

Entorno de Validación y Medida para la Construcción de Routers de Conmutación Óptica de Ráfagas

Daniel Guasch, Cristina Cervelló-Pastor, Anna Agustí, David Roca
Dep. Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña
Avda. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú
Tel: 93 896 7244, Fax: 93 896 7700
{daniel.guasch, cristina, anna.agusti, droca}@entel.upc.edu

Resumen

La necesidad de satisfacer la demanda de comunicaciones de alta velocidad incentiva el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales, a su vez, precisan de equipos de fabricación y test capaces de llevarlas al mercado en el mínimo tiempo posible. Conseguir diseñar estos equipos de comunicaciones y validar su correcto funcionamiento en condiciones de trabajo real es una tarea compleja. El presente trabajo analiza la dinámica de funcionamiento de equipos de comunicación en redes ópticas de conmutación de ráfagas y propone una metodología para validar su correcto funcionamiento. Esta metodología podrá ser aplicada tanto en las etapas de diseño de routers o switches, como en los tests de validación en los procesos de fabricación, o en la definición de nuevas características en los futuros estándares.

1. Introducción

El rápido crecimiento del tráfico en Internet de estos últimos años ha acelerado la investigación y el desarrollo de nuevas redes de gran capacidad que sean capaces de soportar los requerimientos de ancho de banda y calidad de servicio solicitados. Las redes basadas en tecnologías ópticas son la base de estas nuevas redes y aparecen como la solución a corto y largo plazo. Éstas pueden implementarse siguiendo tres técnicas de conmutación: conmutación óptica de circuitos (OCS), conmutación óptica de paquetes (OPS) y conmutación óptica de ráfagas (OBS). La red basada en la tecnología OBS [1][2] es la que desperta mayor interés actualmente en el campo de la investigación de las redes ópticas de transporte (OTN).

Una red OBS está formada por nodos unidos mediante enlaces de fibra óptica que soportan múltiples longitudes de onda mediante la tecnología WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). En este tipo de redes se distingue entre nodos o routers OBS del núcleo de la red (*core routers*) y nodos o routers frontera de la red OBS (*edge routers*), que enlazan las redes OBS con las redes de acceso.

Las redes ópticas de conmutación de ráfagas se basan en la premisa de agrupar grandes cantidades de paquetes, formando ráfagas, en los equipos frontera de la red. Con el fin de minimizar la utilización de la CPU de los equipos interiores, se transmite un paquete de control previamente a cada ráfaga por un plano separado de control. Este paquete de control es analizado por los routers interiores y es el encargado de establecer el camino físico dentro de la red OBS, reservando los recursos necesarios para la transmisión de la ráfaga. A la

complejidad de esta técnica debe considerarse, además, las implicaciones inherentes a toda red – mecanismos de encaminamiento [3] y planificación [4][5][6] – y los propios de las redes ópticas – mecanismos de deflexión, conversión de onda o fibras de retardo – [7].

Las redes OBS usualmente se basan en mecanismos de reserva unidireccional, en los cuales, después de un tiempo de offset, la ráfaga de datos se transmite sin esperar un reconocimiento positivo de la reserva. Una de las principales limitaciones de los esquemas con reserva unidireccional es su elevada probabilidad de bloqueo debido a la competencia por parte de diferentes ráfagas por el uso de los mismos recursos. Es por ello que una de las problemáticas a resolver en las redes OBS es la contienda, siendo necesarios la aportación, y su posterior análisis, de nuevos algoritmos y protocolos que la reduzcan o anulen [8][9].

El concepto de conmutación de ráfagas se conoce desde inicios de los años 80. El razonamiento en el que se basa la conmutación de ráfagas es el de encapsular varios paquetes con características comunes, para así minimizar el tratamiento que de éstos debe hacerse y que es tan crítico en las comunicaciones ópticas. Por lo tanto, el conmutador sólo tendrá que procesar un paquete de control, correspondiente a la ráfaga de datos, y actuar en consecuencia con el conjunto de paquetes que conforman la ráfaga.

