

Algoritmos de Asignación de Recursos para Virtualización de Redes Ópticas WDM Utilizando *Traffic Grooming*

Marcos Tilería Palacios
Facultad Politécnica
Ingeniería en Informática
Universidad Nacional de Asunción
mtileria@pol.una.py

Aloysius Yu Villalba
Facultad Politécnica
Ingeniería en Informática
Universidad Nacional de Asunción
aloypunk@gmail.com

Resumen— Las técnicas de virtualización de redes pueden erradicar la osificación de Internet y estimular la innovación de nuevas arquitecturas de red y aplicaciones. La capacidad de soportar arquitecturas heterogéneas en un mismo sustrato físico provee flexibilidad, diversidad, mayor seguridad y facilita la administración y el mantenimiento de las redes. Las redes ópticas son sustratos ideales para el aprovisionamiento de servicios virtuales de red de alto ancho de banda, además ofrecen mayor flexibilidad a las redes virtuales. Investigamos el problema del mapeo óptimo de redes virtuales (VNE) sobre redes ópticas WDM. Realizamos el estudio de dos heurísticas para el mapeo de nodos y la técnica de traffic grooming de manera a optimizar las longitudes de onda. En este estudio proponemos realizar mejoras a estas heurísticas que permitan ahorrar los recursos del sustrato.

Palabras claves—virtualización de redes, redes ópticas, traffic grooming, mapeo de redes, lightpath.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las innovaciones en Internet, en cuanto a nuevas propuestas de protocolos y arquitecturas son limitadas. La dominancia de la arquitectura TCP/IP limita las innovaciones futuras a simples adiciones o actualizaciones. Para poder soportar nuevas aplicaciones se añaden nuevas capas y funciones que dificultan el manejo y el control de las redes. Nuevas aplicaciones podrían necesitar arquitecturas de red totalmente diferentes, así también, las nuevas arquitecturas de red pueden estimular la aparición de nuevas aplicaciones.

La Virtualización de redes es una abstracción transparente, tanto de recursos computacionales como de red. Permite múltiples redes virtuales compartir una única red de sustrato física. Una red virtual está lógicamente aislada de otras y puede tener una arquitectura diferente de otras redes virtuales.

Una red virtual se compone de varios nodos y enlaces virtuales. Cada nodo virtual requiere ciertos recursos por ejemplo, tiempo de CPU, memoria, etc. Múltiples nodos virtuales que pertenecen a diferentes redes virtuales pueden coexistir en un nodo de sustrato y compartir los recursos

físicos. Un enlace virtual posee ciertos requerimientos de calidad de servicio, por ejemplo, ancho de banda, retardo, etc. Un enlace virtual puede ser mapeado a uno a varios caminos físicos dependiendo de la infraestructura del proveedor.

En [1,2] los autores hicieron un resumen de trabajos recientes sobre la virtualización de redes. En [3] los autores presentan un concepto de virtualización de redes donde las redes virtuales se presentan como redes ópticas, lo que podría dificultar la comprensión del operador. En este trabajo se presenta de manera simplificada los conceptos de virtualización utilizando capacidad de procesamiento en los nodos y ancho de banda en los enlaces como requerimientos en las redes virtuales. En [4] se investiga el problema considerando single-hop traffic grooming. En [5] se propone un grafo auxiliar para realizar el multi-hop traffic grooming. En [6,7,8,9] se menciona a la virtualización de redes como una de las tecnologías más prometedoras para el futuro de Internet. Actualmente se usa redes virtuales como banco de pruebas para nuevos protocolos en Internet [6]. En [10] se proponen varias heurísticas para el mapeo de nodos y multi-hop traffic grooming para el mapeo de enlaces.

A. Redes ópticas como sustrato

La capa de virtualización se refiere a la capa en la pila de protocolos donde se introduce la virtualización. Las capas más bajas proveen mayor flexibilidad para las redes virtuales. Si la virtualización se realiza en la capa óptica se pueden desarrollar arquitecturas heterogéneas sin interferir con las redes actuales. Por ejemplo se podría desarrollar una arquitectura nueva de Internet que se adecue a las nuevas necesidades sin interferir con la arquitectura actual de internet. Actualmente ya podemos ver las redes ópticas como sustrato del internet actual. Un enlace visto desde capa de red puede realmente ser un circuito virtual establecido con uno o varios lightpaths sobre enlaces de fibra óptica.

