INVESTIGACIÓN

Tecnologías de transporte para las redes móviles

Transport technologies for mobile networks

Ing. Lucian Pérez Acevedo[1*], Dr.Sc. Arturo Luis Infante Rielo [2]

Recibido: 11/2017 | Aceptado: 02/2018

PALABRAS CLAVE
Backhaul
TDM
Ethernet
IP
MPLS

RESUMEN

La presente investigación analiza la evolución del *backhaul* móvil (MBH) el cual define a la red de transporte que conecta estaciones base móvil a controladores de red de radio, sus puertas de enlace y servidores. La tecnología tradicional MBH empleada ha sido TDM, pero el aumento de las capacidades de acceso de las redes de radio, la hace insuficiente y poco escalable, TDM es orientada a la conexión e ineficiente en el aprovechamiento de las capacidades de transmisión, por lo que las redes de transporte de paquetes, no orientadas a la conexión, están sustituyendo las tradicionales. Se evidencia como las redes de transporte de paquetes empleando Ethernet y MPLS/IP permiten aumentar las capacidades MBH y hacer un uso eficiente del soporte de transmisión empleado.

KEYWORDS
Backhaul
TD
Ethernet
IP
MPLS

ABSTRACT

This paper analyzes the evolution of mobile backhaul (MBH) which defines the transport network that connects mobile base stations to radio network controllers, their gateways and servers. The traditional MBH technology used has been TDM, but the increase of the access capabilities of the radio networks, makes it insufficient and little scalable, TDM is connection oriented and inefficient in the use of the transmission capacities, packet transport networks is nonconnection-oriented are replacing traditional transport networks. It is evident how the packet transport networks using Ethernet and MPLS / IP allow to increase the MBH capacities and to make an efficient use of the transmission support used.

Introducción

El acceso a los servicios de banda ancha en el proceso de informatización de la sociedad constituye un indicador clave para evaluar el desarrollo social y económico de un país, una región. Los gobiernos están aumentando los incentivos para el desarrollo de las inversiones para la construcción de la infraestructura de transporte y acceso a la banda ancha. La red de transporte ha evolucionado y evoluciona para satisfacer la demanda de mayores velocidades de conexión y requerimientos de red. Este comportamiento no es igual

[1*] Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. La Habana, Cuba. lucian.perez@etecsa.cu
[2] Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. ainfante@uo.edu.cu

en todo el mundo e incluso se encuentran diferencias dentro de un mismo país, pero el objetivo es el mismo: lograr un mayor rendimiento de la red y una mayor satisfacción del usuario.

La demanda de velocidad de soporte a los servicios de las estaciones base móviles está aumentando, los típicos 2 Mbps por radio base para la voz ya no son suficientes. En la Tabla 1 se muestra la capacidad de la red de *backhaul* de la estación base típica necesaria para dos escenarios de despliegue diferentes hasta el año 2020 (Ericsson, 2015). La parte superior de la tabla representa un operador que hoy se encuentra en la fase de introducción de banda ancha móvil, mientras que la parte inferior muestra un operador en la fase de banda ancha móvil avanzada. La mayoría de los operadores están en algún lugar entre estos dos ejemplos. Para el año 2020 se espera que las estaciones base de alta capacidad han de exigir a la red de *backhaul* alrededor de 1 Gbps, mientras que las de baja capacidad esten dentro del rango de los 100 Mbps. Se espera que los sitios con requerimientos de capacidad más extremas demandarán una red de *backhaul* con una capacidad similar a la fibra (Ericsson, 2015).

Cuba se prepara para asumir los objetivos planteados en la Agenda Conectar 2020 para el desarrollo mundial de las telecomunicaciones/ Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que incluyen el crecimiento, la integración, la sostenibilidad y la innovación en el sector de las telecomunicaciones. Como parte del sistema de informatización de la sociedad, es necesario crear la infraestructura de transporte para lograr una amplia capilaridad de acceso a los servicios de telecomunicaciones, por lo que gran cantidad de nodos de acceso han de desplegarse en la red para cumplir con las metas de desarrollo propuestas por las Naciones Unidas para lograr los propósitos planteados.

En Cuba, se están desplegando redes de acceso inalámbrico WiFi, red fija de banda ancha (convergencia de voz y datos), radio bases 3G, 4G, redes de acceso de fibra óptica para las empresas que pueden ser metro Ethernet o *Passive Optical Networks* (PON). Estas redes tienen mayores exigencias que las redes de transporte en cuanto a escalabilidad, flexibilidad, confiabilidad (esquemas de protección automático) y fundamentalmente redes de alta capacidad que soporten la evolución de los servicios a través de los años.

El *backhaul* móvil (MBH) es una red de transporte que conecta estaciones base móvil a controladores de red de radio y sus puertas de enlace y servidores. Sus bloques de construcción son a menudo los mismos que en redes fijas de acceso y transporte, especialmente en los niveles de *backbone* y agregación. También en el nivel de acceso se usan sistemas y equipos similares como en el acceso fijo, cuando se adaptan a los requisitos del *backhaul*. La convergencia de redes fijas y móviles es una realidad en el *backhaul*. Normalmente, el acceso MBH de línea fija usa equipos desarrollados en el primer lugar para acceso fijo y adaptado para uso MBH. En el acceso inalámbrico, es decir, en las soluciones de radio de microondas (MWR), el *backhaul* móvil es, sin embargo, el mercado principal y, por tanto, está impulsando los desarrollos MWR, lo que significa

Introducción a la Banda ancha móvil	2015	2020
80 % de los sitios	8 Mbps	25 Mbps
20 % de los sitios	25 Mbps	90 Mbps
Pocos sitios	90 Mbps	180 Mbps
Banda ancha móvil avanzada	2015	2020
80 % de los sitios	90 Mbps	270 Mbps
20 % de los sitios	360 Mbps	1 Gbps
Pocos sitios	1 Gbps	5/10 Gbps

Tabla 1 Requisitos de capacidad de *backhaul* por estación base para operadores en dos etapas diferentes de la evolución de banda ancha móvil.