Si la ráfaga tiene una larga duración, la red OBS se comporta como una red de conmutación de circuitos. Por el contrario, si las ráfagas de datos son de corta duración, la red OBS se comporta como una red de conmutación de paquetes. Una ráfaga puede estar formada por diversos paquetes IP, celdas ATM

y tramas Frame Relay o Ethernet. Por lo tanto, una ráfaga es una unidad de transmisión mayor que los paquetes, tramas o celdas que provienen de las redes clientes que están conectadas a la red de transporte OBS mediante los routers frontera.

La idea básica en la implementación de la arquitectura de conmutación de ráfagas es reservar los recursos de red necesarios, cuando el paquete de control llega a un nodo, sólo durante el tiempo de transmisión de la ráfaga. El paquete de control se transmite en un canal fuera de banda, por el mismo camino que la ráfaga, y tiene la misión de establecer la configuración adecuada de la matriz de conmutación de los nodos en el instante de llegada de la ráfaga. Para ello, va a ser necesario definir un intervalo de tiempo adecuado entre la transmisión del paquete de control y el inicio de la transmisión de la ráfaga, denominado *offset*. Esta técnica es una adaptación de un estándar de ITU-T para conmutación de bloques en ATM (Q.2961.3), conocido como ATM Block Transfer (ABT). En la versión de transmisión inmediata ABT/IT de esta técnica, la fuente inicia la transmisión de las celdas de usuario después de la celda RM de petición, y la transferencia del bloque ATM sólo se realiza si la red dispone de los recursos solicitados para ese bloque. Esta tecnología se propuso con el objetivo de dotar a las redes ATM de mayor velocidad de transmisión pero no ha llegado a ser comercializada. En este sentido, todo parece indicar que la evolución natural de esta tecnología está en vías de ser implementada en las redes OBS [1].

Con el fin de estructurar la dinámica de los equipos OBS, en condiciones reales de trabajo, se propone establecer una base de datos de comportamiento. Esta base de datos contiene las mínimas entradas, correspondientes a los estados que pueden darse en el equipo, a partir de las cuales se puede reproducir cualquier otro estado. Para ello se toman como punto de partida las funcionalidades del equipo, estableciéndose un árbol binario que articula un conjunto de escenarios posibles. Cada uno de estos escenarios, a su vez, contempla las distintas problemáticas que pueden darse, generándose un segundo árbol binario que proporciona las situaciones a analizar. Llegados a este punto, deben tenerse en cuenta los protocolos implementados en el equipo para establecer, en cada situación, el banco de estados, "linealmente independientes", que permitirán definir con precisión el comportamiento del equipo.

Disponer de sistemas de validación automática para testear las implementaciones, tanto a nivel de prototipo como de línea de fabricación, son de vital importancia a la hora de garantizar la calidad de un producto. Desde el punto de vista empresarial garantiza una reducción en términos de costes y tiempo de desarrollo, asegurando que se cumpla en todo momento las especificaciones de los clientes y

normas. Por esta razón, es muy común que las empresas dediquen cada vez más recursos a la programación de simuladores y sistemas de testeo automático para comprobar el funcionamiento de los productos, antes de producirlos. En el caso concreto de este trabajo, se presenta un sistema de validación automática de implementaciones de routers para redes OBS.

El contenido del artículo es el siguiente. En la Sección 2 se presenta la arquitectura del Sistema de Validación. En la Sección 3 se introduce el método de generación de los tests de validación. La Sección 4 presenta algunos ejemplos de ejecución del Sistema de Validación Automático mostrando el tipo de estadísticas y resultados que son posibles obtener. Por último, la Sección 5 contiene las conclusiones de este trabajo.

