

Diseño de nodos totalmente ópticos reconfigurables

Luis Velasco, Salvatore Spadaro, Jaume Comellas, Gabriel Junyent

Grupo de Comunicaciones Ópticas - Universitat Politècnica de Catalunya (UPC),
C/ Jordi Girona, 31. 08034 Barcelona, España
{luis.velasco, spadaro, comellas, junyent}@tsc.upc.edu

Abstract — Los nodos ópticos reconfigurables con capacidades de inserción y extracción (ROADM) son elementos de red clave para permitir el control remoto de recursos ópticos de forma flexible. Los ROADMs se han convertido en un estándar en las redes ópticas de larga distancia y están ganando importancia también en las redes metropolitanas. En el presente artículo se detalla un conjunto de consideraciones y decisiones de diseño, que se han tomado durante el desarrollo y construcción de un nodo ROADM controlado remotamente GMPLS para el testbed CARISMA.¹

I. INTRODUCCIÓN

La introducción de Multiplexores Ópticos de Inserción Extracción (OADM) en la capa óptica, permite configurar la red en anillos, similares a las redes basadas en anillos de SDH. La función OADM proporciona acceso a una porción del tráfico que llega por una fibra óptica a un nodo. Un OADM permite extraer longitudes de onda específicas de un conjunto de señales multiplexadas en longitud de onda e insertar otras en su lugar. La disponibilidad de OADMs reconfigurables de forma remota (ROADM) a bajo coste, donde la inserción y extracción de canales puede controlarse de forma remota, ha significado un avance importante en las redes ópticas [1]. La principal ventaja de un ROADM, es que no es necesario planificar la asignación del ancho de banda durante el despliegue inicial. La configuración puede realizarse cuando y cómo sea necesario.

Las redes basadas en anillos se construyen utilizando ROADMs. La topología en anillo permite proteger la red de fallos en enlaces o nodos y sus ventajas más relevantes son su simplicidad, flexibilidad y su potencial rápida recuperación ante fallos. De hecho, las arquitecturas en anillo son bien conocidas por su inherente capacidad de rápida protección. De esta forma, los anillos ópticos juegan un papel crucial en la migración al paradigma de redes dinámicas ASON/GMPLS [2],[3].

Una red ASON (*Automatically Switched Optical Network*) [2] es una red óptica de transporte que tiene una capacidad de conexión dinámica. Esta funcionalidad se consigue utilizando un *plano de control* que realiza el enrutamiento, señalización y descubrimiento de recursos. El *plano de transporte* representa los recursos funcionales de la red óptica que transporta información de usuario entre localizaciones. La entidad del plano de control que controla nodos ópticos, se denomina Controlador de Conexiones (OCC). Por último, el *plano de gestión* incluye la supervisión de los planos de transporte y de control, además de la coordinación de la operación del sistema completo. La tecnología GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) [3] incorpora el soporte de la conmutación de circuitos sobre las capacidades de MPLS. En particular GMPLS proporciona un plano de control que soporta las redes ópticas.

Una de las características más destacadas que debe presentar un nodo óptico reconfigurable (a lo largo del artículo se utilizará nodo óptico y ROADM indistintamente) es su rapidez de actuación ante peticiones del OCC. De esta forma, el nodo óptico será útil en aplicaciones de provisión automática de circuitos ópticos y de protección o restauración en la capa óptica. En este artículo se describe el diseño de un nodo óptico reconfigurable, que será parte de la red ASON/GMPLS CARISMA [4].

El resto de este artículo está organizado de la siguiente forma: La Sección II proporciona el diseño funcional del nodo óptico así como una discusión acerca de las interfaces de gestión. En la Sección III se presenta el nodo físico y los resultados experimentales obtenidos. Por último, la Sección IV presenta las principales conclusiones de este trabajo.

II. DISEÑO DEL NODO ÓPTICO

Nuestro nodo óptico reconfigurable (Fig. 1a) permite extraer/insertar 2 longitudes de onda del/al conjunto de 40 señales multiplexadas DWDM [5]. Integra una serie de componentes ópticos, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Multiplexor óptico: Multiplexa/demultiplexa 8 longitudes de onda DWDM. Aunque se extraen 8 longitudes de onda, el nodo óptico solo utiliza dos de ellas, debido a razones económicas. Los restantes canales ópticos son reflejados a un puerto común o exprés. Este puerto será utilizado en un futuro para conectar módulos WSS (Wavelength Selective Switch) que permitan acceder al resto de los canales ópticos.
- Switch óptico 2x2: Conmuta entre dos señales ópticas entrantes. El tiempo de conmutación de 1ms.
- Acoplador óptico 50/50: Permite dividir una señal óptica en dos señales iguales con la mitad de la potencia.

