논문 2005-42TC-9-10

차세대 OVPN에서 차등화된 광 QoS 서비스를 위한 제어 메커니즘 연구

(A Study on Control Mechanism for Differentiated Optical QoS in Next Generation OVPN)

정 창 현*, 이 석 진*, 조 광 현*, 윤 미 라*, 김 성 운**

(Chang-Hyun Jeong, Suk-Jin Lee, Kwang-Hyun Cho, Mi-Ra Yoon, and Sung-Un Kim)

요 약

IP망을 활용한 VPN(Virtual Private Network)은 비용과 운용측면에서 효율적이지만 QoS 보장 메커니즘과 광대역 서비스 제공에 많은 문제점을 가진다. 이러한 IP기반의 VPN에서 QoS 보장과 광대역폭 제공에 대한 해결책으로 차세대 광 인터넷을 통한 OVPN(Optical VPN) 기술이 제시되고 있다. 차세대 광 인터넷 백본망 기술은 DWDM(Dense-Wavelength Division Multiplexing) 광 네트워크 기술을 활용하고, IP 전달을 위한 제어 프로토콜은 GMPLS 기술을 사용하는 IP/GMPLS over DWDM 프로토콜 프레임워크로 표준화되고 있는 현실에 비추어, IP/GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) over DWDM 백본망을 통한 OVPN은 차세대 가상사설망으로써 멀티미디어 서비스 제공을 위한 적절한 대안이다. 그리고 이러한 멀티미디어 서비스 제공을 위한 OVPN에서 종단간 QoS 보장을 위해 차등화된 광 QoS 서비스 제공 메커니즘 또한 요구된다. 따라서 본 논문에서는 OVPN over IP/GMPLS over DWDM에서 멀티미디어 서비스 제공을 위해 차등화된 광 QoS 클래스를 고려한 제어 프로토콜들의 상호 연동 과정을 제안한다.

Abstract

A "VPN over Internet" has the benefit of being cost-effective and flexible. However, it has difficulties providing sufficient QoS and adequate transmission capacity for high bandwidth service. Given the increasing demand for high bandwidth Internet and QoS assurances in a "VPN over Internet", IP/GMPLS based on a control plane combined with a high bandwidth, DWDM optical network is seen as a very favorable approach for realizing the future "OVPN over IP/GMPLS over DWDM". Within this architecture, providing QoS guaranteed multimedia services with a differentiated QoS guaranteed protocol framework with QoS recovery is one of the key issues to implement. Therefore, in this paper, we suggest the entire interoperability procedure of control protocols based on differentiated optical QoS service (DOQoS) classes for providing end-to-end QoS in an"OVPN over IP/GMPLS over DWDM" architecture.

Keywords: OVPN, GMPLS, DWDM, QoS, Diffserv

I. 서 론

가상사설망(VPN: Virtual Private Network) 서비스란 인터넷 또는 통신사업자의 공중통신망으로 논리적인 망을 구성하여 마치 가입자가 고유의 사설통신망을 운용하고 있는 것과 같은 효과를 주는 서비스이다. 이러한 VPN은 터널링, 암호화, 인증 메커니즘 등을 활용하여 사설망과 동일한 수준의 보안성, 신뢰성 등을 제공한다.

IP망을 활용한 VPN은 인터넷의 급격한 성장으로 비용과 운용측면에서 효율적이지만 멀티미디어 서비스 제공에 따른 QoS 보장 문제와 현 IP망의 TDM(Time Division Multiplexing) 전송체계 사용으로 인한 전송용량 부족 문제를 안고 있다. 이러한 IP 기반의 VPN에서 QoS 보장과 광대역폭 제공에 대한 해결책으로 차세대 광 인터넷을 통한 OVPN 기술이 제시되고 있다[1].

