

論文2003-40TC-12-4

DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 QoS 서비스 제공을 위한 QoS-based RWA 알고리즘

(QoS-based RWA Algorithm for providing QoS Services
in the Next Generation Internet based on DWDM)

裴丁賢*, 宋炫受*, 金成質*, 金榮夫**, 曹基星**;
李顯津**

(Jung-Hyun Bae, Hyun-Su Song, Sung-Un Kim, Young-Boo Kim,
Kee-Seong Cho, and Hyun-Jin Lee)

요약

다양한 실시간 멀티미디어 서비스들을 전송하는 DWDM(Dense-Wavelength Division Multiplexing) 기반의 차세대 인터넷에서는 DWDM망의 다양한 QoS(Quality of Service) 파라미터들을 복합적으로 고려하는 QoS RWA(Routing and Wavelength Assignment) 방식으로의 접근이 요구되어진다. 그러나 일반적으로 다중 제약조건을 만족하는 최적의 경로를 찾는 것은 NP-complete한 문제로서, 파장 연속성까지 고려해야 하는 DWDM 망에서는 QoS RWA 분야에 대한 연구가 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 QoS RWA 수행하기 위한 방안으로 flooding 기법을 확장하여 경로 설정에 대한 계산과 구현을 간소화시킨 QPR(Qualified Path Routing) 알고리즘을 제안한다. 또한 QPR 알고리즘을 기반으로 광신호 품질, 광자원(파장), 생존성 및 파장 연속성까지 고려하여 차등적인 QoS 지원하는 QoS-based RWA 알고리즘을 제안하며, 블록률, 라우팅 오버헤드 및 생존성 측면의 성능 평가를 통해 제안된 알고리즘들의 효율성을 검증하였다.

Abstract

In the next generation Internet(NGI) based on dense wavelength division multiplexing(DWDM) technology, QoS RWA considering various QoS parameters of DWDM networks is regard as one of the key issues in providing real-time multimedia services. However, finding a qualified path meeting multi-constraints is generally NP-complete problem. It is insufficient for QoS RWA researches in DWDM networks that must consider QoS parameter as well as wavelength-continuity constraint. This paper proposes qualified path routing (QPR) algorithm with minimum computation and implementation complexity based on flooding method to accomplish QoS routing and wavelength assignment (RWA). We also introduce a QoS-based RWA mechanism considering multi-constraint such as optical signal quality attributes, survivability and wavelength-continuity constraint combined with proposed routing algorithm. Simulation results show superior efficiency of the proposed algorithms in terms of blocking probability, routing overhead and survivability ratio.

Keywords : DWDM, NGI, QoS, RWA, Survivability

* 正會員, 釜慶大學校 情報通信工學科
(Dept. of Telematics, Pukyung National University)

communications Research Institute)

** 正會員, 韓國電子通信研究院 네트워크구조팀
(Network Architecture Team, Electronics and Tele-

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000
-10526-0) 지원으로 수행되었음.

接受日: 2003年11月8日, 수정완료일: 2003年12月3日

I. 서 론

통신 기술의 발전 및 웹의 급속한 확산으로 인해 인터넷이 정보 전달망의 핵심 수단으로 사용되면서 인터넷 사용자들의 다양한 서비스 요구 및 서비스 품질에 대한 요구가 높아짐에 따라, DWDM(Dense-Wavelength Division Multiplexing)

기반의 차세대 인터넷에서는 서비스 전송을 위한 경로 설정' 시 각 서비스 타입에 맞는 QoS(Quality of Service) 레벨을 고려한 RWA (Routing and Wavelength Assignment) 방식으로의 접근이 한층 더 요구되어진다^[1]. 또한 DWDM 기반의 차세대 인터넷은 데이터를 고속으로 전송하므로 망의 장애나 의도적인 침입에 의해 대량의 트래픽이 손실될 우려가 있으며^[2, 3], 높은 수준의 QoS를 지닌 다양한 멀티미디어 서비스들을 전송하는 차세대 인터넷에서는 생존성까지 제공하는 RWA 방식도 고려되어야 할 사항이다. 즉, DWDM 망에서 망 지원 및 망 구성장비와 관련된 광신호 품질과 망 장애 발생시 트래픽의 보호와 관련된 생존성 등 다양한 QoS 파라미터들을 복합적으로 고려하는 QoS RWA 알고리즘 연구가 차세대 인터넷에서 필수적으로 수행되어야 한다.

그러나 일반적으로 다중 제약조건을 고려하여 최적의 경로를 찾는 QoS 라우팅은 NP-complete한 문제로서^[4], 다양한 QoS 파라미터 뿐만 아니라 파장 연속성까지 고려하여 최적의 경로를 설정해야 하는 DWDM 망에서는 QoS RWA 분야에 대한 연구가 아직 미비한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 QoS RWA 수행하기 위한 방안으로 flooding 기법^[5]을 확장하여 경로 설정에 대한 계산과 구현을 간소화시킨 QPR (Qualified Path Routing) 알고리즘을 제안한다. 또한 제안된 QPR 알고리즘을 기반으로 광신호 품질, 광지원(파장), 생존성 및 파장 연속성까지 고려하여 다중 제약 조건을 만족하는 QoS-based RWA 알고리즘도 제안하며, 제안된 알고리즘은 DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 각 서비스가 요구하는 QoS 레벨에 따라 차등적인 QoS를 제공한다.

이를 위해 본 논문의 II장에서는 DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 QoS 서비스 제공을 위해 고려되어야 할 QoS 파라미터들을 분석하고 분석된 내용을 기반으로 차세대 인터넷 QoS 서비스 모델을 제시한다. III장에서는 QPR 알고리즘의 기본 개념과 사용되는 메시지 및

테이블을 정의하고 QPR 알고리즘 경로 설정 절차를 제안한다. IV장에서는 제안된 QPR 알고리즘을 기반으로 II장에서 분석된 다양한 QoS 파라미터를 고려하여 다중 제약 조건을 만족하는 QoS-based RWA 알고리즘을 제안한다. 그리고 V장에서 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘들의 성능 및 효율성을 분석한 후, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 차세대 인터넷 QoS 서비스 모델

DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 서비스의 SLA (Service Level Agreement)는 광경로 설정시 협상되며, 각 서비스의 QoS 레벨을 만족하는 최적의 경로를 설정하기 위해 다음과 같은 QoS 파라미터들을 고려한다.

