

Migración de redes metropolitanas y troncales sobre PTT

Ángel Ferreiro Olivo, Juan P. Fernández-Palacios Giménez

Telefónica I+D, Madrid, [olivo, jpfpg]@tid.es

Abstract — Las redes de transporte, desarrolladas sobre tecnología de conmutación de circuitos, han ido adaptándose a los servicios IP en las últimas décadas. Sin embargo, el ritmo de crecimiento de la demanda de ancho de banda, así como la tendencia hacia una integración de servicios inicialmente soportados por redes de acceso diferentes, plantea la necesidad de prever el despliegue de una red convergente para servicios *quad play* sencilla y orientada al futuro, sobre conmutación de paquetes. La alternativa rupturista de manejo de una red IP soportada directamente sobre sistemas de transmisión óptica no parece eficiente a corto/medio plazo; se abre así paso el despliegue de una capa intermedia sobre tecnologías de transporte de paquetes (PTT), con facilidades de ingeniería de tráfico y dotación de servicios avanzados con prestaciones de operación y gestión y, todo ello, con coste menor que el que originarían soluciones similares alcanzadas mediante sistemas de conmutación de circuitos con arquitecturas jerárquicas.

I. INTRODUCCIÓN

El panorama actual al que se enfrentan los operadores de red puede describirse cuantitativamente en un crecimiento exponencial de demanda de ancho de banda e2e (extremo a extremo) y, cualitativamente, en una clara preponderancia de las aplicaciones basadas en transporte de paquetes, incluyendo VoIP. Todo ello viene determinado por la evolución propia de las aplicaciones que, de facto, otorga al nivel de red, IP, el status de nivel convergente: Pivote entre redes de acceso y transporte, de propósito inicial diferente, y las plataformas de servicios desarrolladas para satisfacer la demanda de servicios de voz, acceso a Internet, distribución de contenidos multimedia, convergencia fijo-móvil, etc. Si la construcción de una red única multiservicio, soporte de conectividad para cualquier servicio, debe ser lograda a partir de un escenario de infraestructuras desarrolladas de manera prácticamente independiente, habrá que trazar una estrategia factible de migración hacia el paradigma NGN (redes de nueva generación) considerando asimismo una reducción de costes, acorde con la tendencia manifiesta de precios a la baja del transporte por bit y km. Ante este panorama, contando con la previsible evolución tecnológica y un razonable modelo de negocio, se plantea la oportunidad de desplegar una red de transporte adaptada al tráfico determinado por las aplicaciones previstas sobre IP, sobre conmutación de paquetes, con altas prestaciones, que aligeren costes mediante un diseño más racional de sus nodos y topología. En este artículo se describe tal tipo de soluciones, sobre tecnologías de transporte de paquetes, y la eventual migración hacia ellas a partir de escenarios plausibles en diferentes situaciones.

En suma, packet transport technologies (PTT) responden a la adaptación del nivel de enlace al tráfico *rafagoso* que soporta el nivel de red IP extendiendo los beneficios de la conmutación de paquetes, en cuanto a mayor aprovechamiento de recursos por multiplexación estadística. La transmisión compartida de voz y datos, inaugurada con ATM, se intensifica pues con la vista puesta en la progresiva implantación de VoIP y sistemas DiffServ, que garanticen la calidad de servicio (QoS) apropiada a cada tipo de aplicación cliente sobre IP. La eventual deficiencia de los sistemas de enrutamiento de paquetes, en cuanto a este último punto ya fueron solventados paralelamente, con su “orientación” a conexión, tanto por MPLS como, en entornos Ethernet, mediante protocolos de formación de RPV (redes privadas virtuales) y consiguiente control de flujo extremo a extremo.

Así pues, PTT se presenta, bien como una especificación mejorada de la familia IEEE 802, que dota a los sistemas Ethernet con prestaciones *carirer class* OAM (operación, administración y mantenimiento), o bien como una simplificación de nodos IP/MPLS, tras un desdoblamiento de sus facultades en niveles de servicio y de transporte, para la construcción de una red T-MPLS (Transport-MPLS) dedicada al tráfico agregado (y analizado) por los nodos de borde, en topología no jerárquica, como *nodos de tránsito*.

