**CONTENIDO**

[1.1. Descripción restricciones para la computación de camino 2](#_Toc319266928)

[1.2. Atributos del enlace en GMPLS 2](#_Toc319266929)

[1.3. 7](#_Toc319266930)

[1.4. Atributos de camino 7](#_Toc319266931)

[1.5. Restricciones del proceso de computación de camino. 7](#_Toc319266932)

[1.6. Descripción de las interfaces de salida del modelo AG2 9](#_Toc319266933)

[2. DEFINICIONES DEL MODELO DINÁMICO AG2 10](#_Toc319266934)

[1.7. Definiciones teóricas del modelo de la red 10](#_Toc319266935)

[1.8. Definiciones matemáticas del modelo de la red 11](#_Toc319266936)

[1.9. Definiciones teóricas del modelo de la grilla: 12](#_Toc319266937)

[1.10. Definición de los eventos, acciones, estados y funciones de costo del proceso de decisión markoviano de tiempo continuo 13](#_Toc319266938)

[3. SIGLAS Y CONVENCIONES 16](#_Toc319266939)

**DESCRIPCION DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MODELO AG2**

**DESCRIPCION GENERAL**

El modelo AG2 es una propuesta de modelo arquitectural basado en la tecnología GMPLS y en la infraestructura de computación distribuida[[1]](#footnote-1) (grilla computacional). Siendo el principal objetivo de AG2 la optimización de los recursos de red y adaptar el comportamiento del modelo al tipo y la cantidad de tráfico que por medio de la red fluye.

La descripción física del modelo consta:

1. El punto de grilla:
   1. Puntos de procesamiento.
   2. Puntos de almacenamiento masivo (no es raro encontrarlos en un lugar geográfico distante de su punto de procesamiento).
2. Infraestructura óptica de la red GMPLS.
   1. Enlaces de red.
   2. Enrutadores de borde y de núcleo.

Y la descripción conceptual consta:

1. Datos en bruto.
2. Algoritmo “Caracterizador” el cual interpretara la naturaleza del problema que ejecutara la grilla, para generar un conjunto de características de dicho problema.
3. Algoritmo “Fabrica de Restricciones” el cual será alimentado por el conjunto de datos del algoritmo “Caracterizador”, el cual será el responsable de generar un conjunto restricciones que completaran a las restricciones ya existentes de los protocolos de plano de control de la arquitectura GMPLS.

**DESCRIPCION DETALLADA**

En la descripción conceptual del modelo AG2 se nombraron los elementos constitutivos:

* **Datos en bruto:** Son datos en bruto que una tarea puede tomar como entrada (originalmente residen en sitios de almacenamiento masivo).
* **Algoritmo Caracterizador:**Este algoritmo es el encargadode generar características de ***información estadística***, será alimentado periódicamente por el comportamiento de la red y del protocolo usado en el plano de control (véase sección Z), generando así características cuantificables y medibles de comportamiento de la red y de los flujos que pasan a través de ella.
* **Algoritmo Fábrica de Restricciones:** Este algoritmo recibe como entrada los parámetros generados por el “algoritmo caracterizador”, los procesa con ayuda del protocolo CSPF y genera los mejores LSP que se ajusten al requerimiento.
* También debe optimizar el uso de los recursos de la red, la forma en la que se propone hacerlo es reduciendo la gestión que se hace sobre los caminos ópticos (LSPs). La reducción de la gestión consiste en mantener los que sirvan como paso común para más de un flujo o un solo flujo de tráfico y eliminar los sub-utilizados. Al recolectar esta información de tal forma que sea agrupable en franjas de tiempo para de dicha forma poder crear una gestión de LSPs por adelantado y no generar gasto sobre la red haciendo la gestión en forma dinámica.

**Sección Z. MENSAJES DEL PROTOCOLO RSVP-TE (DEDUCCION DE INFORMACION ESTADISTICA)**

En todos los mensajes descritos a continuación hacemos uso de la separación de planos de la arquitectura GMPLS (plano de datos y plano de control), estando los mensajes de señalización del plano de control encapsulados en el datagrama IP, así:



Figura 1 Estructura y encapsulamiento de mensajes RSVP.

Además, también se muestra superficialmente que cada mensaje tiene en encabezado común y unas estructuras y sub-estructuras de objetos transportadores de información particular.

**DEDUCCION DE INFORMACION ESTADISTICA**

1. **¿Tiempo de generación del LSP[[2]](#footnote-2)?**

El enrutador de ingreso (que es un enrutador de borde) es el encargado de generar un mensaje de camino (Path message) a su siguiente salto (enrutador de núcleo) en el camino del LSP. Este determina el camino ya sea viendo su ruta explicita o computando el siguiente salto hacia su destino, este mensaje de solicitud lleva el identificador de la sesión padre (sesión object) y el identificador del LSP (sessión template), además de los siguientes parámetros que describen al LSP (Label Request, Sender-TSpec y Explicit Route objects) además verificando salto a salto que los recursos si puedan soportar el LSP. Cuando el mensaje de camino alcanza el enrutador de la cadena de bajada (“DownStream router” que es un enrutador de borde), este ultimo genera un mensaje de aceptación (Resv message) para provisionar las etiquetas que deben ser usadas para identificar el trafico (Objeto etiqueta “Label object”) y para confirmar la reservación de los recursos (“FlowSpec object” objetos que especifican el tipo de reservación y la información de la reservación). Al llegar dicho mensaje de aceptación al enrutador de cadena de subida (“upstream router” o más conocido como enrutador de ingreso) se da por establecido el LSP. En conclusión, podemos calcular el tiempo que tarde el establecimiento del LSP si tomamos el tiempo en el enrutador de ingreso cuando es enviado el mensaje de camino “Path message” y le restamos el tiempo de llegada a este mismo enrutador del mensaje de aceptación “Resv message”, mas formalmente así:

tpm : Tiempo de cuando se genero el mensaje de camino en el enrutador de ingreso.

tcm : Tiempo de cuando arribo el mensaje de aceptación al enrutador de ingreso.

TeLSP : Tiempo de establecimiento del LSP.