먼저 광신호 품질에 관련된 QoS 파라미터로서, 광신호는 망 구성 요소인 OXC(Optical Cross-Connect), OADM(Optical Add/Drop Multiplexer), 파이버(fiber), EDFA(Erbium Doped fiber Amplifier) 등을 지나면서 분산(dispersion), 감쇄(attenuation), 왜곡(distortion) 등의 요인으로 인해 바람직하지 않은 손상을 입게 된다^[6]. 더불어 전송 신호의 손상은 여러 노드를 통해 신호가 전달되는 동안 축적되어지며, 이러한 문제는 광신호의 급격한 품질 저하를 야기하므로 인터넷 사용자에게 만족한 QoS 서비스를 제공할 수 없다. 따라서 차세대 인터넷에서는 각 서비스의 QoS 임계치를 만족하는 경로 설정을 위해 링크상에서 광신호 품질을 측정할 수 있는 기준이 요구되어지며, 시스템의 전자적 성능 파라미터인 el. SNR(Signal Noise Ratio)과 광 성능 파라미터인 OSNR (Optical SNR)을 통한 BER(Bit Error Rate) 추정으로 광신호의 품질을 측정할 수 있다^[7, 8].

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

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

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

$$\begin{aligned} r &= 0.15 \text{ (extinction ratio of the transmitted optical signal)} \\ Be &= 0.75 \times f_0 \text{ (effective electrical noise bandwidth due to bit rate } f_0) \\ Bd &= 12.6 \text{ GHz or } 0.1 \text{ nm (optical bandwidth for OSNR measurement)} \end{aligned}$$

위의 식 (1), (2), (3)은 Q-factor들을 사용하여 광신호 품질에 관련된 QoS 파라미터들의 관계^[9]를 나타낸 것이다. 이 중 OSNR 값은 Q 값과 전송률(f_0)에 의존하는 유효 잡음 대역폭(B_e) 및 광 대역폭(B_d)에 따라 달라진다.

다음으로 고려되는 사항은 광자원(파장)에 관련된 QoS 파라미터로서, 사용되는 파장들은 존재하는 스펙트럼에 따라 각기 다른 특성을 지닌다. 일반적으로 규모가 큰 DWDM 광 백본망에서는 광신호의 감쇠를 고려하여 S-band에서 U-band까지의 파장이 광경로에 할당 가능하며, 이 때 만족한 QoS 서비스 제공을 위해 각 파장 대역의 특성을 고려하여 서비스 클래스별로 차등화된 파장 할당을 수행하는 것이 바람직하다. 즉, 광경로 설정시 높은 BER 값을 요구하는 서비스 클래스에는 0.28 dB/km의 낮은 감쇠 계수를 지닌 C-band (1530~1565 nm)^[10] 내의 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 (1565~1625 nm)^[11] 내의 파장을 활용함으로써 파장 효율성 및 차등적인 서비스 QoS를 보장한다.

마지막으로 광 상황에 관련된 QoS 파라미터들이 필수적으로 고려되어야 하며, 파장 연속성 및 생존성 측면에서의 QoS 제공 문제가 여기에 속한다. 일반적으로 DWDM 망에서 광경로는 노드에서 파장변환기가 존재하지 않을 때 경로상의 모든 링크에 동일한 파장을 할당해야 하는 파장 연속성 제약조건을 지니며^[12], 이는 광 전체적으로 비효율적인 자원(파장) 사용을 야기하여 높은 connection blocking probability를 가져온다. 이에 반해 파장 변환기가 존재하는 노드에서는 파장 연속성 제약조건 없이 경로 내 다른 파장 할당이 가능해지므로 광 자원의 사용 측면에서는 효율적인 방법으로 고려되어지나, 고비용의 파장 변환기를 광 전체에 설치하는 것은 무리가 따르므로 파장 효율성을 고려하여 파장 변환기를 최적의 위치에 선별적으로 배치하는 문제가 중요하게 고려되어야 한다^[13]. 이와 더불어 파장 변환기 사용은 서비스의 QoS 측면에서도 고려되어져야하는데, 광신호가 파장 변환기를 통과할 때 20dB 정도의 높은 신호 파워 손실을 겪게 되는 점을 감안하여 각 서비스가 요구하는 QoS에 적합하도록 차등화된 파장변환기 사용유무가 이루어져야 한다.

또한 데이터를 고속으로 전송하는 DWDM 망에서는 하나의 fault나 attack이 발생할 경우에도 막대한 트래픽 손실을 초래하며, 이를 방지하기 위해 광의 장애 발생 시 광경로의 투명성을 보장하는 보호(protection) 및 복구(restoration) 메커니즘 등의 생존성 기법이 매우 중요하다^[2, 3]. 특히, 실시간 멀티미디어 서비스들을 전송하면

서 높은 신뢰성과 QoS 보장을 요구하는 차세대 인터넷에서는 생존성 문제가 더욱더 필수적으로 요구되어지며, 자원 효율성이나 QoS 보장 측면에서 각 서비스 타입별로 QoS 레벨 정도에 따라 차등화된 생존성 기법이 제공되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 광경로의 생존성 보장을 위해 다음과 같이 차등적인 생존성 기법을 적용한다. 즉, VoIP나 화상회의 같이 높은 신뢰성을 요구하는 premium 서비스에는 하나의 광경로에 대해 하나의 예비 광경로를 미리 설정해두는 1:1 보호 기법을 적용하여 50 ms 이하의 회복시간(recovery time) 내에 100%의 생존성을 보장하고, 이보다 상대적으로 낮은 QoS 보장을 요구하는 assured 서비스에 대해서는 다수개의 광경로가 하나의 예비 광경로를 공유하는 1:N 보호 기법을 적용하여 파장 효율성 및 생존성 능력을 보장한다. 그리고 마지막으로 best-effort 서비스에는 fault나 attack 발생한 후 IP 레벨 다른 경로로 재라우팅하는 복구 기법을 적용하여 트래픽의 생존성을 보장한다.

<표 1>은 IP QoS 서비스 클래스 및 차등화 서비스(Diffserv : Differentiated services) 기술을 기반으로 앞에서 분석된 다양한 QoS 파라미터들을 고려하여 차세대 인터넷의 QoS 서비스 모델을 제시한 것으로, 각 서비스 클래스가 요구하는 QoS 정도에 따라 차등적인 경로 설정을 수행한다.

