

IP/DWDM 기반 차세대 광 인터넷 망에서 가상 소스와 플러딩에 기초한 QoS 제공 유니캐스트 및 멀티캐스트 라우팅 방법 연구

김성운^{*}, 박선영^{**}

요 약

고밀도 파장 분할 다중화 방식(DWDM: Dense-Wavelength Division Multiplexing)을 백본 기술에 활용한 IP/DWDM 차세대 광 인터넷 백본망에서 중요한 문제점 중 하나는, 다양한 하이퍼미디어 응용 서비스들이 요구하는 서비스 품질(QoS: Quality-of-Service)을 고려하여 효율적인 유니캐스트 및 멀티캐스트 라우팅 방법을 제공하는 것이다. 백본망에서 DWDM 기술을 적용하면 파이버 당 여러 개의 파장을 사용할 수 있으므로, 클래스 별로 결합된 IP 트래픽 들을 QoS별로 분류하여 파장 별로 차등화한 전송이 가능하므로 망 대역폭의 효율적인 사용이 가능하다. QoS별로 여러 가지 제약조건을 만족하는 광 파장 패스를 찾는 문제는 일반적으로 NP-complete 문제로 간단한 알고리즘으로 해결하기가 쉽지 않다. 일반적으로 DWDM 망에서 연구된 대부분의 휴리스틱 방법들은 현재 인터넷 라우팅 패러다임 하에서 연구된 개념을 확장하여 활용하는 데, 망 자체가 견고하지 않고 노드 수가 많을 때에는 더욱 복잡하고 구현하기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 가상소스와 플러딩에 기초한 QoS 제공 유니캐스트 라우팅 및 멀티캐스트 라우팅 방법인 VS-QUR(Virtual Source-Qualified Unicast Routing)과 VS-QMR(Virtual Source-Qualified Multicast Routing) 방법을 제안한다. 제안된 방법들은 라우팅 패스를 찾기 위해 훨씬 적은 수의 메시지 오버헤드와 같은 조건에서 더 많은 수의 연결이 보장됨을 시뮬레이션 결과로 증명한다.

Virtual Source and Flooding-Based QoS Unicast and Multicast Routing in the Next Generation Optical Internet based on IP/DWDM Technology

Sungun Kim^{*}, Seonyeong Park^{**}

ABSTRACT

*Routing technologies considering QoS-based hypermedia services have been seen as a crucial network property in next generation optical Internet (NGOI) networks based on IP/dense-wavelength division multiplexing (DWDM). The huge potential capacity of one single fiber, which is in Tb/s range, can be exploited by applying DWDM technology which transfers multiple data streams (classified and aggregated IP traffics) on multiple wavelengths (classified with QoS-based) simultaneously. So, DWDM-based optical networks have been a favorable approach for the next generation optical backbone networks. Finding a qualified path meeting the multiple constraints is a multi-constraint optimization problem, which has been proven to be NP-complete and cannot be solved by a simple algorithm. The majority of previous works in DWDM networks has viewed heuristic QoS routing algorithms (as an extension of the current

※ 교신저자(Corresponding Author): 김성운, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지(608-737), 전화: 051) 629-6235, FAX: 051)629-6235, E-mail: kimsu@pknu.ac.kr
접수일: 2010년 10월 17일, 수정일: 2010년 11월 4일
완료일: 2010년 11월 29일

^{*} 정회원, 부경대학교 정보통신공학과 교수

^{**} 준회원, 부경대학교 전자정보통신공학과
(E-mail: kimsu@pknu.ac.kr)

※ 이 논문 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00788).

Internet routing paradigm) which are very complex and cause the operational and implementation overheads. This aspect will be more pronounced when the network is unstable or when the size of network is large. In this paper, we propose a flooding-based unicast and multicast QoS routing methodologies (VS-QUR and VS-QMR) which incur much lower message overhead yet yields a good connection establishment success rate. The simulation results demonstrate that the VS-QUR and VS-QMR algorithms are superior to the previous routing algorithms.

Key words: IP/DWDM, RWA(라우팅 및 파장 할당), Flooding(플러딩), Unicast(유니캐스트 라우팅), Multicast(멀티캐스트 라우팅), QoS(서비스 품질)

1. 서 론

IP기반의 인터넷 기술과 광 네트워크 기술이 발달함에 따라 IP/DWDM 기술이 차세대 광 인터넷을 위한 백본 망 개념으로 널리 적용되고 있다. 가까운 미래에 요구되는 하이퍼 광대역 서비스는 모바일 전화기에서 디지털 TV를 시청 할 수 있는 품질의 서비스들로 가까운 미래의 중심 서비스로 예상되고 있다. 이러한 광대역 하이퍼 서비스로는 하이퍼 광대역 서비스, 원격회의 및 협업, 원격 진료, 원격교육, 사물정보통신, 스마트 그리드 서비스, IP-USN 서비스, IPTV, VOIP 등으로 분류할 수 있는데 대부분의 서비스가 DWDM 백본 망을 거쳐 서비스가 이루어진다[1].

다른 한편으로는 ITU-T SG15의 전송망분야 표준화를 위해 Question 11(연구과제 11)에서는 OTN(Optical Transport Network) 기반의 DWDM 전송 기술 표준으로 다양한 전송 신호를 수용하고 보장할 수 있는 G.872 전달 망 구조 권고안을 개발하였다[2]. 위에서 언급한 이러한 기술들은 IP 기반의 로컬 망 기술과 DWDM 백본 망을 통한 그림 1과 같은 구조

로, IP 기반 customer site와 이를 클래스 별로 결합하는 게이트웨이 노드 및 DWDM 백본 망의 가상 소스 노드를 거쳐 상대방 가상 소스 노드 및 게이트웨이를 거쳐 상대방 customer site로 연결되어 서비스되는 구조이다.

