

Redes WDM: Tercera presentación

## Enrutamiento y asignación de longitud de onda.

Por Felipe Carrillo Oliva.

Seminario de Redes de Computadores.

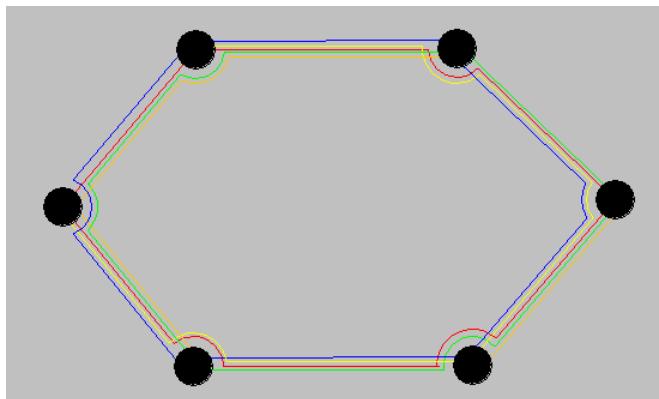
II semestre 2002.

## Introducción.

- En la primera presentación, se expusieron aspectos básicos de las redes WDM, introduciendo el problema RWA.
- En esta presentación, se presenta nuevamente este problema, y se describirá una metodología para su solución, en el caso de tráfico estático.
- Se presentan ejemplos, para mejor comprensión.

## El problema...

- Problema: enrutamiento y asignación de longitud de onda.



## Consideraciones

- Tipos de tráfico:
  - Tráfico estático.
  - Tráfico dinámico.
- Objetivo: maximizar el throughput por asignación óptima de rutas y longitudes de onda para un patrón de tráfico dado.
- Métricas de desempeño.
  - Número de longitudes de onda requeridas.
  - Probabilidad de bloqueo.
  - Número de recursos de fibra manejado en los enrutadores.

## Tráfico estático.

- Objetivo en tráfico estático: minimizar el número de longitudes de onda necesarias para establecer un número dado de conexiones, o maximizar éstas para un número dado de longitudes de onda.
- El problema RWA consta de dos partes: enrutamiento y asignación de longitud de onda.

## Enrutamiento

- Se puede dividir en dos funciones: búsqueda y selección.
- La búsqueda se realiza por medio de algoritmos camino más corto (**shortest path**), como los algoritmos Dijkstra y Bellman-Ford.
- Características:
  - El camino más corto es aquél que tiene menor peso que cualquier otro posible.
  - Las selección de camino es independiente de otras selecciones.
- **Weight Shortest Path:** igual al caso anterior, pero el costo del enlace puede variar dependiendo del número de rutas establecidas. Se necesita algún criterio para orden de búsqueda.

# Enrutamiento

- **K-Shortest Path:** se busca más de una ruta para cada par fuente-destino. Mayor flexibilidad en la búsqueda. Problema de selección.
- La **selección** es hecha, bien por algoritmos secuenciales o de optimización combinatoria.
- Para selección secuencial (Greedy) se consideran dos pasos: orden de selección y norma de selección.
- Orden de selección:
  - Aleatoria.
  - Fija o dada.
  - Más largo primero.
  - Más corto primero.

# Enrutamiento

- Norma de selección:
  - Aleatoria.
  - Primera ruta acertada.
  - Probabilística.
  - Enlace con menor número de rutas establecidas.
- **Selección Combinatoria:**
  - **Selección óptima.**
  - **Algoritmos heurísticos**

## Asignación de longitud de onda.

- También consta de búsqueda y selección.
- La búsqueda es simplemente saber que cualquier longitud de onda disponible en la ruta elegida se puede asignar al lightpath.
- La selección debe tratar de minimizar la utilización de longitudes de onda. Similarmente al enrutamiento, se puede realizar en forma secuencial o combinatoria.

