

논문 2004-41TC-12-2

GMPLS 기반의 동적 경로 설정을 위한 제어 및 관리 프로토콜 성능 평가

(Performance Evaluation of control and management protocol for
Dynamic lightpath setup based GMPLS network)

김 경 목*, 오 영 환*

(Kyoung-Mok Kim and Young-Hwan Oh)

요 약

최근 인터넷 트래픽의 종류 및 크기의 다양화로 인해 광 네트워크의 동적인 경로 설정을 위한 GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) 기반의 트래픽 제어 및 관리 프로토콜이 지속적으로 제안되고 있다. 이에 본 논문에서는 광역정보를 이용한 프로토콜과 지역정보를 이용한 프로토콜을 기반으로 한 네트워크 성능평가를 통해 두 가지 프로토콜의 특성을 비교 분석하였다. 네트워크 성능평가를 위해 변화 정보에 대한 업데이트 주기 및 임계값을 평가 메트릭으로 사용하여 트래픽 발생 율에 따른 연결 설정 시간, 제어신호 요구 대역폭, 경로 설정 블로킹 확률을 산출하였다. 평가된 프로토콜은 미래의 IP네트워크를 위한 광대역 네트워크의 필요조건이며 이는 고속의 백본 네트워크를 만족시키는 솔루션이 될 것으로 사료된다.

Abstract

As the internet traffic type and size have been diversified in recent years, the GMPLS-based distributed control and management protocol have surfaced as a serious issue for dynamic optical lightpath setup. In this reason, we investigated and analyzed network performance and protocols using global information-based link state approach and local information based link state approach. We calculated connection setup time, required control bandwidth and setup blocking probability that made from network update period and threshold metrics according to traffic arrival rate. The evaluated results will be used in broadband network and adopted for high speed network in the future widely .

Keywords : GMPLS

I. 서 론

최근 인터넷 트래픽의 급격한 증가로 인해 서비스 요구 대역폭이 무한히 증가하고 있다. 이를 해결하기 위한 해결책으로 광 네트워크가 소개되었으며 이는 이론적인 무한대의 대역폭을 제안할 뿐 궁극적인 트래픽 해소 측면에는 완벽한 솔루션을 제공하지 못하고 있다. 광 네트워크의 구성 필요조건으로는 다양한 클라이언트의 시그널을 처리하는 경로의 빠른 설정 및 해제가 되

어야 하며 이를 위한 요구조건으로 파장 할당 및 자원 예약과정이 반드시 선행되어야 한다. 따라서 미래의 IP 네트워크에서 동적인 광 경로 설정을 위한 프로토콜을 요구하게 되었으며 유동적인 광전송 경로의 재구성 및 적절한 제어 및 관리 구조가 최근의 광 네트워크 이슈로 대두되고 있다^{[1][2][3]}.

본 논문에서는 광역정보 기반의 프로토콜과 지역정보 기반의 프로토콜을 통하여 각각의 특성을 비교 분석하였다. 광역 정보 기반의 프로토콜은 주기적인 업데이트와 임계값에서의 업데이트로 구분되며 지역정보 기반의 프로토콜은 고정된 경로로 라우팅 되기 때문에 업데이트 메시지가 존재하지 않는다^{[2][4][5][6][7]}.

* 정회원, 광운대학교 전자통신공학과
(Dept. of Electronics and Communications
Engineering, Kwangwoon University)
접수일자: 2004년10월19일, 수정완료일: 2004년11월18일

성능평가를 위해 연결 설정 시간, 제어 메시지 요구 대역폭 그리고 광 경로 블록킹 확률을 메트릭으로 정의하였다. 노드의 업데이트 방법으로는 ASPR(Alternate Shortest Path Routing) 알고리즘과 다양한 업데이트 시간 및 주기를 가진 LSA(Link State Advertisement)를 사용하여 각 메트릭의 변화 값을 비교 분석하였다. 따라서 대용량의 백본 네트워크에서 적절한 업데이트 방법의 선정은 광 경로 설정의 다양한 요소들의 최적화를 구성하는데 유리할 것으로 사료된다.