Al margen de la evidente necesidad de reducir CAPEX mediante la sustitución de sistemas más complejos o anticuados para conseguir las garantías de calidad e2e, los sistemas PTT deben cumplir, para su eficaz prestación de servicios, los siguientes requisitos:

- Especificaciones OAM: A fin de que el operador de red sea capaz de garantizar la QoS mediante su adecuada supervisión: Gestión de acceso a recursos de red por parte de sus clientes, gestión de alarmas (control de flujo e2e) y herramientas apropiadas de ingeniería de tráfico que permitan su operación dinámica.
- Facilidades de soporte a servicios avanzados: DiffServ, o soporte de servicios de calidad diferenciada a aplicaciones cliente (en conjunción con la oferta DiffServ de IP), RPV y soporte de servicios de acceso móvil (transporte de señal de sincronización requerida por los sistemas celulares).

- Modos de difusión multicast (p2mp): Para servicios tipo IPTV sin necesidad de multiplicar la ocupación de canales en el núcleo de red.
- Interoperabilidad con sistemas precedentes: JSD (Jerarquía Síncrona Digital), Ethernet, etc. Asimismo, todos los sistemas PTT deberían ser estandarizados e interoperar sin dificultad entre ellos.
- Escalabilidad de la red de transporte, para tráfico agregado, independientemente de la posible explosión de la red de acceso.
- Garantía de robustez, como red de transporte: Mediante esquemas menos onerosos que la protección 1+1 (característica de los anillos JSD). Derivada de la conmutación de paquetes, aparece posibilidad desarrollar sistemas de restauración sobre redes malladas, bien mediante pre-planificación o mediante sistemas de control más elaborados, similares a los establecidos en GMPLS (FastReRoute), para redes troncales.

II. ESCENARIOS DE PARTIDA

Tanto en redes metropolitanas como en la troncal nacional, los sistemas ATM han prevalecido a lo largo del último cuarto de siglo. La conectividad ofrecida por los operadores de red para ellos ha sido soportada por redes de transporte con tecnología JSD, bien sobre topología en anillo, provistos de ADM (Add and Drop Multiplexer), o formando redes malladas con DxC (Digital Cross Connect). En cualquier caso, se trata de una tecnología diseñada para multiplexar (en el tiempo) circuitos, capaz de transportar agregados de 10 Gbps. Mediante sucesivas mejoras (NG-SDH), los contenedores (virtuales) manejados por la JSD pueden encapsular y transportar eficientemente cualquier tipo de tráfico (Ethernet, IP, etc.). Los datos siguen, pues, circuitos virtuales siendo desagregados sólo en los nodos que deban cambiar de contenedor – siguiendo su camino en los nodos de tránsito. No obstante, es preciso recordar que siempre debe ligarse multiplexores de igual nivel; de modo que, al aumentar la capacidad de un nodo, debido al incremento de tráfico cliente que agrega/extrae, todos los nodos que comparten su agregado (todos los de un anillo, por ejemplo), deberán ser mejorados aunque no sea precisa tal capacidad para el resto de secciones.

Esta circunstancia, así como la ineficacia económica de la tecnología JSD para triple play o segmentos de red con tráfico muy variable (metropolitanos, por ejemplo), y la gran oferta de soluciones basadas en Ethernet para servicios corporativos (interconexión de LANs) y el segmento de acceso, ha propiciado el desarrollo de redes alternativas de agregación sobre GbE, con soluciones estandarizadas o no (vgr. RPR [1] y DBORN [2] respectivamente), y una extensa gama de propuestas EFM¹. En determinadas circunstancias, esto ha podido propiciar el despliegue de redes de transporte más o menos paralelas a las originales, basadas en JSD por parte de nuevos operadores, soporte troncal de redes celulares o de propósito específico, por parte del mismo operador incumbente, propietario de la red ATM..

Esto nos lleva a considerar, como escenario alternativo de partida, el denominado “campo verde” o situación en la que se encuentra un operador entrante que desea desplegar una nueva red de transporte, en ámbitos más o menos extensos, para servicios de móviles o integrados, o bien con la idea de aprovechar determinados nichos de mercado sobre aplicaciones avanzadas, incluyendo VoIP, para completar el paquete.