ISSN: 1813-5056 Vol. 14, No. 1 , enero-julio, pp. 68- 78, 2018 tono

que las soluciones MWR suelen ser genuinamente hechas para el uso de MBH y necesitan menos adaptaciones.

Con el fin de proveer un estudio de factibilidad de las redes de transporte de paquetes se realiza la investigación de dichas tecnologías que permiten un uso eficiente del soporte de transmisión y un despliegue acelerado de los nodos de acceso de banda ancha tanto fija como móvil, siendo la red móvil la que mayor exigencias hace de la misma; debido a los requerimientos de latencia, sincronismos, velocidades de transmisión entre otras características técnicas, por lo que es vital que la red de transporte cumpla con los requerimientos de acceso de banda ancha móvil para su sostenibilidad en el tiempo.

Situación problémica: Se quiere lograr un alto nivel de informatización de la sociedad, para lo cual se deben haber desplegado alrededor de 50 radios bases 3G o 4G para el año 2020 por cada una de las principales ciudades del país. La tecnología de transporte empleada soportará los datos de la unidad banda base de la red de acceso móvil al núcleo de la red de control móvil denominado en inglés como *backhaul*. Siendo crítico el transporte de última milla, por la cantidad de segmentos de red de transporte que deben ser desplegados hasta el elemento de agregación de la red que suele ser un *switch*. Independientemente del medio de transporte y el equipamiento escogido, debe ser capaz de cumplir con las exigencias técnicas del nodo de acceso para lograr una buena satisfacción del usuario.

El objetivo general de la investigación es fundamentar la factibilidad de implementación de redes de paquetes para el transporte de banda ancha de la red de acceso.

Materiales y métodos

Los materiales empleados fueron la revisión bibliográfica sobre las redes de transporte MBH y como método principal los teóricos: análisis y síntesis que se empleó para realizar el estudio bibliográfico y determinar los aspectos fundamentales de los sistemas de transmisión, sus parámetros fundamentales para el planeamiento y despliegue. El método inductivo-deductivo con peso alto la variable: estudio de casos de implementación de transporte para redes de banda ancha móvil así como los escenarios de despliegue.

Resultados y discusión

En la actualidad, tanto en redes como en transporte, las discusiones a menudo comienzan con la consideración de soluciones en diferentes capas, por ejemplo una solución de capa 2 para el acceso o soluciones de capa 3 para alguna parte del *backbone*. Estas capas se refieren directamente, o aproximadamente, al modelo de capa desarrollado originalmente para el transporte de datos. El modelo de *Open System Interworking* (OSI) fue formulado en la Organización Internacional de Normalización (ISO) hace décadas (ISO,1994). Se desarrolló para definir cómo se mueven los datos en sistemas abiertos y se utiliza ampliamente para abstraer sistemas de telecomunicaciones de datos. Los sistemas se dividen en siete capas, cada una de las cuales se comunica con una superior o inferior, y con capas similares en otras partes del sistema. Estas capas están compuestas por la capa física, de enlace de datos, de red, transporte, sesión, presentación y aplicación. Las funcionalidades de todos los equipos a lo largo de la ruta de datos se asignan a una capa. Los estándares de protocolo que la ISO y otras organizaciones de estándares como IEEE desarrollan estos asociados con estas capas.

Se puede argumentar que el modelo OSI original está hoy desactualizado y que algunos protocolos son difíciles de localizar en una capa específica. Sin embargo, sigue siendo una herramienta válida en la conceptualización de las redes. Por ejemplo, la conmutación Ethernet se considera como funcionalidad L2 (Capa 2) mientras que el encaminamiento IP tiene lugar en L3. Algunos protocolos de internet (IP)como IP / MPLS caen entre dos capas conocido como L2,5.

También en las redes MBH se discuten comúnmente los roles de diferentes capas, así como los pros y los contras de localizar ciertas funciones en una capa específica.

Otro tema a tener en consideración son los esquemas de acceso. El acceso dúplex por división de frecuencia (FDD) es una forma de comunicación separando las direcciones de transmisión (enlace ascendente, enlace descendente) en el dominio de la frecuencia. El acceso dúplex de división de tiempo (TDD) divide las transmisiones en el tiempo, pero tan rápidamente que desde el punto de vista del usuario final la conexión puede llamarse dúplex en lugar de simplex.

Dúplex se refiere a la comunicación que tiene lugar sobre un canal en ambas direcciones al mismo tiem-

po. La comunicación Simplex también tiene lugar en ambas direcciones; pero no al mismo tiempo sino una dirección a la vez. A veces, el tipo de transmisión de comunicación unidireccional también se conoce como *simplex* y unidireccional en el momento de la comunicación como *semidúplex*.

El acceso múltiple o Multiplex es un método por el cual varios usuarios pueden compartir la capacidad de un canal de transmisión. En el acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA), múltiples usuarios comparten el mismo canal y cada uno recibe en un corto periodo de tiempo a la vez. La multiplexación tiene lugar tan rápidamente que cada tráfico parece ser continuo. Esto se aplica especialmente a la transmisión digital, donde los datos pueden dividirse en un flujo discontinuo de paquetes o tramas. Los protocolos más altos de la capa OSI se ocupan de combinar los datos para las necesidades de la aplicación. Hoy en día TDMA se utiliza principalmente para la transmisión digital.

El acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) divide el tráfico de diferentes usuarios o servicios en el dominio de la frecuencia. En el tiempo, todos los flujos de datos pueden tener lugar simultáneamente, pero el tráfico puede basarse en paquetes. Este método es utilizado por la mayoría de los enlaces de radio de microondas tradicionales y algunos sistemas de transmisión de fibra óptica.

El acceso múltiple por división de código (CDMA) es más conocido de la interfaz de radio WCDMA. Todos los usuarios se comunican al mismo tiempo en la misma frecuencia de radio, pero las transmisiones están separadas por diferentes códigos ortogonales.

Una categorización importante es la orientada a conexión frente a la no orientada a la conexión. El último significa la comunicación entre dos nodos sin acuerdo previo o sin señalización. Un ejemplo del primero es la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH), y del no orientado a la conexión el Protocolo de Internet (IP). PDH también puede denominarse conmutación de circuito, porque los nodos de comunicación forman un canal (circuito), usualmente en la Capa 1, antes de que comience la comunicación. Las conexiones en IP están conmutadas por paquetes. Estos se transmiten independientemente y los mismos canales L1 pueden llevar paquetes desde muchas fuentes y hacia muchos destinos. Hay muchos protocolos intermedios que pueden llamarse conmutación de circuitos virtuales. ATM es un ejemplo de protocolo que utiliza paquetes (células) pero establece una conexión.

La multiplexación digital se utiliza para conectar señales digitales a los segmentos de transmisión deseados y al usuario final. Casi todas las redes de transmisión digital se basan en jerarquías digitales estandarizadas.

La jerarquía digital plesiócrona es una tecnología TDM que se utiliza más comúnmente en las redes de transporte de acceso y agregación. Plesiócrona significa "casi sincrónico". Diferentes flujos de datos en una red PDH grande tienen la misma velocidad nominal pero no son exactamente sincrónicos.

PDH es el legado de casi todas las redes de telecomunicaciones de hoy. La unidad básica PDH es un canal de voz digitalizado. Usando la técnica de modulación de pulsos codificados (PCM) la señal analógica es digitalizada por 8 bits tomando 8000 muestras por segundo. Los bits están codificados a una señal de línea de 64 kbps con codificación de línea HDB3. Estos canales de voz rara vez se transmiten solos en largos trayectos. Son multiplexados byte por byte (por ejemplo: TDM) formando juntos la velocidad primaria del sistema PDH. En Europa (CEPT / ETSI) la tasa primaria se denomina E1 con una velocidad de 2048 kbps y en Japón J1 y USA T1 con una velocidad de 1544 kbps. Un E1 contiene 30 canales básicos de 64 kbps y dos intervalos de tiempo para señalización, alineación de trama e indicación de alarma. La longitud de cada trama es entonces 32 × 8 bits = 256 bits. Toda una trama E1 debe ser enviada a la misma velocidad que la señal básica (Nivel 0) muestreada lo cual hace la longitud de trama a 125 µs. La trama T1 (DS1) contiene 24 canales básicos y cada trama tiene un bit extra para la alineación de trama y sincronización (ITUT. G.703).

Las velocidades PDH de orden superior se generan multiplexando flujos de nivel inferior. La siguiente velocidad es ligeramente superior al producto de la tasa de bits de entrada y el número de canales. Es necesaria un relleno o justificación positiva porque los flujos (bits) no llegan exactamente a un elemento de la red PDH en el mismo momento y también puede haber un ligero cambio entre las tramas. Las subtramas también deben transportarse de forma transparente sin cambiar sus relojes plesiócronos.

Una de las ventajas de PDH es que los flujos continuos de bits llevan sincronización no solo a los nodos de transmisión, sino también a las estaciones base mó-

ISSN: 1813-5056 Vol. 14, No. 1 , enero-julio, pp. 68- 78, 2018 tono

vil. La velocidad de datos es controlada por un reloj en el equipo que genera los datos. Se permite que la velocidad de funcionamiento libre varíe en ±50 ppm de 2,048 Mbps que por sí misma no es lo suficientemente buena para la sincronización BTS.

Una desventaja de los sistemas TDM es la estructura de trama fija. A diferencia de las redes de paquetes IP y Ethernet que utilizan multiplexación estadística, PDH reserva los canales pre configurados independientemente de la necesidad. Especialmente en el tráfico de datos móviles donde la ubicación geográfica, los usuarios y los servicios (fuentes) cambian continuamente, esto causa congestión o pérdida de capacidad.

Un equipamiento de crosconexión se utiliza en los sistemas 2G más antiguos hasta un nivel de 8 kbps para mejorar la eficiencia de la transmisión cuando tramas de 2 Mbps solo están parcialmente completadas.

SDH es un mecanismo que permite que las tasas de PDH sean transportadas sincrónicamente y que la jerarquía digital se extienda a tasas más altas. SDH es la versión internacional de la norma publicada por la ITU mientras SONET es la versión de los Estados Unidos. Los estándares son muy similares en la implementación, por lo que es fácil interoperar entre SDH y SONET en cualquier caso.

Ventajas de la transmisión SDH en comparación con PDH:

- Tasa de transmisión suficientemente alta para las necesidades actuales de la red de datos de núcleo móvil.
- Red síncrona proporciona una sincronización precisa.
- Más simple agregar /extraer servicios en comparación con PDH.
- Confiable en nodo y nivel de red.
- Estandarización global e interconectividad.
- Soporte de muchos protocolos de cliente (como NGSDH).

