

Simulación de Redes Ópticas Flexibles de Tercera Generación con Net2plan

Simulation of Third Generation Flexible Optical Networks with Net2plan

Diego Fernando Aguirre Moreno¹
Octavio Jose Salcedo Parra²
Jorge Enrique Salamanca Céspedes³

Resumen

En este artículo se describe las principales características de la herramienta de código abierto Net2Plan para la simulación sobre redes ópticas flexibles. Este software fue diseñado para ayudar a los ingenieros en la evaluación de algoritmos de planificación de rutas. Se describe un paso a paso para la simulación de un algoritmo de enrutamiento sobre una topología óptica donde se destacan las principales características de la herramienta.

Palabras clave: Simulación, redes ópticas, WDM (Multiplexación por división de longitud de onda), RWA (Encaminamiento y asignación de longitud de onda).

Abstract

This article describes the main features of the Net2Plan open source tool for the simulation of flexible optical networks. This software was designed to assist engineers in the evaluation of route planning algorithms. We describe a step by step simulation of a routing algorithm on an optical topology where the main characteristics of the tool are highlighted.

Keywords: Simulation, Optical Networks, WDM (Wavelength Division Multiplexing), RWA (Routing and Wavelength Assignment).



1 dfaguirrem@correo.udistrital.edu.co
2 osalcedo@udistrital.edu.co
3 j@udistrital.edu.co

Introducción

A menudo es difícil para las compañías y universidades reproducir investigaciones de optimización de red. Esto se debe en parte a la ausencia de una herramienta de planificación que cumpla los requisitos de la industria y el mundo académico, generando demora en el diseño y la validación de los algoritmos

Gracias a las simulaciones realizadas los últimos años por los investigadores, las Redes Ópticas Transparentes están evolucionando para resolver las necesidades de ancho de banda crecientes con provisión inmediata [1], [2]. La distribución del tráfico en la red está directamente relacionado con el desarrollo eficiente de los algoritmos de asignación de ruta y longitud de onda utilizada por el Sistema de Gestión para mejorar la asignación de recursos en la red [3]. Recientemente, los trabajos académicos se están centrando en algoritmos sofisticados RWA (Routing and Wavelength Assignment) que son conscientes de las limitaciones y efectos de la capa física [4] - [9].

Los investigadores profundizan en nuevos problemas de planificación para tecnologías de vanguardia desarrollando sus algoritmos casi desde cero. A menudo este código fuente no sólo es indocumentado, sino que también es inédito. Software's de código abierto pueden tener un papel importante en este contexto para satisfacer los requisitos de la academia y la industria. En este campo existe una herramienta de planificación y simulación de redes de código abierto llamada Net2Plan [10].

Antecedente

Net2plan inicio como el software MatPlanWDM que fue una herramienta de planificación de red para WDM (Multiplexación por división de onda) con enrutamiento de longitud de onda. Los parámetros de entrada para el problema de planificación son la topología física de red, la matriz de tráfico y las limitaciones tecnológicas como el número de transmisores, receptores, convertidores ópticos y longitudes de onda disponibles. Incluye una implementación del problema de programación lineal mixta (MILP) para obtener la solución óptima. Una GUI de análisis de lo que pasa si permite el diseño de pruebas exhaustivas. Una GUI de análisis de varias horas que soporta la evaluación de algoritmos de planificación dinámica que reaccionan a matrices de tráfico que varían cada hora del día. Esto es útil para la planificación de topologías intercontinentales que abarcan múltiples zonas horarias, donde la actividad

del nodo se ve afectada por su hora local. Una GUI de planificación dinámica permite probar algoritmos dinámicos genéricos que reaccionan a las llegadas y salidas de flujos [11].

Existen diversas alternativas que permiten la simulación de redes, a continuación se presentan algunas de las características de los principales paquetes de software.

OPNET



Ilustración 1 Emblema de OPNET

Fuente: www.opnet.com

OPNET Modeler es una herramienta diseñada para el modelado y simulación basada en la teoría de colas, ofrece un gran número de diferentes herramientas para soportar el modelamiento y simulación de redes en varias tecnologías. Incorpora librerías para facilitar el modelado de redes de comunicaciones. OPNET Modeler tiene una interfaz gráfica de usuario con varios editores para la creación, modificación y verificación de modelos, para la implementación de simulaciones. Los modelos de simulación son construidos de forma jerárquica, es un programa ampliamente utilizado en la industria para modelar y simular sistemas de comunicaciones; permite diseñar y estudiar redes, dispositivos, protocolos y aplicaciones, brindando escalabilidad y flexibilidad, cualidades que le permiten ofrecer a sus usuarios, trabajar en procesos de investigación y desarrollo [12].

MODELER es un software desarrollado por OPNET; orientado a simular objetos mediante un editor gráfico que permite diseñar una topología de red, soporta un amplio rango de tecnologías tipo LAN, MAN y WAN. Los siguientes cuatro niveles son usados por OPNET:

Nivel de red

Modelamiento de topologías de red y configuración total toma lugar en este nivel de modelamiento. Los elementos de red como los enlaces de comunicación y dispositivos tipo nodo son usados para construir el modelo. El modelo de la red, involucra la creación de nodos, los cuales internamente están constituidos por distintos tipos de módulos y conexiones; finalmente se define la función que desempeñará cada módulo o nodo durante la simulación, a través de los modelos de proceso.

El OPNET está basado en una serie de editores jerárquicamente organizados, los cuales permiten diseñar y configurar los modelos de red, de nodos y de procesos en las topologías de red que se van a simular con este programa. Los editores trabajan en forma directa y paralela la estructura real de la red, los equipos y los protocolos.

Nivel de nodo

En este nivel la estructura interna de los dispositivos del nivel de red es modelada. Elementos usados para el modelamiento incluyen: módulos de procesos genéricos, módulos de encolamiento, receptores y transmisores. Este nivel captura la arquitectura de una red, un dispositivo o un sistema, describiendo el flujo de los datos entre elementos funcionales, a los cuales se les conoce como módulos. Cada módulo, puede generar, enviar o recibir paquetes a los demás módulos de la red, de acuerdo a la función que representa dicho nodo. Generalmente, los módulos representan aplicaciones, protocolos, algoritmos o recursos como: buffers, puertos y buses, entre otros; es decir que todo nodo es asignado a un proceso o evento dentro de la simulación, y esto se logra, mediante el editor de procesos.