2. Arquitectura del Sistema de Validación

El trabajo realizado consiste en un sistema, implementado mediante un entorno de programación, que permite testear y validar de forma automática implementaciones de routers para redes de conmutación óptica de ráfagas (OBS). El sistema posibilita comprobar cómo se comportan las implementaciones de los routers. Para ello se utiliza una base de datos, creada previamente, que contiene la definición de los tests, con configuraciones del tráfico de entrada y de salida validados teóricamente. La ejecución del sistema de validación automática se detalla en la Fig 1.

El sistema de validación automática se divide en dos fases. En una primera, se definen las situaciones a testear, se obtienen los resultados teóricos correctos y se programa, a partir de esos resultados, el entorno de validación (Fig. 2). En una segunda fase se ejecutan los tests comparando los resultados obtenidos a partir de la implementación del router con los obtenidos en la fase 1.

El proceso de generación de los tests, presentada en la Fig. 2, se basa en dos bloques: definición del test y obtención de resultados correctos, que se repiten dentro de un bucle, generando todos los tests a validar. Como resultado a este bucle se obtiene una base de datos, con la información necesaria de los tests validados, así como también el entorno de validación automática, que será el encargado de comparar el comportamiento de las implementaciones de los routers con los resultados teóricos

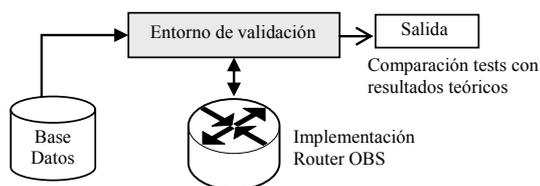


Fig. 1. Sistema de Validación Automática

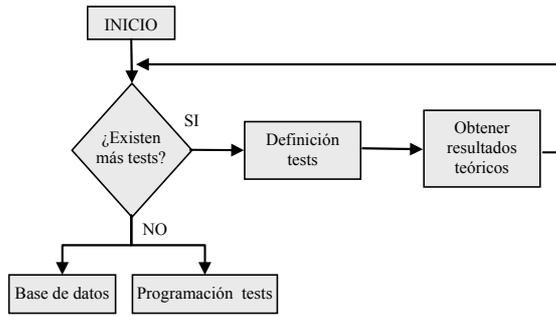


Fig. 2. Proceso de generación de los tests

El entorno de validación interactúa con la base de datos de los tests, creada anteriormente, y con la implementación del router OBS de la cual se desea realizar la validación. Cada test de la base de datos deberá ser procesado por el router de tal forma que a la salida del sistema se dé como resultado la comparación de cada test con los resultados teóricos.

El sistema de validación sigue la arquitectura que se presenta en la Fig. 3, donde se pueden apreciar los diferentes componentes que debe tener un router OBS. Los routers actúan sobre líneas de comunicaciones, gestionando de forma independiente la información de control y la transmisión de datos. De esta forma, se divide la arquitectura de los routers en dos planos: el plano de control y el de transmisión. Las líneas de comunicaciones se basan en fibras ópticas, que transportan la información multiplexada en diferentes flujos de datos mediante WDM, y líneas eléctricas u ópticas para la información de control.

En el plano de transmisión se encuentra un demultiplexor, encargado de separar los flujos de control de los de datos y un multiplexor, responsable de realizar la función complementaria.

En la parte central se ubica la óptica necesaria para conmutar las ráfagas.