여기서 DWDM 백본 망을 거치는 구간은 소스 게이트웨이에서 QoS 클래스 별로 결합된 IP 트래픽을 광 패스를 통해 전달되는 구간으로 광 파이버당 여러 개의 파장을 사용하는데, 파장마다 여러 가지 QoS 특성을 가지고 있다. 가상소스 노드는 파장 분할과 파장 변환 기능을 가지기 때문에 일반적으로 광 신호 품질관련 파라미터와 광 자원 관련 파라미터 및 망 상황 관련 파라미터를 고려하여 다양한 하이퍼미디어 서비스 클래스 별로 QoS 를 고려하여 적합한 파장을 할당하는 라우팅 기술이 필요하다[3]. 즉, 각 가상소스 노드에서 QoS 클래스 별로 결합된 IP 트래픽들을 가용한 파장 별로 QoS 특성을 검사하여 차등화된 파장 할당을 통한 효율적인 라우팅 패스를 할당하는 역할이 필요하다. 본 논문에서 이러한 역할을 QoS Traffic Policy Server가 담당하는 것으로 가정하고, 이러한 모델의 DWDM 구간에서 가상소스 노드와 플러딩에 기초한 QoS 제공 유니캐스트 라우팅 및 멀티캐스트 라우팅 방법인 VS-QUR(Virtual Source-Qualified Unicast Routing)과 VS-QMR(Virtual Source-Qualified Multicast Routing) 방법을 제안한다. 다음 그림 2는 소스 게이트웨이 및 각 가상소스 노드에서 QoS 라우팅 기반의 광 파장 할당 개념에 대한 설명을 나타낸다.

그림 2에서 IP기반 하이퍼 광대역 서비스는 premium 서비스, assured 서비스, best-effort 서비스로 분류되는데, premium 서비스 클래스는 최상의 실시간 보장용 QoS 품질을 요구하고, assured 서비스 클래스는 최소한의 통계적인 QoS 품질보장을 요구한다. 마지막으로 best-effort 서비스 클래스는 일

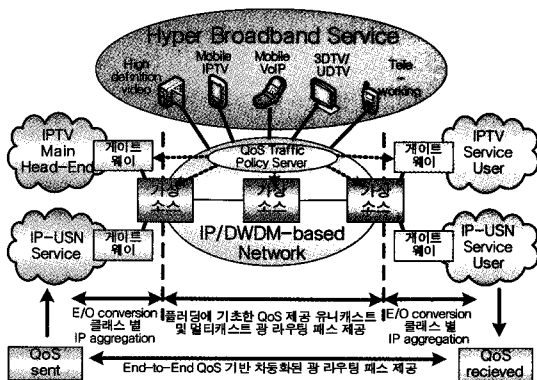


그림 1. IP/DWDM 기반 하이퍼 광대역 서비스를 위한 QoS 라우팅 모델

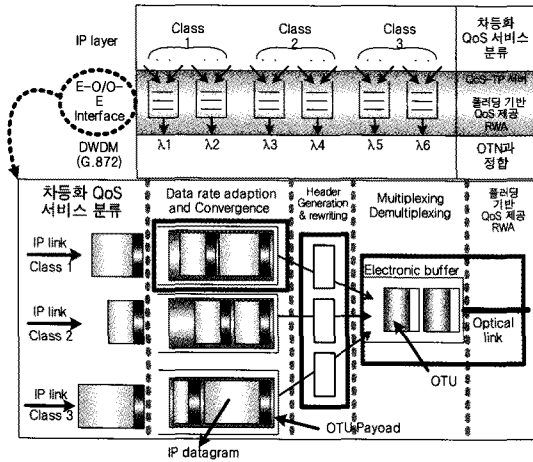


그림 2. 소스 게이트웨이 및 가상소스 노드에서 QoS 라우팅 기반의 광 파장 할당 개념

반적인 최선형 인터넷 서비스 클래스이다[3]. 클래스 별로 결합된 IP 트래픽 들을 QoS별로 분류하여 파장 별로 차등화하여 할당하는 라우팅에 있어서, QoS별로 여러 가지 제약조건을 만족하는 광 파장 패스를 찾는 문제는 일반적으로 NP-complete 문제로 간단한 알고리즘으로 해결하기가 쉽지 않다. 일반적으로 DWDM 망에서 연구된 대부분의 휴리스틱 방법들은 현재 인터넷 라우팅 패러다임 하에서 연구된 개념을 확장하여 활용하는 데, 망 자체가 견고하지 않고 노드 수가 많을 때에는 더더욱 복잡하고 구현하기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 가상 소스와 플러딩[4]에 기초한 QoS 제공 유니캐스트 라우팅 및 멀티캐스트 라우팅 방법을 제안하는 데, 제안된 방법들은 라우팅 패스를 찾기 위해 훨씬 적은 수의 메시지 오버헤드와 같은 조건에서 더 많은 수의 연결이 보장된다.

본 논문의 2장에서는 DWDM망에서 지금까지 접근해온 유니캐스트 및 멀티캐스트 RWA 연구 내용을 분석하고, 3장에서는 차등화된 QoS 서비스 모델 및 QoS 파라미터 개념을 기술한다. 그리고 4장에서는 플러딩에 기반한 가상 소스와 QoS에 기반한 유니캐스트 라우팅 방법 및 멀티캐스트 라우팅 방법을 제시하며, 또한 본 논문의 5장에서는 제안된 방법과 다른 방법 간의 성능평가와 제안한 방법의 효율성을 기술한다. 마지막으로 6장에서는 향후 연구 방향 및 간단한 결론을 맺는다.

2. DWDM 망에서의 유니캐스트 및 멀티캐스트 RWA

일반적으로 DWDM 망에서의 RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제는 송수신 노드 간의 광 경로 설정 요구 시 최적의 경로를 설정하고 선택된 경로에 효율적으로 파장을 할당하는 문제로서, 한 파장당 수 Gbps 이상을 제공하는 DWDM 망에서는 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 매우 중요하게 고려된다. 즉, 제한된 자원의 상황에서 얼마나 많은 광 경로의 셋업이 가능한지, 혹은 광 경로 셋업 요구 시 블로킹 확률을 최소화하는 문제이다[5,6]. 이러한 RWA 문제는 트래픽 특성 및 노드에서의 파장 변환 기능 유무에 따라 여러 관점으로 접근되고 있다. 그러나 이러한 접근 방식들이 라우팅과 파장 할당을 복합적으로 고려하여 최적을 방안을 채택하기에는 어려움이 따르므로 기존의 RWA 문제를 고려한 연구에서는 그림 3 및 그림 4와 같이 라우팅과 파장 할당을 분리하여 연구되고 있다.

