

MODELO PARA UNA RED HIBRIDA ÓPTICA INALÁMBRICA

Luis Alejandro Quiroz

Especialista en Teleinformática
Centro Internacional de Física
luis.alejandroi@gmail.com
Bogotá, Colombia

Néstor Moreno

Especialista en Teleinformática
Universidad Manuela Beltrán
neomoreno@gmail.com
Bogotá, Colombia

Nelson Enrique Vera

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
neverap@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Tipo: Artículo de investigación

Fecha de Recepción: Diciembre 20 de 2011

Fecha de Aceptación: Marzo 9 de 2012

A HYBRID NETWORK MODEL (WIRELESS-OPTICAL)

ABSTRACT

The present article constitutes a proposal of a hybrid network model (wireless-optical network) that uses FSO technology (Free Space Optics) and offers access to a new-generation network. Such a network is intended to be a solution for providers when deploying service differentiation and it also offers on-demand bandwidth together with inter-provider shared infrastructure. The paper describes the operational principles and the technical characteristics of the FSO technology, explaining and analyzing the network's architecture and the proposed reconfiguration algorithm.

Key words: wireless communications, modeling, simulation, networks, hybrid solutions.

RESUMEN

Este artículo propone un modelo de red híbrida óptica - inalámbrica mediante la tecnología free space optics (FSO) para el desarrollo de una red de acceso de nueva generación, que represente una solución a los proveedores para diferenciación de servicios, ofrecimiento de ancho de banda bajo demanda y uso compartido de infraestructura con otros proveedores de servicios. Se describe el principio de funcionamiento y las características técnicas de la tecnología FSO, se expone y analiza la arquitectura y el algoritmo de reconfiguración propuesto.

Palabras claves: comunicaciones inalámbricas, modelamiento, simulación, redes, soluciones híbridas.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema FSO, también llamado acceso inalámbrico óptico, puede ser pensado como un sistema inalámbrico que utiliza luz infrarroja en lugar de ondas de radio, que transmite luz láser punto a punto a través del aire, en vez de transmitir a través de una fibra óptica.

Las tasas de transmisión de datos son comparables con los de la fibra óptica y pueden ser transportados con tasas de error muy bajas, mientras que el delgado haz láser asegura que sea posible ubicar múltiples transceptores sin peligro de interferencia mutua en cualquier punto [1].

Actualmente las redes ópticas tradicionales utilizan algoritmos de reconfiguración basados en la técnica WDM (wavelength division multiplexing) que les permite ofrecer ancho de banda sobre la marcha; sin embargo dichas redes se utilizan principalmente en las troncales. Actualmente las redes utilizadas como solución de última milla no disponen de la posibilidad de utilizar WDM. En este artículo se proponen las redes ópticas híbridas como solución de última milla, que utilicen la técnica WDM y de esta forma permitan proporcionar ancho de banda bajo demanda; también permitan la diferenciación de servicios y uso compartido de infraestructura por varios proveedores de servicios.

La organización del trabajo es la siguiente: en la sección 2 se explican las características principales de los sistemas FSO. La sección 3 muestra características técnicas generales del sistema FSO. La sección 4 proporciona detalles acerca de una arquitectura propuesta. La sección 5 enumera los algoritmos de reconfiguración utilizados. En la sección 6 se describe el algoritmo de reconfiguración. La sección 7 contiene el comportamiento del algoritmo de reconfiguración de la arquitectura propuesta. La sección 8 presenta las ventajas de la arquitectura propuesta. Finalmente, se pueden encontrar las conclusiones en la sección 9.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO TECNOLOGÍA FSO

FSO, se refiere a la transmisión de un haz infrarrojo modulado en la atmósfera para obtener comunicación. Los sistemas FSO pueden operar sobre distancias de varios kilómetros, mientras exista línea vista, y suficiente potencia de transmisión.

FSO transmite haces invisibles, entre los equipos transmisores y receptores utilizando láser infrarrojos de baja potencia en el espectro de los THz. Los haces de luz son transmitidos usando láser enfocado en un detector de fotones de alta sensibilidad.

