonet radica en que la compatibilidad entre los modos de trabajo Ethernet y Autonet se implementa en los hosts, requiriendo su modificación mediante la incorporación del módulo Localnet, situado por encima de los manejadores SW (drivers Ethernet y Autonet). Localnet se requiere para poder aprender la correspondencia entre las parejas de direcciones de formatos UID/Autonet.

En cuanto la utilización de esquemas de encaminamiento óptimo para evitar los problemas de prestaciones del árbol de distribución (STP), existen varias propuestas además de la incorporada en Autonet. El encaminamiento arriba/abajo utilizado por Autonet se basa en asignar un sentido a todos los enlaces de la red según su posición del vértice del enlace en el árbol de distribución (arriba si está más cercano al Puente Raíz, hacia abajo si al contrario). Los enlaces entre nodos a la misma altura reciben la orientación según la identidad del Puente sea mayor o menor. El encaminamiento arriba/abajo evita los bucles porque un bucle siempre contiene dos giros abajo/arriba o arriba/abajo. Por lo tanto, si se obliga a que en cualquier recorrido, una vez que se ha girado hacia abajo, no pueda volver a girar hacia arriba, se evitarán los bucles en las tramas enviadas. Una ruta legal es la que nunca usa/atraviesa un enlace en la dirección hacia arriba (up) después de haber usado uno hacia abajo (down). Es decir, prohibiendo los giros abajo-arriba se evitan los bucles. La efectividad del encaminamiento arriba/abajo depende principalmente de la elección del árbol de distribución, y en particular del Puente Raíz. Para la topología típica de las redes campus estructuradas jerárquicamente esto tiene menor incidencia que para una red mallada arbitraria, topología hacia la cual se tiende crecientemente en entornos campus. El problema del encaminamiento arriba/abajo es que no garantiza rutas óptimas, y se hace menos eficiente a medida que la red se hace más compleja. Silla y Duato incorporaron encaminamiento arriba/abajo en 1997 en redes de estaciones de trabajo con una variante para mejorar su rendimiento. Esta variante se basa en

la utilización de canales adicionales (virtuales) a los enlaces normales para aumentar las posibilidades de elección de rutas mínimas y evitar de esta manera bloqueos, pero se comparten los inconvenientes básicos del encaminamiento arriba/abajo convencional.

Los algoritmos basados en Prohibición de Giros son una evolución, del encaminamiento arriba/abajo. Una versión de TP fue propuesta en 2002 en [13]. Su interés deriva en parte de la oportunidad de poder aplicar el Network Calculus a las redes, para lo que éstas deben ser de tipo "feed-forward". Para garantizar esto, las redes deben estar libres de bucles y esto se logra desarrollando un algoritmo que prohíbe algunos giros en la red, en lugar de cortar enlaces completos, como es el caso del STP. Este algoritmo opera de forma iterativa sobre la red nodo a nodo, seleccionando los giros a prohibir. Se han propuesto dos versiones, una básica (puede desconectar la red en subredes) y otra completa. El algoritmo suprime como máximo 1/3 del total de giros de la red. Para la versión ponderada del algoritmo, que valora la importancia de los enlaces con pesos, se demuestra que se prohíben menos de la mitad de los enlaces en valor ponderado. La complejidad es $O(N^2d)$ siendo d el grado máximo de cualquier nodo de la red.

Recientemente, en [12] ha sido propuesto el algoritmo de Prohibición de giros basado en STP (TBTP), el cual opera, además de sobre el grafo de la red, sobre el árbol de distribución de la misma, generando un conjunto de giros prohibidos como resultado. Se garantiza que ninguno de los giros prohibidos está interfiere con el árbol de distribución, lo que permite la coexistencia entre conmutadores con TBTP y conmutadores tradicionales con IEEE 802.1D, eliminando todos los bucles. El máximo número de giros prohibidos es de la mitad del total. TBTP mejora poco frente a up/down routing (0,23 y 0,27 aprox. Respectivamente, es decir, 20% de mejora media), suponiendo ambos una gran mejora frente al 0,73 de giros prohibidos de spanning tree. Pero TBTP precisa un algoritmo de encaminamiento que determine la ruta mínima entre las varias posibles. Se ha propuesto utilizar uno derivado del algoritmo de Bellman-Ford.

Los Puentes con Encaminamiento en Origen más conocidos son los usados en redes de Paso de Testigo en Anillo (Token Ring). La ruta se descubre de diversas formas y se incluye en la trama en el campo RI (Routing Information). Este campo se compone de una sucesión de identidades de Puentes e identidades de LAN,

que sirve para identificar unívocamente una ruta a seguir. Es de destacar que uno de los inconvenientes de este tipo de puentes es, frente a la autoconfiguración de los puentes Ethernet, la necesidad de asignar la Identidad de todos los Puentes y Redes Locales. En [16] se propone un método automático basado en el Puente Raíz.

