

논문 2004-41TC-12-6

# GMPLS망 기반의 광 경로 설정을 위한 블로킹을 개선 방안

## (Blocking probability improvement for Lightpath Setup based on GMPLS)

임 송 빈\*, 김 경 목\*, 오 영 환\*

(Song-Bin Im, Kyoung-Mok Kim, and Young-Hwan Oh)

### 요 약

최근 인터넷 사용자 수의 증가와 새로운 서비스의 등장으로 각 응용의 요구 대역폭이 증가하였다. 따라서 Internet 트래픽은 폭주하게 되었고, 고속의 백본(backbone) 네트워크가 필요하게 되었다. 이러한 요구는 IP packet switching과 wavelength switching 모두를 동시에 수행하면서 대용량의 대역폭을 지원할 수 있는 GMPLS(Generalized Multi-protocol Label Switching) 기반의 OXC(Optical cross-connects)에 의해 만족될 수 있다. 이러한 요구를 위해서는 Core망에 많은 수의 파장 변환기가 필요하고, 구축 및 운용비용(cost-effective)이 비효율적일 뿐만 아니라 최적의 트래픽 전송제한을 받는 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 GMPLS망에서 개선된 Lightpath setup을 위한 GMPLS의 RSVP-TE 시그널링을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 setup 시그널링이 블로킹 되었을 때, edge router까지 PathErr 메시지를 전송하는 것이 아니라 파장 변환을 수행할 수 있는 최단거리에 위치한 람다 라우터를 찾고, 그 노드로부터 setup 시그널링을 다시 수행한다. 본 알고리즘은 Lightpath setup 시그널링의 블로킹 확률을 줄일 수 있으며, 적절한 파장 변환기 수를 산출하여 core망에서 람다 라우터의 효율적인 배치도 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

### Abstract

Increase of internet users and new types of applied traffics, have led to demand for more bandwidth for each application. Hence, the amount of internet traffic has risen sharply and it has demanded to use limited resources, such as wavelength and bandwidth, more effectively. These kind of needs can be satisfied with OXC(Optical cross-connects) based on GMPLS that carry out IP packet switching and wavelength switching at the same time and provide very wide bandwidth. In RSVP-TE signaling of GMPLS studied by IETF, every lambda router in core network should be able to convert wavelength. So, lots of wavelength converters and needed and building and managing cost is high. Another problem is that optimized traffic is limited.

In this paper We suggest strengthened GMPLS RSVP-TE signaling algorithm for a better lightpath setup. When setup signaling is blocked, suggested algorithm does not send PathErr message to Edge Router, but looks for nearest lambda router which can convert wavelength and carry out setup signaling from that node. Such algorithm can reduce the chance of blocked lightpath setup signaling and provide effective arrangement of lambda router in core network by calculating proper number of wavelength converter.

Keywords : GMPLS, OXC

### I. 서 론

최근 전 세계의 통신 업체들은 인터넷, 실시간 방송, 멀티미디어 서비스 등의 발전에 따라 폭발적인 전송 속

도의 증가를 예측하고 있다. 이러한 현실 속에서 네트워크의 전송 속도를 향상시키기 위해 사용한 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저 전송량을 늘리는 방법과 전송 절차를 간소화 시켜서 중간노드(라우터등)에서 처리 속도를 증가하는 방법이다. 전송량을 늘리는 방법으로는 다중 파장을 이용하는 DWDM (Density Wave-length Division Multiplexing) 방식을 들 수 있고, 전송 절차를 간소화시키는 방법으로는 통합 라우팅 방식(integrated routing)에 기반을 둔 MPLS (Multi

\* 정희원, 광운대학교 전자통신공학과  
(Dept. of Electronics and Communications  
Engineering, Kwangwoon University)

※ 이 논문은 2004년도 광운대학교 교내 학술 연구비  
지원에 의해 연구되었음.

접수일자: 2004년10월18일, 수정완료일: 2004년11월19일

-Protocol Label Switching)를 들 수 있다. 오늘날에는 이 두 방식을 하나로 통합하는 방식, 즉, Generalized MPLS 방식이 포괄적으로 연구 개발 되어지고 있다.<sup>[1][2][3]</sup> 그리하여 장래의 데이터 전송망은 라우터, 스위치, DWDM 시스템, Add-Drop Multiplexor (ADM), 그리고 PXC (Photonic cross-connect) 혹은 OXC (Optical cross-connect)등의 망 요소들이 이루어질 것이다.

GMPLS는 MPLS에서의 제어 평면을 이러한 다양한 장치의 스위칭과 Forwarding 기술 및 계층을 포함할 수 있도록 확장하였다. 초기에 MPLS란 이름으로 람다 스위칭을 지원하는 방안이 거론되었지만, 곧 보다 더 일반화된 GMPLS란 이름으로 람다 스위칭 뿐 아니라 다른 기술들까지 포괄하는 방향으로 발전하였다. 이러한 일반적인 결과로 SONET ADM 등의 시분할(time-division), 파장분할(lambda), 공간 스위칭(포트 혹은 파이버간)등의 각 기술로 구현된 망들의 계층적 중첩 형태로 이루어진 망들이 하나의 제어평면으로 연결될 수 있게 하였다.<sup>[4][5]</sup> GMPLS는 이러한 복합적으로 구성된 망 환경에서도 하나의 제어평면으로 망 자원을 동적으로 Provisioning하고 망 보호 (protection), 회복(restoration), 등의 기술을 사용하여 망의 survivability를 지원할 수 있게 한다. GMPLS는 그 이름이 의미하듯 이 MPLS를 일반화하여 그 적용범위를 넓힌 것이다. 따라서 MPLS의 모든 것이 대부분 포함되지만, GMPLS에는 nonpacket-based forwarding 평면이 포함되므로 이러한 부분은 조금 상이한 부분도 가지게 된다. 또한, GMPLS로의 확장과정에서 현재의 MPLS에도 적용될 부분들도 추가가 되었다.<sup>[6][7]</sup>

