

# Mecanismo de encaminamiento y asignación de longitud de onda Basado en Predicción para Redes de Transporte Óptico

Eva Marín Tordera, Xavier Masip Bruin, Sergio Sánchez López  
Josep Solé Pareta, Jordi Domingo Pascual

Departament d'Arquitectura de Computadors, Universitat Politècnica de Catalunya  
Avgda. Víctor Balaguer, s/n- 08800 Vilanova i la Geltrú, Barcelona, Catalunya, Spain  
{eva, xmasip, sergio, pareta, jordid} @ac.upc.es

## Resumen

*En redes de transporte óptico los algoritmos de encaminamiento y asignación de longitud de onda seleccionan rutas y asignan longitudes de ondas basándose en la información de estado de la red. Debido a diferentes factores, en redes altamente dinámicas esta información de estado puede no ser lo suficientemente exacta, repercutiendo negativamente en las decisiones de encaminamiento. En este trabajo proponemos un nuevo mecanismo de encaminamiento donde los caminos, se seleccionan basándose en predicción. Por este motivo se elimina el 'overhead' producido por los mensajes de actualización de la información de estado de la red.*

## 1. Introducción

Las demandas de tráfico en Internet han sufrido un gran incremento debido principalmente a las aplicaciones en tiempo real y al continuo incremento de nuevos usuarios. Para soportar estas nuevas necesidades, aparecen las redes de transporte óptico (*WDM Wavelength-Division Multiplexing*) las cuales son capaces de proporcionar el suficiente ancho de banda para soportar dichas nuevas necesidades.

Es bien sabido que una manera de afrontar el problema de asignar caminos en redes WDM, (*Routing and Wavelength Assignment, RWA problem*), se basa en dividir dicho problema en dos sub-problemas: la selección de la ruta física y la asignación de una longitud de onda sobre la cual se transportará el tráfico. En la primera aproximación al sub-problema del encaminamiento se selecciona la ruta más corta (menor número de nodos) entre cada nodo fuente y destino, *Shortest-Path*[1].

Para el sub-problema de la asignación de lambda, hay propuestos un gran número de métodos heurísticos. En [2] se presenta un resumen de los más significativos.

En muchos de los métodos propuestos para solucionar el *RWA* el encaminamiento se realiza desde el nodo fuente. En este escenario aparece un nuevo problema conocido como el *RIP (Routing Inaccuracy Problem)* que describe los efectos en el comportamiento de la red debidos a realizar la selección de rutas a partir de información inexacta del estado de la red. El *RIP* se produce básicamente debido a tres factores: la restricción de tener que agregar la información de encaminamiento en los mensajes de actualización cuando se utilizan redes jerárquicas; la frecuencia a la cual se envían dichos mensajes de actualización; y finalmente debido a la latencia asociada al ser enviados a través de la red.

En general los algoritmos de *RWA* asumen que la información del estado de la red contenida en sus

bases de datos (*Traffic Engineering Databases, TEDs*) es exacta. No obstante esta suposición no puede ser completamente garantizada. Por este motivo en [3] los autores concluyen que se han de desarrollar algoritmos que sean más tolerantes al efecto negativo producido en el comportamiento de la red debido al *RIP*.

En [4] se propone un mecanismo de encaminamiento adaptativo llamado *BYPASS Based Optical Routing (BBOR)*. Este mecanismo reduce los efectos del *RIP*, tales como el incremento de la probabilidad de bloqueo y la selección no óptima de camino. El mecanismo *BBOR* está basado en puentear (*bypass*) a través de un camino alternativo aquellos enlaces por los que el mensaje de establecimiento no encuentra recursos disponibles debido a una selección errónea de la ruta causada por el efecto de seleccionar dicha ruta a partir de información inexacta de la red.

## 2. Encaminamiento Basado en Predicción

La idea del mecanismo de Encaminamiento Basado en Predicción (*Prediction-Based Routing, PBR*) está basada en conceptos de la predicción de saltos en arquitectura de computadores [5]. La predicción de las instrucciones de salto se realiza conociendo el comportamiento de instrucciones de salto previas. A partir de esta idea, el *PBR* predice el camino a asignar para cada nueva petición de conexión, basándose en la información obtenida de la red en establecimientos previos de conexión.