Nivel de procesos

La funcionalidad de cada módulo se define a través de modelos de proceso, que se representan mediante máquinas de estado finitos (FSM). Las cuales soportan las especificaciones, detalles, protocolos, recursos y aplicaciones que se desean configurar en la red modelada gráficamente con los editores de proyecto y de nodos respectivamente.

Los estados y transiciones generadas como respuesta al desarrollo de cada evento ejecutado, contienen un código en lenguaje C/C++, y están soportados por una amplia librería de funciones designadas por la programación de los protocolos. Cada FSM puede definir sus propias variables de estado y pueden hacer llamados al código según las librerías que proporcione el usuario; es decir las FSMs dinámicamente se pueden generar, durante la simulación, en respuesta a un evento específico. Dentro de este editor, se puede acceder al código fuente en lenguaje C/ C++, que describe la red diseñada gráficamente.

Las capacidades de la librería de modelos de OPNET no son limitadas por lo que es posible el desarrollo de protocolos o modelos de dispositivos con el editor de procesos y editor de nodos.

Nivel Proto-C

Proto-C es una extensión del lenguaje de programación C (o C++). Un gran número de procedimientos de kernel están disponibles. OPNET es una poderosa herramienta de simulación de eventos discretos que es usada ampliamente en la industria ya que tiene grandes librerías de modelos de simulación e interfaces grafica de usuario lo que permite una forma simple de modelamiento de redes. También tiene librerías de modelos de redes de comunicaciones usados en la vida real, como son routers y switches, incluyendo los usados en las redes wireless. Esas librerías son usadas para implementar diferentes protocolos con variaciones de entrada, salida y comportamiento. OPNET tiene un amplio portafolio para el modelamiento, diseño, simulación y tiempo real garantizando en el contexto informes detallados dentro de los requerimientos de infraestructura.

El único problema es que no soporta secuencias, análisis en línea de los datos de salida de la simulación, así que intentar y repetir la simulación es la única forma posible de producir suficientes estimaciones para los usuarios de OPNET.

NS-2

NS-2 también conocido como “Network Simulator en su 2 edición”, comienza como una variante de REAL network simulator en 1989 y ha evolucionado sustancialmente en los últimos años. En 1995 el desarrollo NS era soportado por DARPA a través de VINT Project (Virtual InterNetwork Testbed) en LBL, XEROX PARC, Universidad de California en Berkeley, Universidad de California en San Diego y sus institutos de ciencias de la información. Actualmente el desarrollo de NS-2 es soportado a través de DARPA con SAMAN (Simulation Augmented by Measurent and Analisis for Networks) y a través de NSF con CONSER (Collaborative Simulation for Education and Research), ambos en colaboración con otros proyectos de investigación, incluyendo ACIRI (the Center for Internet Research at the ICSI, Universidad de California en Berkeley). Adicionalmente, NS-2 también incluye contribuciones de otros investigadores.

Descripción General de NS-2

NS-2 es un simulador de eventos discretos para redes. Este usa el lenguaje de programación OTcl para definir el escenario de simulación. El núcleo del simulador es la cantidad de modelos de protocolos de red que han sido escritos en C++, y el resto está

en OTcl. Como el código fuente está disponible hay muchos módulos externos para NS-2 que por defecto NS-2 no trae y permite el desarrollo de modelos que son experimentales y que no son soportados por la industria. Como resultado de la simulación, se pueden obtener datos matemáticos para un estudio posterior o bien, trazas específicas para visualizarlas en la herramienta NAM del NS [13].

El diseño del simulador separa los datos del control por medio del uso de: (i) C++ para datos y (ii) OTcl para el control. En la práctica algunos de los modelos de protocolos están en OTcl. NS es un intérprete de script Tcl orientado a objetos (OTcl). Para usar NS se debe programar en lenguaje OTcl. Para configurar y correr la simulación, se debe escribir un script OTcl que inicia un planificador de eventos (Event Scheduler), establecer la topología de la red utilizando el componente de red (Network Component), definir las librerías necesarias para correr la simulación (Network Setup Helping Module) e informar a las fuentes de tráfico al iniciar y detener la transmisión de paquetes a través del planificador de eventos.

Los componentes de red se comunican entre sí pasando paquetes, sin embargo, esto no consume tiempo real de simulación. Todos los componentes de red que necesitan gastar tiempo de simulación (es decir, cuando se necesita un retraso) utilizan el planificador de eventos. Para correr una simulación se inicia desde la línea de comandos mediante la definición del escenario TCL como parámetro. Esto significa que la construcción del modelo implica saber cómo usar TCL. No sólo la estructura del modelo, sino también todas las acciones necesarias o deseadas que se han definido en TCL, incluyendo, por ejemplo, la producción de datos de salida.

NS viene compilado con una librería básica, que permite la realización casi inmediata de simulaciones TCP/IP bastante completas (ejemplo: FTP, TCP, fuentes de tráfico, RIP, OSPF...), sin necesidad de compilar código C++. Incluso es posible implementar algoritmos en lenguaje interpretado, aunque ello conlleva un tiempo de ejecución mayor. La instalación de nuevos protocolos o elementos precisa de recompilar todo el entorno, para el enlace de los nuevos objetos en el código e implementar el comportamiento [14].

OMNET++



Ilustración 1. Emblema del software OMNET ++
Fuente: www.omnet.com

Es una aplicación orientada a la simulación de objetos y a modelar eventos discretos en redes de comunicaciones, posee una gran cantidad de herramientas y una interfaz que puede ser manejada en plataformas Windows y en distribuciones tipo Unix, haciendo uso de varios compiladores de C++; básicamente este simulador de redes recrea eventos discretos por medio de módulos orientados a objetos; puede ser utilizado para modelar el tráfico de información sobre las redes, los protocolos de red, las redes de colas, multiprocesadores y otros sistemas de hardware distribuido; además para validar arquitecturas de hardware y evaluar el rendimiento de sistemas complejos.