En la propuesta de Radia Perlman [1] de Routing Bridge se emplea encaminamiento a direcciones MAC, protocolo de estado de enlace entre los Rbridges y difusión via STP entre los Rbridges cuando no se dispone en la tabla de la dirección del Rbridge destino, el árbol de distribución es calculado mediante algoritmo Dijkstra en vez del protocolo STP. Los inconvenientes principales de esta la aproximación son la longitud de las tablas de encaminamiento basadas en MAC (porque no se pueden consolidar rutas), que puede poner en peligro la escalabilidad (de forma económica) a redes campus grandes y el que el algoritmo de Dijkstra probablemente converja de forma más lenta y sea menos robusto que RSTP ante cambios de topología de la red.

La arquitectura empleada por DEC en los años 70 y 80 (Decnet) utilizaba un modelo en capas (DNA Digital Network Architecture) con encaminamiento jerárquico [16]. La red se divide en áreas y el encaminamiento dentro de un área se llamaba “encaminamiento de nivel 1”. Los encaminadores de nivel 1 saben encaminar dentro de su área y hacia el encaminador de nivel 2 más cercano. La función de encaminador de nivel 1 es realizada actualmente mediante conmutadores y la de nivel 2 con encaminadores. Decnet utilizaba una dirección de nodo de 16 bit, formada por 6 bit de número de área y 10 bit de número intraárea. Las características del encaminamiento jerárquico y requisitos para que el encaminamiento sea cercano al óptimo han sido descritas por L. Kleinrock en su trabajo clásico [3].

STAR (Spanning Tree Alternate Routing Protocol) [11] es una propuesta en la que, mediante algunos Bridges STAR insertados en una red con STP, se habilitan enlaces transversales entre Bridges STAR, enlaces que con STP quedarían bloqueados para evitar los bucles. Se modifica el protocolo STP introduciendo un estado adicional STAR a la secuencia normal de iniciación y actualización de STP. Utiliza encapsulado adicional de nivel 2 entre Bridges STAR para lograr reenviar las tramas STAR a través de los Bridges normales STP intermedios, dado de no encapsular podrían

ser descartadas las tramas con un campo Type desconocido por los Bridges 802.1D. El encaminamiento se basa en Vector Distancia. STAR necesitaría ser adaptado a RSTP por su mayor rapidez de convergencia y verificar la convergencia en ese entorno más rápido.

Dentro del entorno de encaminamiento basado en direcciones MAC, destaca la propuesta de Duato-Silla para redes metropolitanas [7] que utiliza encaminamiento de estado de enlace con direcciones MAC para backbones ópticos, donde el reducido número de direcciones MAC lo hace indicado.

Ni el término ni la funcionalidad de Puente Encaminador (Routing Bridge) son estrictamente nuevos. Ha sido utilizado como Source Routing Bridge (Puente Encaminador en Origen) en la tecnología de Paso de Testigo en Anillo (Token Ring) y más recientemente, para referirse a los Puentes que Encaminan sobre direcciones MAC, ha sido acuñado el término Routing Bridge (Rbridge) por Radia Perlman [1]. En el intervalo de tiempo entre ambos, se han desarrollado diversas redes que incorporan Puentes que Encaminan, tales como SmartBridge, Autonet y Myrinet [4]-[5]. Utilizaremos el término de Puente Encaminador Adaptativo (Adaptative Routing Bridge (ARB)) para los propuestos en este artículo.

3. Problemática de los Routing Bridges (RB)

La problemática de diseño de conmutadores LAN con funcionalidad añadida radica en combinar la rapidez de conmutación y la autoconfiguración de los bridges transparentes con las ventajas de los routers (separación de subredes y ahorro de ancho de banda), así como su rápido (comparativamente) tiempo de reacción para reencaminar el tráfico ante fallos. Un aspecto fundamental del diseño consiste en determinar si los hosts intervendrán en el encaminamiento o no. Es clásico en el encaminamiento en origen y en algunas de las implementaciones mencionadas arriba, el papel activo de los hosts en la búsqueda y determinación de rutas. Pero la intervención de los hosts en el encaminamiento, aparte de las razones de impacto numérico mucho mayor por el número de hosts, dificultaría enormemente la introducción comercial de éstos sistemas, así como la compatibilidad con los hosts y redes existentes. Por tanto, los mecanismos básicos que deben resolverse pueden resumirse como :

Para introducir la problemática de los Routing Bridges (RBs) supongamos una red campus

formada por RBs interconectados a los que se conectan Hosts. Estos hosts son apadrinados por un Routing Bridge, que asume para ellos las funciones necesarias para establecer un dominio de encaminamiento de tipo IS-IS. Estas funciones se describen a continuación y pueden cubrir: infraestructura de comunicación básica, direccionamiento, descubrimiento de topología, encaminamiento y resolución de direcciones. En la Figura 1 se muestra el esquema de la red, donde se hace abstracción de los concentradores (hubs) conectados entre los RBs y los hosts. Normalmente supondremos que los enlaces entre RBs son dedicados y los entre hosts y RBs compartidos. Entre los RBs pueden existir Puentes convencionales con las implicaciones que se indican más adelante.