Por último, es preciso señalar el despliegue de redes IP/MPLS, sobre nodos de transporte con JSD para solucionar la demanda de tráfico IP, incluyendo servicios de LAN privada virtual (VPLS). Este escenario puede verse como evolución natural a corto plazo, tras un despliegue previo de red JSD; sin embargo, su desarrollo a medio plazo no cuenta con las garantías de escalabilidad y eficiencia en costes a la hora de introducir masivamente servicios de distribución de contenidos multimedia o dimensionar las redes metropolitanas de acuerdo con las previsiones de acceso de ancho de banda diez veces superiores a las actuales mediante FTTH (fibra hasta el hogar).

III. ALTERNATIVA ETHERNET

El desarrollo de estándares para Ethernet, aprovechando la misma cabecera originalmente diseñada, ha permitido su evolución, más allá del entorno LAN, mediante switches de altas prestaciones. De este modo, se presenta como la tecnología más barata e interoperable, con evidentes ventajas, para redes corporativas y entornos metropolitanos. El requisito fundamental para constituirse en soporte de redes de transporte, ser dotado de capacidad OAM [3], se lo proporciona el algoritmo de árbol abarcante (STA) y la utilización de etiquetas (VID) [4] para la separación de clientes (control de flujo extremo a extremo y monitorización de alarmas). Sin embargo, este tipo de soluciones sobre Ethernet nativo, no acaban de satisfacer los requisitos de QoS (por ineficacia del STA, para aplicaciones de tiempo real) ni, sobre todo, los de escalabilidad (VID sólo permite identificar 4096 clientes). En apoyo de este tipo de redes, desarrolladas a modo de LANs interconectadas, se ha sugerido suplir las deficiencias OAM mediante un plano de control GMPLS de modo que sus protocolos de reserva y señalización garanticen la QoS y prestaciones OAM, utilizando las etiquetas VLAN como haría MPLS.

¹ Ethernet in the First Mile sirve para denominar las soluciones estandarizadas por IEEE e IETF, propuesta por asociaciones más o menos orientadas a mercado, para construir redes de acceso sobre protocolos de la familia IEEE 802.3. Cabe destacar, como alternativas viables, las soluciones p2p, sobre elementos (switches) activos y las arquitecturas sobre transmisión pasiva: EPON. Las futuras redes de acceso FTTH podrán ser soportadas, en principio, con cualquiera de estas soluciones.

Precisamente, el encapsulamiento de tramas Ethernet en MPLS sería otra solución para transportarlas sobre una red, con QoS y herramientas de ingeniería de tráfico e2e, utilizando VPLS y/o pseudowire (PW). En realidad, tendríamos una red de agregación puramente Ethernet ligada a la red de transporte MPLS, orientada a conexión, para el segmento troncal sin problemas de escalabilidad por la facultad de anidamiento de etiquetas del MPLS y declaradas capacidades para soporte de servicios avanzados (RPV, por ejemplo). Sin embargo, el coste que implica componer toda una red troncal con nodos MPLS resultaría difícil de asumir.

Quizás resulte menos costoso extender las prestaciones de Ethernet en cuanto a su capacidad de formar túneles por sí mismo mediante una doble asignación de su cabecera, que permite encapsular tramas Ethernet en tramas Ethernet (MAC-in-MAC) cuando éstas atraviesan los switches troncales de la red, que, en tal caso, interpretan la cabecera para señalar la ruta tunelada (o ESP: ethernet Switched Path) o formar RPV siguiendo los protocolos PBT (Provider Backbone Transport) o PBB (Provider Backbone Bridge): [5] y [6] respectivamente. La idea es, pues, esencialmente la misma en la que se base MPLS considerando como etiqueta un nuevo VID (I-Tag) capaz de distinguir millones de clientes: Los equipos de borde de la red de transporte encapsulan las tramas entrantes que, a partir de entonces siguen las rutas señaladas de modo que los switches troncales sólo tiene que leer las direcciones MAC de borde. La escalabilidad queda por tanto resuelta así como el tema de capacidades OAM y QoS (sin recurrir al STA); además, de manera natural, se cuenta con distribución multicast. Dado que los equipos hardware son esencialmente los mismos que para versiones precedentes de Ethernet, el ahorro CAPEX resulta evidente. Sin embargo, el tunelado Ethernet no dispone de un verdadero plano de control y aún tiene pendiente su estandarización completa.