* 학생회원, ** 정회원, 부경대학교
(Pukyong National University)
※ 본 논문은 한국과학재단 특정기초연구과제(R01-2003-000-10526-0)의 지원으로 수행되었습니다.
접수일자: 2005년1월7일, 수정완료일: 2005년6월30일

OVPN 구현에 있어, 차세대 광 인터넷 백본망 기술은 DWDM 광 네트워크 기술을 활용하고, IP 전달을 위한 제어 프로토콜은 GMPLS[2] 기술을 사용하는 IP/GMPLS over DWDM 프로토콜 프레임워크로 표준화되고 있는 현실에 비추어, IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN은 차세대 가상사설망으로써 멀티미디어 서비스 제공을 위한 적절한 대안이다. 이러한 차세대 DWDM 광 인터넷 백본망을 활용한 OVPN에서 종단간 QoS 보장을 요구하는 멀티미디어 서비스 제공을 위해서는 차등화된 광 QoS 제공 기술과 DWDM 전광 전송망의 장애나 의도적인 공격에 대한 Recovery 능력을 갖는 QoS 보장 프로토콜 프레임워크가 절실히 요청되고 있다[3].

현재 OVPN에서의 QoS 제공에 관한 연구는 차세대 광 인터넷 백본 기술과 제어 프로토콜 기술에 대한 종합적인 고려 없이 단순히 WDM망에서 QoS 요구사항(delay)에 따른 차등화된 연결 경로 설립 알고리즘이 제시되었으며[4], 광신호에 관련된 성능 파라미터들(OSNR(Optical Signal-to-Noise Ratio), Composite Optical Power Level, Wavelength Identification, Q-factor 등)에 대한 고려 없이 차등화된 VPN 연결 패스 제공 메커니즘이 제시되었을 뿐이다[5].

따라서, 본 논문에서는 DWDM 광 백본망 기술, GMPLS 제어 프로토콜 기술, OVPN 기술, QoS 기술들을 모두 통합적으로 고려하여, OVPN over IP/GMPLS over DWDM에서 다양한 차세대 멀티미디어 실시간 서비스 제공에 관계되는 QoS 보장 프레임워크의 핵심 기술인 "차등화된 광 QoS 클래스를 고려한 제어 프로토콜들의 상호연동과정"을 제시한다. 이를 위해, Ⅱ장에서는 DOQoS 제공을 위한 OVPN의 제어 메커니즘 구조를 제시한다. Ⅲ장에서는 OVPN 멀티미디어 서비스 클래스별 차등화된 QoS 기준치 정의에 의한 DOQoS 클래스를 제안한다. Ⅳ장에서는 차등화된 트래픽들을 OVPN에서 효율적으로 제어하기 위한 제어 프로토콜들의 기능 정의 및 동작 절차와 DOQoS 클래스를 고려한 Optical-LSP의 설립과정을 제시한다. 마지막으로 Ⅴ장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구 추진 사항에 대해 서술한다.

Ⅱ. DOQoS-OVPN 구조 및 동작

1. DOQoS-OVPN 구조

제안되는 OVPN 구조는 그림 1과 같이 전기적 제어

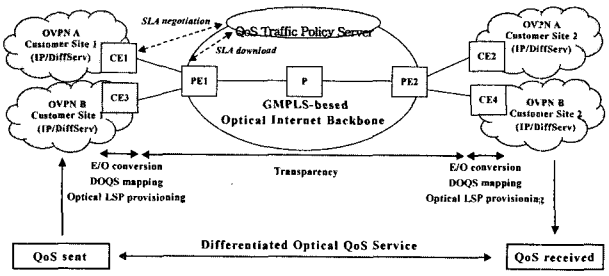


그림 1. 차등화된 광 QoS 제공을 위한 OVPN 모델
Fig. 1. OVPN model for providing DOQoS.

도메인인 가입자 사이트(Customer Site)들과 광 제어 도메인인 DWDM 기반의 백본망으로 구성되고, 이들 사이의 효율적인 제어를 위해 IP/GMPLS over DWDM 프로토콜을 사용한다. 외부 가입자 사이트는 차등화 서비스(DiffServ: Differentiated Service) 기반의 IP 망으로, 에지(edge) 노드인 CE(Client Edge)에서는 동일한 QoS를 가지는 패킷들을 aggregation하여 망의 복잡도를 줄이고 관리를 용이하게 한다. 내부 OVPN 백본망은 GMPLS 기반의 DWDM 망으로, 에지 노드인 PE(Provider Edge)와 코어(core) 노드인 P(Provider)로 구성되며 가입자 사이트에서 전달된 데이터 트래픽들을 광전 변환 없이 포워딩한다. 이때 QoS-TP 서버는 고객 사이트간의 DOQoS 제공을 위해 고객 사이트와 OVPN 백본망 사이의 서비스 품질관리를 위한 SLA(Service Level Agreement) 파라미터들의 협상과 QoS 요구 사항에 적합한 광 경로 설정 및 유지 기능을 담당한다.