¹ Este trabajo ha sido parcialmente sufragado por la Fundación i2Cat mediante el proyecto MACHINE y por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante el proyecto RINGING TEC-2005-08051-C03-02

- Monitor de potencia: Mide la potencia óptica recibida. El tiempo de barrido es de 10 μ s.
- Transponder: Transforma señales ópticas de cliente en longitudes de onda DWDM.

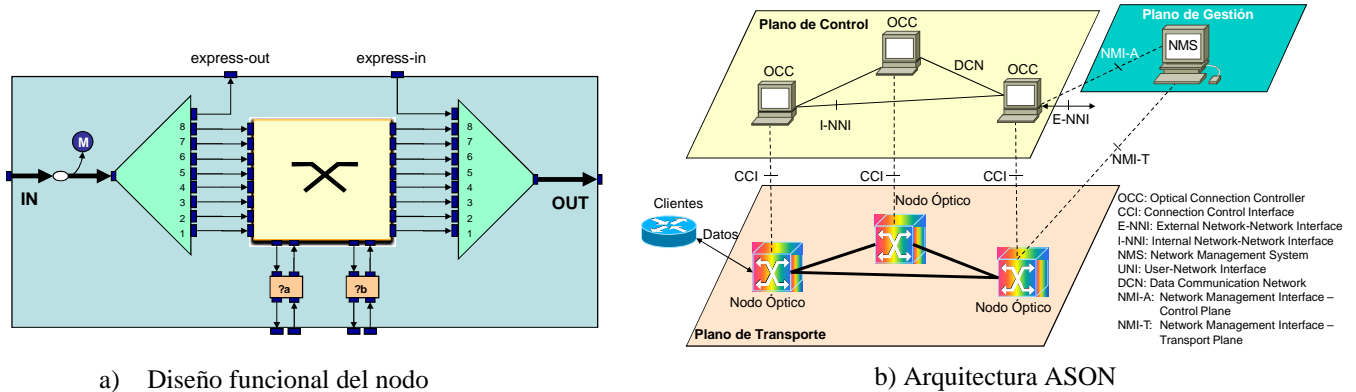


Fig. 1. Diseño funcional del nodo óptico e interfaces de gestión

El nodo óptico deberá poder ser gestionado de forma remota y por lo tanto es necesario disponer de interfaces de gestión accesibles desde los planos de control y gestión (Fig. 1b). El marco de gestión estándar utilizado en la actualidad es el basado en SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [6]. SNMP es un protocolo de gestión de propósito especial que puede ser utilizado para leer y escribir variables de tipo simple. El componente software que maneja las peticiones Get/Set asociadas y accede a las estructuras de datos internas dentro de los dispositivos gestionados, se denomina *agente*. Además de procesar estas peticiones, un agente puede también generar notificaciones bajo ciertas circunstancias y enviarlas como mensajes no solicitados (*trap*) a la aplicación de gestión (*gestor*). Esta arquitectura es conocida como el paradigma *gestor-agente*. Los modelos de datos concretos para el manejo de tecnologías o protocolos específicos, se definen y estandarizan en módulos base de información de gestión (MIB), que están descritos en un lenguaje basado en ASN.1 [7].

SNMP ha sido utilizado mayoritariamente en la monitorización de fallos y de rendimiento, pero no tanto en la gestión de configuración, debido a sus limitaciones [8]. Por ejemplo, el identificador de objeto, que es el mecanismo de nombrado de SNMP, es demasiado simple y verboso por lo que es muy ineficiente en su uso e implementación. Además, las tareas de configuración requieren operaciones de gestión de alto nivel como la descarga, activación, vuelta atrás y restauración. La operación Set de SNMP puede ser utilizada como alternativa para implementar estas operaciones, pero complica enormemente las aplicaciones de gestión. Por lo tanto, con SNMP es difícil soportar varias operaciones como la carga o restauración de configuraciones, activar una nueva configuración en un instante de tiempo específico y desactivar una configuración [9]. Finalmente, SNMP utiliza preferentemente el protocolo UDP en IPv4. El tamaño de SNMP sobre mensajes UDP está normalmente limitado por el tamaño de la máxima unidad de transmisión (MTU), lo cual es insuficiente para la transferencia de datos de configuración.