표 1. 차세대 인터넷의 QoS 서비스 모델

Table 1. QoS service model in the NGI.

Classification criteria	Class ^a	Class ^b	Class ^c	Class ^d	Class ^e
	Premium service	Assured service			Best-effort service
BER (Q)	10^{-6} (8)	10^{-4} (7.5)	10^{-3} (8)	10^{-2} (7.5)	10^{-1} (6)
cl. SNR (dB, 10GbE)	18.06 dB	17.5 dB	18.06 dB	17.5 dB	17.5 dB
OSNR (dB, 10GbE)	20.67 dB	20.1 dB	20.67 dB	20.1 dB	20.1 dB
Resource allocation	(C band 1530nm - 1555nm)	(L band 1565nm - 1625nm)	(C band 1530nm - 1565nm)	(L band 1565nm - 1625nm)	(L band 1565nm - 1625nm)
Recover scheme	Protection (1:1) Backup lightpath		Protection (1:N) Backup lightpath		Restoration at IP level
Recover time	~ 5ms (Detection time : 100mscc)		~ 40mscc (Detection time : 100mscc)		1~100 sec (Detection time : 100mscc - 180sec)

III. QPR(Qualified Path Routing) 알고리즘

QPR 알고리즘은 flooding 기법에 기반하여 경로 설정을 요구하는 송신 노드에서 수신 노드까지 각 서비스의 QoS 요구사항을 만족하는 링크를 순차적으로 찾아감으로써 적절한 경로를 선택하는 라우팅 방식이다.

그러나 일반적으로 flooding 기법은 망에 과도한 트래픽을 발생시켜 잠재적인 혼잡 상황을 야기할 확률이 높으며, 본 논문에서 제안하는 QPR 알고리즘은 기존의 flooding 기법이 지니는 문제점을 다음과 같은 방법으로 해결한다.

첫째, 요구사항 체크를 통해 사용자의 요구사항을 만족시키지 않는 링크를 flooding에서 제외시킨다.

둘째, 네트워크상의 각 노드에 History Table을 유지하면서, 각 노드를 한번 거친 메시지는 더 이상 경로 설정 절차를 수행하지 않고, 폐기된다.

위의 두 가지 방법은 각 노드에서 중복적으로 flooding되는 메시지 수를 줄여 망이 잠재적으로 혼잡상황을 경험할 확률을 감소시킴으로써 기존의 flooding 기법이 가지는 단점을 보완한다.

1. 요구사항

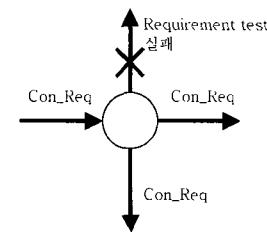
1.1 메시지

QPR 알고리즘에서는 경로 설정 절차를 수행하기 위해 Con_Req(Connection Request) 메시지, Rej_Rsv(Reject Reservation) 메시지 및 Con_Conf (Connection Confirmation) 메시지를 사용하며 각 메시지의 유형 및 기능은 다음과 같다.

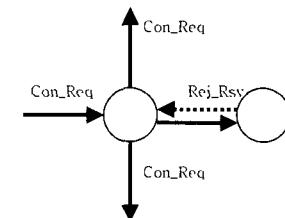
먼저 Con_Req(연결 요구) 메시지는 특정 제약조건을 만족하는 경로를 탐색하기 위해 연결요구 식별자, 목적지 식별자, QoS 요구사항(BER, el. SNR, ONSR 등) 및 경로 구분 식별자(주경로와 보조경로 구분)가 명시된 메시지이다. 각 노드에서의 Con_Req 메시지 처리는 <그림 1(a)>와 같으며, 연결된 모든 링크들 중 요구하는 값 을 만족하는 링크로만 Con_Req 메시지를 전송한다.

다음으로 Rej_Rsv(예약 해지) 메시지는 <그림 1(b)>에 나타난 것처럼 각 노드는 요구조건을 만족하는 링크가 존재하지 않을 경우에 연결된 상위 링크에 예약된 자원을 해지하는 메시지이다. 또한 Con_Conf 메시지가 도착한 경로상의 링크를 제외한 링크들에 대해 예약된 자원도 해지하며, 이를 위해 Rej_Rsv 메시지 내에는 메시지 식별자, 연결 요구 식별자, 목적지 식별자 및 경로 구분 식별자가 포함된다.

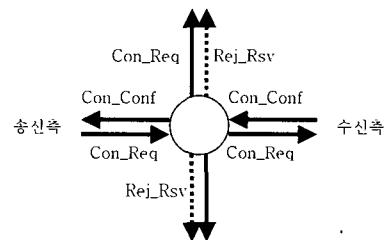
마지막으로 Con_Conf(경로 확정) 메시지는 목적지 노드에 Con_Req 메시지가 도착하면 이에 대한 응답으로 <그림 1(c)>와 같이 Con_Conf 메시지를 송신측에 전송하여 최종 경로 설정을 알리며, 메시지에 포함된 내용은 예약 해지 메시지와 동일하다.



(a) Con_Req(연결 요구) 메시지 전달
(a) Con_Req(Connection Request) message transmission



(b) Rej_Rsv(예약 해지) 메시지 전달
(b) Rej_Rsv(Reject Reservation) message transmission



(c) Con_Conf (경로 확정) 메시지 전달
(c) Con_Conf(Connection Confirmation) message transmission

그림 1. QPR 알고리즘 메시지 유형

Fig. 1. Message type of QPR algorithm.

1.2 테이블

QPR 알고리즘은 경로 설정 절차를 수행하기 위해 각 노드에서 세 가지 유형의 테이블들을 사용한다. 먼저 PRT(Pending Routing Table)은 현재 경로 설정이 진행 중인 연결 요구를 나타내는 테이블로서, 각 필드 항목에 대한 설명은 <표 2(a)>와 같다. 다음으로 RT(Routing Table)는 확정된 경로의 정보를 포함하며, 이 테이블에 명시되는 연결 요구는 PRT와 HT에서 항목이 삭제된다. RT 내의 각 필드 항목은 <표 2(b)>에 나타나 있다. 마지막으로 HT(History Table)은 각 노드에서 한번 경유한 연결 요구 메시지를 기록하여 메시지의 무한 루프를 방지하는 기능을 담당하는 테이블로, 명시된 항목은 <표 2(c)>와 같다.

표 2. QPR 알고리즘 테이블 유형
Table 2. Table type of QPR algorithm.