Siendo TeLSP = tcm -tpm.

El tiempo como parámetro obtenido de un LSR de borde es obtenido con una solicitud de timestamp, dicha solicitud es parte del protocolo ICMP, el cual le brinda la hora del reloj.

1. **¿Tiempo de duración de LSP?:**

Enfocándonos en el enrutador de ingreso (“Upstream router”) el cual es el que genera el LSP con el mensaje Path, podemos calcular el tiempo de duración del LSP si sabemos el momento de arribo del mensaje Resv hasta el momento de generación del mensaje de liberación de cadena de bajada (“DownStream Release” teniendo en cuenta que los protocolos RSVP y RSVP-TE no tienen respuesta a este mensaje), ya que este mensaje viaja salto a salto por la cadena de bajada hasta el enrutador de egreso.

Si bien mencionamos en líneas anteriores que el mensaje de liberación de cadena de bajada no tiene respuesta, sino que simplemente va liberando los recursos atados al LSP. Por otro lado, la arquitectura GMPLS si tiene en cuenta un mensaje, no propiamente dicho de respuesta, si no un mensaje que permita a un enrutador de egreso (“Downstream router”) poder terminar un LSP, dicho mensaje utiliza el mensaje PathErr (Mensaje generado cuando el mensaje Path viaja por la cadena de bajada y no puede cumplir los parámetros de establecimiento del LSP, se genera en la cadena de subida el PathErr) pero adicionándole a dicho mensaje un bandera de “Remoción del estado del camino” (‘‘Path state removed’’). Siendo mas precisos así se calcularía para el caso cuando el enrutador de ingreso es el mismo que desea eliminar el LSP:

trm : Tiempo del momento cuando arribo el mensaje Resv(Mensaje de confirmación de generación del LSP).

Tdsrm: Tiempo de cuando se genero el mensaje de liberación de recursos del LSP.

TvLSP : Tiempo de vida del LSP.

Siendo TvLSP = Tdsrm - trm.

Ahora contemplamos la opción para cuando el enrutador de cadena de bajada es el que quiere terminar el LSP.

trm : Tiempo del momento cuando arribo el mensaje Resv(Mensaje de confirmación de generación del LSP).

TphPSR: Tiempo de arribo del mensaje PathErr con bandera de “Remoción del estado del camino” (‘‘Path state removed’’).

TvLSP : Tiempo de vida del LSP.

Siendo TvLSP = TphPSR - trm.

1. **¿De los LSPs generados cuantos presentaron fallos?**

Una vez un LSP es establecido, hay mensajes Path y Resv de refresco periódicos los cuales son los encargados de dar certeza de la existencia del estado del LSP. Ya que los errores pueden ser reportados con dos tipos de mensajes, el Mensaje de Error de Cadena de Bajada (Downstream error message) y el Mensaje de Error de cadena de subida (Upstream error message), se sabria que un LSP durante su tiempo de vida presento fallas si se estableció y luego se recibió un mensaje de error, por ejemplo, de cadena de subida en el caso del enrutador de ingreso. El mensaje de cadena de subida es el mensaje el cual se usa para reportar errores en LSP ya establecidos (LMP es usado para ayudar a aislar la falla, es decir, determinar donde en el camino sucedió la falla) pero la propagación de la existencia del error se debe hacer por medio del mensaje de error en el plano de control.

Ambos tipos de mensajes de error, el de cadena de subida y el de cadena de bajada llevan consigo información para ayudar a determinar y localizar donde sucedió. Un código clasifica el tipo de error (de admisión, de enrutamiento o de política), al igual también contienen la dirección IP del LSR que reporta el error y pueden usar TLV para indicar el enlace especifico en donde el problema sucedió. Así que para saber cuántos LSP presentaron fallas, necesitamos saber cual LSP fallo y cuantas veces, determinándolo así:

Se sabe que LSP fallo porque sabemos que cada LSP tiene el identificador de la sesión padre (session object) y el identificador del LSP (sender- template). Y sabemos cuántas veces fallo y el tipo de fallo por que el enrutador de ingreso recibe mensajes de error ya mencionados.

1. **¿Cuántos se recuperaron? y ¿cuántos no se recuperaron?**

Sabemos que para el establecimiento de un LSP se genera un Path msg y lo confirma un Resv msg, una vez establecido, hay un tiempo de refresco (en casos hasta de 10 minutos que se encuentra en el objeto “TIME\_VALUES Object”), de generarse algún fallo antes de querer eliminar un LSP (eliminar el servicio “mensaje de liberación”), ha de producirse un mensaje de error (PathErr o ResvErr con la información en el objeto), según sea el caso se clasifica el error y el enrutador de ingreso decide si se no se desea mantener más tiempo el servicio (mantener el LSP) generando un mensaje de liberación o si por el contrario el plano de control logro solucionar el inconveniente, (vale la pena recordar que en el mensaje de error tenemos información del tipo de error y en donde sucedió “Error\_Spec\_Object”[[3]](#footnote-3)), así que se puede determinar cuántos LSP se recuperaron a un fallo y cuantos se perdieron leyendo la información del mensaje de error (PathErr) que arriba al enrutador de ingreso. No se que tan necesario seria examinar la opción q después de recibir un mensaje de error, los LSPs q se eliminaron cuantificarlos teniendo en cuenta con el mensaje de liberación del servicio (Release msg).

1. **¿Cuantos LSP se generaron (Origen-Destino)?:Mirar SCOPE Object pag 12**

En el plano de control podemos identificar los nodos origen-destino (Enrutador de ingreso y de egreso) ya que estos mensajes están encapsulados dentro de un datagrama IP (un datagrama contiene la dirección IP de origen y destino), si bien lo anterior resuelve el problema del origen y del destino de un LSP (de enrutador de ingreso a enrutador de egreso), no sabe que trafico es el que viaja dentro de ese LSP, ya que desde un mismo origen de LSP pude venir varios flujos, este problema se resuelve dentro de la estructura del mismo flujo. Una vez un flujo se inicia, y el paquete IP entra en el núcleo GMPLS se le incrusta una etiqueta (una longitud de onda), si bien el enrutamiento del paquete se hace basándose en la etiqueta recién incrustada, el datagrama IP con sus puntos de origen y destino de red siguen estando presentes, lo cual nos brinda información de origen a destino. Al leer dicha información en cada enrutador para saber sus redes tanto de origen y destino en principio se pensaría que se va a perder en algo la eficiencia que se gana con el enrutamiento basado en etiquetas, resulta que dicha información solo se leería para saber el destino del trafico mas no se operaria sobre dichas direcciones IP para algún proceso relacionado con el enrutamiento.