II. 네트워크 모델

광 경로 설정을 위한 네트워크의 구성요소로는 그림 1과 같이 IP/MPLS 라우터(클라이언트), OXC(Optical Cross Connect), WDM 링크, Control Network이 있으며 OXC의 경우는 광전변환, 파장변환이 없는 것으로 가정하였다. 네트워크 모델에서 lightpath의 집합은 IP/MPLS 라우터를 가상적으로 연결하는 가상 네트워크의 토폴로지를 의미한다. 또한 광전 변환 및 파장변환이 없는 네트워크의 연결 구성을 위해서는 송신지에서 목적지까지 하나의 파장만이 할당되어야 한다. 콘트롤 네트워크는 마치 자신의 파장을 가지고 동작하는 supervisory 채널처럼 동작한다.

IP 라우터는 광 자원 및 구성, 관리, 어드레싱, 라우팅, 토폴로지 발견, 트래픽 엔지니어링, 복구에 대한 관리 기능을 포함하여야 하며 광 계층 구조의 제어만을 담당하여 일반적인 IP 트래픽 처리는 배제되는 것으로 가정한다. 전자적인 콘트롤러는 스위치 테이블의 내용을 지속적으로 업데이트해야 하며 connection ID를 포함한다. 또한 사용된 파장 및 사용되지 않은 파장의 구분을 통해 요구가 발생했을 때 파장의 제공 기능을 가져야 한다.

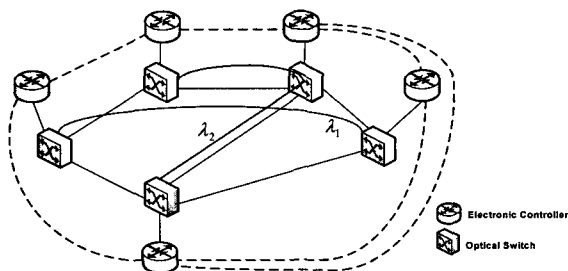


그림 1. 네트워크 모델
Fig. 1. Network Model.

III. GMPLS 관리 프로토콜

1. 지역정보 기반의 고정된 라우팅

고정된 광 경로의 라우팅의 경우 각 노드는 자신의 출력 링크 사용과장 정보만을 유지하기 때문에 업데이트 메시지는 발생하지 않는다. 따라서 대역폭의 현저한 감소를 초래하며 처리과정은 그림 2와 같다.

목적지에서 연결 요청 메시지를 전송하게 되면 송신지에서는 가장 처음에 저장된 최단경로를 통해 PROB메시지를 전송한다. PROB메시지에는 사용 가능한 파장의 집합을 포함한다. 그림 3과 같이 다음 경로로 계속해서 위의 정보를 전달하며 다음 노드에서는 자신의 정보만을 관리하기 때문에 자신의 사용가능한 파장의 집합과 교집합 연산을 수행하며 로컬 노드의 정보를 유지한다.

위와 같은 동작의 반복으로 목적지 노드까지 도착하게 되면 최종 노드에선 First-Fit 알고리즘을 사용하여 하나의 파장을 선택하게 된다. 이렇게 선택된 파장이 송신지에서 목적지까지 부여되는 동일한 전송 파장이 된다. 선택된 파장은 RES 메시지를 통해 송신지로 전송된다. 만약 사용가능한 파장이 없다면 연결 설정의 실패를 알리기 위한 NACK 메시지를 송신지 노드로 전송하며 예약

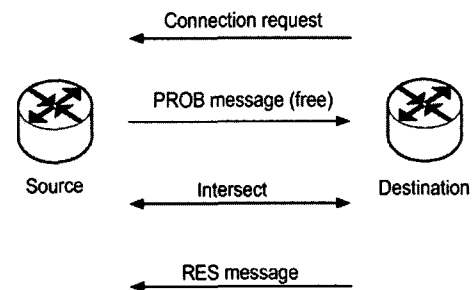


그림 2. 고정된 지역정보 기반의 라우팅 절차
Fig. 2. Routing procedure based on fixed local information.