El formato de transmisión básico para SDH es STM1 (módulo de transporte síncrono, nivel 1). Cada tasa de SDH es un múltiplo exacto de la señal de nivel inferior. La trama STM1 se transmite en un periodo de tiempo de 125 µs (ITUT. G.707). La señal correspondiente en SONET es STS3c (Señal de transporte sincrónico, nivel 3, concatenado) u OC3c (*Optical Carrier*, nivel 3, concatenado). La tasa básica en SONET se llama STS1 / OC1, 51.840 / 50.112 Mbps, que a veces se llama también STM0(ANSI. T1.105). La cabecera es 3,4% de la velocidad de transmisión de datos (ITU T. G.707)

Existen tres formas de correlacionar las señales de velocidad primaria de 1544 y 2048 kbps en el VC11 y el VC12, respectivamente, tal como se define en la Recomendación UIT T G.707: bit síncrono y byte sincrónico (ITU T. G.707)

En el tráfico Ethernet sobre SDH, la cabecera de la carga útil se transmite primero después de que se construye la trama completa. El encabezado SDH se denomina *overhead* y se intercala con datos de carga útil. El entrelazado permite una latencia muy baja. Los datos que pasan a través del nodo SDH pueden retrasarse como máximo 32 µs.

Una fortaleza de SDH es la multiplicidad de mecanismos de protección, especialmente los mecanismos de la protección de anillo. El término de protección 1+1 significa que dos canales de transmisión están ocupados continuamente para protegerse mutuamente. Si el canal principal falla, el extremo lejano (destino) selecciona el canal de protección usando un interruptor de protección. En la protección 1:1 (o en general M:N) se envían los datos únicamente al canal de trabajo (o N canales de trabajo) y el canal protector (o M canales de protección) está en reserva. Pueden utilizarse los canales de protección para algún otro tráfico (secundario). Cuando se detecta un fallo, ambos extremos cambian al canal protector. En general, la protección M: N es más eficiente en el uso de recursos de transmisión mientras que 1+1 puede funcionar más rápido. La protección M: N también requiere un canal de señalización entre los elementos protectores para acordar qué ruta utilizar. La protección también puede implementarse basada en trayecto o basada en los enlaces. También las interfaces SDH pueden estar protegidas.

Las técnicas de protección se pueden clasificar en varias dimensiones: protección lineal o protección de anillo, protección de trayecto o subred y bidireccional o unidireccional. La protección lineal puede funcionar entre cualquier par de puntos dentro de la red. Puede proteger contra un defecto en un nodo intermedio, una sección, una línea o una ruta de transporte de extremo a extremo. Los anillos son una manera muy eficiente de proporcionar protección y también tienen otros beneficios.

A menudo, la conmutación de protección se considera bidireccional, pero la conmutación unidireccional

puede ser ventajosa para un tiempo de conmutación más rápido, evitando interrupciones innecesarias para el tráfico extra y para una implementación más fácil. Los beneficios de la conmutación bidireccional son una gestión más sencilla y no hay desequilibrio entre las direcciones.

Las capacidades de protección de las secciones de anillo pueden compartirse, cada sección de multiplexación lleva canales igualmente operativos y cualquier sección puede usar los canales de protección en caso de fallo.

SDH / SONET se considera hoy en día como un sistema heredado y no óptimo para la transmisión de datos por paquetes debido a la tecnología TDM, la naturaleza orientada a la conexión y la inflexible (re) configuración. Cuando el aumento del tráfico de datos fue visible, se hicieron iniciativas para utilizar este legado para datos de paquetes explosivos de manera más eficiente. Era necesario mejorar la flexibilidad de la gestión del ancho de banda y la prestación de servicios de las grandes redes de gran capacidad (área metropolitana), incrementar la escalabilidad y la eficiencia operativa, pero al mismo tiempo aprovechar al máximo las enormes cantidades de gastos efectuadas a las redes existentes. La capacidad SDH / SONET es la principal razón para usarla en las redes de Internet para proporcionar una capacidad de gran ancho de banda. La generación siguiente SDH trae tres características a las redes existentes: la concatenación virtual (VC), procedimiento de entramado genérico (GFP) y esquema de ajuste de la capacidad del enlace (LCAS).

Procedimiento de entramado genérico (GFP) se define en la Recomendación ITU T G.7041. Ofrece asignaciones estándar para muchos servicios de datos en SDH y reemplaza esquemas propietarios. La aplicación más conocida es Ethernet hasta 10 Gbps. La Concatenación Virtual (VCAT, ITU T G.707) configura enlaces de ancho de banda variable en incrementos de 2 Mbps a través de una red SDH existente, sin necesidad de cambios en la infraestructura de la red. Cada enlace puede tener su capacidad distribuida a través de múltiples fibras. El esquema de ajuste de capacidad de enlace (LCAS, UITT G.7042) permite la variación en el servicio del ancho de banda. También permite que el ancho de banda de protección sea reutilizado para el tráfico. La misma característica también se proporciona en la tecnología *Resilient Packet Ring*.