Estos receptores son lentes telescópicas que son capaces de reunir el flujo de fotones y transmitir datos digitales que contienen una mezcla de mensajes de internet, imágenes de video, señales de radio o archivos de datos.

En la Fig. 1 se muestra un diagrama de bloques del sistema FSO donde el transmisor es un láser y el detector correspondiente es un diodo de avalancha (APD), con los cuales se interconectan los lados de transmisión y recepción.

Son compatibles con un amplio rango de aplicaciones y mercados, y son lo suficientemente flexibles para ser implementados utilizando variadas arquitecturas de sistemas.

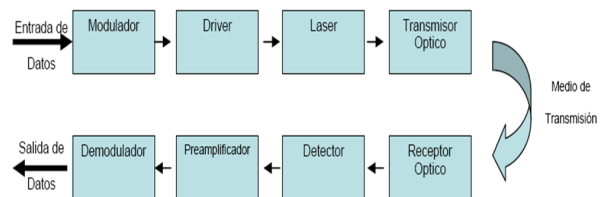


Fig. 1. Diagrama de bloques de un sistema FSO.

Los sistemas comerciales disponibles hoy ofrecen capacidades desde 100Mbps hasta 2,5Gbps. Las señales de información, en formato eléctrico llegan al transmisor donde se deben trasladar al dominio óptico. La modulación que se utiliza se denomina modulación en potencia; ya que no es exactamente una modulación

en amplitud (se varía la potencia de la señal óptica de forma que al transmitir un uno lógico la intensidad de la señal es mayor que si se transmite un cero lógico). En definitiva el enlace es exactamente igual que un enlace convencional de fibra, pero que utiliza un canal de transmisión diferente [2].

Se transmite un haz invisible, no dañino para la visión humana desde un transmisor con forma de “telescopio” a otro equipo similar, utilizando láser infrarrojos de baja potencia, en el espectro de los THz, donde la capacidad puede razonablemente ser estimada en 10 Gbps. El haz de luz lleva cualquier señal de transmisión óptica, protocolo y trama que el fabricante desee, típicamente PDH, SONET/ATM y Ethernet de 10/100/1000 Mbps.

La principal ventaja es la sencillez de su instalación. La infraestructura necesaria es relativamente barata. Simplemente es necesario colocar los transmisores y receptores de tal manera que haya visión directa entre ellos.

Las FSO son una de las posibles soluciones al “problema de la última milla”. En la actualidad, las redes WAN tienen muy alta capacidad, las LAN también la tienen, pero existe un cuello de botella en la conexión entre ambas que, con otras tecnologías basadas en cable, resulta muy caro de evitar para el usuario particular. Las FSO son una solución barata a este problema.

Se presentan una serie de ventajas de seguridad interesantes frente a otras tecnologías inalámbricas basadas en radio:

1. Los haces láser son altamente directivos y se hace muy complicado interceptarlos sin que el propietario se percate de ello.
2. Los haces láser no pueden ser detectados mediante analizadores de espectro ni detectores de potencia de RF.
3. Los haces láser son invisibles al ojo humano así que su presencia no resulta evidente.
4. La información puede transmitirse de forma cifrada, al igual que en el resto de comunicaciones digitales, lo que proporciona un grado de seguridad mayor.

La principal desventaja es su alto grado de vulnerabilidad frente a los factores atmosféricos. Al estar operando con ondas luminosas, la atenuación de la señal será muy grande en condiciones de niebla. Esto no las invalida como método de comunicación, simplemente es un factor que debe tenerse en cuenta en el diseño de los enlaces de forma que cumplan las especificaciones requeridas por el usuario. Se debe garantizar que el enlace estará activo un determinado porcentaje del tiempo.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SISTEMA FSO

3.1. Limitaciones de alcance en FSO

Las características de los sistemas FSO serán evaluadas a través del margen del enlace o link margin, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Las características de los sistemas FSO serán evaluadas a través del margen del enlace o link margin, de acuerdo a la Ec. (1).

$$M_{link} = P_e + |S_R| - Aff_{Geo} - Aff_{Att} - P_{sist} \quad (1)$$

Donde:

M_{link} : Link margin.

P_e : Potencia de emisión de salida (dBm).