그림 3에서와 같이 파장 할당 방식은 광 경로 설정 요구들이 미리 알려져 있는 정적(static) 트래픽 조건 하에서 고려되는 정적인 파장 할당 방법과 임의의 시간에 광 경로 설정이 요구되는 동적(dynamic) 트래픽 관점에서 접근되는 동적인 파장 할당 방법으로 나누어 연구되고 있다[5]. 현재까지 RWA 문제에 관한 대부분의 연구들은 라우팅과 파장 할당을 각각 독립적인 문제로 다루어 왔으며, 이는 두 절차를 통합적으로 고려할 경우 하나의 요소에 대한 최적의 성능 방안이 다른 요소의 성능을 저하시키는 양면성을 띠기 때문이다[7].

기존 연구 결과들을 분석해보면, RWA 문제는 파장 할당 기법보다는 라우팅 방식의 선택에서 성능 차

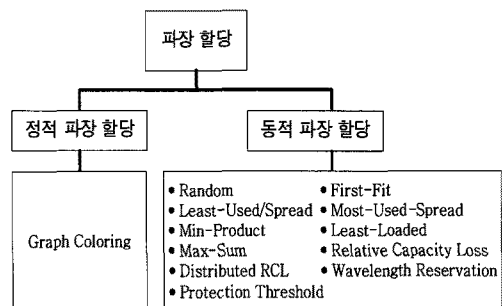


그림 3. 기존에 연구된 파장 할당 문제 해결 방법

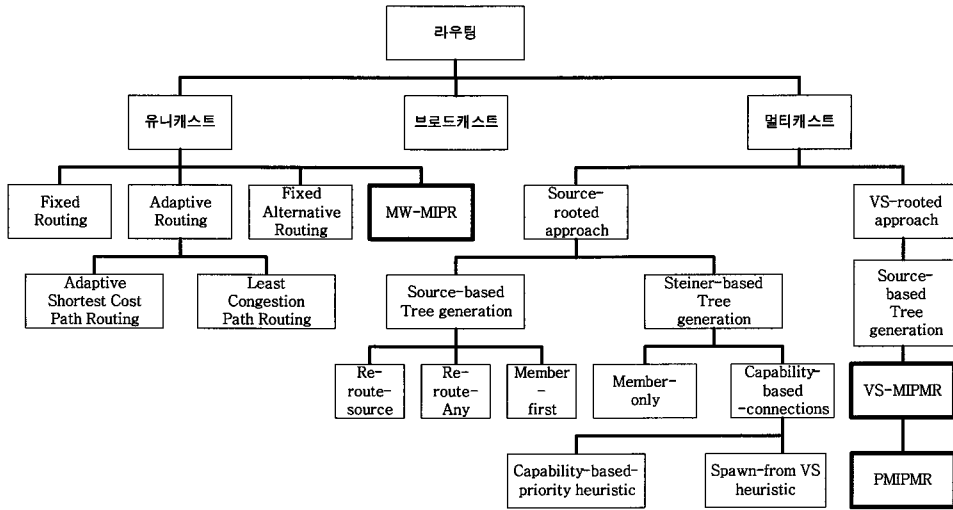


그림 4. 기존에 연구된 라우팅 문제 해결 방법

이를 크게 보였으며, 그 중에서도 Adaptive Routing 방식이 가장 뛰어나다. 다른 한편으로 과장할당 측면에서는 전반적으로 부하가 적을 때 사용되는 과장 수를 줄이는 기법인 MP(Min-Product)등이 성능이 좋으나, 부하가 높아질수록 망 전체의 과장이나 부하 균형을 고려한 RCL(Relative Capacity Loss), LL (Least-Loaded) 등이 더 우수하다[8,9]. 그림 5는 단일 파이버(M: 파이버 수) 망에서 16개의 과장(W: 과장 수)을 사용할 때 연결 블로킹 확률 측면에서 RWA 문제를 고려한 기존의 연구 결과를 분석한 그림으로, FF(First-Fit)와 RCL(Relative Capacity Loss) 각각의 방법들에 대해 Fixed Routing과 Adaptive Routing 방식을 모두 적용하였을 때 라우팅 방식들의 성능을 비교한 것이다[10,11].

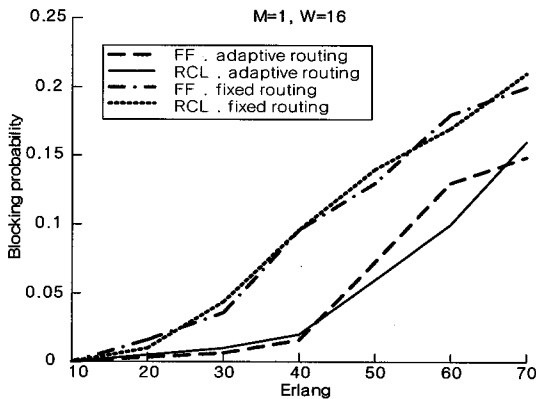


그림 5. 기존의 RWA 문제 연구 결과

그림 4에서와 같이 DWDM 기반의 라우팅은 크게 유니캐스트, 브로드캐스트, 멀티캐스트 방식이 있다. 유니캐스트 방식은 1:1 전송방식이며, 브로드캐스트 방식은 1:All의 전송방식이다. 그리고 멀티캐스트 방식은 1:N 또는 M:N의 전송방식을 말한다.

그림 4에서와 같이 본 논문의 저자들이 기존의 라우팅 방법의 개선 및 QoS 제공을 위해 유니캐스트 기반에서 MW-MIPR(Multi Wavelength-Minimum Interference Path Routing) 방법을 제안하였다[12]. 기존의 유니캐스트 라우팅 방식은 최소 홉 수를 기반으로 하는 알고리즘으로써 비교적 계산이 단순하나, 최소 홉 경로 상으로의 트래픽 집중을 야기하는 문제를 발생한다[12]. 이를 해결하기 위해 연구된 LCP 라우팅, Fixed Alternative 라우팅은 혼잡이 적은 경로를 선택하지만 동일한 최적 경로 존재 시 결국 최소 홉 수를 기반 하므로 트래픽 집중 문제는 그대로 남아 있었다[13,14]. 제안된 MW-MIPR 방법은 혼잡한 최소 홉 수 경로를 피할 뿐 만 아니라, 우회 경로를 이용하더라도 광 자원을 최대한 효율적으로 활용하도록 잔여 과장 수를 최대화 하는 루트를 선택하는 방법이다. 그러나 계산의 복잡성과 노드 수 크기에 따른 다양한 DWDM 망구조에서 적용이 어렵다.