Packet over SONET (PoS) es una iniciativa para transportar datos sobre SONET / SDH. IETF PoS especifica el uso de la encapsulación PPP sobre los enlaces SONET / SDH. PPP fue diseñado para ser utilizado en enlaces punto a punto y es adecuado para enlaces SONET / SDH, que están aprovisionados como circuitos punto a punto incluso en topologías de anillo. Las tramas PoS se asignan a tramas SONET / SDH y la velocidad de datos básica tiene un ancho de banda de 149.760 Mbps. En la mayoría de las aplicaciones de WAN hoy en día, los routers con interfaces PoS están conectados a anillos SDH portadores a través de ADM.

La plataforma de aprovisionamiento de servicios múltiples (MSPP) es una de las primeras iniciativas más para llevar el tráfico Ethernet sobre la tradicional tecnología de transporte SDH / SONET. Los nodos MSPP ofrecen múltiples interfaces de diferentes tecnologías, así como funcionalidades de ADM y también incluyen funcionalidad de crosconexión para manejar múltiples anillos de fibra de la red troncal en un solo equipo.

El modo de transferencia asíncrono (ATM) es una técnica de conmutación de circuitos que utiliza la transmisión de paquetes asíncronos. Utiliza la multiplexión asincrónica por división de tiempo y codifica datos en pequeñas celdas de 53 bytes de tamaño fijo (ITU T. G.804). Esto difiere de enfoques como el Protocolo de Internet o Ethernet que utilizan paquetes o tramas de tamaño variable. Los sistemas ATM funcionan principalmente en la capa de enlace de datos y usan PDH o SDH como protocolo de capa física. La velocidad de las redes ATM puede alcanzar hasta 10 Gbps pero en enlaces prácticos solo alcanzó 622 Mbps.

ATM proporciona varios servicios de capa de enlace de datos, pero ha perdido su posición por las redes preferidas IP y Ethernet. Se diseñó para una red que debe manejar tanto el tráfico tradicional de datos de alto rendimiento como el contenido en tiempo real y de baja latencia, como voz y video. ATM utiliza un modelo orientado a la conexión en el que se debe establecer un circuito virtual entre dos puntos finales antes de que comience el intercambio de datos real.

Originalmente ATM fue seleccionado como un protocolo de transporte para 3G WCMDA. Hoy en día más y más nuevas conexiones de *backhaul* para BTS 3G están basadas en IP. También se definieron las redes de RDSIB para utilizar el transporte ATM, pero solo unas pocas de esas redes ya existen.

ATM utiliza capas de adaptación ATM (AAL) para dar soporte a diferentes servicios no ATM. ATM

ISSN: 1813-5056 Vol. 14, No. 1 , enero-julio, pp. 68- 78, 2018 tono

establece circuitos virtuales (VC) a través de la red utilizando Virtual Paths (VP) y Virtual Channels. Cada célula ATM tiene un identificador de ruta virtual (VPI) y un identificador de canal virtual (VCI) que identifican juntos el circuito virtual utilizado por la conexión. A medida que las células atraviesan una red ATM, la conmutación tiene lugar cambiando los valores VPI / VCI. El proceso se denomina intercambio de etiquetas de esta manera, el tránsito de un extremo a otro siempre pasa por la misma ruta. Cuando se configura un circuito ATM, cada interruptor en el circuito es informado de la clase de tráfico de la conexión. Esto se denomina contrato de tráfico y es la base para el mecanismo de Calidad de Servicio ATM (QoS).

La conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS, por sus siglas en inglés), desarrollada por el IETF –*Internet Engineering Task Force*–, es una tecnología IP que permite a las redes heredadas (como frame relay o ATM) trabajar más rápido con cualquier conectividad, calidad de servicio y la priorización del tráfico. Cuando el paquete etiquetado entra en la nube, se propaga a lo largo de una ruta conmutada etiquetada (LSP) especificada por enrutadores con conmutación de etiquetas (LSR) (Guy, 2006).

Las redes MPLS son propiedad de los operadores de servicios, lo que les permite ofrecer servicios diferenciados basadas en MPLS a clientes empresariales conocidas como redes privadas virtuales (VPN) que pueden ser de nivel 2 o VPLS o VPN nivel 3 o IP. Para el operador, el valor de MPLS consiste en poder compartir una infraestructura común entre diferentes clientes y transportar diferentes clases de tráfico, lo que se puede identificar fácilmente con el etiquetado de paquetes.

Un ejemplo de aplicación como *backhaul* es el uso de VPLS. Las VPLS se usan para conectar una o más redes LAN a una red pública de paquetes (en este caso IP/MPLS), de manera que elementos distantes de una misma red puedan trabajar exactamente como una red local Ethernet (LAN). En la figura 1 se puede observar el topológico de una VPLS donde las radio bases se conectan al CE Equipamiento del Cliente o a un elemento de red del proveedor de red de transporte que pueden ser un *Lan Switch* (LS), un nodo SDH NG, un nodo PTN, etc. Luego un LS hace función de agregación para concentrar el tráfico y conectarse al *router* de borde de IP/MPLS denominado PE. Entre los PE se establecen los *pseudowire* que es una conexión virtual usada para transmitir tramas entre dos Pes, los PE establecen y mantienen los PW por medio de mensajes de señalización de protocolo de distribución de etiquetas (LDP) o protocolo de puerta de enlace de frontera (BGP). A manera de ejemplo se deben establecer como premisas el tipo de VPLS, por ejemplo Martini (señalización LDP), se deberá chequear que esté activado la funcionalidad MPLS L2VPN en los PEs donde se desee crear la VPLS y establecer las sesiones LDP, entre los PE que se desee crear la VPLS.