Un modelo en OMNET ++ se construye con módulos jerárquicos mediante el lenguaje NED, dichos módulos pueden contener estructuras complejas de datos y tienen sus propios parámetros usados para personalizar el envío de paquetes a los destinos a través de rutas, compuertas y conexiones. Los módulos de más bajo nivel son llamados simple modules y son programados en C++ usando la librería de simulación [15].

Descripción General de Omnet ++

OMNET++ se entiende por Objective Modular Network Testbed in C++, el cual es una aplicación de código abierto, paquetes de simulación basadas en componentes, construido en fundaciones C++. Ofrece librerías de clases de simulación en C++ y soporte para una interfaz gráfica de usuario. El principal autor es Andrés Varga de la Universidad Técnica de Budapest, con contribuciones de un amplio número de personas.

El simulador puede ser usado para: modelamiento de tráfico en redes de telecomunicaciones, modelamiento de protocolos, redes de encolamiento, multiprocesos y otros sistemas de hardware distribuidos; validación de arquitecturas de hardware; evaluación del rendimiento en aspectos de complejidad de sistemas de software; en general: el modelamiento de cualquier sistema que pueda ser mapeado en componentes activos de simulación. OMNET++ ha sido cuidadosamente diseñado para el punto de vista del software, resultando en un producto bien organizado, flexible y fácil de usar. Los principales componentes de OMNET++ son:

- Librería del kernel de simulación.
- Compilador para la topología NED.
- Editor gráfico de redes para archivos NED.
- GUI para la ejecución de la simulación.
- Interfaz para el usuario por medio de línea de comandos para la ejecución de la simulación.

- Herramienta gráfica para el vector resultante.
- Diferentes utilidades.
- Documentación, ejemplos de simulación, material contribuido, etc.

Básicamente, con el lenguaje NED se definen tres módulos: módulos simples, módulos compuestos y de redes; dentro de los cuales se encuentran los componentes y especificaciones de la descripción de una red de comunicaciones.

Con el fin de facilitar el diseño de redes y la simulación de eventos sobre las mismas, OMNET ++, permite al usuario trabajar gráficamente empleando el editor del lenguaje NED (GNED). Este editor es la interfaz gráfica que permite crear, programar, configurar y simular redes de comunicaciones, sin necesidad de hacerlo utilizando la codificación del lenguaje NED; ya que automáticamente, GNED se encarga de generar el código del lenguaje, de acuerdo al diseño y configuración que realiza el usuario en forma gráfica. Además GNED, permite acceder fácilmente a dicho código.

Para fines de investigación y desarrollo, es necesario saber programar en lenguaje NED, ya que el trabajo con el editor gráfico, es más rígido. Por ser un software de aplicación en áreas comerciales y para efectos de investigación y desarrollo, tiene un alto grado de complejidad en su manejo.

GLASS/SSFNet

A continuación se presenta uno de los más conocidos simuladores de redes llamado GLASS (GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator) que es un software de libre distribución:

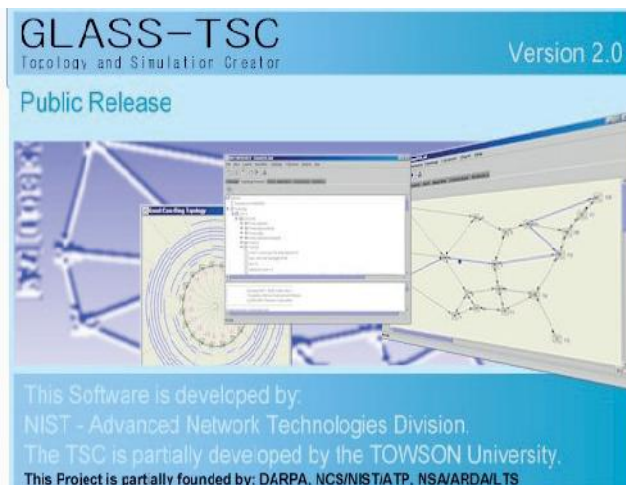


Ilustración 2 Interfaz principal del programa GLASS/SSFNET

Fuente: plataforma Glass

Descripción General de GLASS/SSFNET

GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator conocido generalmente como GLASS es una herramienta de simulación de redes basada en java que facilita la evaluación del encaminamiento, restauración y protocolos de señalamiento en un ambiente óptico y permite a los planeadores de red e investigadores el estudio de los comportamientos de algoritmos y protocolos sin la necesidad de construir una implementación real.

El software originado de la cooperación de High Speed Network Technologies División de NIST. El simulador GLASS representa la siguiente generación de la herramienta previa MERLiN que fue desarrollada en 1998 por NIST.

GLASS provee el acceso a la librería entera de los protocolos disponibles en SSF. Estos protocolos corren en un dominio no óptico. En el lado óptico, GLASS provee acceso a modelos de GMPLS, OSPF estático en redes ópticas, IP sobre redes ópticas, diversos ejemplos de implementaciones de fallas de propagación y protocolos de restauración que no son basados en IP. Básicamente GLASS es un simulador por línea [16].

QUALNET



Ilustración 3 Emblema de Qualnet.

Fuente: <http://www.scalable-networks.com/content/products/qualnet>

Descripción General de QUALNET

El software de simulación de redes QualNet ha sido desarrollado y comercializado por Scalable Network Technologies. Provee un comprensivo conjunto de herramientas con muchos componentes para el modelamiento de red y la simulación. QualNet tiene un rango amplio en modelos inalámbricos, lo cual es su principal fortaleza.

El usuario puede decidir si usar la interfaz gráfica, la cual está basada en java. Esto permite la construcción de las topologías usando los bloques de construcción como los componentes de red [17].

Una entidad de red en QualNet es hecha para 5 capas. Estas son: Aplicación, Transporte, Red, MAC y Física. Cada capa es codificada como una fuente C. Cualquiera de estas capas puede ser modificada o reemplazada con capas personalizadas. La mayoría del código fuente es provisto bajo la licencia básica.

VPI



Ilustración 4 Emblema de VPI Photonics
Fuente: <http://www.vpiphotonics.com/>

Herramienta para el diseño de nuevos sistemas ópticos incluidos de corto alcance, de acceso, de larga distancia en transmisión óptica que permite la actualización de tecnología y sustitución de componentes para plantas de redes existentes [18].