En general, las redes ópticas se encuentran entre los candidatos ideales para formar redes de sustrato debido al enorme ancho de banda ofrecido, menor retardo y mayor control sobre la QoS para cumplir con los SLA.

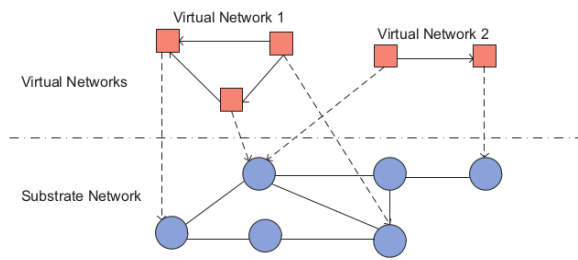


Fig. 1. Ejemplo de dos redes virtuales sobre un sustrato

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema de mapear de manera óptima recursos virtuales a recursos del sustrato es conocido como Virtual Network Embedding o VNE. El problema se modela representando una solicitud de red virtual (VNR) como un grafo que contiene un conjunto de nodos y enlaces que conectan los nodos. La red de sustrato (SN) también es modelada como un grafo de nodos y enlaces donde las redes virtuales pueden ser mapeadas como se puede ver en la Figura 1. Para mapear una red virtual primero se deben mapear todos sus requerimientos. Sólo una vez que todos los recursos han sido mapeados se puede decir que la red virtual está mapeada.

A. Complejidad Computacional

El problema del VNE está clasificado como NP-Completo. El mapeo óptimo de nodos se puede reducir al problema de partición de grafos [11]. El mapeo de enlaces en un único camino se puede reducir al problema del flujo continuo [12, 13] y el problema de traffic grooming se puede reducir al problema de RWA asumiendo que se utiliza el total de la capacidad del enlace para cada demanda.

Debido a la naturaleza del problema se utilizan 3 técnicas para hallar la solución al problema. La primera es buscar la solución óptima para instancias pequeñas del problema por ejemplo con un ILP. La segunda es utilizar heurísticas para encontrar soluciones aceptables en un tiempo corto y por último el uso de meta-heurísticas que permitan encontrar mejores soluciones con un tiempo mayor de procesamiento. En este trabajo nos enfocamos en utilizar heurísticas para encontrar soluciones buenas no-óptimas en un tiempo corto de ejecución.

III. CASO DE ESTUDIO

En este trabajo utilizamos como red de sustrato una red óptica WDM y formalmente podemos describir el problema de la siguiente manera:

Modelamos la red óptica WDM como un grafo dirigido $G^s = (N^s, E^s)$, donde N^s es el conjunto de nodos de sustrato y E^s el conjunto de enlaces de fibra. Cada solicitud de red virtual también está representado por un grafo dirigido $G^v = (N^v, E^v)$, donde N^v es el conjunto de nodos virtuales y E^v el conjunto de enlaces virtuales.

Cada nodo del sustrato N^s está asociado con una ubicación física y consiste en un optical cross-connect (OXC) que puede estar asociado a un data center con una cierta capacidad de procesamiento. Cada enlace de sustrato E^s es un enlace de fibra óptica con W longitudes de onda y cada longitud de onda posee una capacidad C . Está permitida la conversión total de longitud de onda en la red ya sea por conversión de longitud de onda o por regeneración óptica-eléctrica-óptica (OEO).

Consideramos un escenario estático en el que todas demandas de redes virtuales son conocidas de antemano. Cada nodo virtual tiene asociado una demanda de procesamiento y un conjunto de nodos candidatos en los que puede ser mapeado. Cada enlace virtual tiene asociado un requerimiento de ancho de banda.

A. Heurísticas sobre redes WDM

A continuación se explican los algoritmos utilizados para el mapeo de nodos y enlaces en [10]. Además se describe un segundo algoritmo para el mapeo de enlaces (Algoritmo 3) que se utilizó para realizar comparaciones con respecto a los otros algoritmos. En la sección VI se proponen dos heurísticas en desarrollo, que deben ser analizadas e implementadas, para su evaluación y comparación con los siguientes algoritmos.