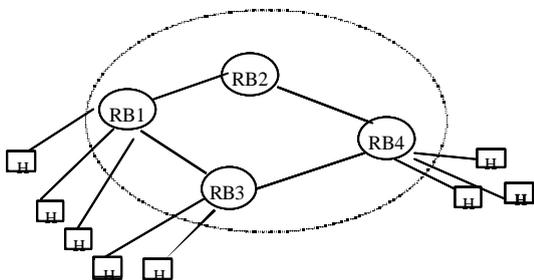


Fig. 1 Esquema de red con Routing Bridges Adaptativos (ARB)

Mecanismos para RBs

Dada la diversidad de alternativas de implementación en redes campus de la funcionalidad de Puentes Encaminadores, analicemos los mecanismos básicos necesarios a definir:

- 1- Un mecanismo de comunicación básica entre RBs (STP, RSTP, Dijkstra)
- 2- Un mecanismo de aprendizaje de hosts por los RBs
- 3.- Un mecanismo de designación de RBs.
- 4.- Un mecanismo de conocimiento/aprendizaje de la topología de la red por los RBs
- 5- Opcionalmente, un mecanismo de asignación de direcciones alternativas a las direcciones MAC (STAA u otro (ver Apéndice 1)).
- 6.- Un mecanismo de encaminamiento en la red: entre RBs o de origen a destino (de host a host).
- 7.- Es necesario resolver la interoperabilidad entre RBAs y Puentes 802.1D, y posibles

restricciones al despliegue de RBAs en una red con Bridges y Switches estándar.

El definir soluciones efectivas para estos mecanismos es un reto importante pero necesario para las redes campus actuales y futuras.

4 Una propuesta de Routing Bridges Adaptativos (ARB)

A continuación describimos nuestra propuesta (en elaboración) de Routing Bridges Adaptativos, siguiendo el esquema de mecanismos utilizado más arriba.

1- Un mecanismo de comunicación básica entre RBAs. Los RBAs precisan una infraestructura y protocolo para comunicarse entre ellos la información que deben intercambiar. La comunicación estándar en los Bridges es mediante difusión vía árbol de distribución (STP). Las recientes mejoras sobre STP incluidas en Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP IEEE 802.1w) lo hacen muy recomendable para ser utilizado en redes campus por su mayor robustez, rápida convergencia y mejor predecibilidad, teniendo en cuenta que el requisito de enlaces punto a punto entre los RBAs es aceptable perfectamente por razones de rendimiento y seguridad. Si se utiliza direccionamiento STAA, es posible evitar la difusión, comunicándose en modo unicast entre los RBAs en el árbol de distribución.

2.- El aprendizaje de los hosts por los RBAs puede ser realizado por aprendizaje de direcciones MAC, al igual que en los Bridges. Es de probada eficacia y no requiere modificaciones en los hosts.

3.- Mecanismo de designación de RBAs. El aprendizaje de los hosts por los RBAs puede ser realizado por un único Designated ARB por grupo de hosts o no. En principio un único Designated ARB parece suficiente y más eficiente para el encaminamiento, pero de menor flexibilidad, balanceo de carga y respuesta a caídas que varios. El inconveniente de utilizar varios DR para un mismo host consiste en la dificultad para evitar la duplicación de tramas al ser procesadas por dos o más DRs. El RSTP normalmente elegirá otro ARB como DR al fallar el DR inicial a través de los mecanismos de cambio de topología estándar. En cuanto a las funciones del DR, pueden ser completas o limitar las funciones exclusivas del DR, por ejemplo a la función de anuncio de hosts apadrinados (Hello), dada la

relativa confusión y sobrecarga que supone el que varios RBAs anuncien conexión a los mismos hosts, aunque con la ventaja de mayor fiabilidad y reparto de carga.