VPI es un simulador de tipo modular. Los esquemas de simulación se componen de módulos interconectados entre sí simulando un esquema de conexionado experimental. El software sólo permite conectar entre sí módulos compatibles. Por ejemplo, una salida sólo puede conectarse con una entrada y no con otra salida, y deben ser del mismo tipo, eléctricas, numéricas, ópticas, etc. Otros aspectos importantes se describen a continuación:

Universos, galaxias y estrellas: Existen tres niveles de esquema en VPI, los universos, las galaxias y las estrellas. Las galaxias podrán formar parte de un esquema universo pero tendrán la posibilidad de adoptar sus propios parámetros. Los universos serán el esquema principal donde interconectaremos las diferentes galaxias y estrellas. Las estrellas se consideran el último nivel al que podemos acceder, siendo un módulo no modificable.

La organización es jerárquica: En los universos podemos definir propiedades o atributos que se hereden en las galaxias, teniendo la ventaja de poder modificar rápidamente los atributos del esquema. Igualmente, se heredan los atributos de las galaxias de mayor nivel a galaxias de menor nivel, o estrellas comprendidas dentro de ellas. También existe la posibilidad de tener un esquema universo formado exclusivamente por estrellas. Para entrar en el esquema de una galaxia hemos de pulsar el botón derecho y seleccionar la opción Look inside.

Gráficas: Una vez montamos un esquema en VPI disponemos de un complemento para extraer información gráfica y numérica, el denominado VPI Photonics Analyzer. Para ello se han de conectar y activar los diferentes bloques visualizadores que están disponibles, como por ejemplo, módulo de datos en 2D para la representación de constelaciones IQ o la representación del espectro de la cantidad de muestras a simular.

Parámetros: Para poder atribuir propiedades a los diferentes niveles de VPI de nueva creación, es necesario generar parámetros de esquema. Existen dos tipos de parámetros, los que tienen un carácter global y se aplican de forma exhaustiva y los parámetros específicos de estrella.

Muestras en la simulación: El flujo de datos de la simulación puede ser de tipo numérico o eléctrico y óptico. Cada módulo prediseñado por VPI tiene unos requisitos de datos de entrada y salida, y acepta una de las dos variantes o las dos.

Parámetros globales de VPI.

Los parámetros globales son comunes en todos los módulos de la simulación y tienen mucha importancia para su correcto funcionamiento. A continuación se verán cuales son:

- **Time Window:** Este valor establece el periodo de tiempo que se representa. A su vez fija la resolución espectral de la simulación.
- **Sample Rate Default:** Especifica la frecuencia de muestreo y se define como el número de muestras por segundo. También determina resolución temporal.
- **Sample Mode Center Frequency:** Generalmente las señales ópticas tienen una frecuencia mucho mayor a las señales eléctricas. Para un correcto muestreo, se necesita una frecuencia muy alta. Para evitar problemas, VPI trata las señales haciendo un equivalente paso bajo utilizando esta variable.
- **Sample Mode Bandwidth:** Define una resolución temporal y el ancho de banda de la simulación.
- **Bit Rate Default:** Define la tasa de transmisión de bit en el emisor.
- **In Band Noise Bins:** Este parámetro tiene dos estados (ON y OFF). ON define el ruido dentro de la banda. Es útil para la estimación de una BER determinista. Por otro lado, OFF añade ruido aleatorio en la banda. Al igual que Bit Rate Default, este parámetro no será utilizado a lo largo del proyecto.
- **Boundary Conditions:** Permite especificar las condiciones periódica o aperiódica en la simulación. Generalmente los cambios sufridos en una señal cuando pasa por un sistema son simulados primero en el dominio de la frecuencia

y posteriormente en el dominio temporal. Si se trabaja con señales periódicas VPI hace una FFT, mientras que si se usan señales aperiódicas lo simula mediante una convolución. Como se va a trabajar con señales periódicas, este parámetro estará en “periodic”.

- **Logical Information:** Esta es una herramienta que usa VPI para enviar información entre los diferentes módulos de una misma simulación.

Esquema de simulación en NET2PLAN

La Tabla 1 muestra la comparación entre las principales herramientas de simulación, teniendo en cuenta algunos parámetros que permiten guiar al usuario en el proceso de selección y toma de decisión que se ajuste a sus requerimientos. El tipo de licencia de las herramientas es determinante, puesto que, aquellas con licencia libre generalmente son la primera opción para los usuarios que no tienen la posibilidad de adquirir una. Sin embargo, el hecho de que una herramienta posea licencia libre se debe valorar con respecto a la documentación y soporte, para asegurar el apoyo de la comunidad académica, acudiendo a la revisión de errores o problemas a los que otros autores se han enfrentado y han corregido. Diferente a lo que ocurre con los simuladores de licencia comercial, que brindan el soporte durante el tiempo de validez de la licencia.

SIMULADORES	OPNET	OMNET	NS-2	NET2PLAN
Uso investigativo	Alto	Alto	Alto	Alto
Tipo de licencia	Comercial	Libre	Libre	Libre
Curva de aprendizaje	Alto	Alto	Alto	Alto
Plataformas que soporta	Windows / Unix	Windows / Unix	Windows / Unix / MAC	Windows / Unix / MAC
Interfaz gráfica	Ato	Medio	Bajo	Medio
Graficas de resultados	Buena	Aceptable	No tiene	Buena
Tecnologías de nivel 2 y nivel 3 que soporta	Alto	Alto	Alto	Alto
Tráfico que permite modelar	Alto	Medio	Alto	Alto

Tabla 1 Parametrización de las herramientas de simulación. Fuente: Creación Propia.

Otro parámetro importante a tener en cuenta es el uso específico que se le ha dado a cada simulador. Aunque la mayoría son capaces de simular diferentes tipos de redes, las referencias en un tema específico hacen que la cantidad de información, módulos y desarrollo en el tema sea mayor, lo cual permite

establecer, en un primer análisis, si la herramienta se ajusta a los requerimientos del usuario.

Se selecciona NET2PLAN como software de simulación en redes ópticas sobre las demás herramientas debido a su facilidad en la simulación de algoritmos, edición de nodos, fácil programación en Eclipse y una plataforma de administración sencilla en el diseño de cada capa. En las demás herramientas para poder lograr simulaciones ópticas se deben instalar extensiones de software las cuales presentan inconvenientes, otras herramientas se centran en el diseño físico dejando un lado el diseño de espectro y enrutamiento.