(a) 미결정 라우팅 테이블 (a) Pending Routing Table (PRT)	
항 목	설 명
Request_ID	연결 요구 메시지 식별자
Import	연결 요구 메시지의 입력 포트
Outport_count	Flooding된 메시지 수
Outport_List	Flooding된 메시지의 출력 포트
(b) 라우팅 테이블 (b) Routing Table (RT)	
항 목	설 명
Connection_ID	설정된 경로 식별자
Resources	경로에 예약된 자원(파장)
Ports	입/출력 포트쌍
(c) 기록 테이블 (c) History Table (HT)	
항 목	설 명
Index1	Request_ID
Index2	Request_ID

2. 경로 설정 절차

QPR 알고리즘의 경로 설정은 송신측에서 수신측에 이르는 경로들 중 서비스의 QoS 요구 사항을 만족하는 경로를 찾기 위해 각 링크에서 QoS 검사를 수행하며, 이를 만족하는 링크에 대해서는 자원을 예약한 후 현재 Con_Req 메시지 ID를 HT와 PRT에 기록한다. 이때 예약된 자원은 다른 연결 요구를 위한 경로 설정에 사용될 수 없다. 이에 반해, 노드와 연결된 모든 링크에서 QoS 요구 사항을 실패할 경우에는 Rej_Rsv 메시지 전송하여 이전 노드에서 예약된 자원을 모두 해지하고 HT와 PRT에서 해당 메시지에 대한 항목을 삭제한다.

위와 같은 절차들을 순차적으로 수행함으로써 Con_Req 메시지가 서비스의 QoS 요구조건을 만족하는 링크들을 따라 수신 노드에 도착하면, 수신 노드에서는 최종적으로 송신 노드까지 Con_Conf 메시지를 보내어 자원을 할당한다. 이 때, Con_Req 메시지가 flooding된 링크들 중 선택된 경로에서 제외된 링크들에 예약된 자원은 Rej_Rsv 메시지에 의해 해지되며, 선택된 경로에 대한 정보는 RT에 기록함으로써 경로가 확정된다. 또한 설정

된 경로에 포함되는 노드들은 Con_Conf 메시지가 전송되는 동안 해당 노드에서 현재 진행중인 Con_Req 메시지 항목을 HT와 PRT에서 삭제한다.

<그림 2>는 QPR 알고리즘에서 경로 설정을 위한 기본적인 동작 절차 나타내며, 이 절차는 다음 장에서 기술되는 QoS RWA 알고리즘에 적용된다.

Procedure 연결 설정

```

If "Request_ID in HT" then
    Rej_Rsv 메시지 전송;
else
    HT에 Con_Req ID 명시;
    If "목적지 종단 노드와 연결" then
        수신 노드에 Con_Req 메시지 전송;
        송신 노드에 Con_Conf 메시지 전송;
    else
        Cost requirement 만족하는 모든 링크로
        Con_Req 메시지 flooding;
        PRT에 Con_Req 메시지 항목 추가;
    If "cost requirement 만족하는 링크 존재" then
        PRT에 Con_Req 메시지 항목 추가;
    else

```

그림 2. QPR 알고리즘 연결 설정 절차

Fig. 2. Connection establishment procedure of QPR algorithm.

IV. QoS-based RWA 알고리즘

다양한 실시간 멀티미디어 서비스들을 전송하는 DWDM 기반의 차세대 인터넷에서는 제공되는 서비스들의 QoS 보장을 위해 DWDM 망 자원 및 망 구성장비와 관련된 광신호 품질과 망 장애 발생시 트래픽의 보호와 관련된 생존성 등 다양한 QoS 파라미터들을 복합적으로 고려하는 QoS RWA 수행이 필수적으로 요구되어진다. 또한 DWDM 망에서의 RWA 수행은 자원의 효율적인 사용측면에서 제한된 파장 변환 기능도 함께 고려하여야 하며, 본 논문에서는 QoS RWA를 수행하기 위해 III장에서 제안된 QPR 알고리즘을 기반으로 광신호 품질, 광자원(파장), 생존성 및 파장 연속성 등 다양한 QoS 파라미터 고려하는 QoS-based RWA 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. QoS 검사

III장에서 제안된 QPR 알고리즘을 기반으로 하는

QoS-based RWA 알고리즘에서는 Con_Req 메시지를 전송하기 전에 사용자가 요구하는 서비스 클래스의 QoS 레벨을 만족하는 경로를 탐색하기 위하여 망의 모든 노드에서 <그림 3>과 같은 QoS 검사를 수행한다.

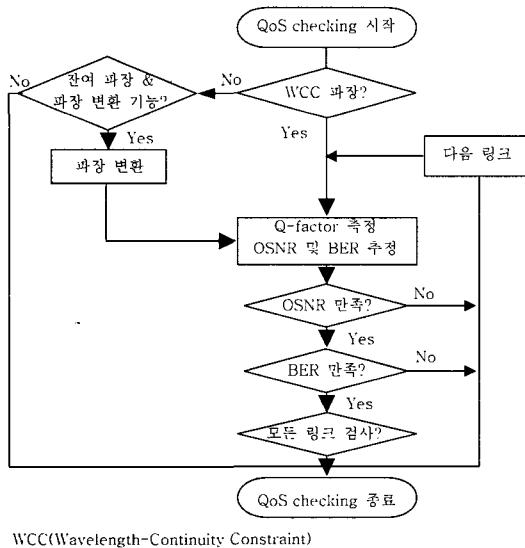


그림 3. QoS 검사

Fig. 3. QoS checking.

이 때, QoS 파라미터로는 2장에서 분석된 광 신호 품질 관련 파라미터(OSNR, BER)와 광 자원 관련 파라미터(파장) 및 망 상황 관련 파라미터(파장변환기, 생존성 기법)를 적용하며, QoS-based RWA 알고리즘은 이 값들에 대한 QoS 검사를 수행한 후 송수신 노드 사이에 최적의 광경로 Psd (*s*(source):송신노드, *d*(destination):수신노드)를 설정한다. 이 과정에서 광 신호 품질과 관련된 OSNR 및 BER 측면에서의 QoS 검사는 경로상의 각 링크 1마다 Q-factor를 측정하여 BER과 OSNR을 추정한 후, 추정된 링크의 OSNR 값인 $(OSNR)_l$ 및 BER 값인 $(BER)_l$ 과 <표 1>에 제시된 각 서비스 클래스의 OSNR 제한치인 $(OSNR)_{th}$ 및 BER 제한치인 $(BER)_{th}$ 를 비교하여 이들이 각각 식 (4)와 (5) 만족하면 QoS 검사를 성공한 것으로 간주한다.

$$(OSNR)_l \geq (OSNR)_{th} \quad (\forall l \in p_{sd}) \quad (4)$$

$$(BER)_l \geq (BER)_{th} \quad (\forall l \in p_{sd}) \quad (5)$$

이러한 절차는 보호 및 복구 기법 제공을 위해 설정되는 경로에도 동일하게 적용되며, 식 (4)와 (5)를 만족

하는 경로가 존재하지 않을 경우 트래픽은 blocking 된다.