S_R : Sensibilidad del receptor (dBm).

Aff_{Geo} : Atenuación geométrica del enlace (dB).

Aff_{Att} : Atenuación atmosférica del enlace (dB).

P_{sist} : Pérdidas del equipo (dB).

Los datos de la potencia de emisión de la señal y la sensibilidad del receptor son proporcionados por el fabricante de los equipos FSO.

3.2. Atenuación geométrica

El haz emitido por el transmisor sufrirá divergencia, de esta manera la celda receptora recibirá únicamente una fracción de la energía emitida.

La atenuación geométrica se describe de acuerdo a la Ec. (2).

$$Aff_{Geometrica} = \frac{S_d}{S_{captura}} \quad (2)$$

$$Aff_{Geometrica} = \frac{\frac{\pi}{4}(d \cdot \theta)^2}{S_{captura}}$$

Donde:

θ : Divergencia del haz (mirad).
 d : Distancia que recorre el haz (m).
 $S_{captura}$: Área de captura del receptor (m²).
 S_d : Área del haz a una distancia (d).

Como se observa, la atenuación geométrica está en función de la divergencia del haz, la distancia y el área de captura. El valor de la divergencia del haz considerado para el diseño de los enlaces inalámbricos ópticos es 3mrad. (Valor estimado tomando en cuenta que es el máximo posible de acuerdo a las características de los enlaces), esto porque los diseños deben ser siempre realizados tomando en consideración las peores condiciones, para que de esta manera el funcionamiento del sistema diseñado sea óptimo en las condiciones normales de funcionamiento [3].

El área de captura, dato estándar de los fabricantes de equipos FSO, es de 0,025m², que es un buen valor con el que se realizan cálculos.

La atenuación geométrica es un factor que limita la distancia del enlace inalámbrico óptico y puede reducir la disponibilidad del sistema, su valor será mayor en relación a cuan menor sea el área del receptor y a la distancia que tendrá que recorrer el haz de información.

3.3. Atenuación atmosférica por niebla

La atenuación atmosférica es descrita por la ley de Beer, la misma que puede ser expresada en función de la transmitancia.

La ley de Beer es una relación empírica que relaciona la absorción de la luz con las propiedades del material atravesado; en resumen, la ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la

sustancia. La ley de Beer se expresa de acuerdo a la Ec. (3).

$$\frac{P(d)}{P(0)} = e^{\sigma \cdot d} \quad (3)$$

Donde:

$P(d)$: Potencia a una distancia "d" del transmisor.
 $P(0)$: Potencia emitida.
 σ : Coeficiente de atenuación.
 d : Distancia que recorre el haz [Km].

El valor del coeficiente de absorción varía según el material absorbente [5]. La transmitancia óptica se define como la fracción de luz incidente, a una longitud de onda específica que pasa a través de un material; y se expresa de acuerdo a la Ec. (4).

$$\tau(d) = \frac{P(d)}{P(0)} \quad (4)$$

$$\tau(d) = e^{\sigma \cdot d}$$

Donde $\tau(d)$ es la transmitancia a una distancia "d" del transmisor. Finalmente, se relaciona la ley de Beer y la transmitancia.

La atenuación atmosférica se relaciona con la transmitancia de acuerdo a la ecuación Ec. (5).

$$Aff_{Atm} = 10 \log\left(\frac{1}{\sigma(d)}\right) \quad (5)$$

El coeficiente de atenuación es la suma de cuatro términos, representados en la Ec. (6).

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_n + \beta_m + \beta_n \quad (6)$$

Dónde:

σ_m : Coeficiente de absorción molecular.
 σ_n : Coeficiente de absorción del aerosol.
 β_m : Coeficiente de dispersión de Rayleigh.
 β_n : Coeficiente de dispersión de Mie.

Los coeficientes de absorción son resultado de la absorción de energía que hace el medio (atmósfera) y ciertas partículas.

El coeficiente de dispersión de Rayleigh, es el resultado de la interacción de la luz con partículas de tamaño pequeño en relación a la longitud de onda.

El coeficiente de dispersión de Mie, aparece cuando las partículas incidentes son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la onda transmitida.