GMPLS에서 파장 경로는 광 레이블 스위치 경로 (Optical Label Switch Path)라 불려지고, 트래픽 분산 처리 환경에서 요구되는 기능은 GMPLS (Generalized multi-protocol label switch)에 의해서 구성되고, 해제된다. Optical MPLS 라우터는 스위칭과 GMPLS의 기능 두 가지를 모두 제공하고, IP와 광 네트워크 자원에 의해 구성되는 최적의 네트워크 구축을 가능하게 한다.<sup>[8][9][10]</sup> 최근에 광전송 네트워크에서 자동 광 경로 설정, 해제는 매우 중요한 요소이다. 현존하는 컨트롤 프로토콜을 재사용하고, 광 네트워크에서 새로운 클래스를 재 배치하는 것은 논의되고 있다. 현재 차세대 광 네트워킹을 위한 control plane 설계계획에 의해서 광 경로의 자동 설정, 해제와 같은 Generalized Label Switching Paths (G-LSPs)를 가능하게 한다.<sup>[11][12][13]</sup>

본 논문에서는 Lightpath setup을 위한 보완된 GMPLS의 RSVP-TE 시그널링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 광 경로 설정 블로킹 시 블로킹된 람다 라우터에서 파장 변환을 수행할 수 없다면 상위 노드 중에 파장 변환기를 이용할 수 있는 람다 라우터로 PathErr message를 보내고, 파장변환을 수행한다. 그렇지만 기존의 GMPLS 시그널링에는 이러한 Code는 없다. 이러한 이유로 본 논문에서는 RSVP-TE의 PathErr 메시지에서 새로운 코드를 제안하였다.

제안한 알고리즘과 기존의 시그널링의 블로킹 확률과 소스 레이저의 각 튜닝에 대한 블로킹 확률, 그리고 backward node로의 블로킹 확률을 비교함으로써 효율을 산출하였다. 제안한 알고리즘은 네트워크 설계자가 적절한 파장 변환기를 분배함으로써 cost측면에서도 효과적일 뿐만 아니라 하드웨어적인 별도의 지원 없이 블로킹 기능을 개선할 수 있다. 따라서 본 논문은 GMPLS 시그널링을 강화하여 여러 종류의 트래픽 처리를 위한 공통된 람다 라우터의 효율적인 파장 운용이 구현될 것으로 사료된다.

## II. 본 론

### 1. Generalized MPLS

GMPLS 망을 일반화 시키면서 확장된 부분은 크게 4가지로 구분된다.

첫 번째, LSP 계층화(Hierarchy)이다. GMPLS 망에서는 패킷에 의한 스위칭 외에 time-slot,  $\lambda$ (Lambda), 파이버(fiber) 스위칭도 지원한다. 다시 말해서 새로운 종류의 인터페이스 사이에서 포워딩 계층 구조를 갖는다. 하지만 GMPLS 망에서는 같은 인터페이스 사이에서 포워딩 계층뿐 아니라, 다른 종류의 인터페이스 사이에서도 LSP의 계층관계를 가질 수 있게 된다. 그림3은 GMPLS 망의 전달 계층 구조를 보여주고 있다.

Packet-Switching Capable(PSC) 인터페이스는 패킷(packet) 및 셀(cell)의 경계를 인식하고 헤더 정보에 따라 데이터를 전달한다. Time-Division Multiplex Capable(TDM) 인터페이스는 time-slot에 따라 데이터를 전달한다. Lambda Switching Capable(LSC) 인터페이스는 파장에 의해서 데이터를 전달한다. Fiber-Switching Capable(FSC) 인터페이스는 실제 물리공간적인 위치를 기반으로 데이터를 전달한다.

두 번째는 두 노드 사이에 존재하는 링크가 MPLS 망에서는 10개 정도였지만, GMPLS로 가면서 두 노드

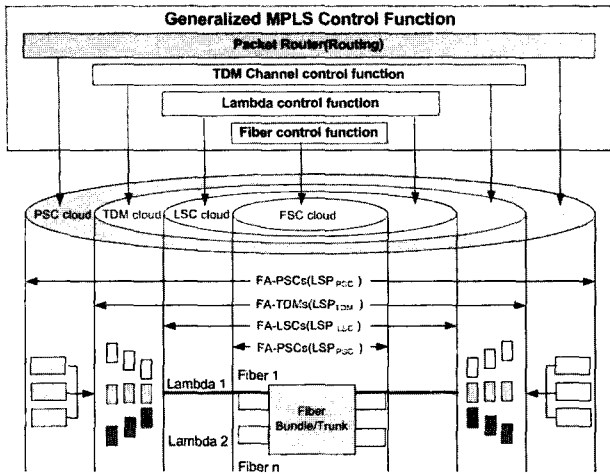


그림 1. GMPLS-LSP 계층화  
Fig. 1. GMPLS-LSP Hierarchy.