다른 한편으로는 그림 4에서와 같이, 멀티캐스트 기반에서도 본 논문의 저자들이 기존의 라우팅 방법을 개선하고 QoS 제공을 위해 멀티캐스트 기반에서 2가지 라우팅 방법을 제안하였다[15,16]. 먼저 VS-MIPMR(Virtual Source-based Minimum Interference

Path Multicast Routing) 방법은 멀티캐스트 light-tree 구성 시 광 경로 사이의 간섭 최소화 및 대역폭을 보장하는 방법이다. 즉 가상소스 노드(VS)를 기반으로 한 분산 네트워크 구성 및 tree 생성 방식에 미래의 잠재적인 서비스 요청에 대한 간섭 최소화 및 대역폭 보장에 중점을 둔 MW-MIPR을 확장한 멀티캐스트 라우팅 알고리즘이다[15]. 또 다른 방법은 PMIPMR(Priority Minimum Interference Path Multicast Routing) 방법으로 기존의 VS-MIPMR의 단점을 보완하기 위해 혼잡 경로를 피하는 효율적인 경로 선택뿐만 아니라, 노드의 능력에 따른 우선순위를 부여하여 멀티캐스트 트리를 생성하는 방법으로, 기존의 VS-MIPMR에 비해 요구되는 파장의 채널 수 및 파장 수를 줄임으로써 더 효율적이고 뛰어난 RWA가 가능하다[16]. 그러나 계산의 복잡성과 노드 수 크기에 따른 다양한 DWDM 망구조에서 적용이 역시 어렵다.

본 논문에서는 단순성과 견고성에 바탕을 둔 플러딩 개념을 적용하여 간단하게 DWDM 백본망에서 QoS를 고려하면서 쉽게 RWA 문제를 해결하는 유니캐스트 라우팅(VS-QUR) 및 멀티캐스트 라우팅(VS-QMR) 개념을 제안한다. 제안된 방법은 적은 수의 메시지 오버헤드로 같은 조건에서 더 많은 수의 연결이 보장되고, 또한 노드 수가 다양한 DWDM 망구조에서도 적용이 쉽다.

3. 차등화된 QoS 서비스 클래스 및 QoS 파라미터

차세대 광인터넷에서 제공되어야 할 하이퍼 광대역 응용 서비스로는 요구되는 QoS 품질에 따라 여러 등급으로 분류된다. 일반적으로는 절대적 실시간 QoS 보장용 Premium 서비스, 최소한의 통계적인 QoS 보장용 Assured 서비스, 기존 인터넷의 최선형 서비스로 나누어지는 데 일반적으로 premium 서비스는 VoIP, Video Conference, MPEG Video stream 등의 서비스를 예로 들 수 있으며, assured 서비스는 대표적으로 On-line web browsing 서비스, 그리고 최선형 서비스는 일반적인 기존 인터넷의 ASAP(As Soon As Possible) 서비스가 대표적이다[12].

위와 같은 IP 기반 서비스들은 해당 소스 게이트웨이에서 서비스 등급별로 결합하여 DWDM 백본 망

표 1. 서비스 클래스 별 해당 QoS 파라미터

Classification criteria		Class 1	Class 2	Class 3
		Premium service	Assured service	Best Effort service
QoS	BER (Q)	10^{-12} (7)	10^{-9} (6) ~ 10^{-7} (5.1)	10^{-5} (4.2)
	el. SNR	16.9 dB	15.5 dB ~ 14.2 dB	12.5 dB
	OSNR ($f_0 = 10\text{Gbit/s}$)	19.5 dB	18.2 dB ~ 16.8 dB	15.1 dB

의 가상 소스 노드에서 QoS를 고려한 등급별 파장이 할당되는데, 서비스 클래스 별 해당 QoS 파라미터는 다음 표 1과 같이 정의될 수 있다[12].

DWDM 망에서 하나의 근원지-목적지 쌍에는 다수개의 광 경로가 존재하며, 각각의 광 경로는 QoS 파라미터를 만족하는 광 경로를 설정하기 위해 파장별 광신호의 품질에 관련된 속성을 고려해야 한다. 광 신호는 경로상의 구성요소 즉, 가상 소스(OXC: Optical Cross-Connects), 파이버(fiber) 세그먼트, EDFAs(Erbium Doped fiber Amplifiers) 등을 지나면서 다양한 광 왜곡 잡음으로 인해 바람직하지 않은 손상을 입게 된다. 특히, 전송 신호의 손상은 목적지 노드를 향해 신호가 전달되면서 축적되기 때문에 광신호의 품질을 급격하게 저하시키므로 사용자에게 만족한 QoS 서비스를 제공할 수 없다[3].

따라서 DWDM 기반의 차세대 광 인터넷 백본망에서 QoS 서비스를 제공하기 위해서는 광 신호 품질에 대한 고려와 이에 대한 평가가 필수적으로 요구되며, 일반적으로 통신시스템에서 신호 품질의 성능을 결정하는데 있어 BER은 아주 중요한 파라미터이다. 그러나 BER은 수신 노드에서 계산함으로써 측정 가능하며, 많은 왜곡 잡음을 겪게 되는 백본망 내에서는 평가할 수 없다. 따라서 서비스의 QoS 제약 조건을 만족하는 경로를 설정하기 위해 각 링크상 신호 품질을 측정할 수 있는 기준이 요구 되고, 이는 Q-factor를 사용하여 BER의 추정이 가능하다. 즉, Q-factor는 광 시스템이 통계적인 가우시안 잡음을 발생한다고 가정했을 때 eye diagram의 SNR(Signal to Noise Ratio) 값으로서, 전자적 성능 파라미터인 el. SNR(electrical Signal Noise Ratio)과 광 성능 파라미터인 OSNR(Optical SNR)을 통해 BER을 추정한다. 따라서 전송 품질에 관련된 QoS 파라미터는 다음의 식 1, 2, 3에 의해 추정할 수 있다[17,18].

$$BER(Q) \cong (1/\sqrt{2\pi}) \cdot (\exp(-Q^2/2)/Q) \tag{1}$$

$$el.SNR = 10 \log Q^2 \quad (2)$$

$$OSNR_{0.1nm} = \frac{(1+r) \cdot (1+\sqrt{r})^2}{(1-r)^2} \cdot \frac{Be}{Bd} \cdot Q^2 \quad (3)$$

$r = 0.15$, $10 \log r = 8.2$ dB: extinction ratio of the transmitted optical signal

$Be = 0.75 \cdot f_0$: effective electrical noise bandwidth due to bit rate f_0

$Bd = 12.6$ GHz or $0.1nm$: optical bandwidth for OSNR measurement factor $[(1+r) \cdot (1+\sqrt{r})^2 / (1-r)^2] = 3.063$

다른 한편으로 ITU-T에서 제안하는 광 자원의 파장 스펙트럼 밴드는 표 2와 같으며, 각 밴드들의 특성을 고려하여 차등화된 서비스 별 결합된 IP 클래스에 대해 표 2와 같이 파장 밴드 활용을 고려한다 [19,20].