Tomando en cuenta las características de los sistemas FSO:

- Las longitudes de onda de interés se encuentran entre 780nm y 1550nm.
- Los coeficientes de absorción molecular, aerosol y dispersión Rayleigh son despreciables.

Resulta entonces que el coeficiente de atenuación es dominado por la dispersión de Mie que, a su vez, está en función de la visibilidad.

Por lo tanto, en las longitudes de onda de interés el coeficiente de atenuación es descrito por la Ec. (7).

$$\sigma = \beta_m \quad (7)$$

La visibilidad es técnicamente definida como la distancia en la cual la intensidad de luz decrece a 2% de su valor inicial. Cualitativamente, la visibilidad es la máxima distancia en la cual aún es posible distinguir un objeto oscuro en el horizonte [4].

La variación del coeficiente de atenuación con la visibilidad es descrita mediante la ley de Kruse, de acuerdo a la Ec. (8).

$$\sigma = \beta_n = \frac{3,912}{V} \left(\frac{\lambda_{nm}}{550} \right)^{-q} \quad (8)$$

El factor que depende de la dispersión de la partícula en el medio es proporcional y referente a ciertos rangos de visibilidad. La longitud de onda a la que operan los equipos FSO en el espacio libre es 1.550nm.

La longitud de onda de operación de un sistema FSO también contribuye a la performance del receptor. Generalmente los fotodiodos de alta calidad a 800nm y 1550nm logran eficiencias cuánticas comparables.

Sin embargo, longitudes de onda mayores tienen una ventaja en el receptor debido a que disponen energías menores por fotón. Específicamente, un fotón de 1550nm tiene la mitad de la energía que un fotón de 800nm; de esta manera, para la misma energía total (Watts), un haz de 1550nm tiene el doble de fotones que un haz de 800nm.

Esto resulta en que el receptor (fotodiodo) recibe el doble de fotones. Ya que cierta cantidad de fotoelectrones es requerida para detectar un pulso óptico, un pulso de 1550nm puede ser detectado con alrededor de 3dB menos de potencia óptica.

De esta manera, los 1550nm tienen una ventaja fundamental de 3dB sobre los 800nm en sensibilidad de receptor.

La longitud de onda de 1550nm es la especificación más común en las comunicaciones por fibra de óptica terrestre, y consecuentemente, la infraestructura de soporte para esta longitud de onda (tal como componentes pasivos, láser, moduladores, amplificadores ópticos, y receptores fotodetectores) es amplia y en crecimiento [8].

La performance o comportamiento de un sistema FSO puede ser caracterizada por 4 parámetros principales:

1. Potencia de transmisión total.
2. Ancho de banda de transmisión.
3. Área de recepción del receptor óptico.
4. Sensibilidad del receptor.

Una gran potencia de transmisión puede ser desarrollada utilizando amplificadores de fibra monomodo dopados con erbio, o combinando múltiples láser semiconductores de menor costo.

Las ópticas de recepción más grandes capturan una fracción mayor del total de potencia transmitida, considerando que crecerá el costo de terminal, el volumen y el peso de éste [7].

Una alta sensibilidad del receptor puede ser conseguida al utilizar fotodetectores pequeños de baja capacitancia, circuitaría que compensa la capacitancia del detector, o al utilizar detectores con mecanismos de ganancia interna, como los APD. Los detectores APD proveen entre 5 a 10 dB de mejora sobre los detectores PIN, a pesar de un costo de partes mayores y un circuito de alto voltaje más complejo de desarrollar.

4. ARQUITECTURA PROPUESTA

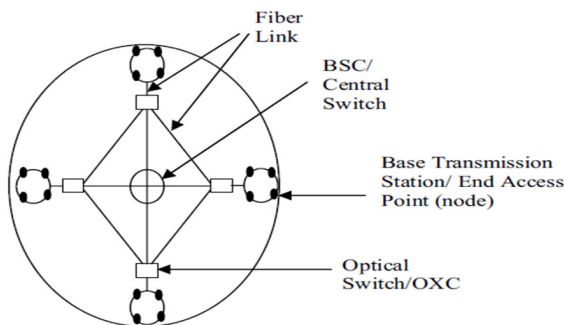


Fig. 2. Red hipotética [9].