2. 제한된 파장 변환 기능

일반적으로 DWDM 망에서는 경로상의 모든 링크에서 동일한 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 조건을 가진다^[12]. 하지만 이러한 제약 조건은 파장 변환기의 사용으로 해결될 수 있으며, 이로 인해 망 자원을 보다 더 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 망 내의 연결 설정 요구에 대한 blocking 확률도 최소화 할 수 있다. 따라서 파장 변환은 파장 당 수 Gbps를 제공하는 DWDM 망의 효율적인 파장 사용측면에서 매우 중요한 문제로 다루어지고 있다.

그러나 고비용의 파장 변환기를 모든 노드에 설치하는 것은 무리가 따르며 파장 변환기를 설치 하더라도 이를 경유하는 광신호 파워 손실 문제를 고려하지 않을 수 없는데, 이러한 문제는 한정된 노드들에 파장 변환기를 사용하거나 또는 파장의 범위를 제한함으로써 해결 할 수 있다. 기존의 연구 결과^[14]에 따르면, 망 전체 노드수의 30 ~ 40% 해당하는 노드에 파장 변환기를 설치 할 경우 connection blocking probability 측면에서 모든 노드에 파장 변환기를 배치한 경우의 80 ~ 90% 해당하는 성능을 얻을 수 있고, 전체 파장 범위의 20 ~ 40% 정도의 제한된 파장 범위를 사용했을 경우에도 모든 범위로의 변환이 가능한 파장 변환기를 사용한 경우와 비교해 볼 때 80%에 가까운 성능이 얻어진다.

따라서 본 논문에서는 자원(파장) 효율성 측면에서 비용 및 신호 감쇠 문제를 고려하여 제한된 노드에 파장 변환기를 최적으로 배치하는 total outgoing traffic 방식^[15]을 QoS-based RWA 알고리즘에 적용하며, 이 때 파장 할당 방식으로는 비교적 구현이 용이하고 성능이 우수한 FF(First Fit) 방식^[12]을 함께 적용한다.

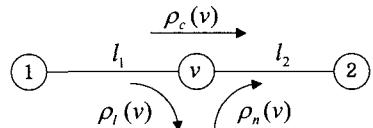


그림 4. 중간 노드에서의 트래픽 분류

Fig. 4. Traffic classification at a core node.

<그림 4>는 중간 노드 ν를 경유하는 트래픽을 나타내며, 트래픽 분류는 식 (6), (7), (8)과 같다. 먼저 식 (6)은 중간 노드 ν를 OXC 혹은 OADM라 가정할 때 중간 노드 ν에서 유출되어 사용자에게 제공되는 트래

피을 나타낸다. 식 (7)은 사용자 트래픽이 망 내부로 유입되는 것을 나타내며, 식 (8)은 중간 노드에서 아무런 처리 없이 다음 노드로 전달되는 트래픽을 나타낸다.

$$\rho_r(v) = \sum_{\{j | l_1 \in r_i, j | l_2 \in r_i\}} \lambda_j \quad (6)$$

$$\rho_n(v) = \sum_{\{j | l_1 \notin r_i, j | l_2 \in r_i\}} \lambda_j \quad (7)$$

$$\rho_c(v) = \sum_{\{j | l_1 \in r_i, j | l_2 \in r_i\}} \lambda_j \quad (8)$$

$$\tau(v) = \rho_n(v) + \rho_c(v) \quad (9)$$

만약 파장 변환기가 n개로 제한되어 있다면, 본 연구에 적용되는 total outgoing traffic 방식^[5]은 중간 노드 v에서 식 (9)의 값이 가장 높은 n개의 노드에 파장 변환기를 설치하는 기법으로, 망에서 다른 노드들에 비해 다음 노드로 전달되는 트래픽이 상대적으로 많은 노드(즉, 많은 링크가 연결되어 있어 잠재적으로 혼잡 상황이 발생할 확률이 높은 노드)에 파장 변환기를 설치함으로써 망의 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

본 논문에서는 <그림 7>의 14-node NSFnet 모델에 total outgoing traffic 알고리즘을 적용하여 3, 5, 6, 8, 9, 10 등 상대적으로 노드에 연결된 링크 수가 많아 식 (9)의 값이 클 것으로 예상되는 노드들에 파장 변환기를 배치하였다.

3. QoS-based RWA 알고리즘

본 논문에서 제안하는 QoS-based RWA는 QPR 알고리즘을 기반으로 광 신호 품질 관련 파라미터(OSNR, BER)와 광 자원 관련 파라미터(파장) 및 망 상황 관련 파라미터(파장변환기, 생존성 기법)을 고려하여 경로 설정을 수행하며, <그림 5>는 QoS-based RWA의 동작 절차를 나타낸다.

전반적인 경로 설정 절차를 살펴보면, 먼저 노드에 Con_Req 메시지가 도착하면 HT에 현재 연결 요구 메시지 ID가 존재하는지 조사하여 중복 여부를 검사한다. 만약 중복된 메시지가 아닐 경우에는 HT에 현재 Con_Req 메시지의 ID를 기록하고, 전송하려는 수신 노드와의 연결성을 조사하여 수신 노드에 도착할 때까지 서비스가 요구하는 QoS 레벨을 만족하는 링크를 찾는 절차를 반복적으로 수행해 나간다. 이 때, QoS 검사는 <그림 3>과 같이 파장 연속성 제약 조건을 만족하는 파장

이 존재하면 파장 변환 없이 해당 파장을 할당하지만, 이전 링크의 파장과 동일한 파장이 없을 경우에는 다른 잔여 파장 존재 여부를 조사한 후 잔여 파장이 존재하면서 그 노드가 파장 변환 기능을 지원하면 파장 변환을 통해 다음 QoS 검사 절차인 OSNR 및 BER 검사를 수행한다. 모든 QoS 검사를 성공하면 해당 Con_Req 메시지 ID를 PRT에 기록하며 자원을 예약하고, 예약된 자원은 다른 연결 요구에 대한 경로 설정에 사용될 수 없다. 이에 반해, 노드와 연결된 모든 링크에서 QoS 요구 사항을 실패할 경우에는 Rej_Rsv 메시지 전송하여 이전 노드에서 예약된 자원을 모두 해지하고, HT와 PRT에서 해당 메시지에 대한 항목을 삭제한다.