표 2. 서비스 클래스 별 파장 밴드 활용

S-band	Short wavelength	1460 to 1530	QoS 점검 및 라우팅 제어
C-band	Conventional	1530 to 1565	Premium data channel
L-band	Long wavelength	1565 to 1625	Assured/Best-effort data channel
U-band	Ultralong wavelength	1625 to 1675	QoS 점검 및 라우팅 제어 테스트

즉, 광 경로 설정 시 높은 BER을 요구하는 서비스 클래스에는 감쇠가 가장 적은 C-band 대역내의 파장을 할당하여 우수한 광 품질의 서비스를 제공해주고, 이보다 상대적으로 낮은 BER 값을 요구하는 서비스 클래스에는 C-band 보다 감쇠 계수가 높으나 트래픽 전송에 이용 가능한 L-band 내의 파장을 활용함으로써 파장 효율성 및 차등적인 서비스 QoS를 보장한다. 또한 설정된 광 경로상에 전송되는 트래픽의 QoS를 지속적으로 관리하고 유지하는 기능도 서비스의 QoS를 보장하기 위해 매우 중요한데, 본 논문에서는 광 경로 설정에 관계되는 제어용 QoS 점검 및 플러딩 해당 메시지 전송을 위해 노드 간의 광 패스 라우팅용 제어 채널로 S-band의 파장을 이용한다.

본 논문의 그림 1에서 제안한 RWA 방법은

DWDM 백본망에서 각 가상소스 노드에서 표1과 같이 파장 별 QoS 파라미터 값을 비교하고, 또한 표 2와 같이 해당 서비스 클래스에 적합한 형태의 파장을 가상소스 노드를 따라 플러딩 기반으로 유니캐스트 및 멀티캐스트 형태로 트리를 구성하여 할당하는 매커니즘을 적용한다.

4. 가상 소스와 QoS 기반 유니캐스트 및 멀티캐스트 라우팅 방법 제안

4.1 VS-QUR 유니캐스트 라우팅 방법 제안

광 크로스 연결(OXC)로 이루어진 DWDM 백본망의 각 가상소스 노드들은 Traffic Policy Server에 의해 제어된다. 본 논문에서는 가상소스 노드들의 컨트롤러 간에 라우팅 제어를 위해 순서정연하고 오류 없는 전송이 가능한 S-band 및 U-band채널을 활용한다.

제안하는 VS-QUR 유니캐스트 라우팅 알고리즘은 메시지 전송 시, 오버헤드의 감소와 무한 루핑을 방지하기 위해 광 경로 요청 가상소스 노드로부터의 홉 수 크기를 의미하는 리플 카운트 개념을 적용한다. 리플 카운트 수는 시작 노드로부터 연결된 다음 노드까지의 홉 개수를 의미하며, 큰 값의 리플 카운트를 가지는 노드에서 작은 값을 가지는 노드로의 메시지 플러딩을 허용하지 않음으로써 무한 루핑을 방지하여 메시지 오버헤드를 감소시킨다.

경로 설정 절차의 수행을 위해, 본 라우팅 방법은 연결 요청(Req) 메시지, 예약 해지(Rej) 메시지 및 연결 확정(Conf) 메시지를 사용한다. 또한 각 가상소스 노드들은 광 경로 연결 정보(링크정보, 파장정보)를 갖는 라우팅 테이블(RT: Routing Table)과 현재 진행 중인 연결에 대한 정보(링크정보, 파장정보)를 가지는 펜딩 테이블(PT: Pending Table)을 유지한다. VS-QUR 라우팅 동작과정은 다음과 같다. 다음에서 노드는 가상소스 노드를 의미한다.

- 1) 광 경로 요청 최초 소스노드가 여유 파장의 존재 여부 확인 및 QoS 허가 검사 수행 후 가능한 파장이 존재하면 진행중인 연결 정보를 PT에 저장 후 2)의 과정을 수행하고, 가능한 파장이 없으면 연결 요청을 거부 및 PT 초기화
- 2) 리플 카운트 개념을 적용하여 Req 메시지를 해

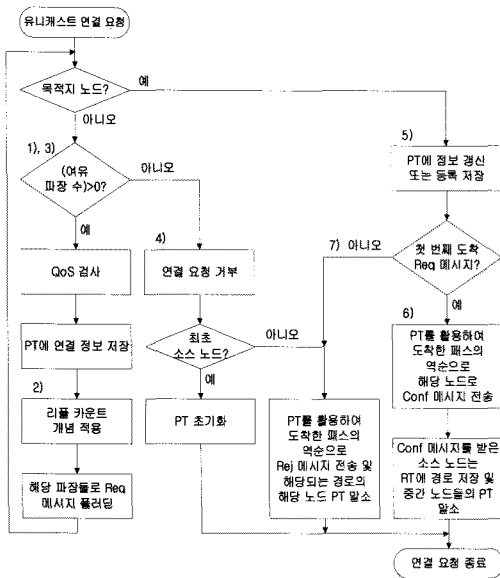


그림 6. VS-QUR 라우팅 동작 순서도

당 파장들로 플러딩하며 수신 노드는 메시지 내의 목적지 주소를 비교하여 현재 노드가 목적지 노드인지 확인

3) 해당 노드가 목적지 노드가 아닐 경우는 도착 노드에서 나가는 여유 파장 존재 여부 확인 및 QoS 허가 검사 수행 후 가능한 파장이 존재하면 Req 메시지 내의 연결 정보를 자신의 PT에 갱신 또는 등록 저장 후 리플 카운터 개념을 적용하여 다음 노드로 플러딩