1. **¿Cuanto trafico paso por el LSP?:**
2. **¿Que ancho de banda tiene el LSP?:**

En el mensaje de solicitud de establecimiento del LSP (Path message) además de llevar consigo el identificador de sesión (sesión object) y el identificador del LSP (Sender\_template) tambien lleva los parámetros de que describen los requerimientos del LSP (Label Request, Sender-TSpec, y Explicit Route objects). De los anteriores el que describe los parámetros del tráfico planeado es el Sender-TSpec, este objeto es un descriptor de tráfico que describe los requerimientos de ancho de banda o puede detallar otros parámetros de calidad de servicio (QoS). A su vez es confirmado con el objeto FlowSpec que representa el compromiso de la reservación de recursos que van a soportar el flujo de tráfico.

1. **¿Por cuales nodos paso el LSP?**

La lista de nodos por los cuales pasa el LSP se puede determinar a lo largo de la vida del mismo, ya sea en su establecimiento como en su mantenimiento, por que el objeto recRoute hace parte de los mensajes Path y Resv, teniendo este objeto una lista de direcciones que el mensaje Path ha transmitido[[4]](#footnote-4).

**ACLARACION OBJETO SCOPE**: Este objeto lleva una lista explícita (detallada) de los nodos a los cuales la información en el mensaje es enviada (Diferente a objeto recRoute).

**TABLA RESUMEN PARAMETROS DE INFORMACION ESTADISTICA**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **PARAMETRO** | **TIPO DE DATO** | **UNIDAD** | **OBJETO** | **MENSAJE** | **PROCEDIMIENTO** | **DOMINIO** |
| Tiempo de generación del LSP | Numérico | ms | Ninguno | Path message y Resv message | tpm: Tiempo en el cual se genero el mensaje de camino en el enrutador de ingreso.  tcm: Tiempo en el cual arribo el mensaje de aceptación al enrutador de ingreso.  TeLSP: Tiempo de establecimiento del LSP.  Siendo TeLSP = tcm -tpm. | 8 bits |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Tiempo de duración de LSP | Numérico | m | Ninguno | Resv message, DownStream release message y PathErr message. | trm: Tiempo del momento cuando arribo el mensaje Resv(Mensaje de confirmación de generación del LSP).  Tdsrm: Tiempo de cuando se genero el mensaje de liberación de recursos del LSP.  TvLSP: Tiempo de vida del LSP.  Siendo TvLSP = Tdsrm - trm.  Ahora contemplamos la opción para cuando el enrutador de cadena de bajada es el que quiere terminar el LSP.  trm : Tiempo del momento cuando arribo el mensaje Resv(Mensaje de confirmación de generación del LSP).  TphPSR: Tiempo de arribo del mensaje PathErr con bandera de “Remoción del estado del camino” (‘‘Path state removed’’).  TvLSP : Tiempo de vida del LSP.  Siendo TvLSP = TphPSR - trm. | 10 bits |
| Numero de LSPs que fallaron. | Numérico | Ninguno | Session object(variable Tunnel ID) y Sender template object(variable LSP ID) | Path message(Sender template object), todos los mensajes contienen el objeto Session. | Se sabe que LSP fallo porque sabemos que cada LSP tiene el identificador de la sesión padre (session object “variable Tunnel ID”) y el identificador del LSP (sender- template object). | Enteros positivos |
| Numero de LSPs recuperados y perdidos. | Numérico | Ninguno | Error\_Spec Object(información del error) y sesión object (variable unnel ID) | PathErr message, ResvErr message y DownStream Release message | Leyendo la información del mensaje de error (PathErr) que arriba al enrutador de ingreso se sabe que tunnel fallo (No que LSP). Y luego cuántos servicios de tunnel se deciden eliminar con el mensaje Release (PathTear). | Enteros posivios. |
| Numero de LSP que se generaron entre el mismo origen y destino | Numérico | Ninguno | Sender template object(LSP ID) | Path message | Se lee el datagrama IP en sus direcciones origen-destino y adicionalmente de generarse más de un LSP entre el mismo origen-destino debe leerse del mensaje Path el objeto Sender template que contiene el LSP ID. | Enteros posivios. |
| Ancho de banda de un LSP. | Numérico. | mbps | Sender-TSpec | Path message | Una lambda en CWDM puede transportar hasta 2.5 Gbps y en DWDM hasta 10 o inclusive 40 Gbps. | 16 bits |
| Nodos recorridos por el LSP | Numérico (Lista). | Ninguno | recRoute object | Path message y Resv message. | Se lee la lista de nodos que están almacenados en el objeto recRoute. | Direcciones IP (32 bits). |

**Tabla de unidades:**

|  |  |
| --- | --- |
| **UNIDAD** | **DESCARIPCION** |
| ms | Mili-segundos |
| m | minutos |
| mbps | Mega-bits por segundo |
| Lista | Sucesión de números separados por un símbolo o testimonio. |

**Arregla intro, tabla de unidades, mirar lo de amarillito y arreglar unidades(entero positivo). Decir q es objeto y mensaje.**

DESCRIPCIÓN DE LAS INTERFACES DE LA SALIDA

## Descripción restricciones para la computación de camino

El mecanismo el cual genere solicitudes de establecimiento y finalización de los LSP’s del modelo AG2 debe poder generar valores que cumplan con el estándar actual de las restricciones del proceso de computación de camino (PCC[[5]](#footnote-5)) basado en restricciones de la arquitectura GMPLS, para lo cual se hace necesario hacer una introducción conceptual de los diferentes tipos de restricciones, las cuales se clasifican en:

* Restricciones de tipo-enlace.
* Restricciones de tipo-camino.
* Restricciones basadas en inclusiones.
* Restricciones basadas en exclusiones.