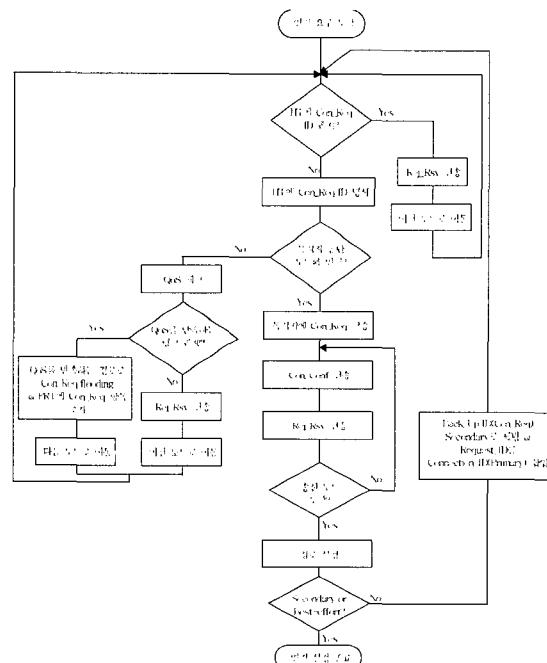


그림 5. QoS-based RWA 절차
Fig. 5. QoS-based RWA procedure.

중간 노드들에서 모든 절차가 종료하면, 수신 노드는 Con_Conf 메시지를 송신측으로 전달하면서 FF 방식에 의해 파장을 할당하고, 이 때 확정된 경로는 flooding에 의해 최초로 목적지 노드에 도착한 Con_Req 메시지에 설정된다. 이 과정에서 Con_Conf 메시지를 수신한 중간 노드들은 Con_Req 메시지가 flooding된 링크들 중 선택된 경로상에서 제외된 링크에 Rej_Rsv 메시지 전송하여 예약된 자원을 해지함과 동시에 선택된 경로에 대한 정보를 RT에 기록하여 경로를 확정하고, 확정된 경로상의

노드들은 현재 진행중인 Con_Req 메시지 항목을 해당 노드의 HT와 PRT에서 삭제한다.

또한 QoS-based RWA는 설정된 경로상의 링크 및 노드에서의 발생하는 fault 및 attack에 대응하기 위해 각 서비스마다 차등적인 생존성 기법을 지원한다.

먼저 premium과 assured 서비스 대해서 살펴보면, 주 경로가 설정된 후 Con_Req 메시지의 Request_ID 부분을 주 경로가 설정된 RT내의 Connection_ID와 같은 값으로 세팅하고, Back_Up ID를 보조 경로로 세팅한 후 QPR 알고리즘 절차를 수행한다. 알고리즘 수행 시 보조 경로 절차에서는 QoS 검사와 함께 RT내의 Connection_ID에 해당하는 경로의 링크 설정 정보를 토대로 주경로와의 링크 중복(link-disjoint) 여부를 조사하며, 중간 노드들에서 위와 같은 절차가 성공적으로 끝났을 경우 모든 보조 경로 설정 절차를 포함한 모든 경로 설정 절차는 종료한다. 이 과정에서, premium 서비스에는 1:1 보호 기법을 적용하여 하나의 주 경로에 대해 하나의 보조 경로를 설정하고, assured 서비스의 경우에는 n개의 경로가 하나의 보조 경로를 공유하는 1:N 보호 기법을 적용한다. best-effort 서비스를 위한 보조 경로 설정 절차는 기본적으로 premium 및 assured 서비스와 동일하나 이러한 절차들이 fault 및 attack 발생 이후에 실행되는 복구 기법을 적용하며, <그림 6>은 보조 경로에 대한 연결 설정 과정을 나타낸다.

Procedure 보조 경로 연결 설정

```

If "주경로 확정" then
    Request_ID ← Connection_ID(주경로);
    Back_Up ID ← Secondary로 setting;
    QPR 알고리즘 절차 수행;
    If "QoS checking 성공 & 주경로와 disjoint 링크 존재" then
        해당 링크로 Con_Req 메시지 flooding;
    else
        Rej_Rsv 메시지 전송;
        If "목적지 노드까지 QoS checking 성공
        & 주경로와 path disjoint 경로 확정" then
            경로 설정 절차 종료;
        else
            경로 설정 실패;

```

그림 6. 보조 경로 설정 절차

Fig. 6. Back-up path establishment procedure.

V. 성능 평가

1. 실험 모델

본 논문에서 제안된 QPR 알고리즘 및 QoS-based RWA 알고리즘의 성능 분석을 위해 블록률, 라우팅 오버헤드 및 생존성 측면에서 성능 평가를 수행하였다. Pentium IV(256M RAM, 1.4G CPU)에서 C++을 사용하여 시뮬레이션을 하였고, 실험에 사용된 망의 토플로지는 <그림 7>과 같이 현재 미국에서 WDM 망으로 사용되는 NSFnet을 채택하였다.

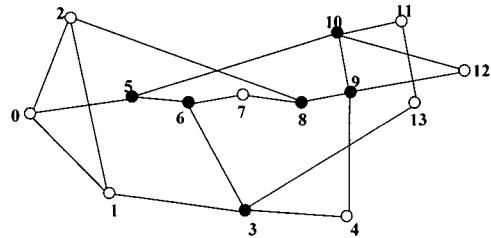


그림 7. 14-노드 NSFnet

Fig. 7. 14-node NSFnet.