Para mejorar las deficiencias de SNMP es posible utilizar la tecnología XML (*Extensible Markup Language*) para la gestión de la configuración, manteniendo SNMP para la monitorización de fallos y rendimiento. En nuestro caso, hemos integrado un agente basado en XML a nuestro nodo óptico, diseñando e implementando un protocolo propietario basado en XML. El protocolo es orientado a la conexión, requiriendo una conexión persistente entre el gestor y el agente. Esta conexión proporciona la entrega de datos de forma secuencial y fiable. Además, para proporcionar una interfaz de gestión SNMP estándar, también se proporciona un módulo encargado de traducir peticiones SNMP a comandos XML y viceversa.

III. CONSTRUCCIÓN DEL NODO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

El nodo físico está contenido en un armazón para bastidores estándar de 19". Se ha dividido la funcionalidad del nodo óptico en módulos, cada uno de ellos concebido para ser implementado como una tarjeta insertable. Básicamente, se han definido tres tarjetas diferentes: la tarjeta de multiplexación DWDM, la tarjeta de conmutación y monitorización óptica (OSNL) y la tarjeta con dos transponders (2xTp).

Cada tarjeta está equipada con un procesador RISC de 32 bits ARM7 [10] a 100MHz. El procesador de la tarjeta controla los componentes equipados en la tarjeta y gestiona la comunicación con la tarjeta Master. Una tarjeta adicional denominada tarjeta Master se comunica a través de un bus serie con cada una de las tarjetas del nodo óptico, y con los planos de control y de gestión a través de una interfaz Ethernet a 100Mbps. La tarjeta Master está basada en el módulo microcontrolador UNC90 [11], equipado con un procesador RISC de 32 bits ARM9 [10] a 180MHz. El módulo UNC90 incluye como elementos principales el procesador RISC, 32 MBytes de memoria SDRAM y 32 MBytes de memoria Flash. La arquitectura interna del nodo óptico se muestra en la Fig. 2.

El procesador de cada tarjeta incluye módulo software que ejecuta un bucle de encuesta para leer valores del estado de los dispositivos. Cuando se recibe una petición desde la tarjeta Master a través del bus serie, se genera una interrupción que

ejecuta una rutina de atención encargada de ejecutar la petición requerida y de devolver el resultado. Si mientras se está ejecutando el bucle de encuesta se detecta una incidencia, por ejemplo los valores de las muestras de potencia está fuera de márgenes durante un tiempo predefinido (normalmente 1 ms), se genera un mensaje hacia la tarjeta Master a través del bus serie para señalar este hecho.

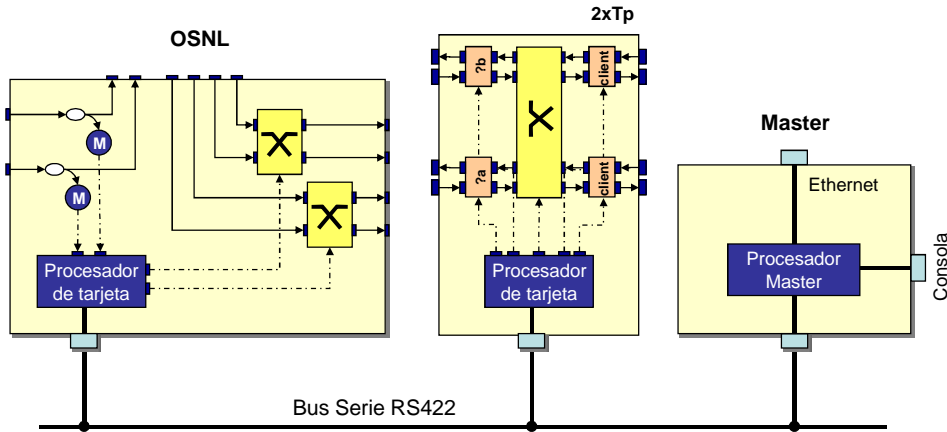


Fig. 2. Arquitectura interna del Nodo Óptico

El procesador de la tarjeta Master ejecuta el sistema operativo Linux. Se ha desarrollado una aplicación (agente) encargada de gestionar el nodo óptico en su conjunto, que hace de interfaz entre las tarjetas del nodo y los planos de control y de gestión. La aplicación escucha un conjunto de puertos TCP/UDP esperando a recibir peticiones. Cuando se recibe un mensaje por el bus serie señalizando una incidencia detectada en una tarjeta, la aplicación agente envía un *trap* SNMP que contiene esta información al OCC en el plano de control y/o al Sistema de Gestión (MS) en el plano de gestión.