2. DOQoS-OVPN 노드 구조

그림 2는 차등화된 광 QoS 제공을 위한 OVPN 노드의 기능 블럭을 나타낸다. 크게 QoS failure와 링크의 광 자원 관리를 위한 관리 평면(management plane), 동적인 SLA 관리를 위한 정책 관리 평면(policy management plane), DOQoS 요구사항에 따른 라우팅과 시그널링 기능을 담당하는 제어 평면(control plane),

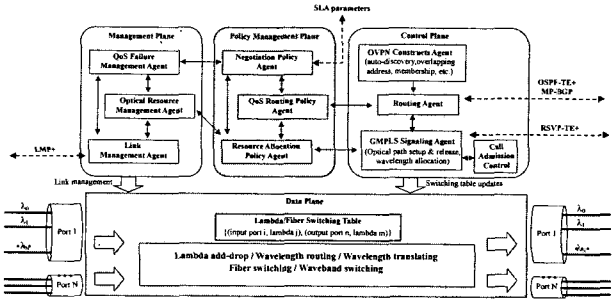


그림 2. DOQoS-OVPN 노드의 기능 블록
Fig. 2. Functional block of the DOQoS-OVPN nodes.

데이터들의 전송을 담당하는 데이터 평면(data plane)으로 나눌 수 있으며, 각 에이전트(agent)의 기능은 다음과 같다.

- QoS Failure Management Agent : 장애나 의도적인 공격으로 인한 Failure 발생시 QoS Recovery 기능 수행
- Optical Resource Management Agent : 실시간적인 광 자원의 분류 및 관리 기능 수행
- Link Management Agent : 이웃 노드간의 링크 관리 프로토콜인 LMP (Link Management Protocol)[6] 및 노드와 OLS(Optical Line System) 사이의 상태 정보 교환을 위한 LMP-WDM을 사용하여 광경로의 제어 채널과 데이터 채널의 광신호 감시 및 관리
- Negotiation Policy Agent : QoS-TP 서버로부터 SLA 파라미터들을 수신하여 SLA 요구 사항에 적합한 광경로 설정을 관리
- QoS Routing Policy Agent : SLA 요구 사항에 적합한 QoS 라우팅 및 네트워크 planning 수행
- Resouce Allocation Policy Agent : SLA 요구 사항에 적합한 망 자원의 할당과 트래픽 엔지니어링 (traffic engineering) 수행
- OVPN Constructs Agent : OVPN의 특성에 맞는 광경로의 설립과 유지를 위해 auto-discovery, overlapping address, membership 등의 기능 수행
- Routing Agent : DOQoS 보장 경로 계산

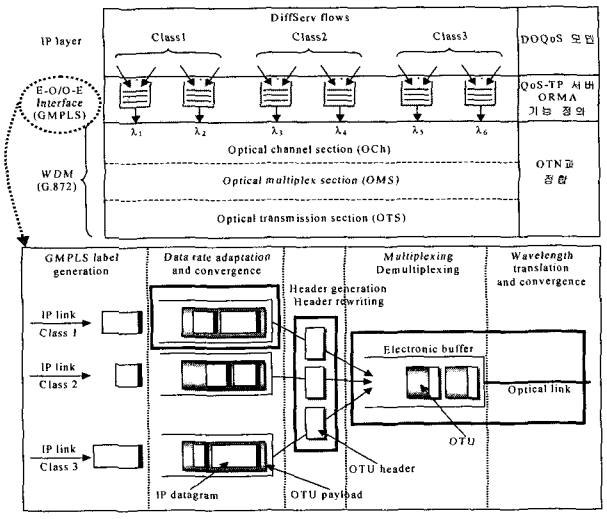


그림 3. CE에서의 차등화된 IP 서비스의 DOQoS 맵핑
Fig. 3. DOQoS mapping of differentiated IP service in CE.