사이에 수 백 개의 링크가 놓일 수 있고, 또는 각각에서 수 백 개의 Lambda로 데이터를 전송할 수 있다. 그러면, 두 노드 사이에 지나가는 제어 정보가 너무 많아지기 때문에 비슷한 링크끼리는 묶어서 하나로 간주하고, 제어 정보를 한번만 보내게 하는 방법으로 Link Bundle 이라고 한다.

세 번째는 이런 각각의 링크나 Lambda에다가 라우팅을 하기 위해서 IP 주소를 할당해야 한다. 그러나 현재 IP 주소도 고갈 상태이다. 그래서 각각에 IP주소를 할당하는 것이 아닌 라우터 IP, 링크 번호의 정보를 주고받는다. 이런 방법을 Unnumbered Links라고 한다.

네 번째는 주위 링크에서 장애가 발생하면 그것을 주위 노드에게 알려주는 LMP(Link Management Protocol)을 이용해서 링크의 제공과 장애를 분리시키고 있다. LMP는 노드에 대해서 제어채널 관리, 링크연결 확인, 링크 속성관계, 장애 분리로 나누어서 제공하도록 설계되어진다.

2. 기존의 GMPLS망 광 경로 설정

가. 람다 라우터

그림 2와 그림 3은 에지 라우터(Edge Router)와 코어 라우터(Core Router)의 구조를 보여준다. 에지 라우터에서는 incoming packet의 종류(MPLS label packet, SONET/SDH의 time slot, 파장 레이블  $\lambda$ )에 따라서 bundling을 해준다.

Core망의 람다 라우터는 단 방향 파이버(fiber) 쌍으로 구성된다. 이 파이버는 람다 라우터의 연결에 사용된다. incoming 파이버와 outgoing 파이버는 여러 개의 람다에 의해 구성된다. 파이버로부터 incoming 시그널은 처음에

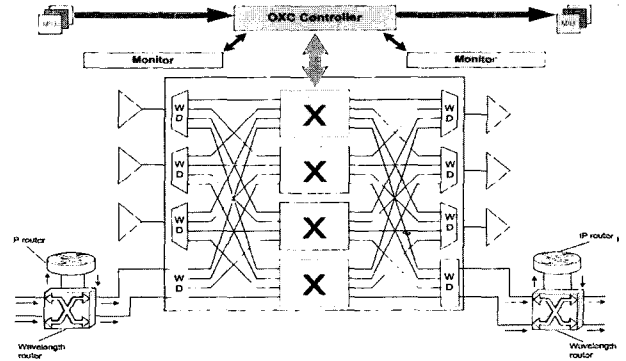


그림 2. 에지 라우터  
Fig. 2. Edge Router.

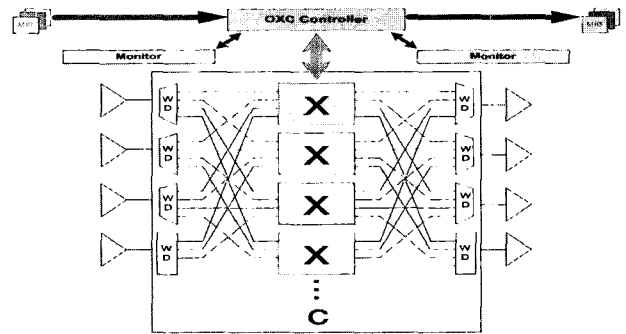


그림 3. 코어 라우터  
Fig. 3. Core Router.

광 스위치로 들어가기 전에 분리된 람다로 복호된다. 광 스위치에서 신호가 나갈 때에는 파이버로 보내기 전에 파장 다중화(wavelength multiplexing)를 한다.

여기서 같은 람다는 동시에 같은 경로로 나갈 수 없다. 즉, 잠재적인 파장 충돌을 피하기 위해서 라우터는 파장 변환기(wavelength converter)를 필요로 한다. 람다가 들어올 때 이미 같은 람다가 사용 중 이라면 그 들어오는 람다는 outgoing 파이버로 경로를 설정하기 전에 람다의 변환이 필요하다. 파장 변환기는 incoming 람다를 사용하지 않는 새로운 파장으로 변환시킨다

나. GMPLS에서의 광 경로 설정

본 절에서는 소스에서 목적지까지 GMPLS 광 경로 설정에 대해 설명한다. 우선 RSVP-TE를 사용한 GMPLS 확장을 사용한다고 가정한다. 시그널링은 downstream 요구 모드에 의해 접근하는데 upstream node에서 전송된 setup 레이블 요구에 의해 downstream node는 요구에 응답하여 특별한 레이블을 할당한다. 앞에서 언급한 것과 같이 시그널링은 소스에서 목적지까지 홉 바이 홉(hop-by-hop)으로 레이블 요구가 구성되고, 반대로 목적지에서 스스로의 레이블 할당이 연속적으로 일어난다. RSVP-TE에서 레이블 요구는

path message에 포함된다. 레이블이 할당되는 동안 Resv message가 포함된다. 본 논문의 중점은 특별한 레이블이 특별한 램다로 동기화 된다는 것이다.