El agente en la tarjeta Master, acepta comandos de petición-respuesta utilizando un protocolo propietario basado en XML. Cuando se recibe un mensaje en un puerto UDP/TCP definido, la aplicación lo decodifica y, posiblemente, inicia una comunicación con otra tarjeta en el nodo óptico a través del bus serie.

Denominaremos T_{config} al tiempo de configuración del nodo óptico, esto es, el tiempo necesario para procesar una petición desde el OCC (o desde el MS) o el necesario para informar al OCC (MS) de una incidencia. Con objetivo de minimizar T_{config} , se han detectado y corregido varios cuellos de botella. Uno de los más importantes es el relacionado con la arquitectura del manejador de dispositivo TTY (abreviación de teletipo) en el kernel de Linux [12].

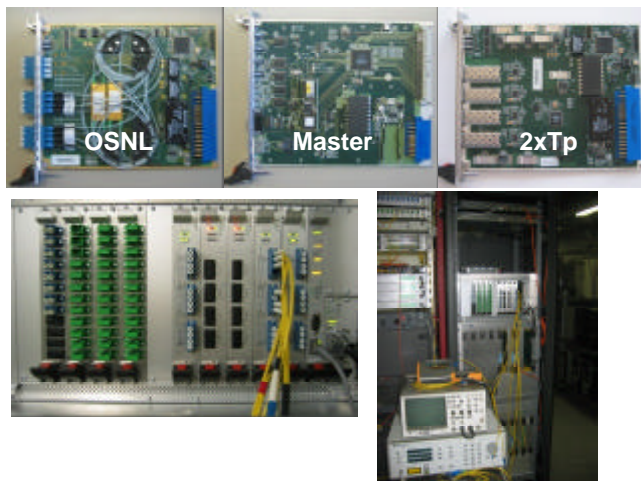
El núcleo del dispositivo TTY toma datos de una aplicación de usuario que desea enviarlos al dispositivo TTY, se los pasa a un manejador de disciplina de línea TTY, que controla el flujo de datos, el cual se los pasa al manejador TTY. El manejador TTY convierte los datos en un formato que pueda ser enviado al hardware. El manejador TTY es responsable también de enviar cualquier dato recibido por el hardware hacia el núcleo del dispositivo TTY. El núcleo del dispositivo TTY almacena los datos en una estructura denominada *flip buffer*, hasta que es enviada a la aplicación de usuario. Linux considera que los puertos serie son dispositivos de alta latencia, de forma que cuando se recibe un dato en el *flip buffer* el núcleo del dispositivo TTY planifica su entrega a la aplicación de usuario en un instante posterior. Este comportamiento introduce un retardo inaceptable en el sistema. Para evitar esta alta latencia en la transmisión serie, se ha modificado el kernel de Linux para definir el dispositivo serie como de baja latencia, de forma que los datos sean inmediatamente entregados a la aplicación de usuario.

El comportamiento del nodo óptico ha sido evaluado de forma experimental en el testbed de red ASON/GMPLS CARISMA [4]. El plano de control GMPLS de la red CARISMA utiliza el protocolo RSVP-TE para señalización, el protocolo OSPF-TE para enrutamiento y el protocolo LMP para la gestión de canales de control y correlación de enlaces. Los OCCs están implementados utilizando enrutadores basados en Linux. Cada pareja de OCCs se comunica a través de un único canal de control IP con enlaces full dúplex Ethernet a 100Mbps. Por último, cada OCC presenta también una interfaz CCI para comunicarse con los nodos ópticos en el plano de transporte óptico.