### 2.1. Registros de Longitud de onda (Wavelength Register, WR)

Cada nodo fuente guarda información de la ruta y la longitud de onda asignadas en peticiones previas. Esta historia de utilización se guarda en un registro, *WR (Wavelength Register)*, que es un

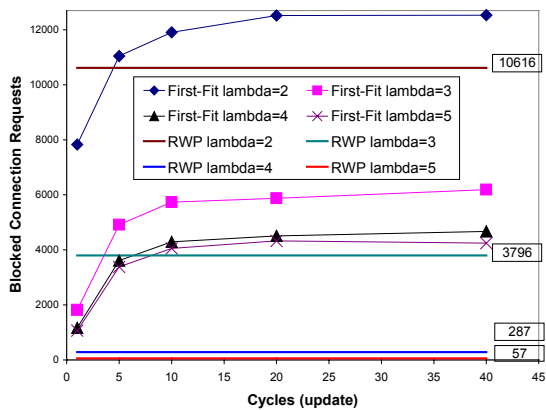


Fig 1. First-Fit versus RWP

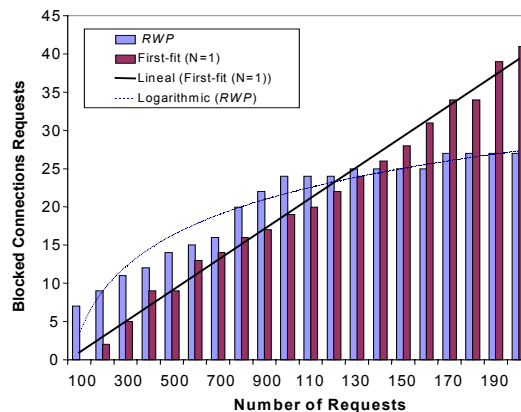


Fig.2 Evolución de peticiones bloqueadas para FF y RWP

patrón de comportamiento para entrenar una Tabla de Predicción (PT).

Antes de introducir el algoritmo de predicción definiremos la unidad básica de tiempo, que llamaremos ciclo, como el parámetro para decidir cuando se modifican los WRs.

- En cada nodo fuente hay tantos registros WR como longitudes de onda y rutas posibles a cada destino.
- En cada ciclo cada WR se actualiza con '0' cuando en esa longitud de onda y ruta (camino) hay establecida una conexión.
- los registros WR se actualizan con '1' cuando no hay establecida conexión.

## 2.2. Tablas de predicción (PT)

En los nodos fuentes hay una PT para cada camino (longitud de onda y ruta) a cada posible destino. A las PTs se accede con un índice creado a partir del correspondiente registro WR. Cada entrada en las PTs tiene un contador y el valor del contador se compara con un valor umbral; si el valor es menor se predice que el camino está disponible, en otro caso que no lo está. Los contadores son de 2 bits donde 0 y 1 indican la disponibilidad, y 2 y 3 indican la no disponibilidad de camino. Cuando se establece la nueva conexión, la PT del camino seleccionado se actualiza, decrementando el contador de la entrada correspondiente. Por otro lado cuando la petición de conexión se bloquea el contador es incrementado.

## 2.3. Algoritmo de Encaminamiento

A partir del concepto de predicción introducido en el mecanismo PBR, definimos el algoritmo Predicción de Ruta y Longitud de Onda (Routing Wavelength Prediction, RWP). Su funcionamiento es el siguiente:

Cuando a un nodo fuente llega una nueva petición de conexión hacia un nodo destino, se accede a todas las PTs correspondientes a ese destino.