소스에서 어떤 목적지로의 광 경로 구축이 필요할 때에 라우터는 처음에 목적지까지의 경로를 결정한다. 경로가 결정되면 소스는 RSVP-TE path message에 레이블 요구 객체를 포함한다. 요구 경로가 결정되면 노드는 연결될 다음 노드를 기록한다. GMPLS에서 upstream node는 레이블의 요구만으로 구성되며 downstream node가 setup 경로를 선택한다. 이러한 레이블 요구와 예약 객체는 path message에 포함되며, upstream node가 파장 변환을 수행할 필요가 없기 때문에 노드에 있어서 매우 유용하다. 그리고 downstream node는 레이블을 할당하고, upstream node가 채택할 것이다. 그림 4는 광 경로 설정의 단계를 설명한다. Step (a)에서 소스 노드(source node)는  $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6\}$  6개의 레이블을 path message에 포함한다. 이것은 소스 레이저(source laser)에서 사용 가능한 6개의 램다를 말한다. 그 다음 램다 라우터는 incoming 레이블과 사용 가능한 레이블을 교집합으로 비교해본다. 첫 번째 램다 라우터에서  $\lambda_2$ 와  $\lambda_3$ 는 이미 사용 중이기 때문에  $\lambda_1, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ 이 레이블로 산출되고, 다음 hop으로 path message를 통해 포워딩(forwarding) 된다.

각 램다 라우터는 목적지까지 레이블을 똑같은 방법으로 교집합을 구해나가며 수행한다. 그런 다음 채택된 레이블 중에 하나를 선택한다. 그 후에 목적지는 step (b)에서 보여주는 것과 같이 레이블을 선택하고, 선택한 레이블  $\lambda_5$ 는 소스까지 할당된다. 모든 레이블이 그 경로로 할당된다면 소스에서 목적지로의 광 경로는  $\lambda_5$ 로 설정된다.

그림 5는 파장 변환이 필요한 경우를 설명한다. 위와 같이 소스의 레이블 구성은  $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6\}$ 로 path message에 포함된다. 첫 번째 램다 라우터는 교집합 연산을 수행하고, outgoing 레이블로  $\{\lambda_1, \lambda_5, \lambda_6\}$ 을 생성한다. 두 번째 램다 라우터는 outgoing 레이블로  $\lambda_1$ 을 발생시킨다. 세 번째 램다 라우터에서는 incoming 레이블과 사용 가능한 레이블을 가지고 교집합 연산을 수행했을 때 생성된 레이블은 존재하지 않는다. 만약 램다 라우터가 파장 변환을 수행해서도 outgoing 레이블이 없다면 소스에게 PathErr message를 보낸다.

모든 램다 라우터가 파장 변환을 할 수 있다면 step

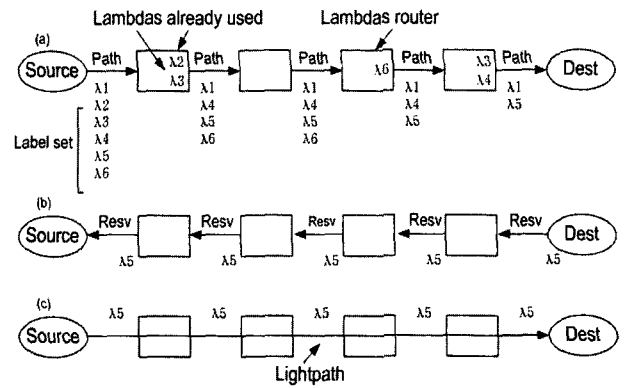


그림 4. RSVP-TE 시그널링  
Fig. 4. RSVP-TE Signaling.

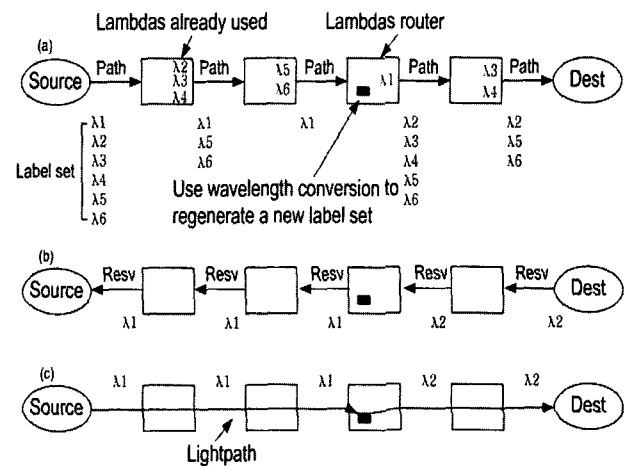


그림 5. 파장 변환 시 광 경로 설정  
Fig. 5. Lightpath setup of wavelength conversion.

(a)와 같이 레이블 set의 교집합 연산을 수행하지 않고, 파장 변환을 통해서 적절한 레이블을 찾는다. 파장 변환은 광 경로 설정을 완성시키기 위해 보다 유리하다. 그러나 파장 변환을 자주 수행하여 광 경로를 설정할 경우 그렇지 못할 경우에 비해서 delay가 발생하고, 또한 cost 측면에서도 모든 램다 라우터에 많은 수의 파장 변환기를 설치하는 것은 비효율적이다.