- GMPLS Signaling Agent : GMPLS 시그널링 프로토콜인 RSVP-TE+ (Resource ReSerVation Protocol with Traffic Engineering Extensions)[7] 혹은 CR-LDP+(Constraint-based Routed Label Distribution Protocol Extensions)[8]을 이용하여 광경로의 설정 및 해제 기능 수행
- Call Admission Control Agent : 현재의 이용 가능한 망자원을 고려하여 메시지 내의 요구 대역폭과 DOQOS 세부 파라미터들의 수락 여부 결정

정책 관리 평면의 에이전트들은 제어 평면과 관리 평면의 에이전트들과 상호 동작하여 동적인 SLA 관리 및 차등화된 광 QoS 제공을 위한 Optical-LSP를 설립하며, 데이터 트래픽들은 설립된 Optical-LSP의 Lambda /Fiber Switching Table을 참고하여 레이블(파장)을 교환하면서 포워딩 된다.

OVPN광 백본망은 사용자의 정보를 투명하게 전송하기 위해 그림 3과 같은 계층 구조로 구성되어야 하며, IP 응용들이 DWDM 광 백본망을 통해 전달되기 위해서는 Och (Optical Channel section) 계층의 광 채널을 통해 정확하게 경로가 확립된 후 맵핑되어야 한다.

본 논문에서 제시한 OVPN은 가입자 사이트를 차등화 서비스 기반으로 하여 동일한 QoS를 가지는 IP 트래픽 플로우들을 묶어 망의 복잡도를 줄이고, CE에서 서비스 클래스가 요구하는 특성을 고려하여 IP 플로우군을 직접 광채널로 매핑하여, 차등화된 광 QoS 서비스를 제공한다. 이때 E-O/O-E (Electrical-Optical /Optical- Electrical) 인터페이스 계층은 상위 계층으로부터 전송되어져 오는 IP 패킷을 다음 장에서 기술할 세부 파라미터에 따라 class 1, class 2 및 class 3로 나누어, DOQoS 클래스별로 GMPLS 레이블을 생성한다. 그리고 GMPLS 레이블이 인캡슐이션(encapsulation)된 IP 데이터그램으로 OTU(Optical Transport Unit)의 패이로드 부분을 형성하여 전송률을 맞추고, OTU 헤더를 생성한 후, OTU 플로우들을 서로 다른 QoS를 가지는 파장으로 전광 변환함으로써 WDM 계층으로 적응시키는 기능을 제공한다. 이러한 E-O/O-E 인터페이스 계층은 제어 평면에 QoS-TP 서버와 ORMA 기능을 도입하여, BER (Bit Error Rate), el.SNR (electrical Signal-to-Noise Ratio), OSNR(Optical SNR) 파리미터로 광신호의 품질을 유지하고, 서비스에 따른 광 자원의 할당 스킴과 생존도 스킴의 사용으로, DOQoS 클래스에 따라 aggregation된 플로우 레벨에서의 종단간 QoS를 보

장한다. 또한, IP 패킷을 광채널을 통해 투명하게 전송하게 함으로써 OCh 파장 레벨에서의 종단간 QoS를 보장한다.

3. DOQoS-OVPN 제어 메커니즘 구조

OVPN에서 차등화된 QoS 제공을 위한 Optical-LSP의 설립 및 QoS 유지를 위한 전체 과정은 그림4와 같다. (A)와 (B)는 가입자 사이트간 망정보 교환을 통하여 광경로 설립을 위한 준비 과정이며, (C)와 (D)는 종단간 DOQoS 제공을 위한 차등화된 광경로 설립 과정이며, (E)와 (F)는 광경로 상의 데이터 전송중 Failure 발생시 Recovery 절차에 의한 QoS 유지 과정이다.

(A)는 링크 관리 프로토콜인 LMP+에 의하여 링크를 설정하는 과정으로, 각 노드간의 제어채널을 활성화하고, 이를 동작시키기 위하여 링크의 특성 및 정보를 상호 교환함으로써 각 노드간의 제어 채널이 동작하게 된다.