Se divide un área a cubrir en varios sub anillos pequeños (Fig. 2). Los sub anillos deben decidirse de acuerdo a la expectativa de tráfico. Cada sub anillo está conectado al interruptor principal (BSC) utilizando fibra óptica y un conmutador óptico, que tiene plena capacidad de conversión de longitud de onda. Esto es una suposición para simplificar las cosas un poco. También conectamos un sub anillo a dos de sus inmediatos sub anillos vecinos. Se hace para proporcionar una protección extra en caso de fallo de fibra entre los sub anillos y el BSC. Cada sub anillo puede tener muchas BTS o puntos de acceso inalámbricos, según sea necesario. El único factor limitante para el número de puntos de acceso es el número de transceptores en el interruptor óptico intermedio. Otro factor importante es el número de transceptores en los puntos de acceso. Esto puede ser diferente para cada nodo de acceso, de nuevo basado en la expectativa del tráfico y los requisitos de

ancho de banda. Cuanto mayor es el número de puntos de acceso en el sub anillo, mejor es la cobertura y mayor el número de transmisores-receptores en los puntos finales. Esta es la parte estática de la arquitectura. A continuación se describe la parte dinámica de la arquitectura. Para empezar, conectamos cada BTS o punto de acceso final a la OXC con un solo camino óptico, la asignación de longitud de lightpaths para cada camino óptico. Aquí es importante tener en cuenta si es necesario, compartir longitudes de onda. Las longitudes de onda utilizadas entre OXC y el BSC pueden ser diferentes de las que se utilizan entre OXC y BTS. Más tarde, si el tráfico en un BTS en particular aumenta, se puede agregar otro camino óptico, ya que los existentes no pueden proporcionar el ancho de banda requerido. En aplicaciones de banda ancha, los requisitos de ancho de banda para el tráfico de subida pueden ser mucho menores que las necesidades del tráfico descendente. Por lo tanto, se planea utilizar un enlace multi-acceso (compartido) para el tráfico de subida y enlace dedicado (en la medida de lo posible) para el tráfico de bajada. Esto quiere decir que se utilizara arquitectura de anillo para recoger las demandas del usuario y la topología de malla para proporcionar conectividad descendente. Esta es una iniciativa de ahorro de costos y que maximiza la utilización de recursos.

Ahora surge una pregunta, ¿por qué no una topología completa de anillo o una topología completa de estrella, y por qué una combinación de topología de estrella y de anillo?. La arquitectura de anillo es muy fácil de crear y operar. Pero está el problema de las fallas. Si la fibra en el anillo está experimentando un problema en alguna parte, la falla de la arquitectura depende del grado de protección. En el caso de una topología total de estrella, los costos de creación y funcionamiento se limitan. Se necesitan más longitudes de onda y transceptores en una arquitectura de estrella en comparación con una arquitectura híbrida o de anillo. Aunque a un alto precio, se obtiene una arquitectura más robusta que más tolerante a fallos [6].

Con el tiempo, la demanda de tráfico de la

red cambia. Esto deja la topología de red en un estado sub-óptimo en cuanto a tráfico. Los caminos que estaban experimentando tráfico pesado hasta ahora pueden no tener el tráfico en absoluto. Estos trayectos necesitan ser removidos. Puede haber otros caminos que inicialmente tenía muy poco tráfico o sin demanda de este, y que ahora están experimentando una carga muy pesada. Para dirigir este nuevo tráfico se deben crear vías para la demanda. Se usa la reconfiguración dinámica de las redes ópticas para hacer la adición / eliminación de nuevos caminos de acuerdo a la demanda.