### 3. 제안한 알고리즘

GMPLS에서 광 경로는 outgoing label set이 없거나 램다 라우터에서 이용할 수 있는 파장 변환기가 없다면 블록된다. 여기에서 outgoing label set은 실제로 존재할 수도 있다. Upstream node에서 파장 변환을 통해서 레이블 set을 확장할 경우 outgoing label set은 존재할 수도 있기 때문이다. 제안한 알고리즘에서는 광 경로 설정 실패시 램다 라우터에서 파장 변환을 수행할 수 없다면 upstream node중에 파장 변환기를 이용할 수 있는 램다 라우터로 PathErr message를 보내고,

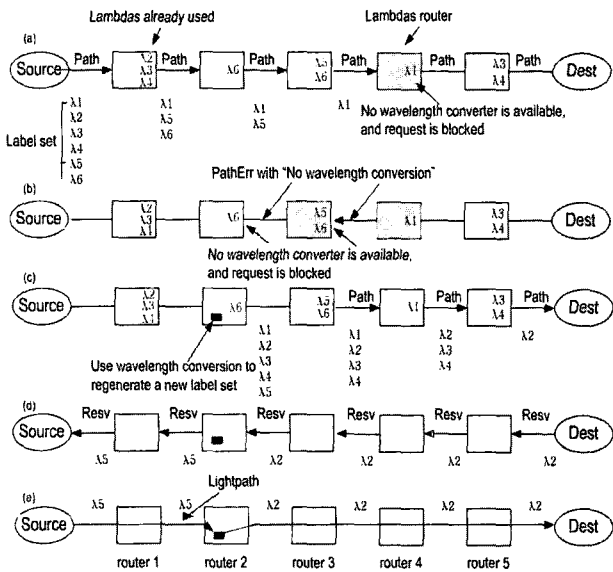


그림 6. 광 경로 설정  
Fig. 6. The lightpath setup.

그 램다 라우터에서 파장 변환을 수행한다. 그렇지만 GMPLS에는 이러한 code는 없다. 이러한 이유로 본 논문에서는 RSVP-TE의 PathErr 메시지에서 새로운 코드를 제안한다.

그림 6에서 step (a)의 Lambda Router 4에서 사용할 수 있는 파장 변환기가 있다면 레이블 set은 구성된다. 그렇지만 Lambda Router 4에서 사용할 수 있는 파장 변환기가 없다면 이웃한 upstream node로 “no wavelength conversion” 보내지게 되고, 이 메시지는 소스 노드에게 계속적으로 전달되고 레이블 set은 실패한다.

제안한 알고리즘은 처음에 패스 메시지를 받은 램다 라우터가 사용할 수 있는 램다와 레이블 set을 비교한다. 그림 6에서 step (a)의 램다 라우터 4처럼 램다와 레이블 set의 교집합 연산 결과 생성된 레이블 set이 없다면 파장 변환을 수행해야 한다. 하지만 그림 6의 램다 라우터 4에서 파장 변환을 수행할 수 없다면 step (a)와 같이 upstream node로 “no wavelength conversion”이란 메시지를 보내지게 되고, 이웃한 upstream node 또한 사용 가능한 파장 변환기를 확인한다. 이 램다 라우터 3도 역시 파장 변환을 할 수 없다면 “no wavelength conversion”이란 메시지를 upstream node인 램다 라우터 2에게 보내게 된다. upstream node중 사용 가능한 파장 변환기를 가지고 있는 램다 라우터, 즉 여기서 램다 라우터 2에서와 같이 사용가능한 파장 변환기가 있는 노드를 찾았다면 그 노드에서 보낼 수 있는 레이블 set을 다시 구성하

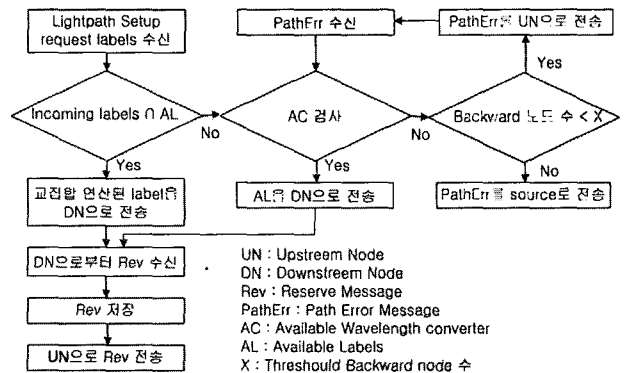


그림 7. 제안한 램다 라우터 알고리즘  
Fig. 7. The lambda router algorithm.

여 downstream node로 전송하는 step (c)의 과정을 수행한다. step (d)에서 경로가 설정되면 소스로 예약 메시지를 전송한다. 그리고 step (e)에서처럼 램다 라우터 2까지는  $\lambda_5$ 로, 그 다음부터는 파장 변환 후  $\lambda_2$ 로 광 경로가 설정되고, 데이터가 전송된다.

그러나 위와 같은 알고리즘을 수행하였을 때 backward node 수가 문턱치 값 이상을 넘었을 경우 delay가 발생할 수 있다.

따라서 그림 7과 같이 backward node 수가 문턱치 값 이하의 경우에는 upstream node로 PathErr을 전송하고, 문턱치 값 이상일 경우에는 source로 PathErr를 전송하여 경로를 다시 설정한다.