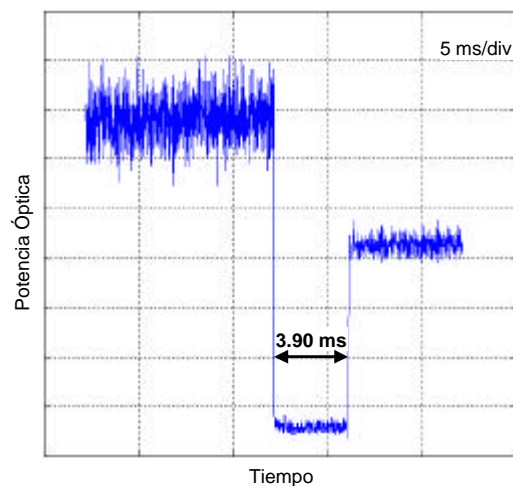
La Fig. 3a muestra las tarjetas OSNL, Transponder y Master, así como el frontal del nodo óptico y un montaje utilizado realizar pruebas sobre la arquitectura completa del nodo. La Fig. 3b muestra el tiempo de respuesta $T_{equipment}$ para aplicaciones de protección. En este caso, una vez que la tarjeta OSNL ha detectado pérdida de señal, se lo comunica a la tarjeta Master, quien toma la decisión de realizar una conmutación de protección. Entonces, la tarjeta Master envía una orden de conmutación forzada a la tarjeta OSNL, quien actúa sobre el conmutador óptico (utilizamos conmutadores ópticos con un tiempo de conmutación T_{switch} de 1ms). Por lo tanto, el tiempo mostrado en la Fig. 3b, puede expresarse como:

$$T_{equipment} = 2T_{config} + T_{switch} - 2T_{CCI} \quad (1)$$

donde T_{CCI} es el tiempo necesario para comunicar el plano de transporte con el plano de control a través de la interfaz CCI.



a) Vista de las tarjetas, frontal del nodo óptico y testbed



b) Tiempo de protección

Fig. 3. Nodo óptico y resultados experimentales.

Como se aprecia en la Fig. 3b, el tiempo de conmutación de protección en este caso es aproximadamente 4 ms, muy inferior a los 50 ms especificados para redes SDH.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado un conjunto de consideraciones y de decisiones tomadas en el diseño y construcción de nodos ópticos reconfigurables. Los nodos ópticos han sido diseñados para ser controlados por un plano de control GMPLS e integrarse en la red ASON/GMPLS CARISMA.

Los nodos ópticos consisten en tres etapas, la etapa de demultiplexación, la etapa extracción/inserción y la etapa de multiplexación. La etapa de extracción inserción se ha construido mediante conmutadores ópticos 2x2 y acopladores. La funcionalidad del nodo ha sido separada en diferentes tarjetas insertables. Entre ellas destacamos la tarjeta OSNL que contiene los conmutadores ópticos y medidores de potencia y la tarjeta Master que controla el nodo completo y hace de interfaz con elementos localizados en el resto de planos ASON. Además del protocolo estándar SNMP, la tarjeta Master implementa un protocolo propietario más eficiente, basado en XML.

Cada tarjeta en el nodo óptico está equipada con un procesador de tarjeta que controla los componentes en ella instalados y se conecta con la tarjeta Master a través de un bus serie común.

Para alcanzar el objetivo de hacer un nodo que tenga una rápida respuesta ante peticiones del plano de control, se han tenido que realizar una serie de ajustes finos en la mayoría de los componentes del sistema. El resultado final es un nodo con un tiempo de respuesta en el entorno de unos pocos milisegundos.

REFERENCIAS

- [1] I. Redpath, et al., "Metro WDM Networks Develop an Edge", Optical Fiber Communication Conference (OFC), 8 pp.-.
- [2] ITU-T Rec. G.8080/Y.1304, "Architecture for the Automatically Switched Optical Networks", 2001 and Am. 1, 2003.
- [3] E. Mannie, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture", RFC-3945, 2004.
- [4] E. Escalona, et al., "Establishing Source-Routed Bidirectional Connections over the Unidirectional ASON/GMPLS Carisma Testbed", in Proc. of 7th International Conference Transparent Optical Networks (ICTON) vol. 2, 2005, pp. 21-24.
- [5] L. Velasco, et al., "Semi-Reconfigurable OADM node design for the CARISMA ASON/GMPLS Network", VI Workshop in G/MPLS networks, 2007, pp. 97-107
- [6] D. Harrington, R. Presuhn, and B. Wijnen, "An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks", RFC 3411, 2002.
- [7] ITU-T Rec. X.680 "Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1): Specification of basic notation", 2002.
- [8] J. Schonwalder, et al., "On the Future of Internet Management Technologies", IEEE Commun. Mag., Oct. 2003, pp. 90–97.
- [9] IETF, "Network Configuration (Netconf)", <http://www.ietf.org/html.charters/netconf-charter.html>
- [10] <http://www.arm.com>
- [11] <http://www.unc90.net>
- [12] J. Corbet, A. Rubini, G. Kroah-Hartman, "Linux Device Drivers" Third Ed., O'Reilly Media, Sebastopol, 2005.