

MODIFICACIÓN DE LDP PARA LA PROTECCIÓN M:N EN REDES DWDM, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONEXIONES BIDIRECCIONALES QUE UTILICEN LSP DISJUNTOS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

Egas Acosta Carlos, Mag.
Escuela Politécnica Nacional

1. RESUMEN

Con frecuentes fallas de la fibra óptica y las grandes pérdidas de tráfico que dicha falla puede causar, la confiabilidad de la red, llega a ser un objetivo crítico en el diseño y en la operación en tiempo real de la red.

Con el apareamiento de DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing), si la fibra falla, todos los enlaces de luz que atraviesan la fibra óptica dañada serán interrumpidos y por lo tanto todas las conexiones a niveles superiores que utilicen esa fibra fallarán, lo que ocasionaría tremendas pérdidas de tráfico por lo que nuevos escenarios de recuperación de fallos, en los cuales múltiples caminos de luz puedan ser recuperados en forma simultánea deben ser considerados.

En la metodología propuesta, se utiliza la información obtenida para establecer los LSP (Label Switching Path) principales en redes GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching), para determinar inmediatamente los LSP de respaldo, con un mínimo de tiempo de procesamiento adicional; de esta manera el tiempo necesario para conmutar al LSP de respaldo cuando el LSP principal a fallado, es mínimo

2. INTRODUCCIÓN

Muchas redes ópticas pasaron de topologías tipo anillo a topologías tipo malla debido a la pobre escalabilidad en la interconexión de anillos y a los grandes recursos consumidos en la implementación de redundancia para implementar esquemas de gestión de fallas. El diseño y operación de redes ópticas con tecnología WDM y DWDM ha recibido mucha atención por parte de los investigadores debido a la gran cantidad de tráfico que puede ser cursado por una fibra [1]. Muchos de los trabajos de investigación

cegas@ieee.org

están enfocados a la recuperación de fallas de redes WDM cuando falla un único enlace o un nodo, tomando como premisa la ocurrencia individual de fallas y que la falla puede ser reparada antes de que otra falla ocurra en la red.

La utilización de GMPLS en redes ópticas con tecnología WDM (Wavelength-Division Multiplexing) y especialmente DWDM, implica que cuando una fibra falla múltiples LSP pueden ser afectados en forma simultánea, por lo que los sistemas de recuperación de fallos para los LSP deben estar en capacidad de solucionar este problema.

2.1 WDM

La creación de la multiplexación de longitud de onda (WDM) en el que muchas señales pueden ser transmitidas simultáneamente por una sola fibra, modulando señales discretas en diferentes bandas de frecuencia, fue una respuesta a limitación de TDM (multiplexación de señales en el dominio del tiempo) para afrontar los grandes requerimientos de ancho de banda.

A principios de los 90, se denominó transmisión WDM en banda ancha a la transmisión de una señal a 1550nm y otra de retorno a 1310nm. Posteriormente WDM permitía espaciamientos más cortos, implementando transporte bidireccional de 2x2 y 4x4 canales a 1550 nm, alcanzando velocidades de 2,5 Gb/s en enlaces punto a punto. Finalmente, DWDM llegó a ser una realidad cuando gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2,5 Gb/s y 10 Gb/s. A muy corto plazo se implementarán sistemas ultra-densos

XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

(UDWDM) con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda a 10 Gb/s, OC-192, con expectativas de llegar a 40 Gb/s, OC-768, aumentando el ancho de banda disponible para diferentes servicios. Se presume que en los próximos cinco años en redes DWDM, un cable se conformara de varios cientos de fibras y en cada fibra se utilizará alrededor 256 longitudes de onda, lo que implica la implementación de mecanismos de reparto y localización de ancho de banda óptico en tiempo real [2]

Un camino óptico es un camino extremo a extremo compuesto exclusivamente de elementos fotónicos sin conversiones óptico-electrónicas. Un conmutador fotónico conmuta longitudes de onda desde un puerto de entrada a un puerto de salida, asignando una longitud de onda a un puerto de entrada, y una longitud de onda a un puerto de salida. Hay que recordar que la tendencia es que en un nodo interno, una red óptica puede conmutar fibras, longitudes de onda e intervalos de tiempo [3] y si sobre el nivel óptico se trabaja con GMPLS, también deberán tener la capacidad de conmutar LSP.