Algoritmo 1. Mapeo de Nodos

- 1: Ordenar las redes virtuales en orden descendente según el total de recursos computacionales.
- 2: If (no hay demanda) then
- 3: End
- 4: Else
- 5: For (cada red virtual) do
- 6: Ordenar los nodos virtuales de la red virtual seleccionada en orden descendente según sus recursos computacionales.
- 7: For (cada nodo virtual) do
- 8: Asignar el nodo virtual en el nodo sustrato con máxima (MaxMapping) o mínima (MinMapping) capacidad restante, sujeto a la restricción de que dos nodos virtuales en la misma red virtual no pueden ser asignados al mismo nodo de sustrato.
- 9: endFor
- 10: endFor
- 11: endIf

Algoritmo 2. Mapeo de Enlaces

- 1: Después del mapeo de nodos, generar la matriz de tráfico de la red.
- 2: While (exista un elemento distinto de cero en la matriz de tráfico) do
- 3: Tomar la demanda de mayor tráfico de la matriz de tráfico R
Si R es mayor que la capacidad C de longitud de onda, la tiene un ancho de banda de C.
De lo contrario, la demanda sigue siendo R.
- 4: Construir el grafo auxiliar de grooming para la demanda y utilizar multi-hop Traffic Grooming ejecutando el algoritmo de camino más corto de Dijkstra entre el origen y el destino de la demanda de tráfico en la capa eléctrica del grafo auxiliar. Encaminar la demanda de tráfico de acuerdo con la ruta de acceso encontrado.
- 5: Actualizar los recursos de red (por ejemplo, lightpaths establecidos, número longitudes de onda establecidas en cada fibra) y actualizar la matriz de tráfico restando el tráfico servido en el paso anterior en la matriz de tráfico.
- 6: endWhile

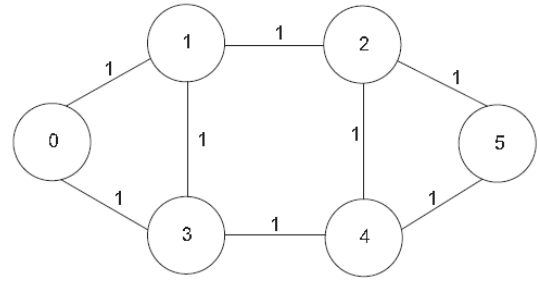


Fig. 2. Red de 6 nodos

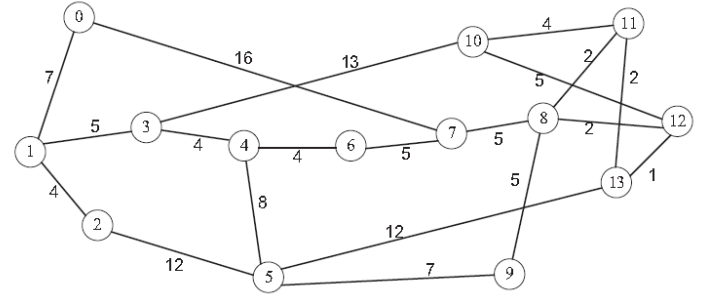


Fig. 3. Red NSFNET de 14 nodos

Algoritmo 3. Mapeo de Enlaces

- 1: Después del mapeo de nodos, generar la matriz de tráfico de la red.
- 2: While (exista un elemento distinto de cero en la matriz de tráfico) do
- 3: Tomar la demanda de mayor tráfico de la matriz de tráfico R
Si R es mayor que la capacidad C de longitud de onda, la tiene un ancho de banda de C.
De lo contrario, la demanda sigue siendo R.
- 4: Hallar el camino mínimo corto de Dijkstra entre el origen y el destino de la demanda. Encaminar la demanda de tráfico de acuerdo con la ruta encontrada estableciendo lightpaths por cada enlace de la ruta o haciendo grooming en caso que haya algún lightpath establecido.
- 5: Actualizar los recursos de red (por ejemplo, lightpaths establecidos, número longitudes de onda establecidas en cada fibra) y actualizar la matriz de tráfico restando el tráfico servido en el paso anterior en la matriz de tráfico.
- 6: endWhile

IV. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Los experimentos todavía están en desarrollo, sin embargo tenemos resultados parciales que nos ayudarán a proponer mejoras para los algoritmos explicados anteriormente. Explicamos brevemente los casos de pruebas.