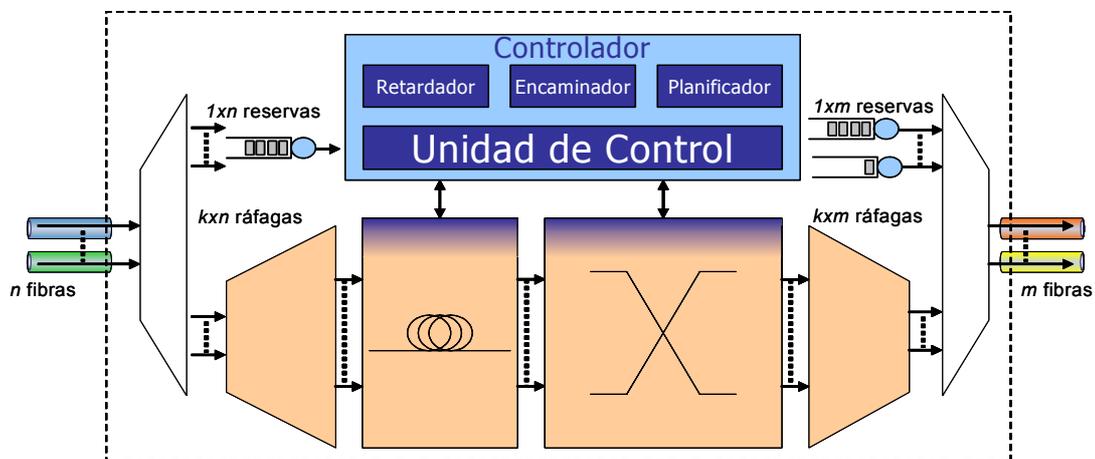


Fig. 3. Arquitectura de un nodo OBS

El plano de control se encuentra gestionado por las colas de entrada, encargadas de almacenar temporalmente los paquetes de control y enviarlos a la unidad de control, y las colas de salida, que envían los paquetes al siguiente dispositivo de red.

El resto de elementos que se observan en la arquitectura de un router óptico, pertenecen a la capa de control. El plano de control es el encargado de gestionar el comportamiento del router. En él se encuentra la unidad de control, responsable de coordinar los subsistemas de planificación (scheduling), encaminamiento (routing) y retardo (buffer). Estos tres subsistemas son importantes desde el punto de vista de la generación de los tests.

3. Generación de los tests de validación

La definición de los tests, se realiza siguiendo los diagramas de flujo de la Fig. 4 y Fig. 5.

En la Fig. 4, se define la jerarquía de las funcionalidades del router y los escenarios a los que dan lugar. Nótese que cada método se corresponde con uno de los subsistemas descritos en la capa de control.

El nivel uno del diagrama de flujo se corresponde con el subsistema de encaminamiento, el cual determina si el router encamina en función de una tabla de encaminamiento estática, dinámica o por defecto.

El segundo nivel se relaciona con el subsistema de retardo, determinando si se permite retardar las ráfagas de datos un determinado intervalo de tiempo.

El tercer nivel se corresponde con el subsistema de planificación, gestionando prioridades y calidad de servicio (QoS).

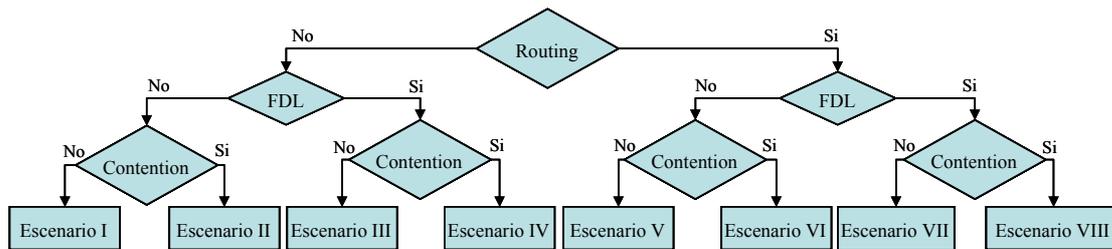


Fig. 4. Estructuración de los escenarios posibles

Debido a que existen 3 funcionalidades diferentes, se contemplan en el sistema de validación automática 8 escenarios diferentes:

- Escenario I. En el primero todas las ráfagas de entrada son encaminadas por la salida por defecto sin permitir substitutiones por planificación ni retardos.
- Escenario II. En el segundo escenario se permite la substitution de reservas, pero éstas son encaminadas por la misma salida por defecto y no pueden ser retardadas.
- Escenario III. En el tercer escenario se habilita la funcionalidad del retardador pero únicamente existe una salida por defecto y no se contemplan prioridades.
- Escenario IV. En el cuarto se considera únicamente una salida por defecto pero se permite planificación y retardo.
- Escenario V. El quinto escenario se caracteriza porque se habilita el uso de tablas de encaminamiento pero no se consideran ni prioridades ni retardos.
- Escenario VI. En el sexto escenario se habilita tanto el uso de tablas de encaminamiento como la planificación pero las reservas no pueden ser retardadas.
- Escenario VII. El séptimo escenario hace uso tanto de tablas de encaminamiento como de poder retardar las reservas, pero no contempla planificación.
- Escenario VIII. El último escenario se caracteriza por hacer uso de todas las funcionalidades. Es posible retardar las reservas, substituir las y encaminarlas en función de tablas de encaminamiento.

En la Fig. 5 se define la estructura de problemáticas que se pueden generar en cada uno de los escenarios, descritos en la Fig. 4.

En primer lugar debe determinarse si existe, o no, algún problema. Si no existe problema, querrá decir que todas las reservas han podido realizarse con éxito; en caso contrario, se avanzará en el diagrama de flujo en función de los tres tipos de problemas distintos que se han considerado:

- ♦ Descartar una ráfaga de datos porque no hay suficiente tiempo para procesar el paquete de control y actuar sobre la capa de transmisión.
- ♦ Descartar una ráfaga porque no es posible encontrarle un flujo de salida libre por donde encaminarla.
- ♦ Descartar una ráfaga porque una reserva más prioritaria ha truncado una ráfaga que en ese instante estaba transmitiéndose por el router.

Las situaciones posibles son:

- Situación A. Todas las reservas son realizadas sin producirse ningún descarte.
- Situación B. Una o varias reservas no pueden ser encaminadas por estar todos los flujos salida ocupados en ese periodo de tiempo y son descartadas.
- Situación C. Se descarta una o más reservas por no existir tiempo suficiente para procesar el paquete de control.
- Situación D. Se descarta una o más reservas por no existir tiempo suficiente para procesar los paquetes de control, habiendo sido provocado alguno de estos descartes por el truncamiento de la ráfaga de datos.
- Situación E. Existen reservas descartadas tanto por falta de tiempo para procesar el paquete de control como por la falta de un camino de salida libre.
- Situación F. Se producen los tres problemas posibles: descarte de reservas por falta de tiempo para procesar el paquete de control, descarte por no haber camino viable de salida libre y además truncamiento de ráfagas de datos debido a la llegada de otras reservas prioritarias.

La combinación de estos tres problemas dará lugar a los diferentes tests. Las variables de entrada y salida de cada uno de los tests se obtienen y comprueban teóricamente dando a lugar, junto con los escenarios, a la base de datos y a la programación de los tests para la validación automática. A cada modificación en la evolución del diseño o al final de la línea de montaje deberá ejecutarse el programa de validación de tests, para comprobar que éste cumple con las especificaciones fijadas.