Por lo general los procesos de recuperación de fallas a nivel óptico en topologías tipo malla, necesitan de la realización de las siguientes tareas:

1 Auto detección de nodos vecinos: Cada nodo reconoce a sus nodos adyacentes.

2 Auto detección de enlaces de conexión: Los nodos dentro de un dominio son capaces de chequear automáticamente la disponibilidad de enlaces (Longitudes de onda)

3 Auto detección de topología: Tan pronto los OXC (Optical Cross Connect), elementos que se encargan de enlazar los diferentes caminos dentro de la capa de transporte, conocen todos sus enlaces de conexión, ellos informan de la existencia de estas conexiones a todos los nodos dentro del dominio, a través de protocolos de enrutamiento como OSPF implementados en redes ópticas. En otras palabras, existe una ingeniería de tráfico de los canales ópticos, en donde la asignación del ancho de banda está basada en patrones de demanda en

tiempo real. De esta forma todos los nodos en el dominio tienen una visión consistente de la red.

4 Auto detección de cliente: Los OXC extremos monitorean continuamente sus interfaces tributarias para cualquier equipo de cliente que esté conectado a él. Este último punto es importante cuando se requiere utilizar GMPLS como una tecnología que ayude a la recuperación de fallas de redes WDM.

En las redes ópticas se definen dos maneras de recuperación de una falla en la fibra:

- Restauración dinámica

La restauración implica el procesamiento y la búsqueda de un camino, fibra, enlace o longitud de onda secundario o alternativo después de la ocurrencia de la falla. El método de restauración dinámica utiliza de mejor manera los recursos de la red; sin embargo, se necesitan de grandes cantidades de tiempo para encontrar un camino de respaldo después de la ocurrencia de la falla, ya que es necesario recalcular un nuevo camino y además es necesario la utilización de algún tipo de señalización

- Protección preplaneada

La protección se produce cuando los enlaces o fibras de respaldo que se van a utilizar son definidas antes de que ocurra la falla. En este caso existen algunos tipos de protección como son: protección de camino, sub camino (grupos de enlaces) o enlace. La protección puede ser dedicada o compartida. En redes WDM, la protección se le aplica a la fibra o al enlace de luz

Los esquemas de protección ofrecen rápidos tiempos de recuperación mientras que las opciones de restauración ofrecen mejor utilización de los recursos. Usualmente el tiempo de restauración es de aproximadamente 200 milisegundos, mientras que el tiempo para realizar la conmutación para la protección es aproximadamente de 50 milisegundos.

El tiempo para restaurar el servicio varía de acuerdo a los diferentes esquemas de protección de fallas implementados. En

protección dedicada de enlace, camino o subcamino, los OXC's que forman parte del camino de respaldo pueden ser previamente configurados cuando las conexiones son establecidas al inicio de la comunicación, de tal manera que la configuración del OXC no es necesaria realizarla cuando la falla ocurre. Este tipo de recuperación puede ser realizada de manera muy rápida. Si el tráfico no es transmitido en ambos caminos, el nodo de destino necesita esperar hasta que la fuente sea notificada, y la fuente conmute el tráfico por el camino de respaldo. Así el tiempo de restauración incluirá el tiempo necesario para la detección de falla, el tiempo para la notificación de falla y el retardo de propagación. En protecciones compartidas, los nodos OXC, en los caminos de respaldo deben ser configurados antes de que ocurran las fallas, por lo que el tiempo de restauración es mas grande en este caso.

Para la restauración dinámica, el tiempo de restauración del servicio incluye adicionalmente el tiempo de cálculo de la nueva ruta, tiempo para notificación, tiempo para la reconfiguración del OXC y retardo de propagación [4].

2.2 GMPLS

Se requiere algunas modificaciones adicionales a los protocolos de encaminamiento y señalización de MPLS, para adaptarlos a las peculiaridades de los conmutadores fotónicos. Considerando que no todos los nodos de una red óptica, son nodos que actúan como LSR (Label Switching Router), no se requiere de campos adicionales para asociar una etiqueta con una longitud de onda debido a que la etiqueta es de ámbito local en cada conexión interna de la red, adicionalmente cada nodo debe conocer el LSP establecido, por los atributos de solicitud de etiqueta.