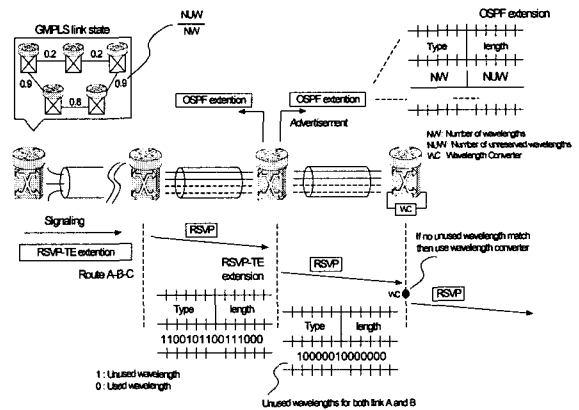


그림 3. 각 노드에서의 파장 교집합 연산 과정
Fig. 3. Wavelength intersection operation in nodes.

된 자원을 해지한다.

상기 설명한 과정의 동작을 반복하기 위해 기본적인 RWA(Routing Wavelength Assignment) 알고리즘을 사용하여 재설정 과정을 진행하며 두 번째 최단경로를 통해 메시지 전송을 시도한다. 두 번째 설정과정이 실패하면 블록상태로 천이 된다. 이러한 설정 과정이 반복되는 이유는 광 경로를 설정하는 중간 노드에서는 파장 변환 기능이 없기 때문이다. 따라서 중간 노드에서 사용할 수 있는 여유 파장이 존재 하지 않을 때에는 전송 기능을 수행할 수 없게 된다. 파장 설정 과정을 위한 시그널링 프로토콜에 대한 언급은 배제하기로 한다.

2. 광역정보 기반의 링크 상태 라우팅

링크 상태의 정보에 기인한 라우팅의 경우 네트워크 상태정보를 위한 토폴로지 및 사용 파장의 리스트 정보를 지속적으로 유지한다. 즉 그림4와 같이 전송경로 내의 모든 노드는 파장 예약이 가능한 경우에 송신지로 ACK 신호를 전송한다. 송신지에서는 동일 경로상의 모든 노드에 SETUP메시지를 전송하여 적절한 스위치 경로인 파장을 설정하게 된다. 만일 예약 불가능 파장이 노드들 중 하나라도 존재한다면 예약된 자원의 해지를 위해 TAKEDOWN 메시지를 통해 call이 블록된다. 자원예약을 위해 병렬 예약 구조를 갖는데 이는 병렬로 예약 메시지를 전송하므로 경로 구성을 위한 노드에서의 구성시간을 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 파장과 경로 구성을 위한 광역정보가 사전에 완료가 되어야 하는 단점을 가지고 있다.

네트워크의 변화가 발생할 때 모든 노드는 이에 대한 정보를 제공 받아야 한다. 즉 모든 노드는 링크 정보와 동일한 토폴로지의 동기화를 지속적으로 유지해야 한다. 그러므로 업데이트 메시지의 동보전송은 광 경로의 설정 및 해지를 위해 반드시 필요한 시그널링 절차로 작용한

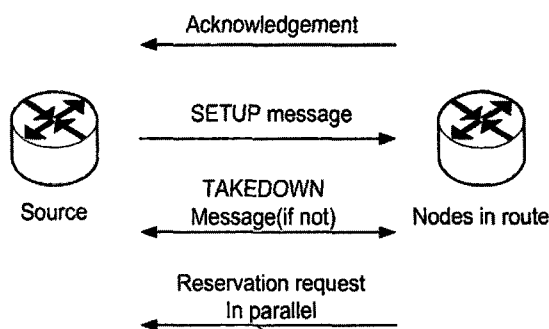


그림 4. 광역정보 기반의 링크상태 라우팅 과정
Fig. 4. Routing procedure based on global information.

다. 업데이트를 위한 정보의 전송 시기는 주기적 업데이트와 임계값 이상의 변화 발생 시 업데이트로 구분된다. 전자는 일정 시간 경과 후 전송을 의미하며 후자는 네트워크 토폴로지 변화의 임계값을 미리 설정하여 이상의 변화가 발생하였을 때 업데이트 정보의 전송을 의미한다. 모든 노드에서는 전송된 업데이트 메시지를 수신하여 최근의 타임스탬프 정보를 비교하고 리스트 교체작업을 수행한다. 이러한 작업은 이웃한 노드로 반복된다.

임계 범위는 하나의 링크에서 상태변화가 발생하는 파장의 수로 결정되며 정보의 내용은 주기적 업데이트 방식과 동일하다. 두 가지 방식을 오버헤드 측면에서 비교하면 임계값 전송 방식이 주기적 전송 방식 보다 상대적으로 훨씬 적은 양의 오버헤드를 발생시켜 대역폭 점유 측면에서 보다 유리하게 작용한다.