(B)는 라우팅 프로토콜에 의하여 각 노드에 라우팅 정보를 교환하는 과정으로, PE간의 라우팅과 CE와 PE간의 라우팅을 하는 MP-BGP(Multi-Protocol Extensions for Border Gateway Protocol-4)[9]와 OVPN 백본망 내의 PE와 P간의 라우팅과, P간의 라우팅을 하는 OSPF-TE+(OSPF Extensions in Support of GMPLS)[10]가 있다.

(C)는 가입자 사이트와 QoS-TP 서버간의 SLA 협상 과정으로, QoS-TP 서버는 전자 제어 도메인과 광 제어 도메인 간의 SLA를 협상하며, SLA 협상 시 QoS 보장 경로를 계산하게 된다.

(D)는 OVPN의 Optical-LSP 설립을 위한 GMPLS의

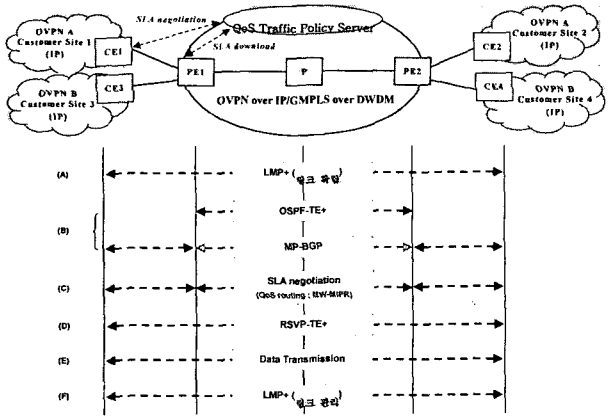


그림 4. DOQoS 제공을 위한 OVPN 제어 메커니즘 구조

Fig. 4. Control mechanism model for providing DOQoS in OVPN.

레이블 분배과정으로, 일반적으로 GMPLS 시그널링 프로토콜인 RSVP-TE+ 혹은 CR-LDP+를 사용한다. 본 논문에서는 RSVP-TE+를 사용하여 downstream-on-demand ordered control 방식으로 레이블을 할당한다. PATH 메시지는 Generalized Label Request, Suggested Label, Label Set, Upstream Label 등의 GMPLS 객체(object)를 포함하여 파장 혹은 포트로 레이블을 할당한다. Ingress CE 노드가 RESV 메시지를 수신하면 데이터를 전송할 종단간 경로상에 레이블 분배가 이루어진다.

(E)는 데이터 전송 과정으로, CE에서 동일한 QoS를 가지는 패킷들을 aggregation 한 데이터 트래픽들을 PE로 전달하고 PE에서는 광전 변환없이 포워딩한다.

(F)는 광경로를 유지하는 과정으로, OVPN 백본망 내에서의 Failure는 각 노드의 Power Monitoring Module과 ORMA의 상호 연동으로 검출되며, GMPLS의 링크 관리 프로토콜인 LMP(Link Management Protocol)를 통해 지역화 된다. 이 과정은 망 생존성을 위한 매우 중요한 동작으로써 빠른 처리가 요구되며 노드에 장애가 발생한다면 장애 위치를 통보하여 고장 난 요소를 기존의 트래픽과 분리시키고, DOQoS 클래스별 차등화된 회복 스킴으로 Recovery 된다.

이러한 각 단계별 자세한 내용은 Ⅳ장에서 다룬다.

Ⅲ. DOQoS 클래스 정의

현재 차세대 인터넷 응용서비스는 실시간 서비스 형태로 주로 연구가 진행되고 있다. 그에 따른 종류로 현재 부분적으로 상용화되고 있는 고화질 Digital 방송인 HDTV(High-Definition TeleVision) 서비스, IP를 통해서 음성 전달 서비스를 구현한 VoIP(Voice over IP), 인터넷 화상 회의를 위한 video conferencing 서비스와 지역적으로 멀리 떨어진 피교육자의 교육을 목적으로 사용되는 Tele-Learning 서비스 그리고 원거리에 위치한 탐사구역을 실험할 목적으로 사용되는 Tele-nstrumentation 서비스와 가상환경에서 현실과 비슷한 환경을 보여주는 Tele-Immersion 서비스 등의 실시간 중심의 연결 서비스가 있다.