Las modificaciones necesarias para trabajar con redes ópticas WDM están siendo estandarizados por el IETF utilizando como base GMPLS, dichas modificaciones, se pueden resumir en las siguientes:

-Las etiquetas en MPLS pueden ser vistas como canales ópticos en redes ópticas. Los LSR son entonces vistos como OXC's análogos.

-Nuevo LMP diseñado para gestionar cuestiones relacionadas con la gestión de enlace en redes ópticas usando conmutadores fotónicos.

-Mejoras en los protocolos de encaminamiento (encaminamiento explícito) OSPF e IS-IS para anunciar la disponibilidad de los recursos ópticos de la red. Se debe entonces aumentar información adicional a los protocolos de enrutamiento internos como son (OSPF) para propagar la información acerca de la topología de la red óptica y la disponibilidad de recursos.

-Mejoras de los protocolos de señalización RSVP y CR_LPD en cuanto a ingeniería de tráfico, que permiten que un LSP se especifique explícitamente a través de la troncal óptica, además de poder establecer y mantener conexiones LSP bidireccionales.

- Cada OXC tiene un procesador basado en IP que es usado para transmitir mensajes sobre la red de señalización entre OXC's vecinos

- Un algoritmo basado en restricciones que usa la información de la topología y del estado de la red para calcular rutas a través de la red para conexiones ópticas. Una vez que la ruta es seleccionada, se utiliza un mensaje similar al que usa el enrutamiento explícito del protocolo de señalización en MPLS (RSVP o CR-LDP) para modificar las conexiones cruzadas de los OXC's a lo largo de la ruta.

-Notificación de fallos al nodo de entrada y salida de tráfico,

El plano de control basado en GMPLS para IP sobre WDM no únicamente soporta los dispositivos que realizan conmutación de paquetes, si no también aquellos que realizan conmutación en el dominio del tiempo, de longitudes onda y espacio; para lo cual el plano de control GMPLS incluye funcionalidades tales como enrutamiento, gestión del enlace, señalización y recuperación. Bajo GMPLS, existen tres componentes principales involucrados en el establecimiento de un canal:

Exploración de recursos: se obtiene información acerca de los recursos de red tales como conectividad o capacidad de los enlaces. Los mecanismos utilizados para diseminar esta información de estado se basan en una extensión del Internet Gateway Protocol (IGP).

Selección de ruta: se utiliza para seleccionar una ruta apropiada a través de la red óptica inteligente en base a unas ciertas restricciones impuestas por el entorno y las limitaciones de la capa física.

Gestión de ruta: incluye distribución de etiquetas, así como establecimiento, mantenimiento y terminación de ruta. Estas funciones se realizan por medio de un protocolo de señalización extendido como Resource Reservation Protocol for Traffic Engineering (RSVP-TE) o Constraint-Routed Label Distribution Protocol (CR-LDP).

Estos componentes del plano de control son separables e independientes entre sí, y precisamente esta modularidad es la que permite que el plano de control pueda configurarse de forma flexible.

El gran potencial de GMPLS es que hace posible la evolución hacia un modelo "peer", en el cual cada elemento de red posee información completa sobre el resto de elementos y sus capacidades de enlace. Las redes basadas en un modelo "peer" se construyen con dispositivos que tienen información completa sobre los otros dispositivos en todas las capas de red. Por otro lado, el modelo "peer" resulta mucho más adecuado para las funciones de red dentro del dominio de un proveedor de servicios o entre proveedores de servicios con protocolos compatibles, dado que permite mayor flexibilidad en la optimización de las labores de enrutamiento.

Las técnicas de recuperación de fallos de LSP en GMPLS, son similares a las que se utilizan en redes WDM para la recuperación de fallos de la fibras óptica o enlaces de luz:

Protección, un conjunto de caminos, enlaces o nodos son preseleccionados para ser utilizados en caso de fallas y requieren de recursos previamente separados, en este caso la conmutación es inmediata.

Tipos de protección:

1+1 el tráfico es transmitido en forma simultánea.

1:1 el tráfico es transmitido en un camino de respaldo si el primario falla.

M : N M caminos de respaldo son utilizados para proteger N caminos principales y son conmutados si únicamente el camino principal falla.

Restauración o reenrutamiento, el mecanismo de respaldo es establecido después de la falla.