5. ALGORITMO DE RECONFIGURACIÓN

La reconfiguración es la siguiente:

- Inicio
- Generar un conjunto de creación con la demanda de tráfico nuevo. Actualizar la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda y la matriz de carga para el tráfico que se ha reducido.
- Actualizar el conjunto de eliminación utilizando la matriz de tráfico actualizada.
- Elegir una solicitud lightpaths del conjunto de creación.
- Comprobar si ya existe un camino y si la ruta existente puede satisfacer la demanda.
- Actualizar la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda, la matriz de carga, y el conjunto de Creación.
- Buscar en el conjunto de eliminación para ver si la solicitud se puede satisfacer utilizando las rutas existentes marcadas para su eliminación. Si la solicitud se puede satisfacer, actualizar la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda, la matriz de carga, conjunto de eliminación y el conjunto de creación.
- Ordenar el juego de creación en el orden no creciente del requerimiento de tráfico.

Mientras (el Conjunto de Creación no este vacío) hacer:

- CS ← primer camino en el conjunto de creación para ser establecido.

- Encontrar las K mejores rutas que se pueden utilizar para establecer CS utilizando el número de saltos físicos, y la longitud del camino (éstos son realmente calculados una vez y almacenados para siempre).
- Ordenar los caminos K mediante la longitud de salto en orden creciente.
- Mientras que (la ruta es establecida o todos los K caminos se comprueban) hacer:
 - Seleccione K_i ($i=0\dots k$).
 - Comprobar si K_i puede satisfacer los requerimientos de tráfico.
 - Si la demanda no puede ser satisfecha, comprobar si la demanda puede ser satisfecha eliminando algunos elementos del conjunto de la eliminación.
 - Comprobar si hay posibilidad de cambio de longitud de onda para minimizar la longitud de salto.
 - Establecer la ruta de acceso si la demanda puede ser satisfecha y correspondientemente actualizar el conjunto de eliminación y el conjunto de creación.
 - Si todos los K caminos se han agotado, comprobar si la solicitud aún puede ser satisfecho con el lightpaths existente incluso si tenemos que romper un único salto lightpath en lightpath multisalto. Si la solicitud se puede satisfacer, actualizar la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda, la matriz de carga y el conjunto de creación de otra manera eliminar el requerimiento y actualizar el conjunto de la creación.
- Fin

6. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE RECONFIGURACIÓN

Suponiendo que la red ya está establecida y los lightpaths también existen. Se hace un seguimiento de los enlaces de forma continua. Al final de un período de seguimiento se toma una decisión para crear o eliminar un lightpath si es necesario basado en la demanda de tráfico nuevo. Un factor muy importante para el funcionamiento eficiente del algoritmo es el período de seguimiento. El período de seguimiento será especificado

para una determinada red dependiendo de las expectativas de tráfico, utilización de la red, llamadas o pérdida de paquetes, la utilización de buffer, etc. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que tenemos que utilizar algunos datos estadísticos y herramientas para calcular el período de seguimiento. Además, el período de seguimiento se puede cambiar con el tiempo. Al igual que el período de seguimiento puede ser diferente para la mañana y la tarde.

El algoritmo propuesto toma la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda, la matriz de longitud de saltos y la topología virtual existente como entrada y genera una nueva topología virtual como salida. El algoritmo puede tomar cuatro acciones, a saber: adición lightpath, eliminación lightpath, la división de una lightpath en multisalto, y el intercambio de longitudes de onda. La última operación se lleva a cabo para reducir la longitud de salto siempre que sea posible.

El algoritmo utiliza dos conjuntos es decir, el conjunto de creación y el conjunto de eliminación. El conjunto de creación mantiene registros de lightpaths que necesitan ser creados. El conjunto de eliminación comprueba los lightpaths que tienen menos tráfico que el tráfico crítico mínimo obligado β o ningún tráfico en absoluto. Los límites de tráfico críticos mínimos y máximos son otra vez específicos de la red y deben ser decididos por el administrador. Estos lightpaths entonces pueden ser reutilizados o suprimidos siempre que haya una necesidad de los recursos que ellos ocupan. Al eliminar lightpaths del conjunto de eliminación, se debe tener cuidado para asegurar que el borrado tiene poco de tráfico, entonces debería haber otro que pueda hacerse cargo de este pequeño tráfico. Si no existe tal camino, no elimine el lightpath. Esto asegura que la topología virtual está conectada.