4.- Un mecanismo de conocimiento/aprendizaje de la topología de la red por los RBAs. En la arquitectura de RBAs que se propone, los RBAs tienen el papel de aprendizaje de topología y rutas, para lo que intercambiarán paquetes de estado de enlace (Hello) entre sí informando de sus RBAs vecinos y hosts conectados (apadrinados) con los que ejercen la función de DRs. El mecanismo de aprendizaje de la topología y rutas por los RBAs que se propone es basado en estado de enlace, pero se considera prometedor explorar variantes que utilicen y combinen la información de conectividad (métricas) contenida en las BPDUs de RSTP y opcionalmente de las BPDUs de STAA si se utiliza ese direccionamiento, para hacer uso efectivo de dicha información para el encaminamiento en la red campus. Puede considerarse la optimización de los anuncios de estado de enlace para complementar la información suministrada por la BPDUs de RSTP. Se trataría de que RSTP y el algoritmo de encaminamiento cooperen para máxima efectividad y robustez. Consideramos como mecanismo importante a mantener y potenciar en los RBAs el aprendizaje de direcciones entre ellos, por lo que parece deseable no solamente mantener dicha funcionalidad sino explorar formas de potenciarla como por ejemplo la indicada para STAA con el uso de direccionamiento jerárquico que posibilite la consolidación de rutas aprendidas.

5- Opcionalmente, un mecanismo de asignación de direcciones alternativas a las direcciones MAC. La elección de un tipo de direcciones especial para direccional los RBAs es opcional y supone un compromiso entre sus ventajas e inconvenientes. Inicialmente no se considera un direccionamiento especial por lo que los RBAs utilizarán direcciones MAC convencionales. La utilización de un direccionamiento tipo STAA como se describe en el Apéndice 1 presentaría algunas ventajas tales como encaminamiento consolidable por rutas, encaminamiento unicast por árbol de distribución para las direcciones sin entrada en tabla, nuevas formas de encaminamiento mixto, posible utilización de estas direcciones en IPv6 y otras. Entre los inconvenientes aparece la complicada integración de estas direcciones en el entorno actual entre las direcciones IP y las direcciones MAC.

6.- Un mecanismo de encaminamiento en la red: entre RBAs o de origen a destino (de host a host). El encaminamiento en la red se realizará de forma transparente para los hosts, el ARB DR recibirá una trama del host y la encapsulará con una cabecera adicional de capa 2 con su dirección origen y con destino la dirección del DR del host destino, por la ruta aprendida por los mecanismos antes mencionados de anuncio de estado de enlace. Los hosts no modifican su comportamiento y el encaminamiento es responsabilidad de los RBAs. Entre los posibles algoritmos de encaminamiento antibucles es de destacar el encaminamiento arriba/abajo mencionado. Es un sistema relativamente sencillo de evitar los bucles de paquetes, que asigna números secuencialmente a los nodos empezando por el nodo raíz, y basado en prohibir giros de abajo a arriba ("valle") (del tipo a, b,c donde los nodos a tienen $ID_c < b$ y $a < b$), estando permitidos los de tipo "cresta" (arriba abajo). Sus características principales son : la ruta no es necesariamente la mínima porque puede haber varias, siempre existe ruta a vía árbol de distribución, y , en caso de utilizar direcciones STAA el sentido de los arriba/abajo enlaces se deduce de las direcciones relativas de forma inmediata en cada ARB. Para encaminar de esta forma en un ARB hay que prohibir los giros hacia arriba y preferiblemente utilizar la mejor ruta calculada de las posibles alternativas usando la topología obtenida en el ST. Las ventajas consisten en que no se cortan enlaces, no se usa difusión y por tanto se ahorra ancho de banda. Igualmente puede resultar en una implementación HW sencilla de los RBAs incorporándoles la orientación arriba/abajo a los enlaces. Los inconvenientes son la necesidad de algoritmo de encaminamiento adicional si se desea ruta mínima para elegir la ruta más corta entre las rutas posibles.

7.- En lo referente a la interoperabilidad entre RBAs y Puentes 802.1D, y posibles restricciones al despliegue de RBAs en una red con Bridges y Switches estándar, se contemplan dos escenarios: inserción dispersa de RBAs o islas de RBAs con continuidad topológica . En el primer caso, para permitir la coexistencia de RBAs y Puentes estándar IEEE 802.1D sin la funcionalidad ARB es necesario encapsular la trama de nivel 2 recibida del host dentro de otra de nivel 2 con origen y destino los RBAs DRs de los hosts origen y destino. De esta forma las tramas así encapsuladas pueden atravesar por difusión normal (árbol de distribución), las zonas de puentes normales situadas entre zonas con RBAs. Solamente los RBAs desencapsulan estas tramas. En términos generales, los RBAs pueden estar dispersos por la red campus

coexistiendo con Puentes IEEE 802.1D. En el caso de utilizar el direccionamiento STAA, el requisito se endurece dado que este direccionamiento requiere continuidad topológica de RBAs en el RBAol de Distribución, por lo que los RBAs tienen que formar ramas con continuidad completas del árbol de distribución desde el Puente Raíz hasta los hosts.