IV. ALTERNATIVA MPLS

En realidad, MPLS fue desarrollado inicialmente para transportar sólo IP aunque, mediante su capacidad VPLS y encapsulado PW, se haya convertido en una tecnología generalizada de transporte de paquetes (orientada a conexión). Por tal razón los routers IP/MPLS siguen disponiendo de operativa rentable para aplicaciones cliente (capacidad de reenvío de IP, por ejemplo). Ahora bien, si tales elementos han de ser utilizados en su versión de enrutadores de la red de transporte, no precisan tales prestaciones y su coste puede reducirse en un tercio. Surge así la tecnología T-MPLS. Más aún, este desdoblamiento entre capa cliente y capa transporte de la red MPLS garantiza mejor la escalabilidad de las redes de transporte así construidas: La responsabilidad de monitorizar OAM e2e queda para los routers de borde (capa de servicios o “Transport Service Layer”, TSL) mientras que la capa de transporte (“Transport Trunk Layer”, TTL), sobre topologías malladas, para tráfico agregado, con capacidades multicast, de restauración y escalabilidad garantizada mediante anidamiento de etiquetas, al uso de VPLS, puede cumplir los requisitos marcados para PTT mediante su propio plano de control, en fase de especificación por la ITU, o bien interaccionando con un sistema GMPLS, con capacidad para MLTE (ingeniería de tráfico multicapa) y combinación de esquemas de protección y restauración a nivel óptico, de enlace e IP.

V. REDES METROPOLITANAS

De acuerdo al planteamiento desarrollado, parece que cualquiera de las alternativas PTT debe ser considerada sobre la opción de desplegar redes “todo IP” sobre enlaces ópticos (IP/OTN) a corto/medio plazo por la inadecuación de la granularidad OCS (Optical Circuit Switching: [7] y [8]) a la hora de agregar/desagregar tráfico cliente y gestionarlo en este segmento de red. Más aún, la instauración progresiva de Ethernet como estándar de facto entre redes públicas y de cliente, de la mano de grupos tales como TISPAN² y EFM Forum, tratando de avanzar hacia la red única multiservicio (NGN), debería eliminar cualquier reticencia de los operadores hacia la migración de sus redes de agregación metropolitana sobre PTT. Las ventajas económicas, a corto plazo, sobre la base de un despliegue masivo de servicios triple play, así como las estratégicas, a medio plazo, sobre la convergencia de red fijo-móvil y un planteamiento de servicios basados en inteligencia de red distribuida apoyan también esta opción ([9]).

Para operadores entrantes de red fija u operadores de móvil deseosos de ampliar su infraestructura de transporte, con posibles vistas para ofertar servicios integrados o corporativos, específicos para interconectar sedes y sus LAN, la opción PTT, para redes metropolitanas, bien sobre alquiler de enlaces (fibra óptica), bien por despliegue de una infraestructura propia, es una opción efectiva en coste siempre y cuando se asegure su robustez y recuperación acorde con las especificaciones para aplicaciones de tiempo real y el transporte de comunicaciones de red celular. Para operadores incumbentes de implantación previa, dotados de una red metropolitana sobre anillos JSD, su migración a una red mallada sobre PTT, enlazada con una red de acceso de topología estrella FTTH o similar, ofrece garantías de robustez frente a fallos en cascada (simulados por los autores). Además, la integración de esta red de transporte ofrece, a nivel de plano de control, posibilidades de actuación multicapa y/o su integración efectiva en coste en los mecanismos OAM previamente desplegados. Tal migración JSD a PTT, siempre y cuando se asegure el soporte a distribución p2mp, no es sólo efectiva en coste sino que

² Telecom & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks es un grupo del ETSI dedicado a la estandarización de servicios y redes fijas, en particular a la evolución de redes de circuitos a redes de paquetes. Sus principales esfuerzos se dedican al desarrollo de una arquitectura, sobre protocolos de IMS, compatible (interoperable) con las desplegadas sobre ATM, FR y SS7 (Sistema de Señalización número 7)

permite adecuar la red a la evolución previsible hacia la oferta de servicios integrada (VoIP incluida) sin que este segmento se revele como un cuello de botella o la razón del cambio de modelo de negocio.