Un operador MPLS normalmente ofrece entre tres y ocho clases de servicio, cada uno de los cuales se prescribe una simple prioridad. Además, la empresa puede especificar qué flujos se priorizan, como las aplicaciones VoIP –voz sobre IP– o video. Esta información es recibida por el LER –*router* de conmutación de etiquetas extremo o PE– del operador donde se pone en cola y se reenvía en orden de prioridad usando marcas en los tres primeros bits del punto de código de servicios diferenciados de 8 bits (DSCP) en el paquete IP. La marcación se realiza por la empresa en sus paquetes de enrutador vinculados a la WAN (Guy, 2006).

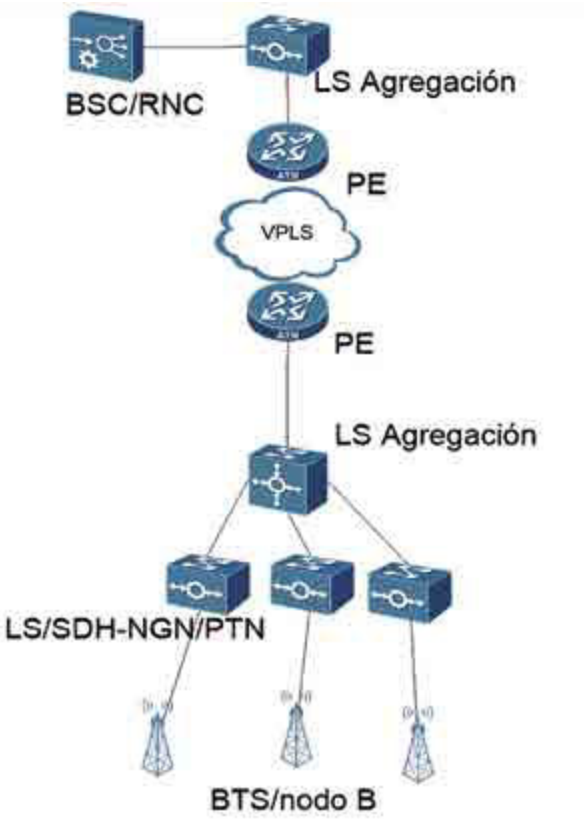


Figura. 1. Ejemplo de VPLS para servicios móviles

Para aumentar la capacidad del enlace de nivel físico suele emplearse la multiplexación por longitud de onda (WDM) y la Recomendación (UIT T G.709) define un medio de comunicación de datos a través de la Red de Transporte Óptico (OTN). Es un método estandarizado para el transporte transparente de servicios en sistemas DWDM y también es conocido como estándar de Jerarquía de Transporte Óptico (OTH), (ITU T. G.709).

Transparente significa que la carga útil puede llevar todo tipo de señal de cliente (SDH / SONET, Ethernet, SAN, etc.). En la recomendación. UIT T G.871 / Y.1301 se define la trama general de OTN (ITU T. G.871)

OTH proporciona multiplexación con transparencia de reloj completa, cabeceras para la supervisión de rendimiento (PM) y corrección de error hacia adelante (FEC). En la red OTH hay una gestión de extremo a extremo independiente de la señal del cliente, supervisión y protección y también monitorización no intrusiva de la señal transportada.

Las señales OTH reciben el nombre de OTUk (k = 1,2...) Y transportan varios tipos de señales de clientes enumeradas en la Tabla 2. La recomendación define la carga útil (OPUk) y la estructura de la cabecera, así como la corrección de errores hacia adelante y OAM & P (operación, administración, mantenimiento y desempeño) para las señales OTN.

10GBASER define la trama Ethernet a una velocidad de aproximadamente 10,3 Gbps. La velocidad no coincide con la velocidad utilizada por SDH / SONET, pero la coincidencia es perfecta para OTN (Tabla 2). Fibre Channel (FC) es una tecnología de red de velocidad Gbps utilizada principalmente para *Storage Area Networks* (SAN).

La principal ventaja de la OTN en el *backhauling* móvil es la enorme capacidad de la fibra.

Las redes de *backhaul* móviles están en transición desde la era TDM hasta la tecnología totalmente basada en paquetes. Hay varias razones por las que esta transición tiene lugar gradualmente:

- Utilizar las inversiones de red heredadas.
- PDH / SDH lleva sincronización exacta.
- PDH / SDH garantiza cierto ancho de banda y latencia para el tráfico crítico.
- Utilizar el costo de la red de paquetes de beneficio de multiplexación estadística con el mejor esfuerzo de tráfico.

Para utilizar las inversiones en capas físicas actuales, los datos IP / Ethernet se pueden asignar a tramas PDH / SDH. También es posible establecer un circuito PDH virtual a través de una red de paquetes. En este caso se necesitan terminales de emulación de circuitos en destinos y fuentes de datos (BTS y controladores / pasarelas).

La emulación *PseudoWire* (PWE) es un método que proporciona el transporte transparente de una señal TDM (E1 o T1) a través de una red conmutada por paquetes (IP / Ethernet / MPLS). *Circuit Emulation Service over Packet* (CESoP) es una tecnología PWE para llevar el tráfico TDM a través de la red de transporte IP / Ethernet / MPLS. La emulación de *PseudoWire EdgetoEdge* (PWE3) es una iniciativa de IETF para definir la arquitectura de *pseudowires* extremo a extremo del proveedor de servicios (RFC 3985).