3. RECUPERACIÓN DE FALLAS EN UNA RED WDM UTILIZANDO GMPLS

La utilización de GMPLS para realizar una recuperación automática de fallas en redes WDM requiere tomar muy en cuenta cuales son los procesos y procedimientos que a nivel óptico se llevan a cabo para realizar la reconexión cuando una falla a ocurrido en un enlace, fibra o en un nodo y, como esta falla afecta al tráfico de diferentes aplicaciones que utilizan este tipo de redes.

Por lo general lo daños ocurren en un cable que contiene una o mas fibras, lo que deshabilita la conexión entre dos nodos o el daño de un nodo deshabilita a los enlaces que llegan a el.

Un camino se compone de enlaces y nodos los cuales pueden fallar. Las redes ópticas por lo general son estables, una vez establecido un LSP a través de la red óptica, es probable que el LSP permanezca establecido durante mucho tiempo [5].

Sin embargo, el problema con redes DWDM es que el daño en una fibra o en un nodo, puede afectar a múltiples LSP que están asociados a longitudes de onda, lo cual implica que varios LSRs de ingreso deberían ser notificados y por lo tanto se requerirá de la realización de muchos cálculos. Si la señalización GMPLS es usada para actualizar la topología de la red, se debe realizar el cálculo de cada uno de los LSPs de respaldo que están asociados a cada uno de los LSP afectados. Los mecanismos de restauración o protección deben determinar cuál es el camino que se debe seleccionar o desechar, para lo cual deben utilizar recursos existentes para realizar el cálculo, lo que implica procesos y señalización adicionales que deben ser implementados por cada uno de los LSP que fallen, generando un aumentando en el tiempo necesario para la recuperación del LSP. Este tiempo de retardo afectará especialmente

para los últimos LSP de respaldo que se establezcan. Además de que se producirá un sobre procesamiento en los LSRs que procesan los mensajes causando que la red sea potencialmente inestable [6].

La premisa principal que se ha tomado para generar la solución planteada, es que se necesita de una rápida detección y aislamiento del fallo y una rápida selección del un canal alternativo. Ya que de por sí, la latencia de conmutadores ópticos y MPLS convencional, provoca retardos considerables en el establecimiento del LSP, para lo cual, la interacción entre el plano de control GMPLS y el plano de control de la red óptica es necesario.

Considerando el alto volumen de tráfico que soportaran los enlaces ópticos, las altas velocidades de transmisión, es de esperar que el número de datos perdidos en las conexiones, se traduzca en pérdidas de tiempo no solamente por las reconexiones a nivel óptico y de enlace, sino también por los procesos de reconexión, control de errores y control de flujo, que a niveles de transporte y de aplicación, que se deben realizar.

La protección requiere recursos preasignados y está diseñada para reaccionar rápidamente ante fallos (menos de un par de centenas de milisegundos). Por otra parte, la restauración se basa en el establecimiento dinámico de recursos y puede llevar un tiempo un orden de magnitud mayor que la conmutación de protección. La restauración también conlleva el cálculo dinámico de rutas, que pueden ser incalculables si los caminos o enlaces de respaldo no están disponibles.

Todo mecanismo de gestión de fallos asume que existen recursos de anchos de banda disponibles en la red que permitan redireccionar el tráfico. En este caso, en cada fibra óptica de la red WDM con topología tipo malla, debe existir al menos una longitud de onda, la cual podrá ser utilizada para crear un LSP de respaldo.

En la selección del esquema de protección en una red WDM se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros: [7]

- Topología y tamaño de la red

- El número de longitudes de onda utilizado en cada fibra
- El número de fibras utilizadas en cada enlace
- El mecanismo de enrutamiento y el mecanismo de asignación de longitudes de onda usado
- Los procesos de arribo de tráfico a la red

La utilización de GMPLS como mecanismo de recuperación de fallas en redes tipo WDM se realizará con las siguientes suposiciones:

- La red óptica WDM tiene una topología tipo malla.
- La red óptica es administrada por un sola institución o manejan similares protocolos de señalización o enrutamiento
- Un ducto posee varios cables de fibra y cada cable posee varias fibras y por cada fibra se tiene varios enlaces de longitud de onda que están asociados a un LSP
- El camino está conformado por enlaces y un enlace se define entre dos nodos de la red que pueden ser: dos OXC, o entre un OXC y un LSR, o entre dos LSR tomando en cuenta que existen redes ópticas en las cuales no todos los nodos tienen la capacidad de conmutar etiquetas y longitudes de onda, ya que algunos nodos tendrán la capacidad de conmutar únicamente longitudes de onda. De esta manera el trabajar en un modelo peer, donde los OXC y los LSR intercambian la información libremente y dichos dispositivos ejecutan los mismos protocolos de enrutamiento y de señalización, es aconsejable
- La selección del camino de respaldo debe ser utilizando una fibra disjunta o diferente y en el mejor de los casos por rutas de cableado diferentes.
- El camino de respaldo a ser utilizado, podrá ser compartido para realizar la recuperación de fallos de varios caminos primarios.
- Cada canal de longitud de onda que pasa por una fibra que ha fallado, puede provenir de diferentes fibras que llegan al nodo OXC que conmuta dichos canales.
- Cada LSR es equipado con algunos transmisores y receptores de respaldo.

Una de las principales razones para seleccionar el modelo Peer, en el cual existe intercambio de información entre el nivel óptico y el nivel GMPLS (Intercambio de información entre los LSRs y los OXCs ejecutando el mismo protocolo de enrutamiento y protocolos de señalización) es que en cualquier mecanismo de recuperación de fallos en redes de fibras ópticas, se necesita definir los mecanismos de como se detecta que un enlace ha fallado y cómo esta información es enviada al plano de GMPLS, para que a su vez se ejecuten los mecanismos de restauración del LSP.

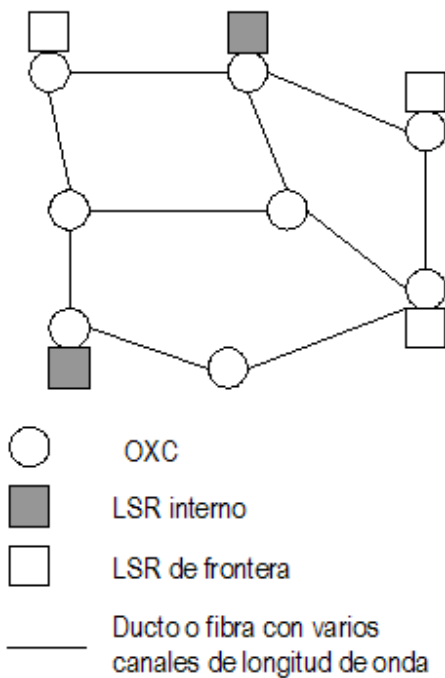


Figura N 1 Red WDM con GMPLS

Adicionalmente, un plano de control y gestión común con una señalización y encaminamiento probados, evita desarrollar protocolos específicos para cada plano, minimizando el riesgo de inversión y el tiempo necesario para la comercialización LSP.

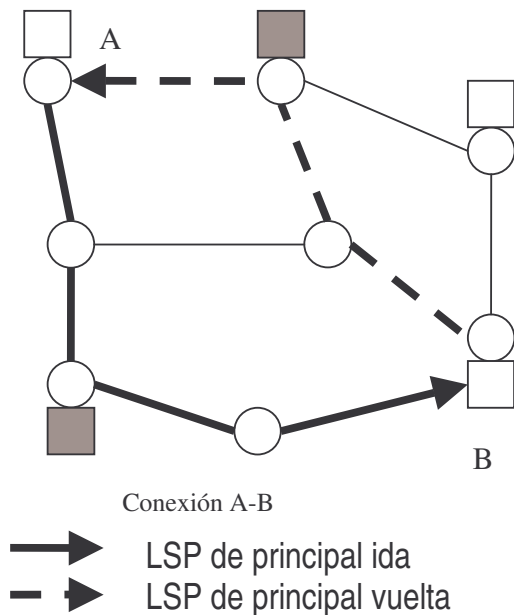
El método propuesto implica la utilización de GMPLS para definir dos LSP primarios para establecer una conexión entre dos LSRs frontera (entrada, salida), un LSP para la comunicación en un sentido y el otro LSP

para la comunicación en sentido opuesto, de tal manera que la conexión sea bidireccional. Estos dos LSPs deberán ser totalmente disjuntos, es decir que los caminos de luz utilicen fibras diferentes y en lo posible ductos diferentes. Si uno de los LSP principales falla, el LSP de respaldo se creará por la ruta del otro LSP, a medida que el mensaje de notificación de fallo viaje por el LSP de frontera que ha dejado de recibir la información.