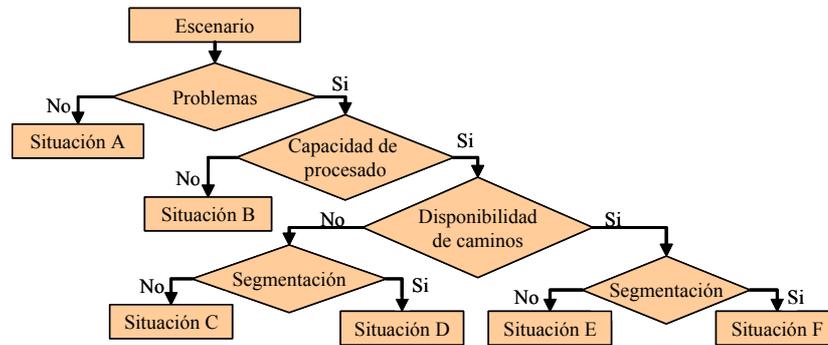


Fig. 5. Estructuración de las situaciones posibles

4. Resultados del Entorno de Validación Automático

Los resultados obtenidos se centran en la consecución de un banco de tests para la validación automática de un router OBS. Este banco de pruebas se ha estructurado según los criterios expuestos en los apartados anteriores y se sintetiza en la tabla resumen de la Tabla 1. En ella se detalla la distribución de los estados a validar, organizado en los 8 escenarios y las 6 situaciones posibles. El banco de validación contiene, actualmente, un total de 104 tests, contemplándose su ampliación en función de la detección de futuros *bugs*. A nivel de detalle, la ejecución secuencial de todos los tests del banco de validación requiere un total de 87 segundos, utilizando un ordenador personal con una CPU a 3Ghz.

El conjunto de tests que conforman cada uno de los escenarios se distribuye entre las situaciones posibles, obteniéndose una matriz de trabajo que permite analizar claramente el par escenario-situación e identificar los tests involucrados. Cada uno de estos subgrupos de tests, a su vez, se elaboran bajo la premisa de conseguir definir el mínimo número de estados, a ser posible linealmente independientes, que pueden darse lugar en cada una de las situaciones descritas.

Así pues, la cantidad de tests de cada subgrupo de la tabla varía en función de la complejidad a tratar. Por ejemplo, en un escenario con buffers de entrada no se ha considerado, inicialmente, que el router trunque una ráfaga, que ya está transmitiendo, por otra ráfaga nueva entrante (subgrupo III-E).

Tabla 1. Resumen de los tests contemplados en el banco de validación automática

| Situación | Escenario | | | | | | | |
|-----------|-----------|----|-----|----|---|----|-----|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| A | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| B | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| C | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 0 | 3 |
| D | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 |
| E | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| F | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 4 |

En todo caso, o bien retardará esta nueva ráfaga, o la descartará directamente. Por este motivo no se han definido tests que contemplen esta situación. Pero si en análisis posteriores se define como debería actuar el router, entonces solo será necesario elaborar los tests que definan este comportamiento específico.

El concepto de independencia lineal de los tests, puede comprobarse en los dos ejemplos que se presentan en las Fig. 6 y 7. En ellos, para una configuración de entrada idéntica, se generan situaciones diferentes debido a que el nodo utiliza estrategias diferentes (escenarios distintos).

En la Fig. 6 se puede observar como actúa el nodo en el estado I-B, ante la transmisión de 2 ráfagas, Fig. 6(a), que pretenden utilizar la misma longitud de onda de salida simultáneamente. En este escenario el nodo no puede aplicar retardo, planificación ni encaminamiento alternativo; con lo cual, sólo una de las ráfagas es resuelta correctamente, Fig. 6(b) mientras que la segunda genera una cancelación hacia el nodo anterior, gráfica Fig. 6(c).

En la Fig. 7 nos encontramos en el escenario III, situación A, donde el nodo resuelve la transmisión de las 2 ráfagas entrantes, Fig. 7(a), por la misma longitud de onda de salida mediante buffers de retardo, Fig. 7(b). De esta forma ambas ráfagas son encaminadas hacia el siguiente nodo.

El sistema de validación automática proporciona información precisa sobre el comportamiento del router. Esta información puede representarse gráficamente, como en las Fig. 6 y 7, o bien mediante datos estadísticos. Tal como aparece reflejado en la Tabla 2.

Las estadísticas proporcionan información sobre la cantidad de paquetes recibidos, generados y transmitidos por el nodo, así como sobre el estado de las reservas de recursos que gestiona. En el caso de la Tabla 2 se detallan las estadísticas de las situaciones planteadas en los ejemplos anteriores de los estados I-B y 3-A, Fig. 6 y 7.