4) 도착 노드에서 나가는 가능한 파장이 없을 경우는 연결 요청을 거부하며 PT내의 라우팅 패스 정보를 활용하여 도착한 패스의 역순으로 Rej 메시지로 해당되는 노드들의 해당 PT 경로 내용 말소

5) 목적지 노드가 제일 먼저 도착하는 Req 메시지를 수신하면 Req 메시지 내의 연결 정보를 PT에 갱신 또는 등록 저장

6) 목적지 노드는 PT에 저장된 라우팅 패스 정보를 활용하여 도착한 패스의 역순으로 해당 노드로 Conf 메시지를 보내고, Conf 메시지를 받은 소스 노드는 RT에 해당 경로를 저장하고 이를 라우팅 패스로 활용하며 중간 노드들은 앞단의 노드로 Conf 메시지를 보내고 PT 경로 내용 말소

7) 이후 목적지 노드로 도착하는 모든 Req 메시지에 대해서는 목적지 노드의 PT 내의 라우팅 패스 정보를 활용하여 도착한 패스의 역순으로 Rej 메시지로 해당되는 노드의 해당 PT 경로 내용 말소

4.2 VS-QMR 멀티캐스트 라우팅 방법 제안

VS-QMR 알고리즘은 대량의 실시간 멀티미디어 서비스를 효율적으로 제공하기 위해 멀티캐스트 서비스 요청 이전에 미리 분산 트리를 구성함으로써, 멀티캐스트 세션 요청에 따라 신속하게 트리를 구성할 수 있는 가상 근원지 기반 접근 방식의 QoS 요구사항을 고려하여 플러딩 기법을 적용한 광 경로 선택 알고리즘이다.

가상 근원지 기반 접근 방식을 이용하여 분산 네트워크 구성 시 QoS 요구사항을 고려하여 이를 만족하는 경로로만 플러딩을 하고, 이를 통해 구성된 분산 네트워크와 가상 소스 노드 사이의 경로를 통해 QoS를 보장하는 광 트리를 구성한다.

위에서 제안한 VS-QUR 라우팅 방법과 같이 연결 요청과 확정, 예약 해지의 세 가지 메시지를 사용하고, 각 가상 소스 노드들은 광 패스 연결 확정 루트를 기록하는 라우팅 테이블(RT: Routing Table)과 현재 진행 중인 연결 루트를 기록하는 팬딩 테이블(PT: Pending Table)을 보유한다. VS-QMR 멀티캐스트 라우팅의 동작과정은 다음과 같다.

- 1) 요청 멀티캐스트 연결의 모든 목적지 주소에 해당하는 QoS 광 라우팅 패스 연결 설정이 완료될 때까지 VS-QUR 알고리즘 수행
- 2) 모든 목적지 주소에 해당하는 QoS 광 라우팅 패스 연결 설정이 완료되면 소스 노드는 RT에 해당 경로를 저장하고 이를 멀티캐스트 라우팅 패스로 활용

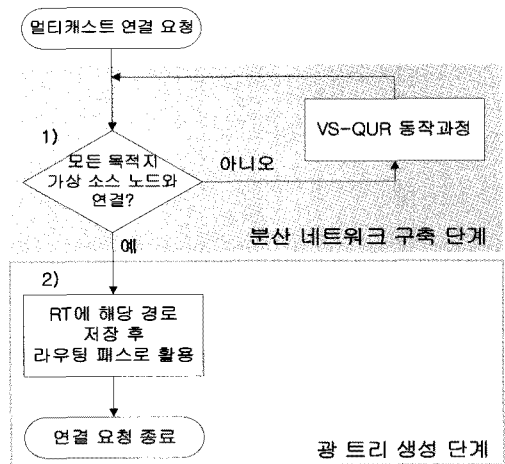


그림 7. VS-QMR 라우팅 동작 순서도

5. 성능 평가

5.1 VS-QUR 유니캐스트 라우팅 성능 평가

시뮬레이션은 VS-QUR 라우팅 방법의 효율성을 검증한다. 다음 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같이 각각 14개의 노드와 20개의 링크, 20개의 노드와 40개의 링크, 30개의 노드와 61개의 링크들로 이루어진 망을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 연결 요청은 포와송 과정에 따라 무작위로 도착한다고 가정하고, 네트워크의 모든 링크들은 8개의 파장 수를 가지며 양방향성이라 가정한다.

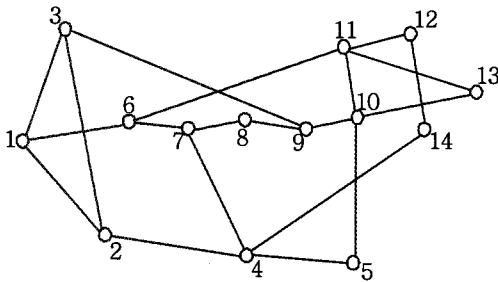


그림 8. 14-노드 토폴로지

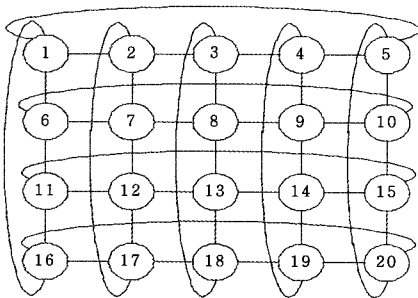


그림 9. 20-노드 토폴로지

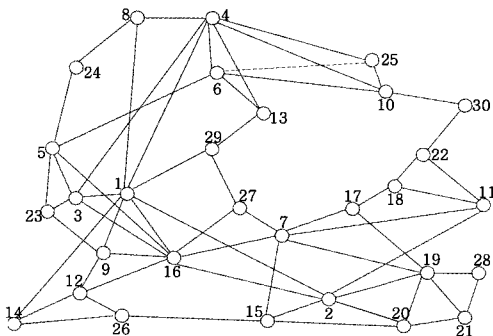


그림 10. 30-노드 토폴로지

본 시뮬레이션에 대한 결과 평가는 블로킹 확률 측면에서 dynamic 및 fixed방법과 비교하여 성능이 우수함을 입증한다. 파장 할당 방법은 FF방식을 적용하였다.