Consideraciones sobre aplicabilidad de encaminamiento en origen (Source Routing)

Se analiza aquí la adecuación o no del Encaminamiento en Origen para las redes campus con RBAs. En el encaminamiento en origen, la ruta que debe seguir la trama se incluye en la cabecera de la misma. El encaminamiento en origen (Source Routing Bridges) tuvo su auge y declive ligado en parte a los avatares de las redes de paso de testigo (Token Ring) de IBM. El éxito de Ethernet ha relegado el encaminamiento en origen a los protocolos de redes Ad-Hoc (Mobile Ad Hoc Networks (MANETs), en donde desempeña aún un papel en combinación con otros múltiples mecanismos. [14]. En el encaminamiento en origen una función importante es el descubrimiento de ruta, que se realiza con tramas exploradoras. Estas tramas exploradoras consumen mucho ancho de banda, en el caso mejor, si se transportan solamente a través del árbol de distribución puede evitarse la multiplicación excesiva de tramas exploradoras. En las redes empleadas para construir multiprocesadores se emplea encaminamiento en origen por la rapidez de conmutación que permiten las cabeceras de encaminamiento y por la sencillez de los dispositivos conmutadores y algoritmos de encaminamiento, que en el caso de redes regulares (topología en malla de dos o tres dimensiones, toroidales, etc) emplean frecuentemente algoritmos simples como recorrer las coordenadas X y luego recorrer las Y). Son sobradamente conocidos los inconvenientes del encaminamiento en origen (desde los hosts) para redes irregulares: complejidad en todos los hosts, que tienen que calcular las rutas detalladas e incompatibilidad con las redes existentes al precisar implementar esa funcionalidad en los hosts. En la aplicación a redes campus con RBAs es factible el encaminamiento en origen implementándolo en los RBAs en vez de en los hosts y utilizando encapsulado adicional de capa 2. Los RBAs pueden obtener rutas entre ellos mediante técnicas convencionales de exploración o aprendizaje y emplearlas para añadir la ruta a las tramas recibidas de sus hosts, pero no parece que el entorno de redes campus justifique la

complejidad y consumo de ancho de banda del encaminamiento en origen. Sin embargo, algoritmos combinados de aprendizaje hacia atrás y descubrimiento de ruta podrían ser eficientes.

Coexistencia de Reenvío y Encaminamiento

La coexistencia de árbol de distribución y algoritmos de encaminamiento en el ARB, es decir de las funcionalidades de reenvío y encaminamiento (bridging, routing) tiene implicaciones en el manejo y estado de los puertos del ARB. Es preciso manejar dos estados en el puerto: uno para encaminamiento y otro estado para la función de reenvío, determinado mediante RSTP. Lógicamente el estado para encaminamiento requerirá la adecuada inicialización del estado para reenvío. El comportamiento con el reenvío de tramas es el que será específico, debiendo habilitarse el encaminamiento de tramas por enlaces deshabilitados para reenvío por el protocolo de árbol de distribución (STP). Igualmente según se desee utilizar RSTP o no para enviar a través del árbol de distribución las tramas cuya dirección destino se ignore, deberá modificarse o inhibirse el funcionamiento de RSTP para reenvío de tramas.

ARP

Una de las mejoras deseables en las redes campus es evitar la difusión (broadcast) excesiva en la red, la cual consume recursos y reduce la seguridad. Entre los paquetes que utilizan difusión destacan los del Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP). Los RBAs deben evitar en lo posible esta difusión. En este caso se propone que se implemente mediante servidores en los que los hosts serán inscritos por los RBAs por reenvío de la trama (duplicado) para actualizar las cachés de dichos servidores. Las peticiones ARP serían encaminadas por los RBAs a estos servidores. Otro mecanismo posible consiste en que los RBAs aprenden a la vez la dirección IP y MAC de los hosts, con lo que el paquete ARP se envía solamente al ARB DR del host destino. Otro mecanismo, empleado en las redes Peer to Peer, consiste en repartir la tabla Hash distribuida (DHT) de traducción de identificador a dirección relativa entre los servidores de la red campus. Se busca indexando por el resultado de la función hash(dirección IP) y se devuelve la dirección MAC. Esta opción tiene la ventaja de la distribución completa y el inconveniente de la relativa lentitud de la búsqueda.