### Atributos del enlace en GMPLS

Para cumplir los parámetros de los algoritmos de computación de camino basado en restricciones de la arquitectura GMLPS, el algoritmo fábrica de restricciones, debe generar restricciones basadas en los diferentes atributos del enlace, los cuales están estandarizados en GMPLS[[6]](#footnote-6).

* Métrica de ingeniera de tráfico.
* Grupo de administración.
* Tipo de protección de enlace.
* Grupo de enlaces riesgo compartido.(*Shared Risk Link Group, SRLG*).
* Descriptor de la capacidad de computación de la interface. (Interface Switching Capability, ISC)

#### Métrica de ingeniera de tráfico

Es usado como un costo de la arista direccionada que representa el enlace TE sobre el grafo de la red, este valor numérico es establecido y publicado por el controlador del conmutador, a su vez cada controlador de red introduce este costo a su grafo de red. Esta métrica es usada para establecer los posibles caminos de menor costo.

#### Grupo de administración

Este atributo es un número de 32 bits, que puede ser publicado por cada enlace. Cada bit representa una calidad conocida del enlace, así el proceso de computación de camino puede ser restringido para evitar o forzar el uso de ciertos enlaces por su calidad, dependiendo del tipo de servicio requerido[[7]](#footnote-7).

#### Tipo de protección de enlace.

Este atributo representa la capacidad que tiene un enlace para brindar y recibir ciertas protecciones. Este atributo es usado como restricción al considerar enlaces que garanticen un aceptable nivel de protección del tipo de servicio requerido. Todas las actuales capacidades de protección son presentadas en la siguiente tabla.

Tabla de los tipos de capacidades de protección de los enlaces GMPLS[[8]](#footnote-8)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Atributo | Capacidad | Descripción |
| 0x01 | Trafico Extra | Este enlace es establecido para proteger uno más enlaces, otros servicios pueden usar el enlace pero serán interrumpidos si falla alguno de los enlaces que están protegiendo. |
| 0x02 | Sin protección | Este enlace no cuenta con ninguna protección, si el enlace falla el servicio será suspendido. |
| 0x03 | Compartido | Existe uno o más enlaces disyuntos de “trafico extra” que protegen este enlace, además otros enlaces “compartidos” son a su vez protegidos por el mismo enlace de “trafico extra”. |
| 0x04 | Dedicado 1:1 | Existe un enlace disyunto de “extra trafico” para proteger este enlace y la protección no es compartida con otros enlaces. |
| 0x05 | Dedicado 1+1 | Existe un enlace disyunto de “extra trafico” para proteger este enlace y la protección no es compartida con otros enlaces, además el enlace de protección no es publicado por los protocolos de enrutamiento, otros servicios no pueden usarlo. |
| 0x06 | Mejorado | Esquemas de protección avanzadas protegen este enlaces tales como BLSR/MS-SPRING |

#### Grupo de enlaces riesgo compartido

Este atributo identifica todos los grupos de riesgo compartido a los cuales un enlace pertenece, este riesgo se refiere a la posibilidad de que estos enlaces puedan ser afectados cuando un recurso común de red falle. Cada enlace puede pertenecer a múltiples *SRLGs,* así cada atributo de enlace SRLG puede incluir más de un identificador *SRLG*. Este identificador es un número único de 32 bits.

Este atributo es bastante útil para la recuperación del LSP. Es siempre deseable para el servicio de recuperación de LSP, usar un camino los mas disyunto posible del servicio original de establecido del LSP, así una falla en la red no afecte ambos LSP’s, es fácil concluir que debemos restringir el proceso de computación de camino para asegurar que los LSP no compartan SRLG’s.

#### Descriptor de la capacidad de computación de la interface (ISC)

A pesar que el *ISC* es catalogado como un atributo del enlace, es realmente la descripción el tipo de interface de datos, este atributo contiene la siguiente información:

* Tipo de capacidad de la interface de computación.
* Tipo de codificación de datos.
* Máximo ancho de banda disponible para la reservación del LSP de cada nivel de prioridad.

Para la capacidad de conmutación de paquetes el ISC provee información adicional:

* Ancho de banda mínimo para el LSP.
* Unidad de transferencia máxima de la interface (MTU).

Para la capacidad de computación TDM el ISC provee información adicional:

* Ancho de banda mínimo para el LSP.
* Indicador si el modelo Estándar oArbitrariode *SONET/SDH* es soportado.

Los tipos de capacidades de la interface de computación en GMPLS se describen en la siguiente tabla.

Valores de los tipos de capacidades de conmutación de la interface de datos[[9]](#footnote-9)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Identificador | Tipo de capacidad de computación | Descripción |
| 1 | PCS-1 | Capacidad de conmutación de paquetes nivel 1 |
| 2 | PCS-2 | Capacidad de conmutación de paquetes nivel 2 |
| 3 | PCS-3 | Capacidad de conmutación de paquetes nivel 3 |
| 4 | PCS-4 | Capacidad de conmutación de paquetes nivel 4 |
| 51 | L2SC | Capacidad de conmutación de la capa 2 |
| 100 | TDM | Capacidad de conmutación por división de tiempo |
| 150 | LSC | Capacidad de conmutación de lambda |
| 200 | FSC | Capacidad de conmutación de fibra. |

El tipo de codificación de datos esta siempre relacionado con la capacidad de conmutación, este provee información sobre la codificación soportada en la interface, esto hace referencia al formato de presentación para el medio de transporte. La tabla mostrada a continuación describe todos tipos de codificación soportadas por la actual arquitectura GMPLS.

Valores para los tipos de codificación de datos[[10]](#footnote-10)

|  |  |
| --- | --- |
| Identificación | Tipo de codificación de datos |
| 1 | Packet |
| 2 | Ethernet |
| 3 | ANSI/ETSI PDH |
| 4 | Reservado |
| 5 | SDH ITU-T G.707/SONET ANSI T1.105 |
| 6 | Reservado |
| 7 | Digital wrapper |
| 8 | Lambda (photonic) |
| 9 | Fiber |
| 10 | Reservado |
| 11 | Fiber channel |

### 

El máximo ancho de banda disponible para la reservación del LSP de cada nivel de prioridad, se refiere al valor del ancho de banda que está disponible en un enlace para un nuevo servicio de cierto nivel de prioridad, así el PCC puede considerar solamente aquellos que tengan el suficiente ancho de banda.