Con NET2PLAN en las redes WDM con encaminamiento de longitud de onda, se pueden establecer canales totalmente ópticos que atraviesan varias fibras. Un sendero de luz ocupa un canal (una longitud de onda en redes de rejilla fija y un conjunto de ranuras de frecuencia en redes de rejilla flexible) en cada enlace atravesado y dos caminos de luz enrutados sobre el mismo enlace físico no pueden usar la misma ranura de frecuencia. Esto se denomina restricción de choque de longitud de onda o frecuencia. Los algoritmos para Routing y Spectrum Assignment (RSA) y Routing y Wavelength Assignment (RWA) en las redes WDM de red flexible y fija respectivamente son los que deciden por cada ruta de luz la ruta y las franjas de frecuencia (longitudes de onda) a ocupar en cada fibra atravesada. Típicamente, las longitudes de onda de un camino luminoso no pueden cambiar a lo largo de las fibras atravesadas (puesto que no están disponibles los convertidores de longitud de onda). En este caso decimos que el problema tiene la restricción de continuidad de longitud de onda. A continuación se desarrolla un paso a paso para la simulación de una topología de red óptica flexible en Net2plan en el esquema “Offline network simulation”. En el software existen dos esquemas de simulación que son:

- **Offline network simulation:** Esta herramienta está diseñada para crear una red estática o fuera de línea, representado internamente por el objeto NetPlan, que contiene los elementos: nodos de red, enlaces, demandas de tráfico unicast y multicast, rutas, segmentos de protección, árboles de multidifusión, capas de red y SRG. La palabra offline aquí significa que todas las variables del plan de red se supone que son estáticas (no cambian a lo largo del tiempo). Se supone que los tráficos optimizados son constantes representando volúmenes de tráfico promedio.

- **Online network simulation:** En un entorno real, las condiciones de la red varían durante su funcionamiento, de acuerdo con los diferentes fenómenos. Los fallos en los nodos y enlaces, el establecimiento de nuevos circuitos virtuales o la variación en los volúmenes de tráfico son algunos ejemplos. En este caso, los usuarios podrían estar interesados en analizar, utilizando una simulación dirigida a eventos, cómo sus redes reaccionan a esos cambios y cómo sus diseños se adaptan en consecuencia a ellos. Net2Plan proporciona una herramienta de simulación post-análisis que permite al usuario la evaluación (conjunta) de la característica de disponibilidad de los algoritmos de protección y restauración de la red, el rendimiento de los sistemas de aprovisionamiento en línea que asignan recursos a las conexiones entrantes (por ejemplo, solicitudes de circuitos virtuales, Peticiones de trayectos ópticos, llamadas telefónicas, sesiones multimedia), el rendimiento de los algoritmos de asignación dinámica que reaccionan a las variaciones en los volúmenes de demanda de tráfico, o en general cualquier asignación durante el funcionamiento de la red.

Panel de Topología

114

En la Ilustración 6 se observa la plataforma de diseño de Net2plan. En el formulario principal se crean o cargan las topologías para agregar las demandas de acuerdo a la capa de la simulación.

Los usuarios pueden agregar o eliminar nodos y enlaces, así como mostrar / ocultar los nodos no conectados para aclarar la pantalla. Cuando se carga un diseño multicapa, una caja combinada permite a los usuarios seleccionar la capa actual.

Algunas manipulaciones que se pueden realizar son:

- **Agregar nodos:** Los nodos se insertan haciendo clic derecho en el panel y utilizando la opción Agregar nodo aquí.
- **Eliminar nodos:** Los nodos pueden eliminarse haciendo clic con el botón derecho del ratón sobre ellos y utilizando la opción Quitar nodo.
- **Mover nodos:** Es posible mover nodos arrastrándolos, mientras presiona la tecla CTRL.
- **Agregar enlace.** Los enlaces se insertan haciendo clic primero en el nodo de origen y luego en el nodo de destino. Es posible insertar enlaces unidireccionales o bidireccionales.

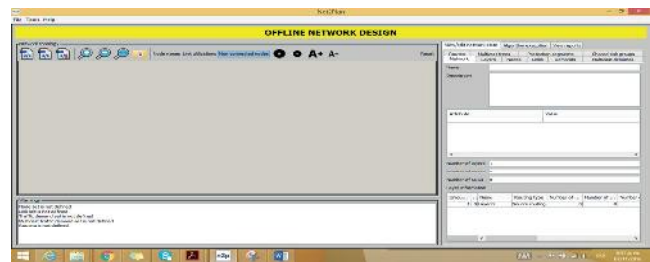


Ilustración 5. OFFLINE NETWORK DESING. Fuente: Plataforma Net2plan

Para cargar una topología simplemente de debe seleccionar en el cuadro de dialogo del botón “Load a Network Desing” como se observa en la Ilustración 7. Para nuestra simulación paso a paso se selecciona la topología NSFNET (National Science Foundation Network) que se compone de 14 nodos y 42 enlaces.

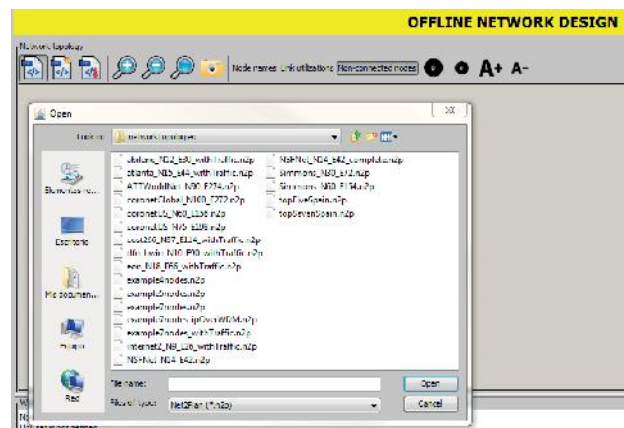


Ilustración 6 Load a Network Desing. Fuente: Plataforma Net2plan

Una vez cargada o creada la topología se debe empezar con la configuración en el panel derecho, en la Ilustración 8 se observa la sub-pestaña de “Network” donde para el caso de las redes ópticas se debe agregar la Capa 0 (Transporte). Como segundo paso se deben ajustar las capacidades de cada enlace en la sub-pestaña “Link” y las demandas de Tráfico en la sub-pestaña “Demands” (Ilustración 9).