기존의 dynamic 라우팅 및 fixed 라우팅 방법과 VS-QUR라우팅 방법의 블로킹 확률 비교 결과는 그림 11에 도식화하였다(Non-WC: 파장 변환 기능 없는 경우, Full-WC: 파장 변환 기능 보유 경우). 세 가지 토폴로지에 따른 실험 결과에서 같은 파장 사용 조건일 때, 14-노드 토폴로지 경우에는 연결 요청 수가 가능한 연결 대비 5% 이상(10% 이상: 20-노드 토폴로지, 6%이상: 30-노드 토폴로지)일 경우 제안된 라우팅 방법이 기존의 방법에 비해 블로킹될 확률을 개선 하는 결과가 나타났다.

5.2 VS-QMR 멀티캐스트 라우팅 성능 평가

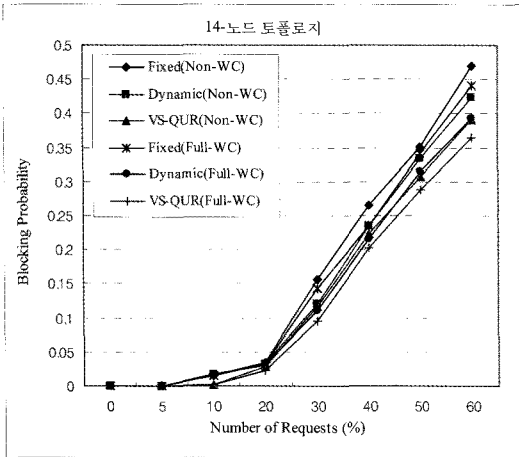
멀티캐스트의 경우는 그림 11에 보여준 블로킹 확률에 대한 1:N에 대한 계산으로, 단순히 N배에 해당하는 결과치를 얻을 수 있다. 결과적으로 블로킹 확률 측면에서 dynamic 및 fixed방법과 비교하여 성능이 우수함을 예측할 수 있다.

결과적으로 본 논문에서는 멀티캐스트 라우팅 경우는 플러딩 메시지 오버헤드 측면에서 기존의 플러딩 방식에 비해 우수함을 입증한다. 그림 12는 성공적으로 확립된 연결에 대한 평균 라우팅 오버헤드를 나타내는 데, 요구되는 채널 수는 결국 플러딩 메시지가 돌아다니는 채널의 개수를 의미한다. 제안한 VS-QMR 라우팅 방법이 기존의 플러딩 방법에 비해 오버헤드가 상당히 감소했음을 확인할 수 있다.

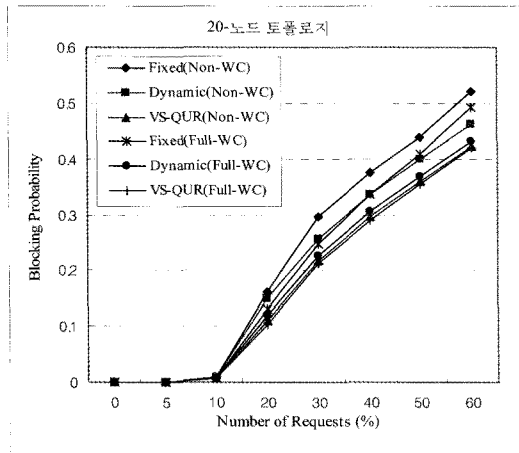
다른 한편으로 제안된 방법은 QoS를 고려하여 라우팅 루트를 구성하는 장점도 가지고 있다.

6. 결 론

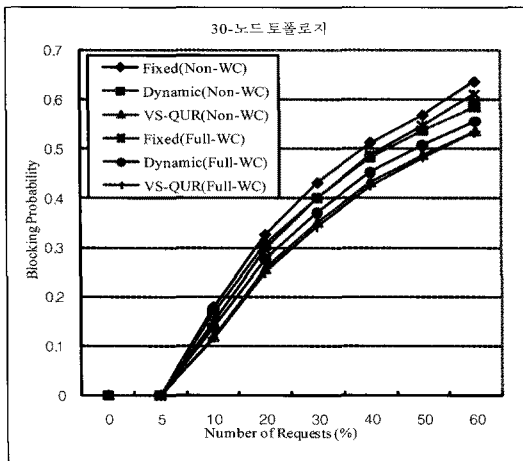
IP/DWM에 기반에서 차등화된 QoS를 고려한 동적 RWA 문제는 차세대 광 인터넷 서비스의 고품질화와 광 네트워크의 lambda 자원에 대한 유한성 극복 및 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 매우 중요한 기술이다. 일반적으로 DWDM 망에서 연구된 대부분의 휴리스틱 라우팅 방법들은 현재 인터넷 라우팅 패러다임 하에서 연구된 개념을 확장하여 활용하는 데, 망자체가 견고하지 않고 노드수가 많을 때



(그림 11-a. 14-노드 토폴로지)



(그림 11-b. 20-노드 토폴로지)



(그림 11-c. 30-노드 토폴로지)

그림 11. Dynamic 및 fixed 방법과의 블로킹 확률 비교

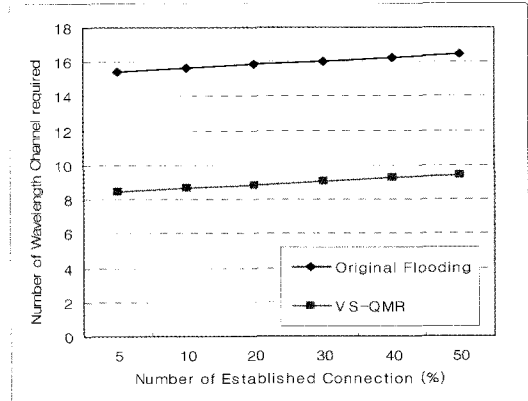


그림 12. 기존 플러딩 방법과의 메시지 오버헤드 비교

에는 더욱더 복잡하고 구현하기가 쉽지 않다. 본 논문에서 제안한 가상소스와 플러딩에 기초한 QoS 제공 유니캐스트 알고리즘(VS-QUR) 및 멀티캐스트 라우팅 방법(VS-QMR)인 알고리즘은 라우팅 패스를 찾기 위해 훨씬 적은 수의 메시지 오버헤드와 같은 조건에서 더 많은 수의 연결이 보장됨을 시뮬레이션 결과로 증명되었다.