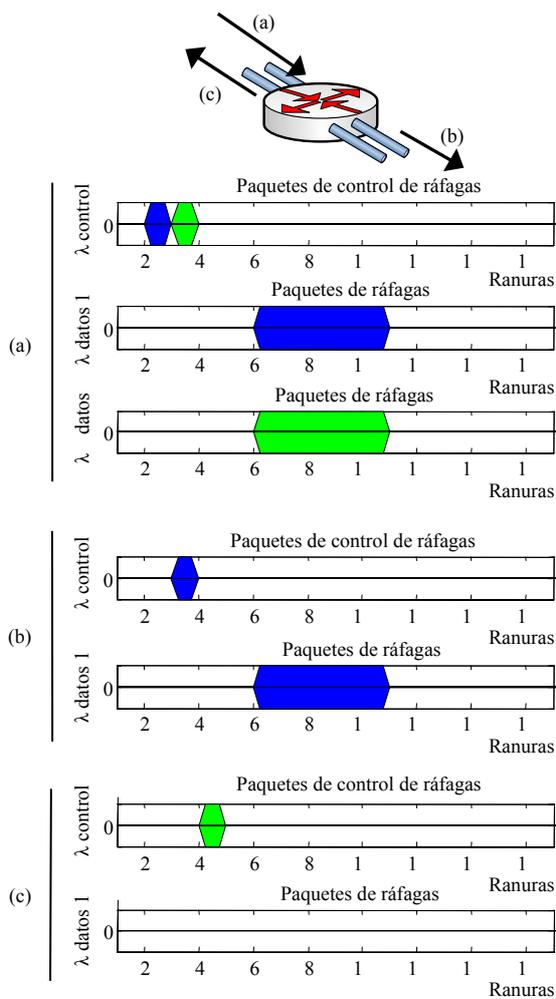


Fig. 6. Test del subgrupo de tests I-B.

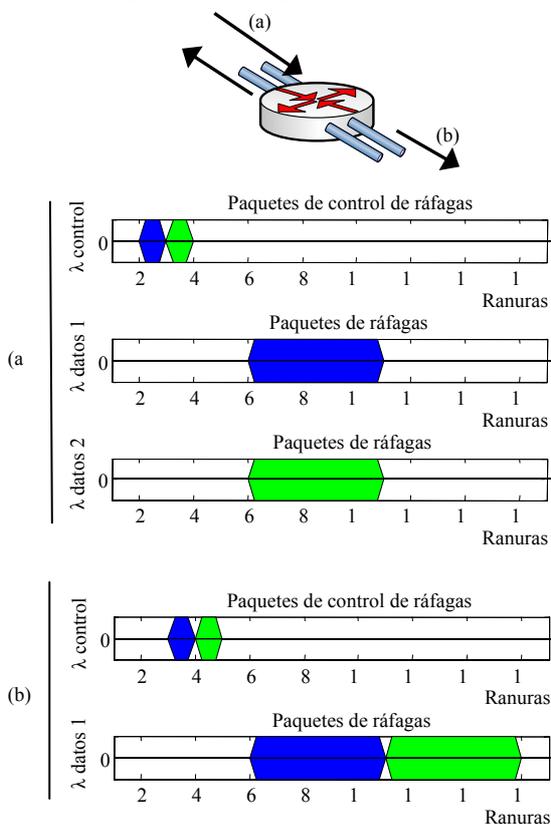


Fig 7. Test del subgrupo III-A

Tabla 2. Resumen de las estadísticas de los ejemplos correspondientes a las Fig. 6 y 7

| | Figura 7 | 8 |
|--------------------------------|----------|---|
| Paquetes recibidos | 4 | 4 |
| Paquetes recibidos control | 2 | 2 |
| Paquetes recibidos datos | 2 | 2 |
| Paquetes transmitidos | 3 | 4 |
| Paquetes transmitidos control | 2 | 2 |
| Paquetes transmitidos datos | 1 | 2 |
| Ráfagas aceptadas | 1 | 2 |
| Ráfagas descartadas | 1 | 0 |
| Ráfagas truncadas | 0 | 0 |
| Retransmisiones | 0 | 0 |
| Reservas aceptadas | 1 | 2 |
| Reservas descartadas | 1 | 0 |
| Reservas sustituidas | 0 | 0 |
| BCP (Cancelaciones) aceptadas | 0 | 0 |
| BCP (Cancelaciones) generadas | 1 | 0 |
| BCP (Cancelaciones) propagadas | 0 | 0 |