### III. 실험

#### 1. 가정

시뮬레이션 모델을 다음과 같이 가정한다.

- 광 경로에서 도착하고, 나가는 message는 random 한 동적인 환경이다.
- 광 경로 요구는 Poisson 프로세서에 의해 고려되어 도착되고, 광 경로의 hold time은 지수 분포를 따른다.
- 블로킹된 광 경로는 삭제된다.
- 광 경로 설정과정은 constraint shortest path first(CSPF)를 따른다.

#### 2. 시뮬레이션 모델

전형적인 backbone망구조인 링형 구조를 고려하고, 각 방향 당 M개의 fiber로 구성되는 양방향 연결이다. 시뮬레이션에서 M=4, W=40, m=20으로 설정한다. 여기서 W는 1개의 fiber당 파장의 수이며 이론적으로 40채

널까지 구현 가능하고, m은 램다 라우터의 일반적인 multiplexer 수이다. 그리고 램다 라우터는 C개의 파장 변환기를 가지며, priority class는 2로 한다.

3. 성능 평가

본 논문에서는 기존의 GMPLS 시그널링과 비교하여 제안한 알고리즘의 효율을 나타내고자 여러 변화에 따른 블로킹 확률을 비교해 보았다.

GMPLS의 시그널링에서와 같이 파장 변환이 없을 경우의 블로킹 확률( $P_{b(a)}$ )과 제안한 알고리즘과 같이 파장 변환이 있는 블로킹 확률( $P_{b(b)}$ )은 식(1)과 식(2)와 같다.

$$P_{b(a)} = \frac{\frac{u^{W\Delta}}{W\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{u^k}{k!}} \tag{1}$$

$$P_{b(b)} = \frac{\frac{(u/W)^\Delta}{\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{(u/W)^k}{k!}} \tag{2}$$

네트워크의 여러 서비스에 대한 priority를 고려해야 한다. 따라서 각각의 priority classes(class1, class2, class3)를 부여하면 네트워크의 전체 트래픽 양 u는 식(3)과 같이 표현되고, priority class j의 트래픽 양은 식(4)와 같다.

$$u = \sum_{j=1}^c \frac{\lambda_j}{\mu} \quad (j \in [1, c]) \tag{3}$$

$$u_j = \sum_{i=1}^j \frac{\lambda_i}{\mu} \tag{4}$$

또한 add/drop node에서 background 트래픽을 고려

표 1. 성능평가 파라미터  
Table 1. Performance parameters.

$u$	트래픽 양 ( $\lambda / \mu$ )
$\lambda$	트래픽 도착 속도(packet/sec)
$\mu$	서버 속도(packet/sec)
$W$	input/output 파장 변화량
$\Delta$	arrival queue ( $k = 1, \dots, k$ )
$m$	파장 변화기 수 ( $w=1, 2, 3, \dots, n$ )
$C$	파장수의 변화량

해야 한다. background 트래픽은  $\lambda_{b,n} = \alpha\lambda$ 로 표현되고, priority class j를 갖는 n노드에서의 트래픽 양  $u_{j,n}$ 은 다음과 같다.

$$u_{j,n} = \sum_{i=1}^j \frac{\lambda_{i,n} + \lambda_{b,i,n}}{\mu} \tag{5}$$

위의 식들을 종합해 보면 priority class j, H홉(hop)의 경로를 갖을 때의 블로킹 확률은 다음의 식(6), (7), (8)과 같다. 식(6)은 일반적인 논리적 채널 연결에서의 블로킹 확률이고, 식(7)은 파장 변환을 포함할 때의 블로킹 확률, 식(8)은 파장 변환이 없는 경우의 블로킹 확률을 각각 나타내었다.

$$P_{b(NAL)} = 1 - \prod_{n=1}^H \left\{ 1 - \frac{u_{j,n}^K}{m^{k-m}} \frac{1}{m!} \left[ \sum_{k=0}^{m-1} \frac{u_{j,n}^k}{k!} + \frac{u_{j,n}^m}{m!} \sum_{k=m}^{\Delta} \left( \frac{u_{j,n}}{m} \right)^{k-m} \right]^{-1} \right\} \tag{6}$$

$$P_{b(Optical, conversion)} = 1 - \prod_{n=1}^H \left( 1 - \frac{\frac{u_{j,n}^{W\Delta}}{W\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{u_{j,n}^k}{k!}} \right) \tag{7}$$

$$P_{b(Optical, non-conversion)} = \left[ 1 - \prod_{n=1}^H \left( 1 - \frac{\frac{(u_{j,n}/W)^\Delta}{\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{(u_{j,n}/W)^k}{k!}} \right) \right]^W \tag{8}$$

그리고 backward node로의 블로킹 확률( $P_{Bn}$ )은 다음과 같다.

$$P_{Bn} = \prod_{n=1}^{H-Bn} \left( 1 - \frac{\frac{u_{j,n}^{W\Delta}}{W\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{u_{j,n}^k}{k!}} \right) \times \prod_{b=0}^{Bn} \left[ 1 - \prod_{n=1}^{H-Bn} \left( 1 - \frac{\frac{u_{j,n}^{W\Delta}}{W\Delta!}}{\sum_{k=0}^{\Delta} \frac{u_{j,n}^k}{k!}} \right) \right] \tag{9}$$

4. 결과 및 고찰

시뮬레이션은 소스 레이저의 튜닝(tuning) 변화에 따른 블로킹 확률과 제안한 알고리즘의 블로킹 확률의 효율을 산출한다.