### Atributos de camino

Los atributos de camino son características del camino o de un segmento del camino que puede influenciar la decisión de aceptación o rechazo en el proceso de selección de camino. Usualmente todos los enlaces que componen el camino contribuyen a generar el valor para el atributo, por lo tanto este puede ser calculado de acuerdo a siguiente fórmula[[11]](#footnote-11):



Donde: “Latr(a)” son los atributos del enlace usados por el camino “p” y representado en el grafo por el arco “a”. A continuación se mencionan algunos atributos de camino.

* Longitud total del camino.
* Total de retraso de extremo a extremo.
* Total de conversiones óptico-eléctrico-óptico.
* La unión de todos los SRLG que constituyen el camino.

### Restricciones del proceso de computación de camino.

#### Exclusiones

Las exclusiones globales son fácilmente implementadas al eliminar del grafo las aristas y los vértices que representan los nodos y vértices que deben ser excluidos, y luego ejecutar el correspondiente algoritmo de computación de camino sobre el grafo modificado.

El problema es bastante complejo cuando se requiere dos o más caminos disyuntos, cada uno con su propio conjunto privado de exclusiones, porque no se pude resolver con los algoritmos tradicionales debido a que estos asumen cierto intercambio de información de segmentos entre los caminos. Este inconveniente se puede resolver de la misma forma en que se resuelve las restricciones de tipo-camino, pero el costo computacional es elevado.

#### Restricciones de tipo-enlace

En este tipo de restricciones se tiene una función la cual toma uno o más atributos del un enlace dado y retorna solo dos posible valores, VERDADERO si el enlace cumple con la condiciones para que se pueda establecer el camino sobre este, si no cumple esta función retorna FALSO, lo que significa que este enlace será eliminado del grafo que representa la red. De esta forma es fácil notar que estas restricciones pueden ser manejadas en una forma similar a las exclusiones globales.

#### Inclusiones

El problema de las inclusiones globales (restringir al proceso de computación de camino para que escoja cierto enlaces o nodos) puede ser formulado como una solicitud para computar uno o más caminos disyuntos, donde cada uno de ellos debe cruzar una lista ordena de nodos. Por lo tanto este problema puede ser resuelto al modificar alguno de los algoritmos de selección de camino sin restricciones.

El algoritmo modificado debe tomar en consideración los siguientes pasos.

1. “Asegurar que en la lista de inclusiones los nodos y enlaces no se repitan.
2. Ejecutar un algoritmo de selección de camino más corto, para determinar el camino desde el origen a la primera inclusión.
3. Si el destino del anterior segmento es también el destino de todo el camino del algoritmo se termina y retorna el camino resultante, diferenciando los diferentes segmentos que generaron las inclusiones.
4. Si no, tomar los vértices elegidos por el anterior segmento y adicionarlos en la lista de exclusiones (esto se hace para evitar *ciclos* ), y ejecutar un algoritmo de selección de camino más corto que puede tener en consideración la lista de exclusiones
5. Si la computación de camino del paso 4 es exitosa, regresar al paso 3.
6. Si no, recursivamente re-computar los caminos para todos los segmentos previos comenzando por el exitoso mas reciente.
7. Si el paso 6 es exitoso ir al paso 3.
8. Si no, terminar el algoritmo, y se concluye que el camino con esas inclusiones no existe.”[[12]](#footnote-12)

#### Restricciones de tipo-camino

Las restricciones de camino no cumplen con el esquema de eliminación de vértices y aristas del grafo de la red a priori del proceso de computación de camino, debido a que los parámetros necesarios para evaluar la condición de la restricción solo son conocidos luego de la tener todo el camino computado.

Las restricciones de camino son muy importantes para el proceso de cómputo de caminos sobre redes ópticas, ya que los caminos pueden atravesar una o más redes transparentes. Debido a que la calidad de la señal óptica en dichas redes puede cambiar dramáticamente entre puntos de regeneración.

Un forma de reducir el impacto en la calidad de las redes ópticas es adicionar una restricción de camino que permita producir un deseado camino, el cual no atraviese un número máximo de redes transparentes o un camino en el cual la longitud de cada segmento entre puntos de regeneración siempre sea menor a cierto valor, para así garantizar cierta calidad de servicio.

## Descripción de las interfaces de salida del modelo AG2

\* Complejidad computacional de la función GMPLS

\*\*El enlace ID; identificador de enlace TE, el cual es único para cada enrutador, así se puede diferenciar cada enlace lambda con una combinación de la dirección IP de la interface y el enlace ID.