Problemática de redes locales virtuales (VLANs)

Las redes locales virtuales (VLAN) son empleadas actualmente para reducir el dominio de difusión en las redes campus, haciendo uso más eficiente del ancho de banda de la red. Las VLAN permiten asimismo aumentar la seguridad, separando las redes y reduciendo la accesibilidad física a los contenidos de las mismas. El empleo de VLANs en las redes campus altera la topología efectiva por las restricciones de conectividad resultantes, complicando de forma importante la configuración del árbol de difusión (Spanning Tree), apareciendo la necesidad de árboles de difusión específicos para cada VLAN, cuya configuración es delicada, debiendo tenerse en cuenta las posibles reconfiguraciones de los mismos para evitar la formación de bucles. Todo ello se consigue al precio de una mayor complejidad de gestión de las redes y con ello menor fiabilidad de las mismas. Si se utilizan RBAs, el empleo de VLANs parece innecesario y el papel de las mismas queda cuestionado en un entorno de encaminamiento, dada la desaparición de la LAN como tal al realizar encaminamiento.

Conclusiones

Las propuestas para mejorar el rendimiento y seguridad de las redes campus Ethernet manteniendo la gestión y configuración mínimas incluyen Puentes Enrutadores. Destacan las que introducen funciones de encaminamiento en los Conmutadores de forma que no impliquen cambios en el funcionamiento de los hosts. En el artículo se pasa revista a la problemática y nuevas ideas de Puentes Encaminadores y se presenta una solución en desarrollo basada en RBAs en la que los puntos más abiertos conciernen a la definición y selección del encaminamiento más adecuado a las redes campus reales en términos de coste/beneficio y a la limitación de la difusión de los paquetes ARP en la red campus. Aparte es necesaria la elaboración de estrategias de implantación de RBAs en las redes existentes para mejora de la utilización de la infraestructura. La aplicación del sistema de asignación de direcciones STAA propuesto en otros contextos u aplicaciones (redes inalámbricas, móviles, etc) es otro tema de interés, pero fuera del campo estudiado.

Referencias

- [1] R. Perlman, A. Williams. "Design for a Routing Bridge". IETF draft-perlman-zero-router-cbridge-00.txt June 13, 2003.
- [2] Seiffert, William M. "Bridges and Routers". IEEE Network Vol.2, No.1. January, 1988, pp.57-64
- [3] L.Kleinrock and F. Kamoun, "Hierarchical routing for large networks," Computer Networks 1, 1977, pp. 155-174.
- [4] T.L. Rodeheffer, C.A. Thekkath, D.C. Anderson "SmartBridge: A Scalable Bridge Architecture," in the proceedings of ACM SIGCOMM 2000, September 2000, Stockholm, Sweden.
- [5] M. Shoreder et al., "Autonet: A High-Speed, Self-Configuring Local Area Network Using Point-to-Point Links," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No. 8, pp. 1318-1335, October 1991.
- [6] 802.1w - Rapid Reconfiguration of Spanning Tree. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1w.html>
- [7] R. García, J.Duato, F. Silla." LSOM: A Link State Protocol Over MAC Addresses for Metropolitan Backbones Using Optical Ethernet Switches". Proc. Second IEEE NCA'03.
- [8] IEEE 802.1X Port based network access control. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1x.html>
- [9] Chamlee, M.A., Zegura, E.W., Mankin, A."Design and Evaluation of a Protocol for Automated Hierarchical Address Assignment". Proceedings Ninth International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 328-333, 2000.
- [10] Gigabit Campus networks Design. WhitePaper. Cisco Systems. 1999/2003. <http://www.cisco.com>.
- [11] K. Lui, W. C. Lee, K. Nahrstedt, "STAR: a transparent spanning tree bridge protocol with alternate routing," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 32, no. 3, pp. 33-46, July 2002.

[12] F. De Pelegrini, D.Starobinski, M.G. Karpovsky, L.B.Levitin, "Scalable Cycle Breaking Algorithms For Gigabit Ethernet Backbones".<http://mark.bu.edu/papers/168.pdf>

[13] D. Starobinski, M.G. Karpovsky and L. Zakrevski "Application of Network Calculus to General Topologies using Turn-Prohibition," *IEEE INFOCOM 2002* pp. 1151-1159. 0-7803-7476-2/02.

[14] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu and Mario Gerla.- "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks".*IEEE Network* July/Aug 2002 Vol. pp. 11-20

[15] R. Perlman, "An Algorithm for Distributed Computation of a Spanning Tree in an Extended LAN", in the proceedings of Ninth ACM Data Communications Symposium, Vol. 20, No. 7, pp. 44-52, September 1985, New York, USA.

[16] R.Permán. *Interconnections*. Second Edition. Addison-Wesley. 2000.

APENDICE 1.