망 내부는 14개의 노드와 20개의 링크로 구성되어 있으며, 링크 당 파이버의 수는 1개, 파장의 수는 파이버당 8개이고, 각 파장에 인덱스 번호를 부여하여 번호가 낮은 파장이 전송 품질이 좋은 파장임을 가정하였다. 경로 설정을 요구하는 송, 수신 노드 쌍들은 전체 노드 쌍들 중에서 7쌍을 임의로 선택하였고, 각각의 연결 요구는 순차적으로 입력되어 각 노드 쌍들에 임의로 할당되며, 연결 요구들의 생존시간은 지수 합수적으로 증가한다고 가정한다. 또한 Q-factor로 BER 값 및 OSNR 값에 상대적인 가중치를 적용하였다. 연결 설정 요구에 대한 블록은 주 경로 혹은 보조 경로를 설정할 수 없는 경우에 발생하며, 만약 주 경로 설정 요구에 대해 블록이 발생한다면 보조 경로에 대한 설정 절차는 수행되지 않는다.

구체적인 성능 평가는 기존의 flooding 알고리즘과의 라우팅 오버헤드를 비교 및 분석을 통해 제안된 QPR 알고리즘의 효율성을 검증하였고, 제한된 파장 변환기 배치 및 생존성 비율 측면에서 제시한 QoS-based RWA의 성능 및 효율성을 평가하였다.

2. 성능 분석

<그림 8>은 라우팅 오버헤드 측면에서 제안된 QPR 알고리즘과 순수 flooding 알고리즘의 성능을 비교한 것으로, QPR 알고리즘이 순수 flooding 알고리즘보다 17 ~ 28% 정도의 오버헤드 감소를 보인다. 또한 전반적으로 부하가 증가할수록 라우팅 오버헤드가 감소하는데, 이는 확정된 경로의 수 증가로 QoS 체크를 통과하는 링크의 수가 작아져 flooding되는 메시지의 수가 감소하기 때문이다.

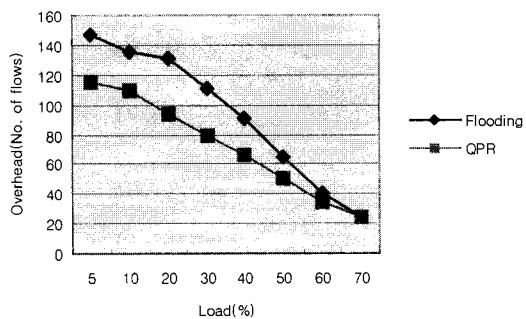


그림 8. 라우팅 오버헤드 측면에서 기존의 flooding 기법과 QPR 알고리즘 비교

Fig. 8. Comparison of previous flooding mechanism and QPR algorithm in terms of routing overhead.

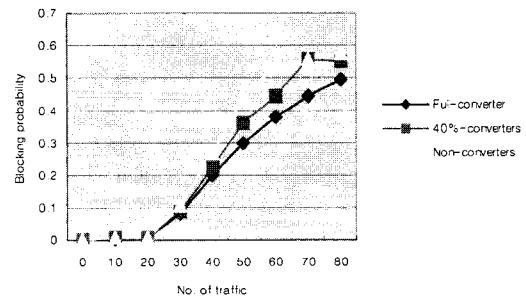


그림 9. 망에서 사용된 파장 변환기 수 측면에서 QoS-based RWA 알고리즘 성능 분석

Fig. 9. Analysis on the performance of QoS-based RWA algorithm in terms of the number of wavelength converter used in a network.

<그림 9>는 망의 전체 용량을 고려하여 연결 요구량을 100% (트래픽 수=80)까지 증가시켰을 때, 제한된 파장 변환기 배치 측면에서의 QoS-based RWA 성능을 분석한 결과이다. 이 경우 파장 변환기가 설치되는 노드는 모든 범위로 변환이 가능한 파장 변환기가 설치된다

고 가정하며, 본 논문에서는 <그림 7>과 같이 트래픽 혼잡이 예상되는 3, 5, 6, 8, 9, 10 노드(전체 노드수의 40%에 해당하는 노드)에 파장 변환기를 설치하였다.

성능 분석 결과로는 트래픽이 망 용량의 90%에 가까워지면 파장 변환기 설치로 인한 성능 개선이 미약한 반면, 트래픽이 망 용량의 50% ~ 80% 일 때는 모든 노드에 파장 변환기를 설치한 경우의 80% ~ 90%에 가까운 성능 개선을 보여준다. 마지막으로 망에서 fault 또는 attack 발생 시, 각 서비스가 전송되는 경로의 생존성 비율 측면에서 QoS-based RWA 알고리즘의 성능 분석을 아래와 같이 수행하였으며, <그림 10>은 이에 대한 결과를 보여준다.

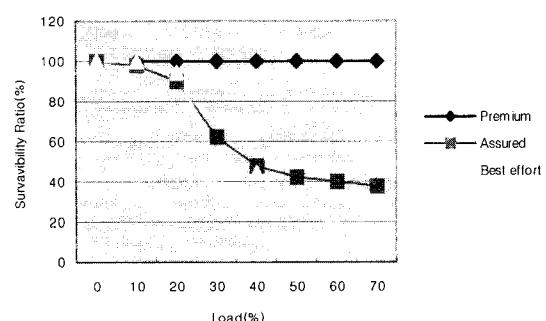


그림 10. 차세대 인터넷의 차등적인 서비스 클래스별 생존성 비율 비교

Fig. 10. Comparison of survivability ratio for differentiated service classes in NGL.

<그림 10>을 분석해보면, 각 서비스 별 생존성 확률은 premium 서비스가 트래픽 상황에 관계없이 100%, assured 서비스가 최소 30% 이상의 결과를 나타내었고, best-effort 서비스에서는 부하가 가중됨에 따라 20% 이하로 생존율이 떨어져 망의 상황에 따라 급격한 변화를 보여준다. 즉 주어진 조건 하에서 최악의 망 장애 상황을 가정할 경우, premium 서비스는 모든 경로에 대해 절대적인 생존성을 보장해 줄 수 있고, assured 서비스 역시 premium 서비스보다는 낮지만 정해진 비율에 따라 생존성을 절대적으로 보장해 줄 수 있으며, best-effort 서비스에 대해서는 망에 따라 여유 자원(파장)이 있을 경우에만 생존성이 보장됨을 의미한다. 이러한 결과는 생존성 비율을 측정하기 위해 높은 비율의 장애 상황을 가정한 것으로, 실제 망 상황에서는 assured 및 best-effort 서비스에 훨씬 더 높은 생존성을 보장할 수 있으리라 예상되어 진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 DWDM 기반의 차세대 인터넷에서 QoS RWA 수행을 위해 flooding 기법을 기반으로 경로 설정시 계산 및 구현을 간소화시킨 QPR 알고리즘을 제안하였으며, 제안된 QPR 알고리즘을 적용하여 DWDM 망의 다양한 QoS 파라미터를 고려하는 QoS-based RWA 알고리즘을 제시하였다. 제안된 QoS-based RWA 알고리즘은 차등적인 QoS 레벨을 지원하는 방식으로, 광신호 품질, 광자원(파장), 생존성 및 파장 연속성 문제를 동시에 고려하여 경로 선택 및 파장 할당을 수행한다. 즉, 각 노드에서 주어진 QoS 파라미터의 임계값을 기반으로 QoS 검사를 수행함으로써 송수신 노드간에 최적의 경로를 설정하는 기법으로, 망의 전반적인 상태 정보 없이 노드에서의 지역 정보만을 이용하여 각 서비스의 QoS 레벨을 만족하는 경로를 따라 QoS 서비스를 제공한다.