# 

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Clasificación** | **Definición/Atributo GMPLS** | **Unidad** | **Tipo de dato** | **Complejidad\*** | **Tipo de dato AG2** | **Capacidad** |
| Restricciones de los atributos de enlace | Métrica de ingeniera de tráfico | Métrica | Entero positivo | Baja | Numérico | 16 bits |
| Grupo de administración | [sin unidad] | Entero positivo | Baja | Numérico | 32 bits |
| Tipo de protección de enlace | Atributo de protección de enlace | Entero positivo | Baja | Numérico | 4-bits |
| Grupo de enlaces riesgo compartido | Atributo SRLG | Lista de identificadores de SRLG's | Baja | lista de valores numéricos | lista finita de elementos de 32 bits |
| ISC-Tipo de conmutación | Identificador de capacidad de conmutación | Entero positivo | Baja | Numérico | 8-bits |
| ISC-Codificación | Identificador de tipo de codificación | Entero positivo | Baja | Numérico | 4-bits |
| ISC-Máximo ancho de banda disponible para el LSP. | bytes/segundo | Entero positivo | Baja | Numérico | 64-bits |
| ISC-Paquete - Mínimo ancho de banda para el LSP. | bytes/segundo | Entero positivo | Baja | Numérico | 64-bits |
| ISC-Paquete - Unidad de transferencia máxima de la interface | bytes | Entero positivo | Baja | Numérico | 16-bits |
| ISC - TDM- Mínimo ancho de banda para el LSP | bytes/segundo | Entero positivo | Baja | Numérico | 64-bits |
| ISC - TDM- Indicador si el modelo Estándar o Arbitrario de SONET/SDH es soportado | [sin unidad] | Entero positivo | Baja | Numérico | 2-bits |
| Restricciones de los atributos del camino | Numero de salto | [sin unidad] | Entero positivo | Media | Numérico | 8-bits |
| Número de redes transparentes | [sin unidad] | Entero positivo | Media | Numérico | 8-bits |
| Distancia máxima entre puntos de regeneración | Metros | Entero positivo | Media | Numérico | 16-bits |
| Retraso máximo de extremo a extremo | Milisegundos | Entero positivo | Media | Numérico | 32-bits |
| Trafico promedio sobre todo el camino. | bytes/segundo | Entero positivo(bytes) | Media | Numérico | 64-bits |
| Total de conversiones óptico-eléctrico-óptico | [sin unidad] | Entero positivo | Media | Numérico | 8-bits |
| La unión de todos los SRLG que constituyen el camino | ?? | ?? | ?? |  |  |
| Inclusiones | Enlaces | Identificador | Dirección IP-4/6 -- Enlace ID \*\* | Alta | IP4/IP6 -Numérico | Enlace ID: 16 bits |
| Enrutadores | Identificador | Dirección IP-4/6 | Alta | IP4/IP6 |  |
| Exclusiones | Enlaces | Identificador | Dirección IP-4/6 -- Enlace ID \*\* | Baja | IP4/IP6 -Numérico | Enlace ID: 16 bits |
| Enrutadores | Identificador | Dirección IP-4/6 | Media | IP4/IP6 |  |

**DEFINICIONES DEL MODELO DINÁMICO AG2 (Nivel 1)**

**Modelo arquitectural de la propuesta AG2 (Nivel 2 )**

Vista externa del modelo general de la arquitectura AG2. (Figura)

Vista interna del modelo general de la arquitectura AG2. (Figura)

## Definiciones teóricas del modelo de la red

* Se trabajara solo sobre la topología física de fibras y sobre la virtual óptica.
* Se asume que no existen convertidores de longitud de onda (λ) en la red. Esto quiere decir que el λSP ocupa la misma longitud de onda por todas las fibras que pasa.
* Pueden existir multiples λSP´s entres par de nodos.
* Se asume que solo existe una fibra entre los nodos que están conectados.
* Se asume que el camino de menor salto (*minimum hop path*) permanece constante durante el proceso de optimización. Esta presunción es válida porque la adición o eliminación de fibras hace parte de un planeamiento de largo plazo.
* Se asume que la tecnología WDM es empleada para suministrar diferentes longitudes de onda simultáneamente sobre la fibra, y numero de longitudes de onda permanece constante durante el proceso de optimización.
* Se define el ***λSP de nivel 0*** como el LSP **por omisión** que es la representación directa de la fibra en la red física. Por lo tanto cada fibra óptica entre par de nodos contiene un λSP por defecto, no contiene saltos (hops) intermedios y no existe restricción en la longitud de onda a usar. Además los λSP´s de nivel 0 no están sujetos a consideración en el proceso de optimación en lo referente a la creación o eliminación de los mismos, pero si pueden ser objeto de redimensionamiento.

## Definiciones matemáticas del modelo de la red

Se adicionaran subíndices a las definiciones para expresar que estamos haciendo referencia a un par de nodos, por ejemplo:

1. La red va a estar representada por medio de un grafo (G), compuesto por un conjunto de nodos (***N***) y un conjunto de aristas (L).

***N*** es un conjunto de nodos (conmutadores) en la red y es común para todas las topologías, sean físicas o virtuales.

* 1. Topología de fibras. Donde:
  2. Topología de λSPs:

1. Se define el λSP de nivel cero:
2. Se define un λSP directo como:

*ó eliminar.*

1. Se define la ruta de saltos más corta entre los nodos i y j:
   1. Topología de fibras:
   2. Topología de λSPs:
2. Para cada λSP y Fibra entre nodos i y j, se define la capacidad de ancho de banda:
   1. Topología de fibras:
   2. Topología de λSPs:

.

1. Para cada λSP y Fibra entre nodos i y j, se define la capacidad disponible de ancho de banda:
   1. Topología de fibras:
   2. Topología de λSPs:

.

1. Para cada λSP y Fibra entre nodos i y j, se define la capacidad ya reservada del ancho de banda:
   1. Topología de fibras:
   2. Topología de λSPs:
2. En cada fibra óptica encontramos los siguientes elementos:
3. Solicitudes de ancho de banda que llega a los conmutadores i y j.

## Definiciones teóricas del modelo de la grilla:

1. La atomicidad que se tendrá en cuenta será a nivel de **“trabajo”,** por ende, no se contemplaran las tareas como partes constitutivas del trabajo y tampoco se tendrá en cuenta la dependencia entre tareas, ya que estas últimas simplemente no existen en nuestro modelo.
2. De darse el caso que un trabajo para su procesamiento necesite “**datos en bruto**” (*raw data*), se asumirán que dichos datos en bruto se encontraran en la misma ubicación que la entidad que está generando dichos trabajos.
3. El esquema de asignación de trabajos será de forma “**dinámica**”.
4. La tipo de arquitectura en que los Agendadores (**Middlewares**) se relacionan será “**distribuida**” en modo no “**cooperativo**”.
5. Se define como “**Tiempo de propagación**” (Makespam): al tiempo gastado desde el inicio de la primera tarea del trabajo hasta el final de la última tarea del trabajo en el recurso que lo procesa. Por ende, en el marco de nuestro modelo, el tiempo de propagación será el tiempo gastado por el recurso en procesar un trabajo.

## Definición de los eventos, acciones, estados y funciones de costo del proceso de decisión markoviano de tiempo continuo

Todas las definiciones son provistas para un par de nodos , por lo tanto para la definición formal se suprime el subíndice respectivo.