이러한 차세대 인터넷과 OVPN에서 제공되어야 하는 응용서비스는 요구되는 QoS 품질에 따라 일반적으로 세 등급으로 분류된다[11,12]. Premium 서비스(class 1)는 인터넷 전화, 영상 회의, 서킷 에뮬레이션(circuit emulation) 서비스와 같이 엄격한 실시간 요구사항을

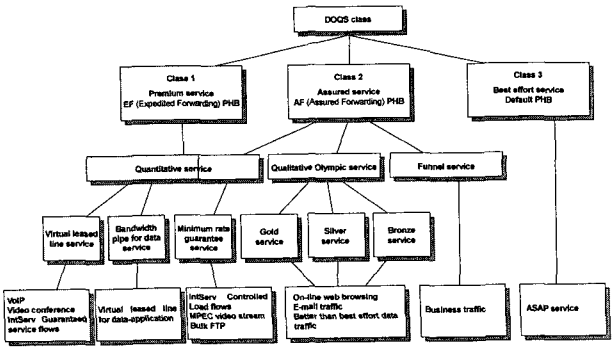


그림 5. DOQoS 유형
Fig. 5. DOQoS specification.

가지는 응용서비스로 적은 손실, 지연, 지터 및 최대 전송률을 보장해 주는 서비스이다. Assured 서비스(class 2)는 패킷 오디오나 패킷 비디오 서비스와 같이 네트워크의 혼잡 발생시에도 트래픽의 전송속도를 보장하는 서비스로 최소한의 통계적인 QoS를 보장한다. 최선형 서비스(class 3)는 현재의 TCP와 UDP 기반에서 제공되는 서비스로써, 명시적인 QoS 보장을 요구하지 않는 서비스이다. 본 논문에서는 세 등급 내에서 VPN SLS (Service Level Specification)[13], BER, el.SNR, OSNR 요구조건, 광 자원의 할당 스킴 및 망 장애 또는 의도적인 공격에 대한 생존요구정도 (Survivability Rate) 등에 대한 상대성에 따라 그림 5와 같이 세부적으로 DOQoS 클래스를 분류한다.

먼저 VPN SLS 중에서 DOQoS 정책이 시행될 토폴로지 범위를 Ingress/Egress 인터페이스로 나타내는 Scope, IP 패킷을 차등화 서비스 정보, 근원지 정보, 목적지 정보에 따라 분류하는 Flow Descriptor, 분류된 IP 스트림의 트래픽 특성(최대전송률, 토큰전송률, 버킷 크기 등)을 기술하는 Traffic Descriptor, 프로파일 초과시의 트래픽 처리를 기술하는 Excess Treatment, 서비스 보장 파라미터인 지연, 지터, 처리율, 패킷 손실률을 기술한 Performance Parameters를 DOQoS 분류 파라미터로 사용하여 QoS요구의 상대성에 따라 8등급으로 분류한다.

표 1. DOQoS 유형에 따른 GMPLS Exp 값
Table 1. The value of GMPLS Exp according to service types.

DOQoS service type		GMPLS Exp field
Quantitative service	Virtual leased line service	111
	Bandwidth pipe for data service	110
	Minimum rate guarantee service	101
	Funnel service	100
Qualitative Olympic service	Gold	011
	Silver	010
	Bronze	001
Best effort service		000

GMPLS 헤더에는 실험용으로 예약된 3bit의 Exp (Experi-mental) 필드가 있다[14]. 이 필드를 CoS(Class of Service) 기능으로 활용하면, 응용서비스의 특성에 따라 Exp 값을 다르게 할당하여, 상위 클래스의 패킷에 대한 우선 처리가 가능하다. 본 논문에서는 그림 5의 DOQoS 유형에 따라 GMPLS Exp 필드의 값을 표 1과 같이 맵핑한다.