La red es supervisada en intervalos regulares. Al final de un intervalo los cambios necesarios son hechos a la topología virtual para hacerla conveniente para la nueva demanda de tráfico. El algoritmo comienza con la creación del conjunto de creación para el intervalo. Si

hay disminución en la demanda de tráfico sobre cualquier lightpath, las actualizaciones necesarias son hechas a la matriz de tráfico, la matriz de asignación de longitud de onda y la matriz de carga para reflejar la disminución en el tráfico. Usando esta actualización de la matriz de tráfico, actualizamos el conjunto de eliminación. Después de esta se mira a través del conjunto de creación en busca de nuevos que puede ser atendidos por lightpaths existentes o utilizando existentes en el conjunto de eliminación. Después de este paso se deben crear para el resto de solicitudes a partir de cero. Se clasifica el conjunto de creación sobre la demanda de tráfico. Se hace para crear un simple salto para los requerimientos con mayor demanda de tráfico, siempre que sea posible. Se crea el lightpath secuencialmente a partir del que tiene la mayor demanda de tráfico. Suponemos que las K mejores rutas posibles ya se conocen. Estos caminos son en realidad calculados utilizando el número de saltos físicos (mínimo es el mejor), y la longitud del camino (mínimo es el mejor) y se almacena para siempre.

Entonces se clasifican los K caminos usando la longitud de salto lógico en orden ascendente. Se selecciona la primera ruta en la lista y se comprueba si el camino elegido satisface la demanda de tráfico. Si esto se puede, establecer el camino. Si no se puede, comprobar si la ruta todavía puede satisfacer la demanda por la supresión de algunos elementos del conjunto de eliminación. Si se puede, eliminar los caminos del conjunto de eliminación, creando nuevos caminos apropiados si fuera necesario. Si la ruta no puede satisfacer la demanda tratar el próximo mejor camino en la lista. Si la lista está vacía, tratamos de crear lightpaths incluso rompiendo un solo salto lightpaths existente en múltiples saltos lightpaths. Si no se puede crear lightpath, incluso después de romper un solo salto lightpath en multisalto lightpath, la solicitud no puede ser satisfecha. Eliminar la solicitud del conjunto de creación. Repita los pasos anteriores hasta que el conjunto de creación se quede vacío.

Con este enfoque otro factor muy importante

que debe considerarse al mismo tiempo de tomar cualquier decisión es el tiempo de reconfiguración. No hay forma de dar con precisión el tiempo específico de reconfiguración, como el tiempo necesario para reconfigurar dependerá del estado de la red, la cantidad de ancho de banda disponible, el número de longitudes de onda libre y el número de transmisores libres con la cantidad de datos que se guarden o recuperado.

7. EL COMPORTAMIENTO DEL ENFOQUE PROPUESTO

Teniendo en cuenta el algoritmo de reconfiguración en la sección 5, cuatro escenarios principales surgen, y estos son:

Escenario 1: Cuando el tráfico aumenta y son utilizados lightpaths con carga disponible baja: En este caso simplemente se aumenta la carga en la lightpaths ya existentes. Si es necesario, podemos hacer balanceo de carga sobre lightpaths existentes.

Escenario 2: Cuando hay capacidad suficiente dejada para ser usado pero lightpaths ya utilizados están muy cargados:

En este caso tenemos que crear nuevos lightpaths para apoyar el aumento de la demanda de tráfico. Pero la creación de nuevos lightpaths en este caso no es un problema ya que tenemos capacidad no utilizada. Balanceo de carga también se puede hacer después de crear nuevos lightpaths para la eficiencia en el desempeño.

Escenario 3: Cuando no hay muchas Longitudes de onda dejadas y aumenta la demanda de tráfico:

Se deben romper algunos lightpaths y crear nuevos si es posible. Si somos capaces de romper algunos y crear otros nuevos entonces podríamos ser capaces de satisfacer la demanda de tráfico nuevo. Si no se puede crear nuevos lightpaths, la demanda no puede ser satisfecha. Mientras que rompemos el lightpaths, debemos tener en cuenta que si hay tráfico en el lightpath

que se están rompiendo, entonces debe haber un lightpath alternativo que puede hacerse cargo del tráfico existente en el lightpath original. También se puede romper un único salto lightpath en un multisalto lightpath, si con ello nos permite satisfacer más la demanda de tráfico sin afectar el rendimiento en gran medida.