DEFINICIONES

1. Trabajo:
2. Eventos:
3. Estados:
   1. Se define el estado de de la topología óptica entre 2 nodos , asi:

Siendo el ancho de banda total disponible en todos los λSP entre los nodos , es la parte de B que esta enrutada en los λSPs directos entre los nodos , es la parte de B que está siendo enrutada en los λSPs sobre y el numero de λSPs entre los nodos .

* 1. Se define el estado de la relación entre el cliente y el recurso (c-r), así:

Siendo el número de procesadores libres en un nodo computacional dedicado al procesamiento.

Siendo la capacidad de procesamiento total disponible en un nodo computacional dedicado al procesamiento.

* 1. Se define el estado extendido del conjunto de la topología óptica y la grilla así:

Expandiéndolo, queda así:

1. Acciones:

Se asume que en el instante de tiempo , el evento ocurre, el cual tiene que ser manejado por la red y la grilla. La red y grilla deciden que acciones llevar a cabo para manejar dicho evento, así:

1. Se definen las acciones en la grilla***:***
2. Se definen las acciones en la topología óptica:

1. *Se expresan las acciones combinadas en ambos niveles, así:*
2. Función de costo:
3. Definimos el costo sobre la red óptica de un flujo de datos, en tres partes, así:

* El costo de ancho de banda, .
* El costo de señalización, .
* El costo de conmutación,

El costo de ancho de banda como el de conmutación

depende del tiempo para el cual el sistema se encuentre en dicho estado. Por lo tanto:

y

,

donde es el tiempo hasta cuando ocurre el siguiente evento. El costo de señalización se da solo en el instante cuando la acción es elegida.

1. Definimos el costo sobre la grilla de procesar un trabajo, así:
2. Se define el costo total de enviar sobre la red óptica flujo de datos, así:
3. Se define el costo total de enviar sobre la red óptica un trabajo junto con sus datos en bruto, procesar dicho trabajo y luego recuperar dichos datos resultantes del procesamiento, así:

donde

Ya que se asume que el sistema de estimación de estados del agendador, contiene un estado actual y un histórico de los recursos, esta es calculada en un porcentaje donde el 1 significa que el rendimiento estimado respecto del rendimiento recibido fue el mismo. Para <1 se da si el rendimiento recibido es mayor que el rendimiento estimado y >1 si el rendimiento recibido es menor que el rendimiento estimado. Esta se calcula en base al promedio histórico del recurso.

**Modelo dinámico de reservación anticipada de recursos de red GMPLS-λSP y de grilla (MDRARG2) (nivel 2)**

Descripción teórica (nivel 3)

La reservación de recursos es una excelente forma de proveer calidad de servicio entre nodos de extremo a extremo e indispensable para aplicaciones de tiempo real sobre una red óptica.

Se debe hacer la clara distinción entre los tipos de reservación; inmediata y anticipa. En la propuesta del analizador multi-dominio se ha abarcado el problema de reservación de recursos de forma inmediata, en esta sección se propondrá un modelo dinámico el cual será responsable de reservar anticipadamente recursos de grilla. Este modelo exclusivamente se enfoca en reservas de tipo STSD[[13]](#footnote-13)(*a specified starting time and a specified duration*) donde el tiempo de inicio y duración es especificado.

“Típicamente las grillas computacionales resultan en transferencias de datos muy grandes entre diferentes sitios, esto puede producir sobrecarga en la redes sino se emplea reservaciones anticipadas”[[14]](#footnote-14).

Beneficios (Nivel 4)

Entre los principales beneficios de la reservación anticipada sobre grillas en redes ópticas se encuentran:

* Los recursos se encuentran disponibles cuando se requieren. Lo cual aumenta la confiabilidad y la robustez de las aplicaciones de grilla.
* La solicitud de recursos no debe esperar tiempo de propagación y de reservación (ej. Tiempo de establecimiento del circuito óptico conmutado **λ**SP ).
* Se podrá estimar con mayor exactitud la duración en la ejecución del trabajo (Makespan), lo cual es ideal en sistemas que poseen límites de tiempo para obtener una respuesta, como los sistemas de tiempo real.
* Se provee un nuevo servicio a la red GMPLS, el cual puede proveer calidad de servicio para los usuarios de la red y “mejorar el planeamiento de las asignaciones de las longitudes de onda de la red tecnología WDM”[[15]](#footnote-15).

Desventajas y desafíos (nivel 4)

Existen grandes retos investigativos, tecnológicos y económicos para afrontar la complejidad de la reservación de recursos en diversos dominios (redes IP, redes ópticas y grillas), tecnologías heterogéneas y múltiples propietarios. Entre los retos más importantes, se pueden encontrar:

* Afrontar las reservaciones anticipadas cuando el tiempo de inicio y/o la duración de la demanda se desconoce. Estos problemas han sido clasificados en STUD, UTSD y UTUD[[16]](#footnote-16). Aunque existen múltiples propuestas de algoritmos para lidiar con esta clase de problemas, las soluciones óptimas resultan típicamente en algoritmos no polinomiales, lo que las hace no viables para su implementación.
* Uno de los principales retos, es soportar la coexistencia de reservaciones anticipadas e inmediatas “para lograr que sean factibles, al diferenciar los recursos de la red de transporte, entre los reservados anticipadamente y los asignados a los usuarios que no pertenecen a la grilla (usuarios estándar ASON/GMPLS”[[17]](#footnote-17)). Para afrontar este reto se requiere un mecanismo de tipo calendario para mantener los recursos coordinados.

Vista general del modelo de reservación de recursos anticipadamente. (figura)

El modelo MDRARG2 está constituido por dos sub-modelos: el analizador de reservaciones y calendario de reservaciones, el primero será el encargado de seleccionar los recursos de grilla que procesaran el trabajo y seleccionara el mejor camino de la red óptica, por lo tanto deberá ser capaz de saber que recursos van estar disponibles en el tiempo de ejecución futuro de la reserva ; el segundo modelo tendrá la responsabilidad de ejecutar la reservación programada para así obtener los recursos necesarios de la solicitud, además tendrá la responsabilidad de evitar posibles conflictos con las reservaciones inmediatas.