El método propuesto, al precalcular la posible ruta del LSP de respaldo, más no preasignarlo ni crearlo, permite la optimización de recursos, es decir, los recursos para formar el LSP de respaldo pueden ser utilizados para la implementación de un LSP principal.

A continuación se detalla el procedimiento a seguir con GMPLS para la recuperación de fallos:

1. Los protocolos de enrutamiento (OSPF TE o IS-IS TE) intercambian información sobre la topología de la red. Paralelamente, se procesará la información generada por los protocolos de enrutamiento para la determinación del camino alternativo que permitirá establecer una conexión bidireccional entre dos LSRs de borde, utilizando para ello dos caminos diferentes. Dicha información se la obtendrá en forma dinámica.
2. El protocolo de distribución de etiquetas establece el mapeo de etiquetas en los LSRs para formar los LSPs, de ida y de vuelta, en este caso los dos LSPs formados utilizarán fibras diferentes y en el mejor de los casos rutas físicas diferentes (Figura 2).
3. Los LER incluyen etiquetas a los paquetes que ingresan a la red.
4. La gestión de fallos utilizando GMPLS empieza con la detección de fallas, la cual debe realizarse en la capa óptica. Una manera de detectar fallos en la capa óptica es la detección de pérdida de luz (LOL, Loss of Light). Se están desarrollando técnicas basadas en la relación señal a ruido óptica (OSNR), la tasa de error de bit (BER) medida ópticamente, dispersión, diafonía y atenuación. La localización de fallos requiere



la na

Figura N 2 Establecimiento de una conexión bidireccional entre dos LSR de frontera

La comunicación entre los nodos para determinar dónde ha ocurrido el fallo. Una consecuencia interesante de utilizar LOL para la detección de fallos es que dicha LOL se propaga en el sentido de bajada a lo largo de todo el camino de la conexión, permitiendo a todos los nodos de bajada detectar el fallo. El protocolo LMP incluye un procedimiento de localización de fallos, tanto en redes transparentes (all-optical) y opacas (opto-electrónicas). Este mecanismo se basa en el envío de mensajes «Channel Fail» de LMP entre nodos adyacentes sobre el canal.

Esta separación del plano de control y de datos permite que se utilice un único conjunto de mensajes para la localización de fallos, independientemente del esquema de codificación del plano de datos. Un vecino LMP de bajada que detecta fallos en un enlace de datos, enviará un mensaje LMP a su vecino de subida y a su vecino de bajada, notificándoles el fallo. Una vez que se ha detectado el fallo, se pueden utilizar los protocolos de señalización para iniciar procedimientos de protección/restauración del enlace o camino.

5. Cuando los mecanismos de notificación de fallas, que deben ser aumentados al protocolo de señalización, permiten a los nodos de bajada y de subida conocer de la pérdida de luz y otros problemas de tráfico, tanto el LSR fuente de frontera como el LSR de frontera de destino involucrados en la conexión, reciben la información de que el LSP ha fallado.

Una vez que el LSR de frontera de destino ha sido notificado de la falla, tiene la obligación de informar al LSR fuente de que utilice un LSP de respaldo para poder nuevamente recibir datos, para lo cual hace uso de mensajes de señalización de ocurrencia de falla que deben ser enviados al LSR fuente por el LSP de la conexión que no ha fallado.

A medida que el mensaje de notificación de falla se va transportando por los LSRs que forman parte del LSP que está funcionando normalmente y que es utilizado para que el LSR de frontera de destino envíe datos al LSR de frontera fuente, el protocolo de distribución de etiquetas, en cada LSR, realizará el mapeo de los canales de longitud de onda que están sin utilizar con la etiqueta correspondiente, de tal manera de ir formando un nuevo LSP desde el LSR de destino hacia el LSR fuente.

Este LSP que se va formando, será el canal de respaldo por donde irán los paquetes del LSR fuente al LSR de destino. De tal manera que cuando el mensaje o la notificación de error ha llegado al LSR fuente, el LSP de respaldo ya está listo para ser utilizado como camino alternativo.

6. Una vez que el LSP fuente de frontera recibe la información de que ha existido una falla en un nodo o enlace que forman parte del LSP principal por el cual enviaba los datos al LSR de frontera de destino, el LSR de frontera fuente conmuta el tráfico al LSP de respaldo que ya está establecido entre los dos LSR de frontera A y B (Figura N 3).