IV. 성능 평가

알고리즘의 성능평가를 위해 블록킹 확률, 연결 설정 시간, 제어 메시지를 위한 요구 대역폭을 사용하였다. 블록킹은 자원사용이 불가능한 경우이거나 원하는 경로의 중복요구에 따른 연결설정 불능 상태를 의미한다. 연결 설정 시간은 연결 요구의 도착 시부터 연결 구성이 완료될 때까지의 시간을 나타낸다. 제어 메시지의 요구대역폭은 경로의 설정 및 해지가 발생할 때 설정 경로들에 전송되는 제어 패킷이 점유하는 비율을 나타낸다.

성능평가를 위한 네트워크 환경은 노드 5개의 mesh 토폴로지를 사용하였으며 각 노드사이의 링크는 2개의 파이버로 연결되어 있고 하나의 파이버 당 8개의 파장으로 구성된다. 각 노드에서 설정 요구 패킷의 도착은 poisson 분포를 따른다. 각 노드에서의 제어패킷의 처리 시간은 10μs이며 OXC에서 경로를 구성하고 시험하며 설정하는데 걸리는 시간은 500μs가 소요된다고 가정한다. 제어 패킷의 처리 시간 및 설정 시간의 선정은 표준적인 광 네트워크의 오류 제한 범위 이내의 동작을 위해 선정된 값이다.

성능비교를 위해 ASPR(Alternate Shortest Path Routing) 알고리즘과 LSA(Link State Advertisement)를 구성하였으며 LSA의 경우도 주기적인 업데이트와 임계값 이후에서의 업데이트로 구분 설정 하였다. 주기적 업데이트의 경우 5ms와 20ms로 사용하였으며 LSA의 임계값으로는 1, 2와 3을 사용하였다. 임계값을 크게 선정하게 되면 주기적인 경우와 현저한 차이가 발생하므로 근사한 결과 값의 도출을 위해 최소 값으로 선정하였다.

1. 연결 설정 시간

$$T = 1/S_R = (1/\mu_T) \prod_{i=0}^{M-\min(m,n)} (1-P_i) \quad (1)$$

여기서 M : 노드에서의 최대 파장 수
 m, n : 가용 파장 및 실제 운용 파장 수
 S_R : 각 노드에서의 파장 설정율
 P_i : i번째 노드가 여유파장을 가질 확률
 μ_T : 전체 노드에서의 서비스율

식(1)은 송신지에서 목적지 까지 구성되는 LSP setup 단계의 총 지연시간을 의미하며 여유 파장을 갖지 않을 확률 값에 의해 그 값이 증가 하고 실제 운용되지 않는 파장 수만큼의 노드 여유 값이 증가하게 된다.

각 노드에서의 ASPR 알고리즘은 중간 노드의 OXC가 고정된 송수신 경로를 설정해야 하므로 연결 설정 시간이 많이 소요되며 부하가 증가함에 따라 토폴로지의 변화가 동반되므로 ASPR 알고리즘의 사용 빈도가 극도로 감소하여 보다 긴 경로의 설정이 이루어진다. 따라서 연결 설정 시간은 증가하게 되며 블로킹 확률도 증가 하게 된다. 즉, 다시 말하면 지속적으로 부하가 증가 하게 되면 연결 설정 시간은 감소하게 된다.

LSA의 경우에는 네트워크 광역정보의 교환으로 보다 근거리의 경로를 설정할 수 있게 되며 연결설정 시간은 상대적으로 감소하게 된다. 그림 5에서와 같이 연결 설정 시간이 최소로 되는 매트릭은 LSA 임계값이 3인 경우이다. 이는 임계의 최대까지는 네트워크 업데이트가 필요 없기 때문이며 주기적인 업데이트는 부하가 증가함에 따라 고정된 시간소요가 발생하기 때문이다. 성능평가 모델을 노드 5개로 선정하였기 때문에 설정 시간에 있어 큰

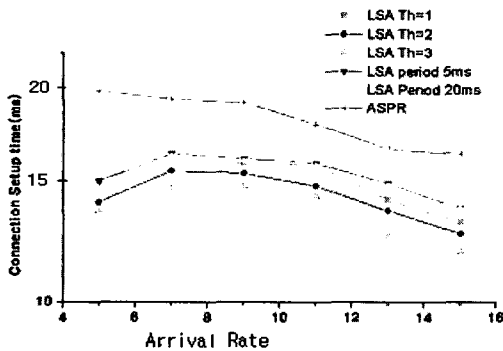


그림 5. 도착 율에 따른 연결 설정 시간
 Fig. 5. Connection setup time according to arrival rate.