표 2. 성능평가 파라미터  
Table 2. Performance parameters.

$Bn$	backward node 수
$m$	multiplexer 수

여기서 "No tuning"은 소스레이저가 조절할 수 있는 파장의 여분이 없는, 즉 레이블이 하나밖에 없는 상태를 말한다. "limited tuning"은 8개의 파장중에 하나를 선택할 수 있는 경우를 말하고, "full tuning"의 경우는 소스 레이저가 어떤 파장이든지 선택할 수 있는 경우를 말한다.

그림 8은 소스 레이저의 tuning에 대한 블로킹 확률을 보여준다. 그림에서 나타나듯이 소스 레이저가 보다 많은 파장을 가질 때 소스 노드는 Lambda Router에게 더 큰 레이블을 구성할 수 있게 하고, 또한 블로킹 확률을 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 홉(hop)수를 20으로 고정하고, 파장 변환기의 수를 증가시켰을 때 tuning별 블로킹 확률을 비교하였다.

그림 10과 그림 11은 트래픽 양이 증가함에 따라 소스 레이저를 full tuning과 no tuning 했을 때 제안한 알고리즘의 블로킹 효율을 나타내었다. 그림 10과 그림 11에서 각각 성능 향상을 보임을 확인 하였다. 또한 네트워크 구성 시 네트워크 설계자는 cost 측면을 고려해야 하는데 그림 11에서 보듯이 제안한 알고리즘은 no tuning시 더 우수한 효율을 나타내었다.

그림 12와 그림 13는 중간의 어떤 램다 라우터에서

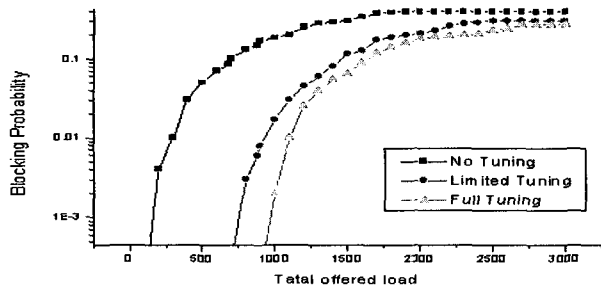


그림 8. 소스 레이저의 tuning에 대한 블로킹 확률  
Fig. 8. The blocking probability of source laser's tunability.

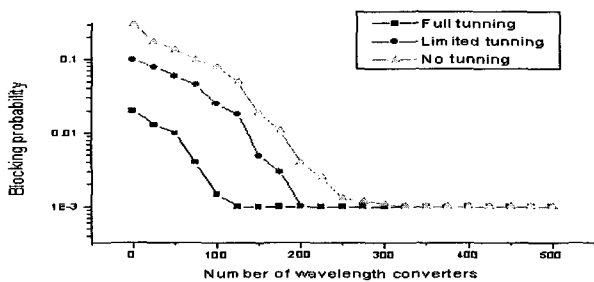


그림 9. 파장 변환기 수에 따른 블로킹 확률  
Fig. 9. The blocking probability for number of wavelength converters.

블로킹 되었을 경우에 upstream node로 backward 하면서의 블로킹 확률과 delay time을 각각 나타내었다.

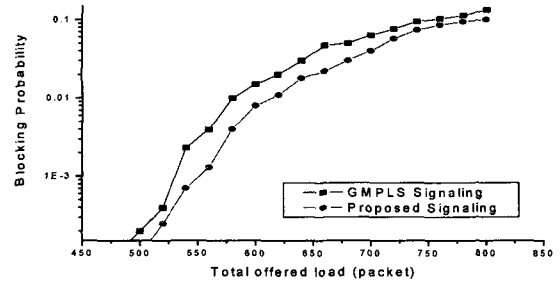


그림 10. Full tuning시 블로킹 확률  
Fig. 10. The blocking probability : Full tuning case.

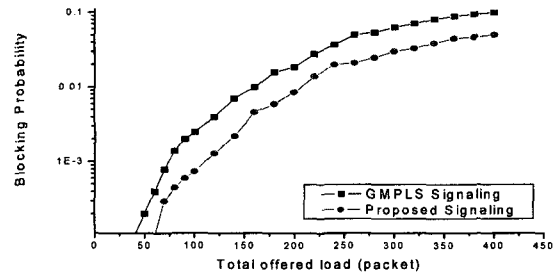


그림 11. No tuning시 블로킹 확률  
Fig. 11. The blocking probability : No tuning case.

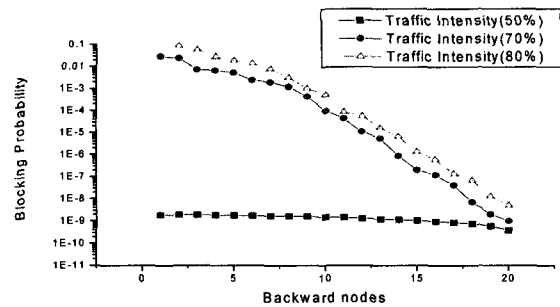


그림 12. Backward node 수에 대한 블로킹 확률  
Fig. 12. The blocking probability for number of backward nodes.