Encaminamiento arriba/abajo en redes campus

El encaminamiento arriba abajo puede ser efectivo en las topologías de redes campus, En la figura 2 puede verse una red campus con backbone colapsado. Se marcan los giros (abajo-arriba) prohibidos que resultan de aplicar el encaminamiento arriba/abajo.

Puede compararse la ventaja en aprovechamiento de la infraestructura con la figura 3, que muestra la topología activa (enlaces no bloqueados por el protocolo de árbol de distribución) de la misma red.

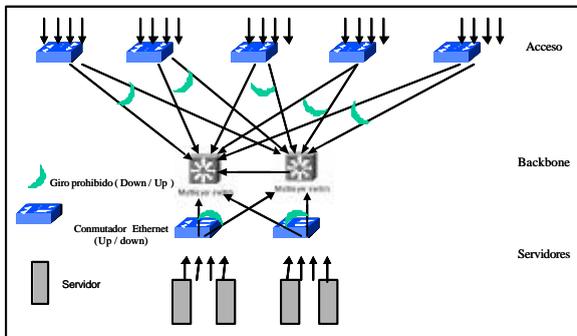


Fig. 2 Red campus con giros prohibidos resultantes de encaminamiento arriba/abajo (Up / Down routing)

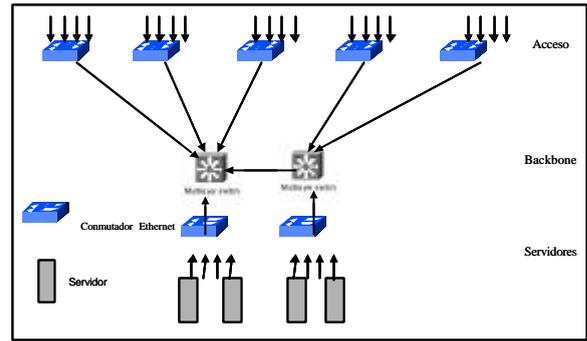


Fig. 3 Topología activa utilizando árbol de Distribución (Spanning Tree)

APÉNDICE 2

Asignación automática de direcciones basada en árbol de distribución (Spanning Tree based Address assignment (STAA))

En este apéndice se describe brevemente el fundamento de la asignación de direcciones, los detalles de implementación este protocolo serán publicados más adelante.

Explicaremos brevemente el sistema de direccionamiento propuesto basado en la topología de la red. Lo hemos bautizado como protocolo STAA (Spanning Tree based Address Assignment) . Se apoya en el reciente Protocolo Rápido de árbol de Distribución (Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)), utilizando la información de conectividad relativa entre Puentes, empleando los números de puerto Designado como coordenadas de cada enlace tomando como origen el Puente Raíz (Root Bridge). Ver figura 4. El Puente Raíz, seleccionado de acuerdo con el protocolo RSTP de acuerdo con el valor de su identidad con el prefijo de Prioridad programado, es el origen de coordenadas de la red campus, el punto común de referencia de direcciones. El Puente Raíz (RB) se identifica por su Bridge ID transmitidas en las BPDUs del protocolo RSTP. Se asume que la red campus tiene enlaces dedicados punto a punto entre todos los RBAs. En los enlaces entre RBAs y hosts pueden existir enlaces compartidos (leaf nodes en terminología STP).