Al ser un LSP que no sigue la misma ruta del LSP primario principal, implica que el tráfico puede atravesar nodos intermedios adicionales

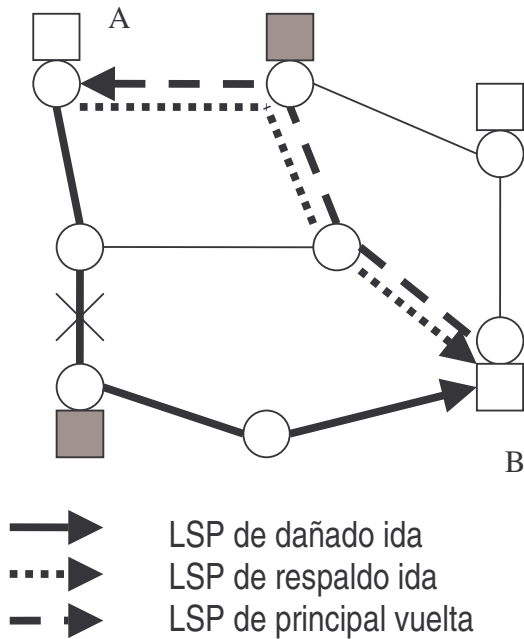


Figura N 3 Establecimiento del LSP de respaldo cuando falla el LSP principal de ida

Esta propuesta es un sistema de protección $M : N$, ya que dependiendo de los M canales de longitud de onda disponibles o sin utilizar en cada fibra, se podrá tener o disponer de

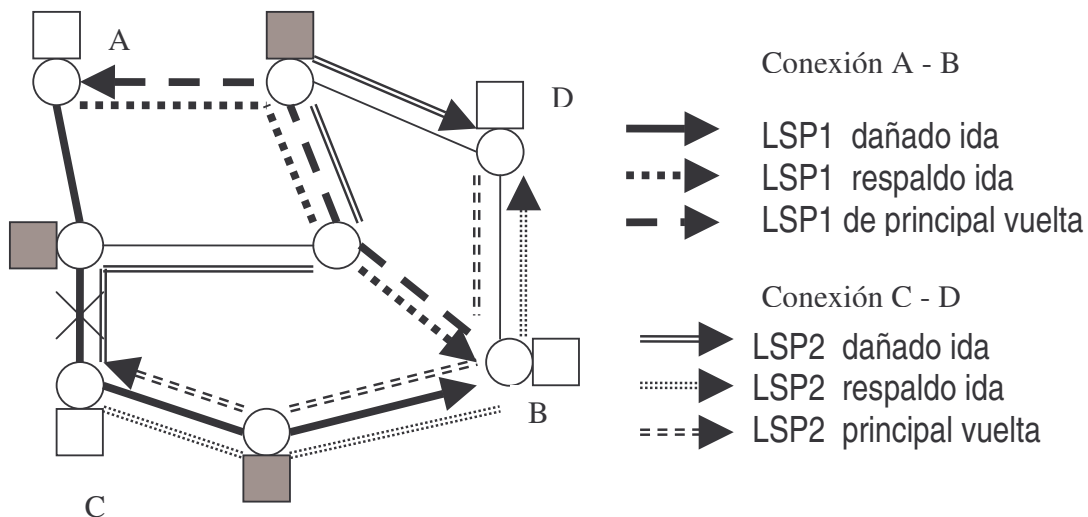


Figura N 4 Establecimiento de dos LSP de respaldo cuando fallan dos LSP principales por el daño de una fibra

M LSPs de respaldo que puedan ser utilizados para proteger a N LSPs primarios. Sin embargo, esta es una suposición en la cual se asume que cuando una fibra falle, los N LSPs que utilizan los N canales de longitud de onda de la fibra que ha fallado, nacen y terminan en los mismos LSRs de frontera.

En la práctica los N enlaces de longitud de onda que tienen que ser restituidos, corresponden o están asociados a N LSPs que nacen en diferentes LSR de frontera y llegan a diferentes LSR de frontera lo que implica tener un número menor a N canales de longitud de onda disponibles en cada fibra.