차이는 발생 하지 않았지만 노드가 증가함에 따라 설정 시간의 차이는 보다 크게 발생하게 된다.

2. 제어 메시지의 요구 대역폭

제어 메시지는 경로 설정을 위한 시그널링 메시지로 연결 송신지, 수신지, 파장 벡터, 연결의 패스 벡터의 네 가지의 내용을 포함하고 있으며 메시지의 크기는 네트워크내의 노드가 N개라면 $S_C = N+4\text{byte}$ 로 가정한다. 가정된 메시지 크기를 기반으로 각각의 매트릭에 요구 대역폭을 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

$$BW_C = \frac{K}{L_T L_P} \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{p_i} \quad (2)$$

여기서, L_T 는 업데이트 임계값
 L_P 는 업데이트 주기
 K 는 ASPR 상수 값
 μ_i 와 p_i 는 제어메시지 도착율과 수신율

식(2)은 발생하는 패킷의 수신율이 증가하고 잦은 신호정보의 전송이 발생할 때 대역폭이 증가함을 보여준다.

그림 6 에서 알 수 있듯이 ASPR에 의한 제어 트래픽은 LSA에 비하면 무시할 정도로 작고 요구 대역폭의 단위가 매우 작으므로 본 그래프에는 표지 하지 않았다. 작은 값을 갖는 이유는 ASPR에서는 LSA flooding이 없기 때문이다. 또한 가장 낮은 임계값에서의 LSA는 잦은 시그널링 메시지가 발생하므로 가장 높은 대역폭을 차지하게 된다. 다른 임계값의 경우도 네트워크상의 상태변화가 네트워크에 발생 했을 때에만 제어 트래픽이 발생하므로 ASPR 보다는 많이 발생하지만 주기적인 LSA 보다는 훨씬 적게 발생한다. 따라서 제어메시지의 요구 대역폭은 변화 토폴로지의 공시시기에 따라 트래픽의 정도가

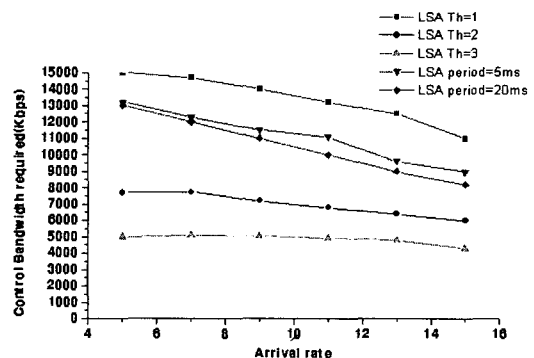


그림 6. 제어 메시지의 요구 대역폭
 Fig. 6. Required bandwidth for control message.

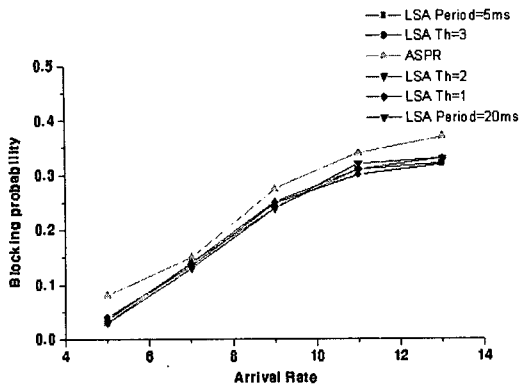


그림 7. 연결 설정 블록킹 확률
Fig. 7. Blocking probability for connection setup.

결정된다.