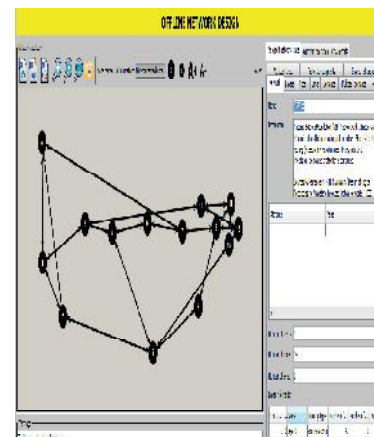


Ilustración 7 Network. Fuente: Plataforma Net2plan

Un enlace comienza en un nodo y termina en un nodo diferente (no se permiten enlaces propios). Dos nodos se pueden conectar por cero, uno o más enlaces. Cada enlace de una red está representado por un objeto "Link". Cada enlace se caracteriza por:

- **Nodo Origen (Nodo):** El nodo donde se inicia el enlace.
- **Nodo de destino (Nodo):** El nodo donde termina el enlace.
- **Capa de red (NetworkLayer):** La capa a la que pertenece el enlace.
- **Capacidad:** La capacidad del enlace, medida en unidades de capacidad de capa del enlace (la capacidad de todos los eslabones de la misma capa se mide en las mismas unidades).
- **Longitud:** La longitud en km del enlace.
- **Velocidad de propagación (doble):** La velocidad de propagación de la señal a lo largo del enlace. Normalmente 200.000 km / s en redes cableadas y 300.000 km / s en redes inalámbricas. Esto se utiliza en cálculos de retardo.
- El tráfico Unicast se modela a través de un conjunto de demandas. Cada demanda representa un flujo de tráfico unidireccional de extremo a extremo ofrecido a la red, entre dos nodos particulares diferentes. Dos nodos pueden tener cero, una o más demandas entre ellos. Cada demanda está caracterizada por:
- **Ingress node (Node):** El nodo donde se inicia la demanda.
- **Nodo de salida (Node):** El nodo donde termina la demanda.
- **Capa de red (NetworkLayer):** La capa a la que se dirige la demanda. Una demanda pertenece sólo a una capa de red.
- **Tráfico ofrecido:** La cantidad de tráfico ofrecido, medida en las unidades de tráfico de capas de las demandas (el tráfico ofrecido de todas las demandas en la misma capa se mide en las mismas unidades). El tráfico que realmente se transporta depende de cómo se enrute el tráfico de demanda.

Columna1	NSFNet
No Nodos	14
No Enlaces	42
No Demandas	182
No Demandas Multicast	14
No Rutas	486
No Multicast Trees	14
No Segmentos con Protección	486

Tabla 2 Parámetros de Entrada NSFNET
Fuente: Creación propia.

Las demandas se pueden configurar manualmente o generar demandas por nodo par automáticamente. En la pestaña de protección se pueden separar enlaces para proteger determinados tráficos. El tráfico de Multicast se modela a través de un conjunto de demandas de Multicast. Cada demanda representa un flujo de tráfico Multicast ofrecido, comenzando en un nodo de ingreso particular y terminando en un conjunto particular de nodos de salida (diferente al nodo de ingreso). El número de demandas de Multicast que afectan a un nodo es arbitrario.

En la tabla 2 se observan los parámetros de entrada para la simulación paso a paso de ejemplo sobre la red de transporte OTN en la topología NSFNET.

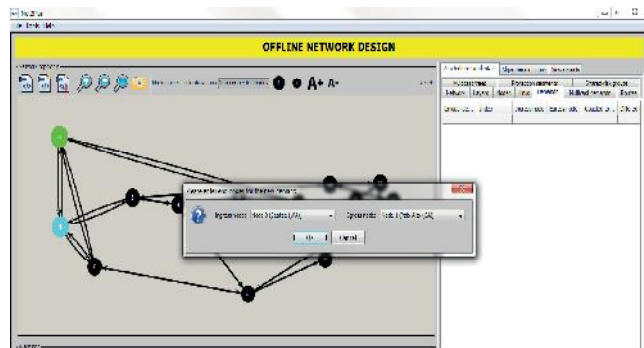


Ilustración 8 Demandas
Fuente: Plataforma Net2plan

Una vez realizada la configuración inicial se debe seleccionar o programar el algoritmo de simulación.

Algoritmo

Para desarrollar un nuevo algoritmo se deben agregar las librerías de Net2plan sobre eclipse. Una vez que se selecciona un algoritmo, el campo Texto de descripción muestra la descripción del algoritmo devuelta por el método getDescription () del algoritmo. El panel Parámetros muestra el conjunto

de parámetros de entrada del algoritmo. Net2Plan invoca el algoritmo `getParameters ()` método para obtener la lista de parámetros de entrada, con un nombre, un valor predeterminado y un mensaje de descripción para cada uno. Esta información se muestra en el panel Parámetros (Ilustración 10). A continuación, la interfaz gráfica permite al usuario modificar el valor de cualquier parámetro antes de ejecutar el algoritmo.

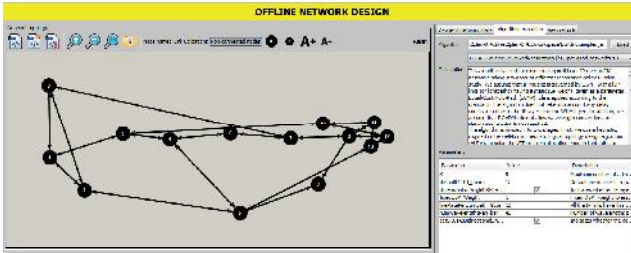


Ilustración 9 Algoritmo
Fuente: Plataforma Net2plan

En la herramienta los algoritmos reciben un plan de red y devuelven un plan de red modificado. En nuestro ejemplo con la topología NSFNET el algoritmo espera recibir un objeto de NetPlan con nodos, enlaces, tráfico y agrega la información de encaminamiento a la topología. El algoritmo se ejecuta pulsando el botón Ejecutar. En este momento, Net2Plan invoca el método `executeAlgorithm ()` del algoritmo, pasando como entradas el diseño de red actual, los valores de los parámetros de entrada y los valores de los parámetros de entrada del algoritmo.