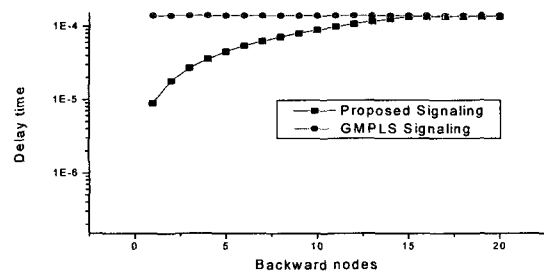


그림 13. Backward node 수에 대한 delay time  
Fig. 13. The delay time for number of backward nodes.

그림 12는 대역폭에서 트래픽 양이 많을 경우에 backward시 블로킹 확률이 보다 큰 값으로 감소하는 것을 확인하였다.

그림 13에서는 backward할 때 delay time을 나타냈다. 그림에서 전체 노드 수의 약 75%까지는 backward시 기존의 시그널링 보다 delay time면에서도 성능 향상을 보임을 확인하였다.

#### IV. 결 론

인터넷 트래픽의 폭발적 증가는 고속의 백본 네트워크를 필요로 하게 되었으며 대용량의 IP 패킷 처리의 한계에 도달하게 되었다. 이러한 요구에 IP 패킷 스위칭과 파장 경로 스위칭 두 가지를 모두 처리할 수 있는 Optical GMPLS 라우터가 출현하였으며 트래픽 해결의 실마리를 제공하게 되었다. Optical MPLS 라우터는 패킷 스위칭과 파장 스위칭 두 가지 기능을 모두 제공하고 있으며 분산처리에서 고려되어지는 IP와 광 네트워크 자원에 의해 구성되어지는 최적의 네트워크 구축을 가능하게 한다.

IP 라우터와 램다 라우터 기능을 동시에 수행할 수 있는 GMPLS 기술이 위의 조건을 만족시키기 위한 기술로 소개되고 있으며 본 연구에서도 광 네트워크 기반에서 GMPLS의 시그널링 과정을 제안하였다. 모든 램다 라우터의 경로 설정을 위한 파장 변환기 설치하는 네트워크 시스템 복잡도를 증가시킬 뿐만 아니라 필요 이상의 블로킹 확률이나 delay time측면에서도 비효율적이다.

제안한 알고리즘은 네트워크 설계자가 적절한 파장 변환기를 분배함으로써 cost측면뿐만 아니라 하드웨어적인 별도의 지원 없이 블로킹 기능을 개선할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 GMPLS 시그널링을 강화하여 여러 종류의 트래픽 처리를 위한 공통된 램다 라우터의 효율적인 파장 운용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

[1] Y. Xue et al., "Carrier Optical Service Requirements," IETF Draft, Works in Progress, Jul. 2001.  
 [2] K. Kompella et al., "OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS," IETF Draft, Works in Progress, Jul. 2001.

[3] P. Ashwood-Smith et al., "GMPLS-Signaling Functional Description," Internet draft, Apr. 2002.  
 [4] E. Mannie et al., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture," IETF Draft, Works in Progress, Jun. 2001.  
 [5] Berger, et al., "Generalized MPLS-RSVP-TE extensions," Internet draft, Apr. 2002.  
 [6] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS signaling-CR-LDP extension," Internet draft, July 2001.  
 [7] E. Mannie et al., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture," IETF Draft, Works in Progress, Jun. 2001.  
 [8] J. M. Yates et al., "Wavelength Converters in Dynamically Reconfigurable WDM Networks," *IEEE Communications Surveys*, pp. 2-14, Sencon Quarter 1999.  
 [9] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS Signaling-RSVP-TE Extensions," IETF Draft, Works in Progress, Jul. 2001.  
 [10] K. Kompella et al., "IS-IS Extension in support of Generalized MPLS," IETF Draft, Sept. 2000.  
 [11] L.-C. Kao and Tsai, "performance Analysis of A Generic GMPLS Switching Architecture with Flush Capability," *proc. IEEE ICC'02*, vol. 2, pp. 1006-1010, 2002.  
 [12] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data networks*, 2nd ed., Upper Saddle River, N.J. Prentice-Hall, 1992.  
 [13] R. A. Barry and P.A. Humblet, "Models of blocking probability in all-optical networks with and without wavelength changers," *IEEE J. on Selected Areas in Communication*, vol. 14, issue 5, pp. 858-867, June 1996.



저 자 소 개



임 승 빈(정회원)  
 1995년 강남대학교  
 전자공학과 졸업 (공학사)  
 2002년 광운대학교 대학원  
 전자통신공학과 졸업  
 (공학석사)  
 <주관심분야: Optical Internet,  
 OXC, GMPLS>



김 경 목(정회원)  
 1996년 서울산업대학교  
 전자공학과 졸업 (공학사)  
 2002년 광운대학교 대학원  
 전자통신공학과 졸업  
 (공학석사)  
 2004년 현재 광운대학교 대학원  
 전자통신공학과 재학  
 (박사과정)  
 <주관심분야: Optical Internet, MPLS, GMPLS>

오 영 환(정회원)  
 2004년 현재 광운대학교 전자통신공학과 교수  
 <주관심분야: 통신망>