## Asignación de longitud de onda.

- Orden de selección.
  - Mayor número de rutas vecinas.
  - Mayor número de longitudes de onda disponibles.
  - Mayor tráfico.
  - Mayor o menor número de saltos.
  - Aleatoria.
- Norma de selección:
  - Primera longitud de onda disponible.
  - La longitud de onda más o la menos utilizada.
  - Aleatoria.
- Selección combinatoria: coloreo de grafos.
  - Optimales.
  - Algoritmos heurísticos.

## Un ejemplo de formulación óptima.

- Programa lineal entero.
- La topología física de la red se modela como un grafo unidireccional  $G(V,E)$ .  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$   
 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$
- Vector  $K = [k_j]$  representa la capacidad del enlace  $j$ .
- El conjunto  $S$  de tamaño  $s$ , de los pares de nodos fuente-destino.
- Vector de demanda  $D = [d_i]_{1 \times s}$ ,  $d_i$  representa el número de lightpaths a establecer entre el par fuente-destino  $i$ .

## Un ejemplo de formulación óptima.

- El conjunto  $R$  de tamaño  $r$ , de las rutas libres de ciclos entre los pares fuente-destino.
- La matriz de incidencia ruta-par fuente destino:

$$Q = [q_{ij}]_{r \times s} \quad q_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la ruta } i \text{ incide con el par fuente-destino } j \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

- La matriz de incidencia ruta-enlace fibra.

$$B = [b_{ij}]_{r \times m} \quad b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la etapa } e_j \text{ incide se usa en la ruta } i \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

## Un ejemplo de formulación óptima.

- Para el caso con conversión de longitud de onda, las variables de programa lineal entero se representan por el vector  $F = [f_i]_{1 \times r}$ , donde  $f_i$  es el número de veces que se ocupa la ruta  $i$ . El programa es:

$$\begin{aligned} \text{Función objetivo} \quad & \max \sum_{i=1}^r f_i \\ \text{s.a.} \quad & F \cdot Q \leq D \quad \text{Restricción demanda} \\ & F \cdot B \leq K^T \quad \text{Restricción de capacidad.} \end{aligned}$$

## Un ejemplo de formulación óptima

- Caso sin conversión. Las variables ILP se representan por la matriz de ruta-longitud de onda  $W = [w_{ij}]_{rx\lambda}$ , donde  $w_{ij}$  es el número de pasos usados en la ruta  $i$  y longitud de onda  $j$ , y  $\lambda$  el número de canales de longitud de onda en la fibra. La formulación viene dada por:

$$\begin{aligned} \text{Función objetivo} \quad & \max \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^I w_{ij} \\ \text{s.a.} \quad & 1_I \cdot W^T \cdot Q \leq D \quad \text{Restricción demanda} \\ & W \cdot B \leq \frac{1}{I} 1_I^T K \quad \text{Restricción de capacidad.} \end{aligned}$$

## Conclusiones.

- Se presentó el problema de Enrutamiento y Asignación de Longitud de Onda, y se vieron algunas soluciones propuestas, haciendo énfasis en los algoritmos Greedy.
- El problema de asignación de longitud de onda, es un problema de colooreo de grafos, que puede ser muy complejo para redes de tamaño considerable. Para encontrar una solución aproximada, se necesitan de algoritmos heurísticos.
- Próxima presentación, caso de tráfico dinámico.

## Referencias.

- **A Functional Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM Networks: Static Case.**
  - Jin Seek Choi, Nada Golmic, Francois Lapayrere, Frederic Moncaux and David Sue.
  - Advanced Network Technologies Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
- **All Optical Networking.**
  - Semih Bilgen, Altan koçyigit.
  - September 2001.
- **Wavelength Assignment In Optical Networks.**
  - Ashish Natani, Rajiv Jayant, Saurabhi Vadalkar, Vijay Sharma and Vinod Vokkarane.
  - Department of Computer Science, The Universiy of Texas, Dallas, Texas.