116

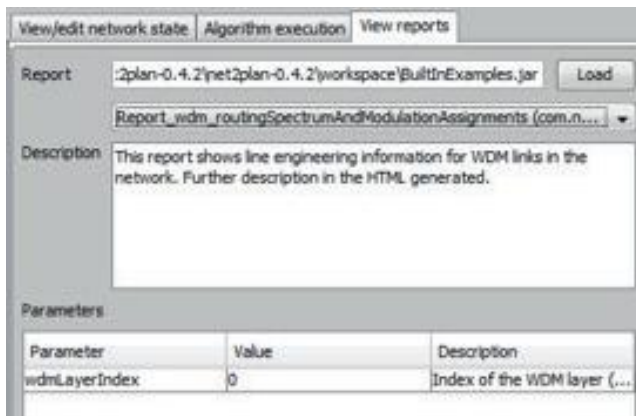


Ilustración 10 Reportes
Fuente: Plataforma Net2Plan

Reportes

A nivel de reportes la plataforma trae estructurados una cantidad de ejemplos los cuales se pueden editar en eclipse y ajustarlos a las necesidades (Ilustración 11). Para nuestro caso de simulación se toman los valores de los reportes ya configurados en la herramienta y al variar la cantidad de tráfico

ofrecido a la red se toman los resultados de las variables de salida tales como delay, probabilidad de bloqueo, número de rutas, etc (Tabla 3).

Métrica	Valor
Number of nodes	14
Number of links	42
Node out-degree (max, min, avg)	4, 2, 3.000
All links are bidirectional (yes/no)	Yes
Layer diameter (hops, km, ms)	3, 4500.000, 22.5
Capacity installed: total	3.360.000
Capacity installed: average per link	80.000
Capacity installed (limited capacity links): total	3.360.000
Capacity installed (limited capacity links): average per link	80.000
Number of UNICAST demands	182
Offered UNICAST traffic: total	4.992.997
Offered UNICAST traffic: average per node pair	27.434
Blocked UNICAST traffic (%)	0.000
Symmetric offered UNICAST traffic?	No
Number of MULTICAST demands	14
Offered MULTICAST traffic: total	420.000
Blocked MULTICAST traffic (%)	0.000
Number of routes	184
Unicast routing is bifurcated?	Yes
Network congestion - bottleneck utilization (w. reserved bw, w.o. reserved bw)	2.538, 4.413
Average (unicast) route length (hops, km, ms)	2.322, 2174.126, 10.9
Unicast routing has loops?	No
Number of multicast trees	14
Multicast routing is bifurcated?	No
Average multicast tree size (hops, km)	8.143, 9864.286
Number of protection segments in this layer	184
Average link capacity reserved for protection (absolute, %)	3.810, 20.863
% of carried traffic unprotected	0.000
% of carried traffic complete and dedicated protection	0.000
% of carried traffic partial and/or shared protection	100.000
Number of SRGs in the network	2
SRG definition characteristic	Mixed
% routes protected with SRG disjoint segments (w. end nodes, w.o. end nodes)	100.000, 100.000

Tabla 3 Simulación NSFNET
Fuente: Creación propia

Resultados

Con NET2PLAN se puede tener trayectos de luz de diferentes velocidades de línea (10, 40 y 100 Gbps), que ocupan el mismo número de ranuras de frecuencia. Esto se debe a que los transpondedores (los que transmiten y reciben las señales ópticas)

pueden basarse en diferentes modulaciones ópticas con diferentes eficiencias espectrales de acuerdo a la programación del usuario. Por ejemplo, un transpondedor que utiliza la modulación BPSK tiene una eficiencia espectral de 1 bps / Hz, mientras que un transpondedor más sofisticado que utiliza 16-QAM tiene 4 bps / Hz. En nuestro caso se simuló un espectro flexible con transpondedores de 12,5 Ghz, 25 Ghz, 37,5 Ghz.



Ilustración 11 Caminos Ópticos vs Tráfico Ofrecido (GBPS) y % Tráfico Bloqueado vs Tráfico Ofrecido (GBPS) NSFNET
Fuente: Creación Propia.

Con el algoritmo empleado en la simulación se logra la asignación de nodos llamados multiplexores ópticos de adición / descenso (OADM). Son capaces de añadir nuevos caminos ópticos iniciados en el nodo, terminar caminos ópticos en el nodo (Ilustración 11). Entonces, la señal óptica se regenera, mientras que su longitud de onda puede ser modificada. En el caso de la simulación de ejemplo los regeneradores ópticos se utilizan no para cambiar la longitud de onda en un nodo intermedio de un camino de luz, sino para regenerar la señal óptica recuperándola de su degradación normal causada por el ruido del canal y otros impedimentos.

Los datos de las gráficas de la Ilustración 11 fueron tomados de los valores arrojados por NET2PLAN en cada una de las simulaciones realizadas con la misma topología aumentando el Tráfico ofrecido a la red.

Conclusiones

Net2Plan presenta beneficios frente a otras herramientas debido a su fácil instalación y el entorno de desarrollo en Java con edición de librerías. La facilidad en la generación de reportes de acuerdo a lo arrojado por los algoritmos, siendo uno de los más importantes beneficios de esta plataforma.

Las herramientas de planificación de red de fuente abierta ayudarán principalmente a las áreas académicas a solucionar y promocionar la investigación y lograr desarrollos que apoyen a la industria. Net2Plan se presenta como un entorno completo para simular, analizar, dimensionar, optimizar y evaluar el rendimiento de los diseños de red.

El encaminamiento tiene un alto impacto sobre la probabilidad de bloqueo comparado con la asignación de longitudes de onda WA, esto si se dispone de fibras de 80 canales o mayores dependiendo de la técnica de modulación permitida por el simulador. Gracias a los beneficios del simulador NET2PLAN siendo una herramienta libre se puede aplicar Routing a una topología obteniendo resultados en pocas horas de desarrollo.