Ethernet en la Primera Milla (EFM) es el nombre de un conjunto de estándares Ethernet en la enmienda IEEE Std 802.3ah 2004. Es un conjunto de especificaciones adicionales, que permiten a los

Señal cliente	Señal de línea OTN	Velocidad de línea OTUk (Gbps)	Velocidad de carga útil OPUk (Gbps)	Exactitud de la frecuencia (ppm)
STM16/STS48	OTU1	2.666057	2.488320	±20
STM64/STS192	OTU2	10.709225	10.037629	±20
10GBASER/10GFC	OTU2e	11.095727	10.356012	±100
STM256/STS768	OTU3	43.018413	40.150519	±20
Hasta 4x10GBASER	OTU3e2	44.583355	41.611131	±100
100GBASER	OTU4	111.809973	100.376298	±20

Tabla 2. Velocidades OTN (Fuente estándar G.709).

ISSN: 1813-5056 Vol. 14, No. 1 , enero-julio, pp. 68- 78, 2018 tono

usuarios ejecutar el protocolo Ethernet sobre varios medios, como un par de cableado telefónico y hebras individuales de fibra.

Otras extensiones son 100BASELX10, 100BASEBX10 y 1000BASEBX10. Estas extensiones hacen que los tipos de puerto EFM sean más adecuados para su uso en redes de acceso y *backhauling* móvil.

MetroEthernet Forum (MEF) es una alianza global de la industria cuya misión es acelerar la adopción mundial de las redes y servicios Ethernet de clase Carrier. MEF ha definido a Carrier Ethernet como un servicio y una red ubicua y estandarizada de clase portadora que está definida por cinco atributos que distinguen a Carrier Ethernet de Ethernet familiar basada en LAN:

- Servicios estandarizados
- Escalabilidad
- Confiabilidad
- Calidad de Servicio
- Gestión De Servicios

El argumento es que con este conjunto de atributos se puede garantizar que el servicio sea lo suficientemente bueno para el *backhaul* móvil mientras los costos permanecen bajo control MEF desarrolla especificaciones técnicas y acuerdos de implementación para promover la interoperabilidad y despliegue de Carrier Ethernet en todo el mundo.

La interfaz de usuario a red (UNI) es la interfaz física (puerto) entre el proveedor de servicios y el cliente, y realiza la demarcación entre el cliente y el proveedor de servicios. *Ethernet Virtual Connection* (EVC) es una asociación de dos o más UNI. Los EVC son contenedores de servicio que conectan los sitios del cliente (UNI). En la figura 2 se pueden apreciar diferentes niveles de la capa de transporte.

Las tecnologías de acceso son las más costosas desde el punto de vista del operador por la cantidad de segmentos de red a ser desplegados y la mayoría de las veces solo sirven de transporte al sitio de acceso móvil. Estas tecnologías de acceso pueden ser alámbricas o inalámbricas dentro de las alámbricas las principales son por fibra óptica y pares de cobre. La fibra óptica permite altas velocidades, pero en sistemas con enlaces ópticos y las redes de cobre con lazo de abonados cortos por ejemplo 100 m se pueden lograr velocidades de 100 Mbps y más con GFast (Wei, Fazlollahi, Long y Wang, 2014).

En las soluciones inalámbricas, las radios por microondas de nueva generación permiten velocidades

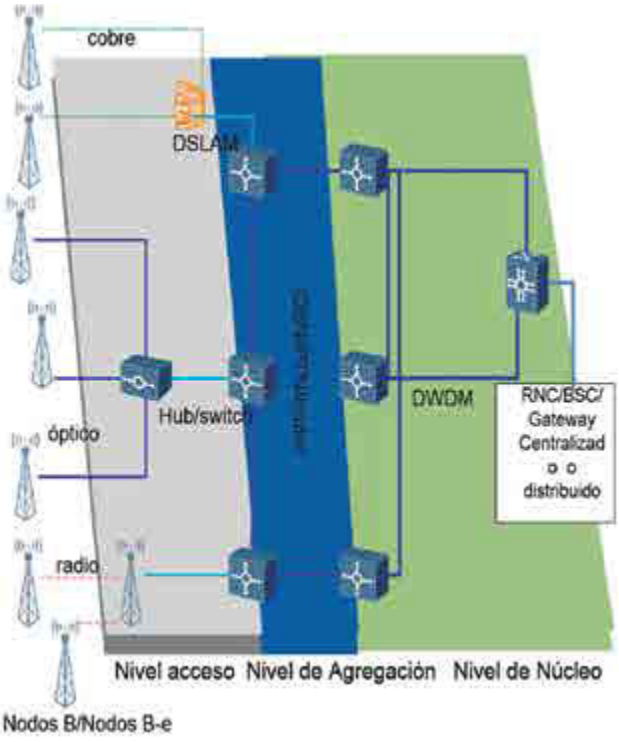


Figura. 2. Niveles de transporte.

de hasta 10 Gbps en la banda E. En el 2020, el 65 por ciento de todos los sitios celulares se conectarán con las soluciones de microondas (excluyendo a China, Japón, Corea del Sur y Taiwán). La elección entre fibra y microondas en redes de *backhaul* no será acerca de la capacidad, será sobre la presencia de fibra y el costo total de propiedad (TCO) (Ericsson, 2015).

MEF ha especificado y definido los Servicios Ethernet en dos Especificaciones Técnicas; MEF 6.1 'Definiciones de Servicios Ethernet Fase 2' (MEF, 2008) utiliza los atributos y parámetros de servicio definidos en el MEF 10.2 'Atributos de Servicios Ethernet Fase 2' (MEF, 2008), (MEF, 2009) para crear en el primero los tres tipos de servicio Ethernet genéricos (E Line, ELAN y ETree) que se utilizan además para definir los servicios Ethernet actuales (como EPL, EVPLAN, etc.).