En el test del estado I-B se observa como el nodo recibe 4 paquetes, de los cuales 2 son de datos y 2 de control. En cambio transmite 3 paquetes, 1 de datos y 2 de control. En cambio transmite 3 paquetes, 1 de datos y 2 de control. Esta información se completa con los datos de 1 reserva descartada y 1 paquete de control de cancelación generado.

5. Conclusiones

El trabajo realizado en este artículo tiene como objetivo minimizar los costes y los periodos de desarrollo requeridos para realizar las implementaciones de los routers OBS. La compleja programación de esta clase de dispositivo requiere que continuamente se teste su correcto funcionamiento. Por ello, la implementación de un Sistema de Validación Automático que pueda testar el comportamiento del router es de gran utilidad para los desarrolladores, dada una determinada modificación en su programación o su funcionalidad en la línea de montaje.

La implementación de este sistema de trabajo proporciona una reducción de costes y tiempos de desarrollo y una mejora en la fiabilidad de los equipos, siendo de fácil integración en los procesos de control de calidad de las empresas. A modo de ejemplo, esta técnica ha sido utilizada en el desarrollo de un modelo teórico de core router OBS por el grupo de investigación BAMPLA de la UPC, generando una patente (P200502791) [10] y demostrando su viabilidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT) y FEDER dentro de proyecto TIC2003-09042-C03-02 y por el proyecto EURO-NGL.

Referencias

[1] Y. Chen, C. Qiao and X. Yu, "Optical Burst Switching: a New Area in Optical Networking

Research,” *IEEE Network*, Vol. 18, Issue 3, pp.16 – 23, May-June 2004.

[2] Z. Rosberg, Hai Le Vu, M. Zukerman and J. White, “Performance Analyses of Optical Burst-Switching Networks,” *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 21, Issue 7, Sept. 2003 Page(s):1187 – 1197

[3] H. Zang, P. Jue and B. Mukherjee, “A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks,” *Optical Networks Magazine.*, January 2000, pp.47-60

[4] J. Xu, C. Qiao, J. Li and G. Xu, “Efficient Channel Scheduling Algorithms in Optical-Burst-Switched Networks,” *IEEE INFOCOM* (IEEE, New York, 2003).

[5] J. Li, C. Qiao and Yang Chen, “Recent Progress in the Scheduling Algorithms in Optical-Burst-switched Networks [Invited],” *Journal of Optical Networking*, Volume 3, Issue 4, 229-241, April 2004

[6] V.M. Vokkarane, G. P. V. Thodime, V. U. B. Challagulla and J. P. Jue, “Channel Scheduling Algorithms Using Burst Segmentation and FDLs for Optical Burst-Switched Networks,” *IEEE ICC* (IEEE, New York, 2003), Vol. 2, pp. 1443–1447.

[7] H. L. Vu and M. Zukerman, “On the deflection routing in QoS supported optical burst-switched networks,” *IEEE Communications Letters*, 6(5):214-216, May 2002

[8] S.Y. Lee, I-Y. Hwang and H-S. Park, “A New Paradigm of Optical Burst Switching System for Lossless Transmission,” *ICNICONSMCL 2006*.

[9] S. Jung and M. Knag, “A New Collision-free Media Access Protocol for Metro OBS Ring Networks,” *ICACT*, pp. 790-792, February 2006.

[10] D. Guasch, C. Cervelló y D. Roca, “Sistema, implantado por ordenador, para el testeo y validación automática de implementaciones de routers OBS,” Patente nº P200502791, 2005.