La función de costo del algoritmo de encaminamiento en la herramienta NET2PLAN, se adapta a la topología de red y características de transmisión concretas. Las estrategias adaptativas posibilitan la inclusión de criterios de carga de los enlaces en la función de los costos (Número de Saltos, Distancia en KM, Delay, etc). Esto es muy conveniente ya que en la simulación se evita la congestión de los enlaces y a consecuencia se disminuye la probabilidad de bloqueo.

Para la topología NSFNET, sin protección, el llenado del enlace más cargado se produce en torno a la petición 450; bajando hasta la petición 250 cuando hay protección (1+1). En paralelo, también el primer bloqueo de petición sufre un adelanto al pasar de la petición 493 a la 195; es decir, hay un empeoramiento del orden del 60%.

En cuanto a la primera petición rechazada se obtienen mejoras con respecto a funciones de costo fijo, que pueden oscilar entre un 20% y un 80%, dependiendo de la topología, mediante el empleo de una función de costo adaptativa que ejecute equilibrio de cargas.

La tecnología OTN permitió una gran flexibilidad en cuanto a señalización, monitorización y restauración

de red y parece lógico que la evolución de las redes sea la de transmitir paquetes IP directamente sobre WDM.

De los autores

Jorge Enrique Salamanca Céspedes: Ingeniero Electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en telecomunicaciones móviles y Magister en teleinformática Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Estudiante Doctorado en educación, DIE Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de planta asociado, adscrito al proyecto curricular de Ingeniería Electrónica, Facultad de ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas. jsalamanca@udistrital.edu.co, y adicional a esto.

Ing. Octavio José Salcedo Parra. PhD. Doctor en Estudios Políticos – Universidad Externado de Colombia. Doctor en Ingeniería Informática - Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. DEA Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. Magister en Economía - Universidad de los Andes. Magister en Teleinformática - Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Ingeniero de Sistemas – Universidad Autónoma de Colombia. Profesor de Planta, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas” - Bogotá D.C. Profesor de Planta, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D.C. Investigador Senior Colciencias. Director Grupo de Investigación “Internet Inteligente”, Clasificado Colciencias A.

Referencias

- [1] I. Tomkos, S. Azodolmolky, D. Klionidis, M. Aggelou, M. Margariti, “Dynamic impairment aware networking for transparent mesh optical networks: Activities of EU project DICONET”, in Proc. 10th IEEE ICTON 2008, pp. 6 – 12, June 2008.
- [2] M. Yuang, I. Chao, Bird Lo, P. Tien, W. J. Chen, Yu-min Lin, S. S. W. Lee, and Ching-yun Chien, “HOPSMAN: An Experimental Testbed System for a 10-Gb/s Optical Packet-Switched WDM Metro Ring Network”, IEEE Communications Magazine, vol. 47, pp. 158 – 166, July 2008.
- [3] R. Ramaswami, K.N. Sivarajan, “Optical networks: a practical perspective”, Academic Press, 2002.
- [4] B. Ramamurthy, et al., “Impact of transmission impairments on the teletraffic performance of wavelength-routed optical networks,” IEEE/OSA J. Lighthwave Technology, vol. 10. pp. 1713-1723, Oct. 1999.
- [5] J. F. Martins-Filho, C. J. A. Bastos-Filho, E. A. J. Arantes, S. C. Oliveira, L. D. Coelho, J. P. G. Oliveira, R. G. Dante, E. Fontana, F. D. Nunes, “Novel Routing Algorithm for Transparent Optical Networks Based on Noise Figure and Amplifier”, in Proc. IEEE IMOC2003, Sept 2003.
- [6] T. Deng, S. Subramaniam, “Source Power Management in Transparent Wavelength-Routed Mesh Networks”, in Proc. IEEE ICC’04, Jun 2004.
- [7] M. A. C. Lima, A.F.R. Araújo, A.C César, “Agregação Dinâmica de Tráfego em Redes Ópticas WDM Utilizando Algoritmo Genético”, in Proc. MOMAG’04, Aug 2004.

[8] I. E. Fonseca, M. R. N. Ribeiro, R. C. Almeida Jr., and H. Waldman, “Preserving Global Optical QoS in FWM Impaired Dynamic Networks”, IEE Electronics Letters, Vol. 40, pp. 191-192, Feb 2004.

[9] P. Kulkarni, et al., “Benefits of Q-factor based routing in WDM metro networks,” in Proc. ECOC 2005, Glasgow, U.K., Sept. 2005.

[10] Net2Plan – The open-source network planner [Online]. Available: <http://www.net2plan.com/>. Last accessed: April 1, 2015.

[11]R. Pablo Pavon Mariño, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13791-matplanwdm-v0-5>, MatPlanWDM v0.5, 29 Jan 2007.

[12] HERNÁNDEZ w. y CHACÓN m., Utilización de herramientas software para el modelado y la simulación de redes de comunicaciones, volumen 5, número 11, Gerencia tecnológica informática, 2006, Santander, Colombia.

[13] The ns Manual, Colaboración entre los investigadores de la universidad de Berkley, LBL, USC/ISI y Xerox PARC, 2011, Pag. 406.

[14] Pallavi S. Katkar y Dr. Vijay R. Ghorpade, “Comparative Study of Network Simulator: NS2 and NS3”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 6, Issue 3, March 2016.

[15] Yaniv Ben-Itzhak, Eitan Zahavi, Israel Cidon y Avinoam Kolodny2, “NoCs Simulation Framework for OMNeT++”, NOCS’11, Mayo de 2011.

[16] Sunghyun Yoon y Young Boo Kim, “A Design of Network Simulation Environment using SSFNet”, First International Conference on Advances in System Simulation, 2009.

[17] Sorout Dinesh y Goyal Sonal, “Qualnet Simulator”, International Journal of Information & Computation Technology, ISSN 0974-2239 Volume 4 pp. 1349-1354, 2014.

[18] Andrés Felipe González Carmona, Óscar Alejandro Pérez Marín, Ana Isabel Oviedo, Ferney Amaya Y Mario Yepes, “Simulador de enlaces SCM-WDM para redes tipo PON”, Revista en Telecomunicaciones e Informática, Vol. 1, No. 2 p. 75 – 95, Octubre de 2011