Los sistemas de transporte utilizados en niveles superiores de MBH, es decir, en redes de agregación y de red principal, son similares a los utilizados en redes fijas. Las características de la red de agregación de MBH es que no sólo está transfiriendo bits, sino que también procesa y combina flujos de tráfico de un gran número de fuentes.

En las redes heredadas, el sitio de agregación puede ser el punto de partida de varios radios de microon-

das que tienen un gran multiplexor PDH / SDH común. En las redes móviles 3G, de 2G o de baja capacidad incluso los primeros saltos en el nivel de agregación se realizan mediante enlaces inalámbricos. En redes mejoradas han sido reemplazados parcial o totalmente por nuevos nodos NGSDH / MSPP que incluyen capacidades de conmutación de paquetes. En las redes de agregación heredadas, las velocidades de bits son de STM1 a STM16 y en redes de *backbone* típicamente STM16, en algunos casos también STM64. En redes de alta capacidad, estas señales pueden ser multiplexadas ópticamente, es decir, DWDM se utiliza para aumentar la capacidad de la fibra. Topológicamente estas redes suelen ser anillos, de manera que el camino alternativo está siempre disponible y se puede aplicar una conmutación de protección rápida.

En las nuevas redes de agregación y *backbone* basadas en paquetes, los elementos principales son enrutadores (IP o IP / MPLS), conmutadores Ethernet y enlaces de transporte de capa 1 que los conectan entre sí. En el caso más simple, los enlaces de conexión son solo fibras oscuras entre las interfaces ópticas de los enrutadores y / o los conmutadores Ethernet en ambos casos, la mayoría de las veces con interfaces Ethernet de alta velocidad (1G, 10G o mayor). Enrutadores típicos tienen decenas de tarjetas de interfaz Gbps, pueden manejar varios protocolos y son altamente redundantes. Forman Puntos de Presencia (POP) para conexiones de red de transmisión a servicios IP y también funcionan como enrutadores de borde en el borde de las nubes de red.

En otros casos puede haber extensas redes ópticas, una capa óptica, que conecta los sitios donde se encuentran los enrutadores e interruptores; en estos casos la conexión puede basarse en una longitud de onda en sistemas DWDM, encaminados a través de esa red óptica para conectar las interfaces de enrutador / conmutador deseadas. Las capacidades en estas redes pueden ser significativamente más altas que en las redes legadas arriba mencionadas; en redes de agregación de hasta 10 Gbps y en redes troncal n*10G o n*40G o incluso más altas. También en estas redes normalmente existen rutas alternativas entre todos los nodos importantes; sin embargo, debido a la conmutación de paquetes, las topologías no se limitan a los anillos, sino que son de tipo de malla parcial.

Conclusiones

La red *backhaul* es una gran inversión para un operador móvil. Utilizar la red instalada y hacer las selecciones de la tecnología adecuada que también apoyan las futuras redes de banda ancha móvil 4G y 5G son la clave para el éxito. La tecnología de *backhaul* también debe proporcionar una oportunidad para optimizar los gastos de operación y establecer el nivel adecuado de experiencia del usuario. La última milla es el principal diferenciador entre el transporte fijo y las redes móviles de *backhaul*, especialmente en el futuro cuando el tamaño de las células móviles se reduce.

Las soluciones inalámbricas, es decir, los radios MWR, son muy comunes en los accesos y especialmente en los enlaces de última milla a los sitios de la estación base donde su participación es más de 50% de todas las soluciones de transporte. Las soluciones de línea fija se utilizan para el resto de los sitios de acceso móvil. El acceso óptico está aumentando gradualmente su papel también en la capa de acceso. La velocidad de transición de redes de banda estrecha a banda ancha está limitada por las grandes inversiones necesarias en la colocación de cables donde las radios de microondas de nueva generación permiten un rápido despliegue de enlaces de hasta 1 Gbps en incluso 10 Gbps en la banda E.

En los niveles de agregación y en el núcleo de la red MBH el transporte óptico es la solución más común, y donde las capacidades son altas, se construye el sistema DWDM o una capa óptica nativa de paquetes. En las nuevas redes MBH basadas en paquetes en todos los niveles de red, la agregación de tráfico, el enrutamiento y la protección (resiliencia) se basa en nodos de Capa 2 o Capa 3, es decir, switches Ethernet y / o enrutadores IP / MPLS; en el núcleo de la red, de mayor capacidad, la capa óptica DWDM también puede ocuparse parcialmente de estas funciones.

Referencia

TUT. G.703, Physical/electric characteristics of hierarchical digital interfaces.

TUT. G.804, ATM cell mapping into plesiochronous digital hierarchy (PDH).

ANSI. T1.105, SONET – Basic Description including Multiplex Structure, Rates and Formats.

Ericsson. (2015). Microwave towards 2020, pp. 1–16.

Guy, A. (2006). MPLS: Multiprotocol label switching. ITNOW, 48(6), p. 20.

ISO. (1994). ISO/IEC 74981:1994.

ITUT. G.707, Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH).

ITUT. G.709, Interfaces for the Optical Transport Network (OTN).

ITUT. G.871/Y.1301, Framework of Optical Transport Network Recommendations.

MEF. (2008). 6.1, Ethernet Services Definitions Phase 2.

MEF. (2009). 10.2, Ethernet Services Attributes Phase 2.

MEF. (2011). Performance Attributes Amendment to MEF 10.2.

Wei, D., Fazlollahi, A., Long, G. y Wang, E. (2014). G.fast for FTTdp: Enabling gigabit copper access. IEEE Globecom Workshops, pp. 668–673.