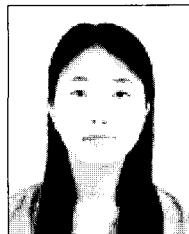
제안된 내용은 차세대 인터넷의 제어 프로토콜인 GMPLS에 적용이 가능하며, 향후 연구사항으로는 경로 설정 시 실제 고려될 수 있는 QoS 파라미터를 더욱 세분화하여 분석하고, 분석된 파라미터를 기반으로 다양한 망 상황에서의 QoS RWA 적용 방안에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] George Apostolopoulos, Roth Gudrin, Sanjay Kamat and Satish K. Tripathi, "Quality of Service Based Routing : A Performance Perspective," In Proc. of SIGCOMM'98, pp. 17-28, Vancouver, Canada, Aug. 1998.
- [2] Sung-Un Kim and David H. Su, "A Framework for Managing Faults and Attacks in All-Optical Transport Networks," In Proc. of DISCEX'01, Anaheim, USA, Jun. 2001.
- [3] Sung-Un Kim and David H. Su, "Modeling Attack Problems and Protection Schemes in All-Optical Transport Networks," Optical Network Magazine, vol. 3, no. 4, pp. 61-72, July/Aug. 2002.
- [4] S. Chen and K. Nahrstedt, "On Finding Multi-constrained Paths," In Proc. of IEEE ICC'98, vol. 2, pp. 874-879, Atlanta, USA, June 1998.
- [5] Jun SONG, Hung Keng and Lillykutty Jacob, "A Multi-Constrained Distributed QoS Routing Algorithm," In Proc. of IEEE ICON'00, pp. 165-171, Singapore, Sep. 2000.
- [6] J. Strand et al. "Issues For Routing In The Optical Layer," IEEE communication magazine, vol. 39, no. 2, pp. 81-87, Feb. 2001.
- [7] P. S. André et al. "Optical-signal-quality monitor for bit-error-ratio assessment in transparent DWDM networks based on asynchronously sampled amplitude histogram, Journal of Optical Networking," vol. 1, no. 3, pp. 118-127, Mar. 2002.
- [8] C. P. Larsen and P. O. Andersson, "Signal Quality Monitoring in optical Networks," Optical Networks Magazine, vol. 1, no. 4, pp. 17-23, Oct. 2000.
- [9] Alcatels 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.
- [10] LUCENT's White Contribution COM-15-39 -E, "L-and C-band Attenuation in Installed Fibre Links," ITU-T SG 15 Contribution, Aug. 2001.
- [11] KDDIs White Contribution D.97(WP4/15), "Recent technical information on C-and L-band in optical transmission systems," ITU-T SG15 Contribution, Feb. 2001.
- [12] H. Zang et al., "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength Routed Optical WDM Networks," Optical Networks Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 47-60, Jan. 2000.
- [13] J. Iness and B. Mukherjee, "Sparse Wavelength Conversion in Wavelength-Routed WDM Networks," Photonic Network Communications, vol. 1, no. 3, pp. 183-205, Nov. 1999.
- [14] K. R. Venugopal, E. Ezhil Rajan and P. Sreenivasa Kumar, "Performance Analysis of

- Wavelength Converters in WDM Wavelength Routed Optical Networks," In Proc. of HIPC'98, pp. 17-20, Chennai, India Dec. 1998.
- [15] Amrinder S. Arora and Suresh Subramaniam, "Wavelength Conversion Placement in WDM Mesh Optical Networks," Photonic Network Communications, vol. 4, no. 2, pp. 167-177, May 2002.

저자 소개



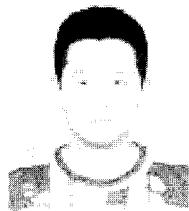
裴丁賢(正會員)

1998년 3월~2002년 2월 : 부경대학교 정보통신공학과 졸업(학사).
2002년 3월~현재 : 부경대학교 정보통신공학과 석사과정



金榮夫(正會員)

1982년 : 한양대학교 공과대학 전기 공학과(학사). 1984년 : 서울대학교 공과대학 전기공학과(석사). 1984년~현재 : 한국전자통신연구원 네트워크구조팀장



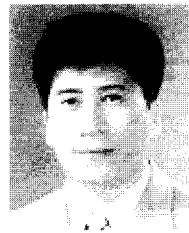
宋炫受(正會員)

1998년 3월~2002년 2월 : 부경대학교 정보통신공학과 졸업(학사).
2002년 3월~현재 : 부경대학교 정보통신공학과 석사과정



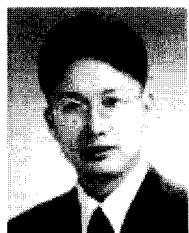
曹基星(正會員)

1982년 : 경북대학교 전자공학과(학사). 1984년 : 경북대학교 전자공학과(석사). 1984년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원



金成質(正會員)

1982년 12월~1985년 9월 : 한국전자통신연구원, 연구원. 1985년 10월~1995년 8월 : 한국통신 연구개발본부, 연구실장. 1990년 8월 : 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 석사. 1993년 8월 : 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 박사. 1995년~현재 : 부경대학교 정보통신공학과 부교수. 2000년 8월~2001년 7월 : 미국 NIST 초빙 연구원, DARPA 과제 수행



李顯津(正會員)

1997년 : 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사). 1999년 : 경북대학교 공과대학 전자공학과(석사). 1999년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원