VI. REDES TRONCALES

La disponibilidad de tecnologías de transporte, relativamente baratas, carrier class, es, sin duda una gran tentación para operadores entrantes, como, en su día, lo fue la implantación de ATM sobre fibra óptica. Así pues, para este tipo de escenarios de partida (*green field*), El despliegue de redes de transporte Ethernet, para soporte de servicios integrados sobre IP, es una oportunidad competitiva de alto valor estratégico considerando una previsible evolución regulatoria o el simple aprovechamiento de las oportunidades de negocio (cf. [10]) derivadas de las NGN y prestaciones de redes ópticas con plano de control distribuido que operadores incumbentes previamente establecidos previsiblemente desplegarán.

Para éstos últimos, ya dotados de una importante infraestructura JSD, la migración a un nuevo tipo de tecnología no es efectiva en coste ya que el argumento de inadecuada granularidad de la conmutación de lambdas (OCS) no es defendible para este segmento. En este caso, la tendencia es más bien a explotar las ventajas de transparencia para redes de largo alcance y el acceso de conexiones de cliente de mayor ancho de banda (40 ó 100 Gbps) así como implantación definitiva de sistemas de ingeniería de tráfico y control de fallos mediante GMPLS (sistema distribuido). De este modo, la conexión de subredes PTT a los nodos JSD mediante provisión dinámica, irá, a medio plazo, sustituyendo los despliegues NG-SDH siempre y cuando los medios de control de redes sean interoperables: Sistemas PTT “empotrados” en nodos JSD.

En cualquier caso, la alternativa IP/PTT analizada ha revelado la conveniencia de sustituir arquitecturas jerárquicas por otras basadas en topologías malladas a fin de mejorar la eficiencia de transporte (reduciendo tráfico de tránsito innecesario) y ganar en robustez de red sin tener que recurrir a esquemas costosos de protección. En definitiva, se trata de aplicar los conceptos de las arquitecturas basadas en PTT.

VII. Conclusión

La evolución a corto y medio plazo de las redes de transporte, para segmentos metropolitano y troncal revela una gran oportunidad de ir avanzando infraestructuras hacia el paradigma de red única multiservicio de banda ancha e2e, sobre conmutación de paquetes, soporte de una capa de integración global IP. Aunque, en redes metro, el análisis de robustez de las redes basadas en topologías malladas y conmutación de paquetes ha mostrado su superioridad frente a las soluciones actualmente desplegadas, sobre anillos JSD, consideraciones económicas muestran que una migración de este tipo en redes troncales no es efectivo para operadores incumbentes que ya hubieran invertido en el despliegue y consolidación de su red JSD, con plano de control GMPLS. No obstante, para operadores entrantes, las PTT ofrecen importantes alicientes siempre y cuando sus prestaciones satisfagan adecuadamente los requisitos de servicios que pretendan ofrecer o su esquema de negocio y acuerdos con otros incumbentes se lo permita.

REFERENCIAS

- [1] 802.17 IEEE Standard, June 2004.
- [2] N. Le Sauze et al., « A novel, low cost optical packet metropolitan ring architecture », ECOC'01, 27th, European Conference on optical Communications, Vol. 6, pages 66-67, 30 sept. – 4 oct. 2001.
- [3] Véase la recomendación ITU-T Y.1731
- [4] Definido en IEEE 802.1Q
- [5] 802.1Qay IEEE Standard
- [6] 802.1ah IEEE Standard
- [7] J.P. Fernández-Palacios et al., “Migration Scenarios for Metro Networks: A Migration Roadmap for Metro Access Networks”, ISCN'06, Istambul, Turkey. June 2006, pp 17-22.
- [8] Jesús Lobo et al., “Escenarios de Evolución de la Red Metropolitana”. Proc. of Telecom I+D, Madrid (Spain), Nov. 21-24, 2005.
- [9] A. Ferreiro et al. “Techno-economic benchmarking of NOBEL solutions for end-to-end broadband communications”, proc. NOC 07, June 2007
- [10] Á. Ferreiro y J. Lobo, workshop on “Tecno-Economic Feasibility”, Brussels, September 23rd 2005