3. 블록킹 확률

$$P_b = \frac{K \cdot L_P \cdot L_T}{S_R} \quad (3)$$

여기서 K 는 여유 레이블 보유상수이며 이 값은 각 노드에서 여유 레이블의 운용 비율에 따라 달라지는 상수 값이다. L_P 와 L_T 는 토폴로지 변화 및 연결 설정 요구 발생 시 나타나는 업데이트 주기 및 임계값을 나타낸다. S_R 은 파장 설정 율이며 파장 설정 율이 증가함에 따라 연결 설정 시간이 증가하므로 블록킹 확률은 감소하게 된다.

경로 설정의 블록킹 확률 값은 그림 7과 같이 L_T 값과 L_P 값에 각각 비례하며 발생하는 도착 율에 따라 증가하는 형태를 띠게 된다. ASPR의 경우 부하가 증가함에 따라 경로 연결시간이 증가하게 되어 가장 큰 값의 확률 값을 가진다. LSA의 주기적인 업데이트 경우 일정 주기시간 경과 후에 블록킹의 문제가 해결되므로 블록킹 확률 또한 주기 시간이 클수록 증가하게 된다. 임계값 이상의 LSA 경우는 가장 빠른 시간에 업데이트가 완성되는 임계값이 1일 때가 블록킹 확률을 최소화 할 수 있다. 지속적으로 일정 부하 이상 발생하게 되면 거의 유사한 값을 취하는 결과를 얻는다.

V. 결과 및 고찰

GMPLS를 구성하는 분산된 제어 관리 프로토콜의 성능을 몇 가지 메트릭을 사용하여 비교 검토 하였다. 광역 정보를 이용한 링크 상태 방식은 주기적인 업데이트 방

식과 임계값 이상에서의 업데이트 방식, 그리고 지역정보를 이용한 고정된 경로의 설정 방식으로 성능평가를 수행하였다.

성능평가를 위해 연결 설정 시간, 블록킹 확률, 제어 메시지의 요구 대역폭을 산출하였으며 연결 설정 시간은 LSA 임계값 3에서 가장 유리하며, 제어 메시지의 대역폭은 ASPR의 경우에 업데이트 정보 및 변화 정보를 전혀 전송하지 않으므로 최소화 된다. 경로 블록킹 확률은 잦은 업데이트 발생 시 최소 값을 취하게 되므로 LSA 임계값 1에서 최상의 채널 구성 신뢰성을 제공할 수 있다. 즉, 서로 상이한 메트릭의 성능 비교를 통해 수시로 변하는 네트워크 환경에 따라 적절한 업데이트의 선정이 결정될 수 있다.

고속의 대용량을 처리하는 백본 광 네트워크에서 경로 설정에 관한 제어 및 관리 프로토콜의 효율적인 운용을 위해 적절한 업데이트 방식의 선정은 무엇보다 중요한 과제로 떠오르고 있다. 확실적인 제어 방식의 사용은 트래픽의 발생 유무에 따른 광 경로 선정에 있어서 치명적인 오류를 발생 시킬 수 있으며 네트워크의 신뢰도를 저하시키는 요인이 될 수 있다. 그러므로 발생하는 트래픽의 종류 및 크기에 따라 적절한 제어방식의 선정이 차세대 대용량의 광 네트워크 구성의 필요조건이 될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] V. Stamatios Karatalopoulos, *DWDM Technology*, June, 1999.
- [2] Abdallah Shami, "Performance Evaluation of Two GMPLS-Based Distributed Control and Management Protocol for Dynamic Lightpath Provisioning in Future IP Networks", *IEEE* 2002.
- [3] H. Zang et al, "Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength Routed WDM Networks", *IEEE Commun Mag*, vol. 39, no. 9, Sept 2001, PP.100-108.
- [4] A. Banerjee et al, "Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements", *IEEE Commun Mag*, vol. 39, no. 1, Jan. 2001, pp. 144-150.
- [5] G. Nasir, "Integration Strategies for IP Over WDM," *Workshop on Optical Networks*, 2000.
- [6] J. Dimiel Blumenthal, "All-Optical labelSwapping Networks and Technologies," *IEEE Journal of*

lightwave technology, Vol. 18, No. 2, December 2000.

- [7] P. Gravey, G. Stephane, "Multiservice Optical Network: Main Concepts and First Achievements of the ROM program," *IEEE Journal of lightwave technology*, Vol. 19, No. 1, January 2001.

저 자 소 개



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, MPAS, GMPLS>

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