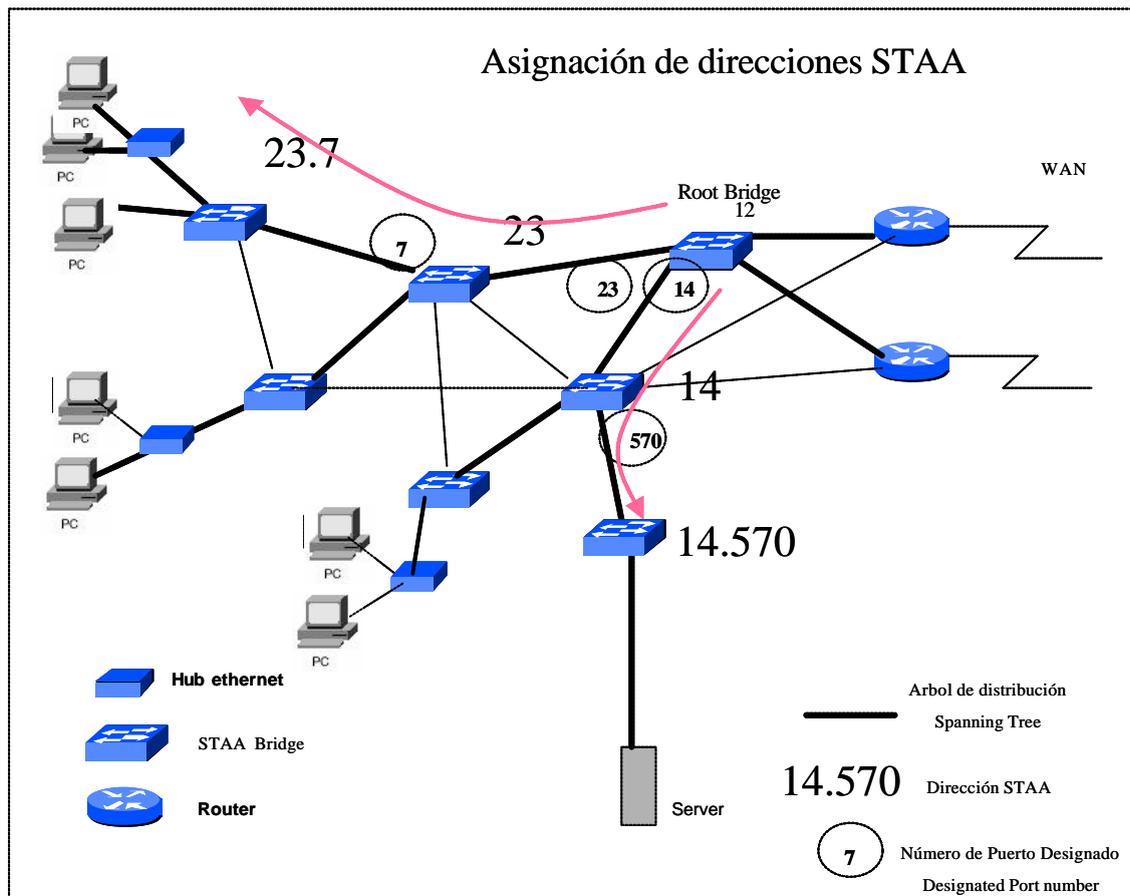
El concepto de dirección STAA está basado en identificar un enlace por la secuencia de números de puerto que describe el camino desde el Puente Raíz hasta dicho enlace en el árbol de distribución (STP). En el ejemplo de red de la figura 4, el enlace al servidor tiene la dirección STAA 14.570.235 porque el camino para

alcanzarlo a través del STP hacia abajo comienza en el Puerto número 14 del Puente Raíz (Puerto Designado), pasa por el puerto 570 del siguiente Puente de inferior nivel del STP, y por el puerto 235 del puente consecutivo .

Aunque a primera vista las direcciones STAA podrían parecer altamente volátiles debido a los cambios de topología en la red campus, ha de

Fig. 4 Principio de asignación de direcciones basado en Arbol de Distribución (STAA).

tenerse en cuenta la aplicación actual y real de STP en general y las características específicas de RSTP: el Puente Raíz se elige de forma cuidadosa y prácticamente programada, dado que se configura la prioridad del mismo y del resto para que el Puente Raíz y sus posibles sustitutos estén totalmente previstos y la topología resultante controlada.



¿Qué clase de direcciones son las direcciones basadas en árbol de distribución? Las direcciones STAA expresan conectividad jerárquica desde el origen de la red campus (Puente Raíz). Tienen características comunes y diferenciadores con las IP y con las MAC Son las que tienen más información topológica y

menos *identidad*, la cual se adquiere si se asocian con una dirección MAC o IP o bien la identidad del Puente Raíz . Por ello presentan ventajas operativas para el encaminamiento y direccionamiento dinámico. En la tabla 1 se ilustran las principales características por comparación con las direcciones IP y MAC.

Cualidad de la dirección	Direcciones MAC	Direcciones IP	Direcciones STAA
Longitud	48 / 64 bit	32 /128 bit	48 bit / variable
Unicidad	Sí	Sí	No (1)
Validez	Mundial	Mundial	Local(1)
Jerárquicas/ Planas	Planas	Jerárquicas	Jerárquicas
Vinculación al HW	Por ítem (fábrica)	No	Sí (por número de puerto)
Asignación	IEEE/ Fabricante	Manual / Semiautom.	Automática
Identifica	NIC, physical item, manufacturer, item.	Conectividad lógica Subred	Conectividad física Posición topológica en el RBAol de Distribución
Adecuado para	NIC	Enlace Router	Enlace ARB
Utilizada por	Bridges/ Switches/ Hosts	Routers	Adaptative Routing Bridges (opc.)
Estabilidad	Alta. Física	Media Administrativa (ISP)	Media Topológica
Actualización	Ninguna	Manual (exc. DHCP)	Automática

(1): Unicas y Universales si incluyen la dirección MAC del Puente Raíz.

Tabla 1. – Comparación de características entre direcciones MAC, IP y STAA.