Previamente, las 2 rutas más cortas hacia cada destino,  $SP_1$  y  $SP_2$  son calculadas. Se lee el contador de la PT de la primera longitud de onda de  $SP_1$ . Si el contador es menor que 2, y esa longitud de onda está libre en el enlace de salida del nodo hacia  $SP_1$ , se utiliza esa longitud de onda en el enlace hacia  $SP_1$ . En caso contrario se examina el contador de la siguiente PT (siguiente longitud de onda). Cuando se han examinado todas las PTs de  $SP_1$  y todos los contadores son mayores que 1, o las longitudes de onda en los enlaces de salida están ocupadas, se examinan de las PTs del siguiente camino,  $SP_2$ . Así sucesivamente hasta que algún contador sea menor que 2 y la longitud de onda correspondiente esté libre en el enlace de salida. Si se leen todas las PT y se predice que todas las longitudes de onda estarán ocupadas, se intenta establecer la conexión únicamente mediante la información de disponibilidad de las longitudes de onda en los enlaces de salida del nodo hacia  $SP_1$  y  $SP_2$ .

## 3. Evaluación de Resultados.

Las simulaciones se han obtenido aplicando el algoritmo RWP a una topología test donde los enlaces son de una fibra y el número de lambdas varía entre 2 y 5. Las peticiones de conexión siguen un modelo de distribución de Poisson y cada conexión requiere la misma longitud de onda en todos los enlaces que atraviesa.

El primer objetivo es verificar que el RWP puede asignar ruta y lambda utilizando las PTs. Comparamos el comportamiento del RWP y del First-Fit [2]. En la Figura 1 se representan el número de conexiones bloqueadas respecto a 62000 peticiones de conexión, cuando variamos la frecuencia de actualización (N) a 1, 5, 10, 20 y 40 (First-Fit), y el número de longitudes de onda a 2, 3, 4 y 5. Analizando los resultados vemos que a partir de 4 lambdas RWP presenta un mejor comportamiento en términos de bloqueo que el First-Fit incluso cuando N=1 (actualización cada ciclo).

Los fallos de First-Fit cuando N=1 ocurren cuando a dos nodos fuente llegan peticiones de conexión a la vez, y uno de los nodos asigna ruta

antes que el otro. El otro nodo asigna ruta con información no actualizada de la red porque a pesar que las actualizaciones son cada ciclo no le ha llegado la información de que el otro nodo ha cambiado el estado de la red. En la Figura 2 está representada la evolución en número de peticiones bloqueadas desde 0 hasta las 2000 primeras peticiones, para *RWP* y *First-Fit* ( $N=1$ ). Inicialmente *RWP* falla más, 7 bloqueos de *RWP* y 0 de *First-Fit*, pero finalmente para 2000 peticiones el número de bloqueos es 27 y 41 para *RWP* y *First-Fit* respectivamente. Podemos concluir que *RWP* tiene más capacidad de aprender de sus fallos y la pendiente de crecimiento de bloqueos decrece siguiendo una tendencia logarítmica, en cambio el *First-Fit* tiene un crecimiento lineal.

#### 4. Conclusiones

En este artículo se propone un mecanismo, *PBR*, de *RWA* basado en predicción. La principal aportación del *PBR* es proporcionar a los nodos fuente la capacidad de tomar decisiones de encaminamiento sin utilizar la tradicional información de estado de la red. Comprobamos que por un lado se elimina la necesidad de mensajes de actualización disminuyendo completamente el *overhead* por señalización (sólo serían necesarios aquellos mensajes requeridos para conectividad), y por otro lado vemos que el *PBR* es capaz de cambiar eficientemente las decisiones de encaminamiento después de un periodo de aprendizaje.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MCyT (Ministerio de Ciencia y Tecnología) bajo el contrato FEDER-TIC2002-04344-C02-02 y el CIRIT (Consell Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica) bajo contrato 2001-SGR00226

#### Referencias

- [1] Lawler E., "Combinational Optimization: Networks And Matroids", Holt, Rinehart and Winston, 1976.
- [2] Zang et al., "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks" Optical Network Magazine, January 2000.
- [3] Zhou et al., "A Study of Dynamic Routing and Wavelength Assignment with Imprecise Network State Information", ICPP Workshop on Optical Networks, August 2002.
- [4] Xavier Masip-Bruin et al., "Routing and Wavelength Assignment under Inaccurate Routing Information in Networks with Sparse and Limited Wavelength Conversion", IEEE GLOBECOM, 2003.
- [5] J.E. Smith, "A study of branch prediction strategies", In Proc. of 8<sup>th</sup> International Symposium in Computer Architecture, Minneapolis 1981.