Escenario 4: Cuando hay falla en el enlace (falla en el enlace simple y múltiple):

En el caso de la falla en el enlace, el lightpath tiene que ser configurado de nuevo. En este caso vamos a hacer uso del anillo redundante que hemos creado. Podemos dirigir el tráfico a otro nodo de acceso que tiene conectividad con el nodo de acceso de problema intacto. Lo único que tenemos que tener cuidado es el número de transceptores disponibles en el nodo de acceso de rescate. Si no hay muchos transceptores disponibles en el nodo de rescate, se puede utilizar acondicionamiento de tráfico.

8. VENTAJAS DEL ENFOQUE PROPUESTO

- Se comparten los recursos por diferentes proveedores de servicios: Un simple nodo cable/acceso pueden ser compartido por muchos proveedores de servicios. Esto se traduce en ahorro de costos enormes para los proveedores de servicios ya que pueden fácilmente compartir infraestructuras con otros. Para compartir un nodo, se pueden proporcionar longitudes de onda específicas y transceptores, dependiendo de sus necesidades.
- Mediante el uso de la reconfiguración dinámica de las redes ópticas WDM, se puede proporcionar fácilmente el ancho de banda según la necesidad, siempre que haya suficiente transceptores instalados.
- Los proveedores de servicios pueden utilizar por separado lightpaths para prestación de servicios en tiempo de restricción (voz por ejemplo) y otros servicios. También pueden cobrar de forma diferente para los diferentes niveles de servicio prestados al usuario. Todo lo que se necesita hacer es crear un lightpath en

una longitud de onda diferente para cada servicio para un usuario.

9. CONCLUSIONES

Las redes híbridas representan una buena opción para implementar redes de acceso de bajo costo y alto desempeño. Estas redes alcanzan tasas similares a las de las redes ópticas

convencionales con costos de instalación y mantenimiento similares o inferiores a las redes de acceso cableadas. Adicionalmente las redes híbridas ofrecen ventajas como la posibilidad de compartir recursos para varios proveedores manteniendo la integridad y la seguridad de los datos. Sin embargo estas redes presentan vulnerabilidad frente a factores atmosféricos (por ejemplo niebla).

Referencias Bibliográficas

- [1] G. Shen, S. Rodney, C. Chae, Fixed mobile convergence architectures for broadband access: Integration of EPON and WiMAX. *IEEE communications magazine*, pp 44-50, Agosto-2009.
- [2] G. Shen, S. Rodney, C. Chae, Fixed mobile convergence (FMC) architectures for broadband access: Integration of EPON and WiMAX". Invited paper, EEE Department, University of Melbourne, 2009.
- [3] G. Navid, M. Martin, Fiber-wireless (FiWi) access networks: A survey. *Optical Zeitgeist Laboratory, INRS Chadi M. Assi, Concordia University*, 2009.
- [4] Q. Redhwan, A. Bakar, Performance assessment of a 2 Gb/s hybrid optical-wireless access network. *Infocomm research alliance University technology Malaysia*.
- [5] W. David, Trend and prospects for radio over fiber picocells, Department of electronic & electrical engineering, University College London, Torrington Place, London, WC1E 7JE, UK.
- [6] Comparitions, Fsona Optical. Fsona Optical Wireless. [En línea], consultado en Diciembre 10 de 2011, disponible en: <http://www.fsona.com/solutions.php>.
- [7] X. Zhu, J. Kahn, Free-space optical communication through atmospheric turbulence channels. *IEEE Trans. on Communications*, No. 2, pp. 1293-1300, 2003.
- [8] Inalámbrica, Transmisión Óptica. Wilac, 2009. [En línea], consultado en Octubre del 2011, disponible en: http://www.wilac.net/descargas/documentos/8va_eslared/11_Transmision_Optica_inalambrica.pdf.
- [9] Bloom, Scott. The physics of free-space optics, Free space optic, 2002. [En línea], consultado en Agosto 14 de 2011, disponible en: <http://www.freespaceoptic.com/WhitePapers/Physics%20of%20Free-space%20Optics.pdf>.