Bajo estas consideraciones, y tomando en cuenta que por una fibra atraviesan centenares de LSP asociados cada uno de ellos a una Longitud de onda, la propuesta consiste en dejar en cada fibra varias (M) longitudes de onda de respaldo, listas para ser utilizadas en la conformación de un LSP

En la figura 4 se presenta un diagrama en el cual existen dos conexiones bidireccionales A-B y C- D entre dos LSRs de borde diferentes, el daño de la fibra afecta a dos

LSPs, por lo tanto se rompe la comunicación en un sentido en ambas conexiones. En el ejemplo se puede apreciar que con que exista únicamente una longitud de onda disponible en cada fibra, se puede establecer los nuevos LSPs de respaldo para que la red se recupere de las fallas.

Adicionalmente, los canales de longitudes de onda que pertenecen a fibras que no se han dañado y que forma parte de los LSPs afectados, pueden ser utilizados para el establecimiento de otros LSPs.

CONCLUSIONES

La ventaja principal de este método, es que optimiza recursos (canales de longitud de onda), ya que el método propuesto implica precalcular la posible ruta del LSP de respaldo, que es igual a una de las rutas del LSP principal utilizado en la conexión bidireccional, más no lo crea ni lo preasigna, es decir, los recursos para formar el LSP de respaldo pueden ser utilizados para la implementación de un LSP principal en el caso de que se requiera.

Es necesario que en cada fibra exista al menos una longitud de onda que pueda ser utilizada para formar un LSP de respaldo, lo cual sería necesario en cualquier método de recuperación de fallos que se base en canales de longitud de onda.

Esta es una propuesta fácilmente implementable, para lo cual es necesario realizar modificaciones mínimas al protocolo de señalización de GMPLS, para el envío de mensajes de ocurrencia de fallos desde el LSR frontera de destino al LSR frontera fuente.

Para el caso de que se necesite reponer muchos LSPs afectados por el daño de una fibra, y no existan recursos disponibles, se puede definir prioridades en los LSPs a ser restaurados o realizar un control de tráfico a un nivel de TDM por canal de longitud de onda, utilizando para ello los bits experimentales de la etiqueta GMPLS, de tal manera que el LSP de respaldo pueda ser utilizado para que maneje un porcentaje del

ancho de banda que se utiliza en el enlace primario a ser protegido.

Es necesario evaluar cuál debe ser el número medio de canales de longitudes de onda disponibles en cada fibra para determinar el número de LSP a ser protegidos por este mecanismo de protección de fallos y de esta manera determinar la utilización óptima de los canales de longitud de onda.

Es necesario evaluar el tiempo de recuperación del LSP y compararlo con otros métodos para comprobar su eficacia en cuanto al tiempo necesario para realizar la conmutación del tráfico al canal de respaldo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Jing Zhang and Biswanath Mukherjee, **A Review of Fault Management in WDM Mesh Networks: Basic Concepts and Research Challenges**
- 2 Roberto Fernández Rojo **Multiplexación densa en longitud de onda DWDM**
- 3 Yinghua Ye, Chadi Assi, Soudhir Dixit **A simple Dynamic Integrated Provisioning/Protection Écheme in IP over WDM Networks** IEEE communications magazine November 2001
- 4 Jing Zhang and Biswanath Mukherjee **A Review of Fault Management in WDM Mesh Networks: Basic Concepts and Research Challenges**
- 5 Jennifer m. Yates and Michael p. Rumsewicz **Wavelength converters in dynamically reconfigurable WDM networks**, The Royal Melbourne Institute of Technology Hewlett-Packard Laboratories
- 6 Luís Gouveia, Pedro Patrício Amaro F. de Sousa, Rui Valadas **MPLS over WDM Network Design with Packet Level QoS Constraints based on ILP Models** IEEE INFOCOM 2003
- 7 Neil Jerram Adrian Farrel **EI MPLS en redes ópticas**, Data Connection Limited 2001
- 8 Alp ar Jüttner, Bal_azs Szviatovszki, _Aron Szentesi, **On demand optimization of label switched paths in MPLS networks** IEEE ICCCN 2000
- 9 Yehuda Afek **Restoration by Path Concatenation: Fast Recovery of MPLS Paths**

Carlos Egas, Mag.

Profesor Principal de la Escuela Politécnica Nacional, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones (Escuela Politécnica Nacional -1987), Magíster en Informática (Universidad Simón Bolívar -1998), Diploma

XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

de Estudios Avanzados en Tecnologías de la
Información (Universidad de Vigo - 2004).