A. Prueba en red pequeña 6-Nodos

Primero empleamos una red pequeña de 6 nodos para el sustrato, ver Figura 2. El número que aparece en cada enlace representa la longitud de la fibra normalizada. Asumimos que cada enlace es una fibra bidireccional y hay un total de 40 longitudes de onda cada una con una capacidad de 40 Gbps. En este caso cada nodo del sustrato está asociado con un data center y posee una capacidad de 100 unidades de procesamiento. Cada red virtual está compuesta por 3 nodos virtuales. Cada nodo virtual requiere una capacidad de procesamiento de 10 unidades y posee un grado de salida de uno. Todos los nodos del sustrato son candidatos para el mapeo de nodos.

B. Prueba en la red NSFNET

El segundo sustrato utilizado es la red NSFNET de 14 nodos que se muestra en la Figura 3. El número que se visualiza en cada enlace representa la longitud de la fibra normalizada, el cual es utilizado para diferenciar los recursos del espectro proporcionadas por enlaces de fibra con diferentes longitudes. La capacidad de los enlaces de fibra es igual al primer ejemplo. Aleatoriamente se eligen 10 nodos que estarán

asociados a un data center cada uno con 1000 unidades de procesamiento. El número de nodos virtuales en cada red virtual se distribuye uniformemente entre 4 y 7. Cada nodo tiene un grado de salida dos y requiere 10 unidades de procesamiento (CPU). Cada enlace virtual requiere un ancho de banda de 10 Gbps. Se considera que cada nodo virtual posee un conjunto de nodos de sustrato candidatos para realizar el mapeo; en este caso, forman parte los 10 nodos que cuentan con capacidad de procesamiento.

Los 3 algoritmos se ejecutaron bajo las condiciones expuestas y de acuerdo a esos resultados se llegaron a algunas conclusiones que nos ayudarán a proponer algunas mejoras para estas heurísticas.

V. OBJETIVOS DEL TRABAJO

A. Objetivos Principales y Secundarios

El objetivo general del trabajo puede formularse de la siguiente manera:

- Resolver el problema VNE estático en redes ópticas WDM, utilizando técnicas de traffic grooming para acomodar varios tráficos de bajas tasas de datos en cada canal, mediante el uso de heurísticas y optimizando la cantidad de lightpaths establecidos y el costo de utilización de enlaces ópticos.

Para lograr esto hemos identificado los requerimientos del problema y realizado una revisión del estado del arte, tomando como base de este trabajo las premisas establecidas en Zhang [10] como el estado del arte. Realizaremos una evaluación del desempeño de los algoritmos propuestos en ese trabajo y propondremos algoritmos que cumplan mejoren los resultados. Específicamente buscamos optimizar la cantidad de lightpaths establecidos y la longitud de los caminos. Otras métricas que tenemos en cuenta son la cantidad de longitud de ondas utilizadas, ancho de banda por red virtual, utilización del espectro y la carga en los nodos.

Los objetivos secundarios citamos a continuación:

- Hacer una revisión del estado del arte.
- Implementar los algoritmos propuestos en [10] en un lenguaje de programación y realizar pruebas a fin de reproducir los resultados.
- Proponer y diseñar otras heurísticas que resuelvan el problema teniendo en cuenta el objetivo principal que mejoren el resultados de [10].
- Realizar comparaciones entre el rendimiento de los distintos algoritmos implementados.

B. Estado actual del trabajo

Actualmente el trabajo se encuentra en la fase de implementación de nuevas heurísticas que mejoren los resultados obtenidos. Se ha realizado la revisión del estado del arte, se ha implementado los algoritmos propuestos por Zhang.

Está pendiente terminar las nuevas heurísticas y realizar las comparaciones. La tabla 1 muestra el cronograma de trabajo estimado.

Plan de Trabajo	Meses			
	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Revisión del estado del arte				
Implementación de algoritmos en [10]				
Implementación de nuevas heurísticas	X	X		
Comparaciones de resultados			X	
Edición del Libro de Tesis.		X	X	X

VI. LECCIONES APRENDIDAS Y PROPUESTA

Luego de realizar de forma parcial las pruebas de los algoritmos mencionados anteriormente podemos mencionar algunos ítems que nos ayudarán a mejorar el desempeño de estos algoritmos.