일반적인 디지털 통신시스템에서는 BER을 기반으로 신호의 품질을 측정한다. 광신호의 경우도 왜곡, 간섭, 잡음 등으로 인한 손상들은 수신 노드에서 BER을 계산함으로써 알 수 있다. 그러나 OVPN의 Optical-LSP 상에서의 데이터는 광전 변환 없이 투명하게 전송되므로 BER을 광 레벨에서 직접적으로 측정하기는 매우 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 Q-factor[15]를 사용하여 광 시스템에서의 BER을 추정하여 광경로 상의 성능을 측정하고자 한다. Q-factor는 시스템을 통계적인 가우시안 잡음으로 가정했을 때의 SNR을 측정한 값이며, eye diagram의 측정값이 기반이 된다. 이러한 Q-factor를 사용한 BER, el.SNR, OSNR의 상관관계는 식(1-3)으로 정의 된다[16]. 그러므로 각 서비스 클래스별 QoS 요구사항에 따라 BER, el.SNR, OSNR의 임계치를 정의하여 DOQoS 클래스를 분류하고, 망 장애나 공격에 의한 Failure 검출에 사용한다.

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

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

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

* r = 0.15 (extinction ratio of the transmitted optical signal)
Be = 0.75 × fo (effective electrical noise bandwidth due to bit rate fo)
Bd = 12.6 GHz or 0.1 nm (optical bandwidth for OSNR measurement)

DWDM 기반의 OVPN 백본망에서 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier) 광 증폭기는 비교적 평탄하고 넓은 이득 곡선을 제공하기 때문에 광신호의 전달을 위해 일반적으로 많이 사용된다. 특히, C-band인 1,530~1,565nm 에서 유용한 이득 대역을 가지며, 0.28 dB/km의 낮은 감쇠 계수를 가진다. 온도의 영향을 고

려하여 1,625 nm까지의 파장을 광신호 전달 용도로 활용할 수 있는데, L-band(1,530~1,625nm)는 0.35 dB/km의 감쇠 계수를 가진다[17]. 따라서, 신뢰성이 매우 높아야 하는 Premium 서비스의 Optical-LSP는 감쇠가 가장 적은 C-band 대역내에서 할당하여 우수한 광 품질의 서비스를 제공한다. Assured 혹은 최선형 서비스의 경우, Premium 서비스에 비해 낮은 등급의 서비스이므로 L-band 대역내에서 파장을 할당한다[18]. 그리고 예약 가능한 전체 파장을 서비스 클래스에 따라 적절한 비율(Premium 서비스: 10%, Assured 서비스: 30%, 최선형 서비스: 60%)로 나누어 광 경로의 설정이 실패되기 전에 부하가 많은 링크를 피하게 함으로써 더 나은 트래픽 분산의 결과를 도출한다[19].

광 신호는 데이터 용량이 크기 때문에 장애가 발생할 경우 커다란 손실을 초래하므로 광 백본망에서는 보호(protection) 및 복구(restoration)가 매우 중요하다. 보호 스킴은 광 경로 설정 시 백업 경로를 미리 설정해 두어, 장애가 발견되면 백업 경로를 통해 요구된 QoS를 전송하며, 복구 스킴은 망 장애가 발생한 후에 백업 경로를 동적으로 찾아야 트래픽을 복구한다. 음성과 같은 실시간 데이터를 전송하는 Premium 서비스는 광채널 레벨의 국부적 QoS 보호 메커니즘 혹은 GMPLS의 보호 스킴을 사용하여 50 ms 이하의 회복 시간을 가지며, Assured 서비스는 GMPLS의 복구 스킴을 사용하여 50~100 ms의 회복 시간을 가진다. 명시적인 QoS 보장을 요구하지 않는 최선형 서비스는 IP 레벨에서의 복구 스킴을 사용하여 100 ms~수 초까지의 서비스 범위 내에서 TCP 재전송을 통해 복구한다.

표 2. DOQoS 클래스
Table 2. DOQoS classes.