본 연구의 결과는 DWDM 백본 기반의 광 가상 사설망(OVPN: Optical Virtual Private Network)에서 여러 가지 실시간 IP 서비스를 구축하는데 효율적인 RWA 기술로 활용이 가능하고, IU-USN서비스 구현 등 필요에 의해 계획적으로 구축하는 광 사설망(OVP: Optical Private Network)에도 적용이 가능하다.

향후 가상소스 노드에서 플러딩으로 나가는 파장을 선택함에 있어 같은 QoS 품질을 보장하는 파장들 중에서 우회 경로를 이용하더라도 광 자원을 최대한 효율적으로 활용하여, 잔여 파장 수를 최대한으로 하는 루트를 선택하는 방향으로 제한 플러딩 방법을 모색할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 김태일, 박우구, 양선희, 김성운, “에너지 절감형 그린 네트워크 기술 동향,” 한국통신학회 Green IT 특집, 제26권, 제9호, pp. 8-15, Aug. 2009.
 [2] <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/com15/implgd/g872ig.ht ml>
 [3] Mi-Ra Yoon, Ju-Dong Shin, Chang-Hyun Jeong, Jun-Mo Jo, Oh-Han Kang and Sung-Un

- Kim, "Optical-LSP Establishment and a QoS Maintenance Scheme Based on Differentiated Optical QoS Classes in OVPNs," *Photonic Network Communications*, Vol.7, No.2, pp. 161-178, Mar 2004.
- [4] Gergely Vakulya, "Energy Efficient Percolation-Driven Flood Routing for Large-scale Sensor Network," *Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology*, pp. 877-883, 2008.
- [5] H. Zang, Jason P. Jue, and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks," *Optical Networks Mag.*, Vol.1, pp. 47-60, Jan. 2000.
- [6] Jong-Gyu Hwang, Jae-Il Jung, Yong-Jin Park, Jung-Hyun Bae, Hyun-Su Song and Sung-Un Kim, "A RWA Algorithm for Differentiated Services with QoS Guarantees in the Next Generation Internet based on DWDM Networks," *Photonic Network Communications*, Vol.8, No.3, pp. 319-334, Nov. 2004.
- [7] Jun Song, Hung Keng Pung and L. Jacob, "A multi-constrained distributed QoS routing algorithm," *ICON 2000 Proceedings, IEEE International Conference*, pp. 165-171, Sep. 2000.
- [8] Banerjee, D. and Mukherjee, B., "A practical approach for routing and wavelength assignment in large wavelength-routed optical networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, Vol.14, No.5, pp. 903-908, June 1996.
- [9] J. S. Choi and N. Golmie et al., "Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM Networks," *Proceedings of OPNET 2000 (Paris, France)*, pp. 1109-1115, January 2000.
- [10] L. Li and A. K. Somani, "Dynamic Wavelength Routing Using Congestion and Neighborhood Information," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.7, No.5, pp. 779-786, October 1999.
- [11] S. Xu et al., "Dynamic Routing and Assignment of Wavelength Algorithms in Multifiber Wavelength Division Multiplexing Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.18, No.10, pp. 2130-2137, October 2000.
- [12] J. G. Hwang, Jae-Il Jung, Yong-Jin Park, Jung-Hyun Bae, et al., "A RWA Algorithm for Differentiated Services with QoS Guarantees in the Next Generation Internet based on DWDM Networks," *Photonic Network Communications*, Vol.8, No.3, pp. 319-334, Nov. 2004.
- [13] Xijun Zhang and John Y. Wei, "Chunming Qiao: Constrained multicast routing in WDM networks with sparse light splitting," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 18, No.12, Dec. 2000, pp. 1917-1927.
- [14] H. Harai, M. Murata, and H. Miyahara, "Performance of Alternate Routing in All-Optical Switching Networks," *Proc., IEEE Infocom '97, Kobe, Japan*, pp. 517-525, April 1997.
- [15] Jun-Mo Jo, Suk-Jin Lee, Kyung-Dong Hong, Chun-Jai Lee, Oh-Han Kang and Sung-Un Kim, "Virtual source-based minimum interference path multicast routing in optical virtual private networks," *Photonic Network Communications*, Vol.13, No.1, pp. 19-30, Oct. 2006.
- [16] Sang-bo Seo, Seung-Mi Song, Sung-Un Kim and Bong-Kee Sin, "Priority-based minimum interference path multicast : routing algorithm in optical virtual private network," *Photonic Network Communications*, Vol.18, pp. 265-274, Mar. 2009
- [17] WorldCom's White Contribution COM-D.126: Proposed Optical Performance Monitoring Parameters for OTN, ITU-T SG 15 Contribution, Oct. 2001.
- [18] Alcatel's White Contribution COM 15-33-E : Electrical (BER, Q-factor, el. SNR) and Optical (OSNR, OCR) System Performance

Parameters for G.DSN, ITU-T SG 15 Contribution, Dec. 2000.

- [19] LUCENT's White Contribution, "L- and C-band Attenuation in Installed Fiber Links," ITU-T SG 15 COM-15-39-E, Aug. 2001.
- [20] KDDI's White Contribution, Revised Draft text of Appendix "Recent technical information on C-and L-band in optical transmission systems," of Rec. G.dsn, ITU-T SG15 D.97, Feb. 2001.

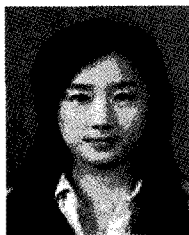


김 성 운

1982년~1985년 한국전자통신 연구소 연구원
 1985년~1995년 한국통신연구개발원 선임연구원 실장
 1989년~1993년 프랑스 파리 7대학 석박사

1995년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수
 2000년~2001년 미국 NIST 초빙연구원
 2003년~현재 한국 ITU-T SG15 의장
 2003년~현재 TTA PG201 프로젝트그룹 의장
 2004년~현재 개방형컴퓨터통신연구회 이사
 2008년~현재 ICT/환경융합표준포럼 의장

관심분야: 센서 네트워크, 수중 센서 네트워크, 센서 노드 이동성 지원 기술, USN, 그린ICT, DWDM, RWA 알고리즘



박 선 영

2007년 3월~현재 부경대학교 전자정보통신공학과 Protocol 연구실 4학년 재학중

관심분야: 수중 센서 네트워크, 센서 노드 이동성 지원 기술, RWA 알고리즘