Analizador de reservaciones (Nivel 3)

Además de los parámetros usados en el analizador multi-dominio como los son:

* Cantidad de *flops* del trabajo,
* Tamaño de la tarea (Row data) y
* Los estados de los caminos de menor salto entre el cliente y el recurso computacional.

Se requieren dos parámetros adicionales que incrementa la complejidad del problema:

* Tiempo en cual se ejecutaran la reservación de recursos.
* Duración de la reserva de los recursos.

Al haber presentado anteriormente la solución del analizador multi-costo, el cual tiene la responsabilidad escoger los recursos de red y de grilla de forma óptica para una petición *T* (vector con los flops y el ancho de banda requerido por el trabajo de la grilla), se presenta la expansión se la solución para adicionar los parámetros adicionales que lograr un mecanismo que reserve recursos de red y de grilla anticipadamente.

**Modelo de reservación *STSD* anticipada para asignación de longitudes de onda[[18]](#footnote-18)(Nivel 2)**

La red pude ser modelado un grafo:

Donde:

*V: es el conjunto vértices que representa los nodos de la red.*

*E: es el conjunto de aristas que los enlaces de fibra.*

*W: es el conjunto de longitudes de onda disponibles en cada fibra.*

Cardinalidad de los conjuntos:

Como los caminos sobre la fibra son conexiones unidireccionales se considera un grafo dirigido donde:

La solicitud de ancho de banda es la capacidad de una longitud de onda sobre la tecnología WDM. Para soportar la reservación anticipada el tiempo es divido en una serie de timeslots de longitud fija, definido asi:

La longitud fija depende de la mínima duración de la reservación anticipada.

El propósito del algotirmo propuesto por Jun Zheng and Hussein y T. Mouftah, es asignar longitudes onda de forma granular sobre un timeslot con una duración de numero entero de timeslot, esto quiere decir que la reservación solo comienza y terminar en un timeslot.

Para cada enlace

Una serie de vectores , Donde:

Estos vectores son actualizados dinámicamente y se defen asi:

**Extensión del Modelo de reservación *STSD* anticipada para asignación de longitudes de onda (Nivel 2)**

**Calendario de reservaciones** (Nivel 3)

# SIGLAS Y CONVENCIONES (1 Nivel)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Sigla | Definición | Definición en ingles |
| ISC | Capacidad de computación de la interface. | Interface Switching Capability |
| LSC | Capacidad de computación de lambda. | Lambda Switch Capable |
| [LSP](http://es.wikipedia.org/wiki/Label_Switched_Path) | Camino conmutado de etiquetas | [Label Switched Path](http://es.wikipedia.org/wiki/Label_Switched_Path) |
| PSC | Capacidad de conmutación de paquetes | Packet Switch Capable |
| SRLG | Grupo de enlaces riesgo compartido | Shared Risk Link Group |
| TDM | Capacidad de conmutación por división de tiempo | Time Division Multiple Capable |
| PCC | Proceso de computación de camino. |  |
| Enlace TE | Enlace de ingeniería de tráfico. | TE Link (Traffic Engineering) |
| MTU | Unidad de transferencia máxima de la interface | Maximum Transfer Unit |
| STSD | Tiempo de inicio y de duración específicos. | A specified starting time and a specified duration |
| FLOPS | operaciones de punto flotante por segundo | floating-point operations per second |
| RWA | Enrutamiento y asignación de longitudes de onda | **routing and wavelength assignment** |

1. Revista disponible internet http://www.acis.org.co/fileadmin/Revista\_107/11.pdf, pag. 11 [↑](#footnote-ref-1)
2. Adrian Farrel, pag 47, cap: LSP Establishment and Maintenance [↑](#footnote-ref-2)
3. RSVP – TE Modeling Specification Message and Data Structure. PDF disponible en: http://snad.ncsl.nist.gov/glass/doc/pdf/gmpls/RSVP\_Message-English.pdf [↑](#footnote-ref-3)
4. http://www.juniper.net/techpubs/en\_US/junos10.0/information-products/topic-collections/nog-mpls-logs/rsvp-objects-structure.html [↑](#footnote-ref-4)
5. PCC (proceso de computación de camino). Acrónimo establecido arbitrariamente para mejorar la lectura del documento. [↑](#footnote-ref-5)
6. Farrel 173 [↑](#footnote-ref-6)
7. Farrel 174 [↑](#footnote-ref-7)
8. Farrel 174 [↑](#footnote-ref-8)
9. Farrel pag 176 [↑](#footnote-ref-9)
10. Farrel 176 [↑](#footnote-ref-10)
11. Farrel 235 [↑](#footnote-ref-11)
12. Farrel 243 [↑](#footnote-ref-12)
13. Concepto definido en J. Zheng, H.T. Mouftah, Routing and wavelength assignment for advance reservation in wavelength-routed WDM optical networks, in: International Conference on Communications (ICC), 2002. [↑](#footnote-ref-13)
14. Pagina 2989 Contents lists available at ScienceDirect, Computer Networks, Multi-cost job routing and scheduling in Grid networks. [↑](#footnote-ref-14)
15. Pagina 2722(1) J. Zheng, H.T. Mouftah, Routing and wavelength assignment for advance reservation in wavelength-routed WDM optical networks, in: International Conference on Communications (ICC), 2002. [↑](#footnote-ref-15)
16. (STUD). An unspecified starting time and a specified duration (UTSD). An unspecified starting time and an unspecified duration (UTUD). Pagina 2988 Contents lists available at ScienceDirect, Computer Networks, Multi-cost job routing and scheduling in Grid networks. [↑](#footnote-ref-16)
17. Requrimiento de G2MPLS. Pag 5. Phosphorus Grid-enabled GMPLS Control Plane (G2MPLS): Architectures, Services and Interfaces [↑](#footnote-ref-17)
18. Modelo porpuesto en articulo: **Routing and Wavelength Assignment for Advance Reservation in Wavelength-Routed WDM Optical Networks** [↑](#footnote-ref-18)