- El desempeño del mapeo de enlaces está estrechamente relacionado con la ubicación de los nodos virtuales en el sustrato siendo deseable que nodos de una misma red virtual sean mapeados lo más cerca posible.
- Es posible optimizar el mapeo de nodos estableciendo una distancia máxima entre los nodos de una misma red virtual.
- Al utilizar el grafo auxiliar para realizar traffic grooming el camino puede ser mucho más largo que el camino más corto sobre el sustrato. Esta técnica realiza buenos mapeos para los primeros enlaces pero malos en los siguientes si consideramos la longitud de los caminos.
- Al no utilizar el grafo auxiliar y rutear directamente las demandas sobre la topología física y luego establecer los *lightpaths* por cada enlace del camino se obtiene caminos más cortos en la red física pero se tienen más conversiones OEO que implican mayor retardo.

Debido a los ítems anteriores es deseable encontrar un equilibrio entre longitud del camino y cantidad de lightpaths establecidos.

Tenemos dos ideas concretas que creemos que ayudarán a mejorar el desempeño. La primera consiste en encontrar el camino mínimo en la red física, luego de acuerdo a los enlaces que forman parte del camino mínimo formar la topología lógica y elegir o establecer lightpaths lo más largos posible. La segunda propuesta sería encontrar el camino mínimo para todas las demandas y luego de obtener la lista de caminos mínimos buscar la mejor manera de establecer los lightpath haciendo grooming en los caminos que coinciden en algunos enlaces.

VII. TRABAJOS FUTUROS

La virtualización de redes está todavía en su infancia [10]. Todavía queda mucho trabajo por realizar. Este trabajo se podría replantear con una implementación distribuida, de esta manera se estaría evitando tener un único punto de falla en el sistema. Además se podría tener en cuenta otros objetivos como la utilización eficiente de energía, seguridad ante fallas, etc. Otro posible trabajo sería probar los algoritmos en un ambiente dinámico y observar el desempeño de estos en comparación con otros algoritmos dinámicos de la literatura.

VIII. REFERENCIAS

- [1] N. Chowdhury, R. Boutaba, A survey of network virtualization, *Computer Networks* 54 (5) (2010) 862–876.
- [2] A. Wang, M. Iyer, R. Dutta, G. Rouskas, I. Baldine, Network virtualization: technologies, perspectives, and frontiers, *IEEE Journal of Lightwave Technology* 31 (4) (2013) 523–537.
- [3] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [4] R. Nejabati, E. Escalona, S. Peng, D. Simeonidou, Optical network virtualization, in: *Proceedings of the IEEE Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, 2011.
- [5] W. Wei, C. Wang, J. Hu, T. Wang, Slice provisioning in a virtualized optical substrate network with programmable routers and ROADMs, in: *Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference*, 2009.
- [6] S. Zhang, C. Martel, B. Mukherjee, Dynamic traffic grooming in elastic optical networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 31 (1) (2013) 4–12.
- [7] D. Schwerdel, D. Günther, R. Henjes, B. Reuther, and P. Müller, “German-lab experimental facility,” *Future Internet Symposium (FIS)* [1] 2010, 9 2010.
- [8] J. Carapinha and J. Jiménez, “Network virtualization: a view from the bottom,” in *Proceedings of the 1st ACM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures*, ser. VISA '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 73–80.
- [9] P. Endo, A. de Almeida Palhares, N. Pereira, G. Goncalves, D. Sadok, J. Kelner, B. Melander, and J. Mangs, “Resource allocation for distributed cloud: concepts and research challenges,” *IEEE Network*, vol. 25, no. 4, pp. 42–46, july-august 2011.
- [10] N. Feamster, L. Gao, and J. Rexford, “How to lease the internet in your spare time,” *Computer Communication Review*, vol. 37, no. 1, 2007.
- [11] Network virtualization over WDM and flexible-grid optical networks- Zhang, Lei, Shi, Vadrevu, Mukherjee 2013.
- [12] D.G. Andersen, “Theoretical approaches to node assignment” Dec.2002, unpublished Manuscript.
- [13] J. Kleinberg, “Approximation algorithms for disjoint paths problems,” Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [14] S. Kolliopoulos and C. Stein, “Improved approximation algorithms for unsplittable flow problems,” in *Foundations of Computer Science*, 1997. Proceedings., 38th Annual Symposium on, oct 1997, pp. 426–436.