Classification criteria	Class 1		Class 2				Class 3
	Premium service: Expedited Forwarding (EF) PHB		Assured service: Assured Forwarding (AF) PHB				Best Effort (BE) service: Default PHB
	Virtual leased line service	Bandwidth pipe for data service	Minimum rate guarantee service	Qualitative Olympic service		Funnel service	
Scope	(I|I)	(I|I)	(I|I)	(I|I) or (I|N)		(N|I)	All
Flow descriptor	EF, S-D IP-A	EF, S-D IP-A	AF1x	MBI		AF1x	None
Traffic descriptor	(b,r), r=1	NA	(b,r)	(b,r), r indicates a maximum CIR		(b,r)	NA, the full link capacity is allowed
Excess treatment	Dropping	NA	Remarking	Remarking		Dropping	NA
Performance parameters	D=20 (τ=5, q=10E-3), L=0 (R=r)	R=1	R=r	Gold / Silver / Bronze: Delay or Loss must be indicated qualitatively		NA	NA
GMPLS Exp field	111	110	101	011	010	001	100	000
BER (Q)	10^{-33} (7)		10^{-9} (6) ~ 10^{-3} (5.1)				10^{-5} (4.2)
el. SNR	16.9 dB		15.5 dB ~ 14.2 dB				12.5 dB
OSNR (f_0=10Gbit/s)	19.5 dB		18.2 dB ~ 16.8 dB				15.1 dB
Resource allocation	Pre-specified percentage (10%) for this service (C band: 1530nm ~ 1565nm)		Pre-specified percentage (30%) for this service (L band: 1565nm ~ 1625nm)				Best use of the remaining bandwidth (L band: 1565nm ~ 1625nm)
Recovery scheme	Local protection/backup λ-LSP		λ-LSP restoration				Restoration at IP level
Recovery time	<50msec (Detection time: <100msec)		50 - 100msec (Detection time: 0.1msec ~100msec)				1 ~ 100 sec (Detection time: 100msec ~ 180sec)

(b, r): token bucket depth and rate (Mb/s), p: peak rate, D: delay (ms), L: loss probability, R: throughput (Mb/s), t: time interval (min), q:quantile, S-D: source and destination, IP-A: IP address, MBI: may be indicated, NA: not applicable, CIR: committed information rate

Ⅳ. OVPN 제어 메커니즘

본 장에서는 실제 차등화 서비스 플로우를 광 채널에 맵핑하기 위한E-O/O-E 인터페이스 계층에서, 효율적인 파장 이용 메커니즘을 구현하기 위해 OVPN 노드의 제어 평면에 QoS-TP 서버와 ORMA 기능을 정의하고, DOQoS 제공을 위한 OVPN을 구체적으로 제시한다.

QoS-TP 서버는 가입자 사이트와 SLA 파라미터를 협상하여, 협상된 파라미터에 적합한 광경로를 설정하며, 망 장애나 공격에 의한 Failure에 대한 QoS Recovery 수행을 관리하여, 종단 간에 광경로를 통해 SLA를 만족하는 서비스가 제공될 수 있도록 망 전체를 관리하는 기능을 한다. 본 논문에서는 큰 규모의 망에서 중앙집중형 policy server가 유발하는 병목 문제를 고려하여, 중앙의 policy server는 단지 SLA 협상과 관리만을 수행하고, QoS 경로 계산과 자원 예약은 각 PE에서 수행하는 분산형 구조로 QoS-TP 서버를 구성한다.

ORMA는 링크관리 프로토콜인 LMP와 상호 동작하여 실시간으로 광 자원을 관리, 분류 및 예약하는 기능을 수행하며, 광경로를 동적으로 설정해 주기 위해 활용 가능한 파장, 링크, 노드, 광 증폭기 등의 수를 유지한다. 그리고 Q-factor를 사용하여 모니터링한 BER 정보를 전달 받아 BER 값을 계산하여 서비스 클래스에 따른 임계치 만족 여부를 확인함으로써 Recovery 메커니즘의 필요 여부를 판단한다. 또한, CAC(Call Admission Control)와 상호 동작하여 활용 가능한 광 자원의 성능에 따라 호 수락/거절을 결정하고, GMPLS signaling agent와 상호 동작하여 망의 상태 정보를 모으고 시그널링 과정으로 광 자원을 예약하는 기능을 한다.

그림 6은 차등화된 광 QoS 제공을 위한 OVPN의 제어 메커니즘을 나타내며, 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 먼저 OVPN 전체 정보를 업데이트하기 위한 링크 정보 및 노드 정보등을 교환하는 optical-LSP 설립 준비 단계와 optical-LSP 경로 설정, SLA 파라미터 협상, 레이블 할당을 위한 optical-LSP 설립 단계, 마지막으로 데이터 전송중의 링크 관리를 위한 optical-LSP 유지 단계로 구성된다.

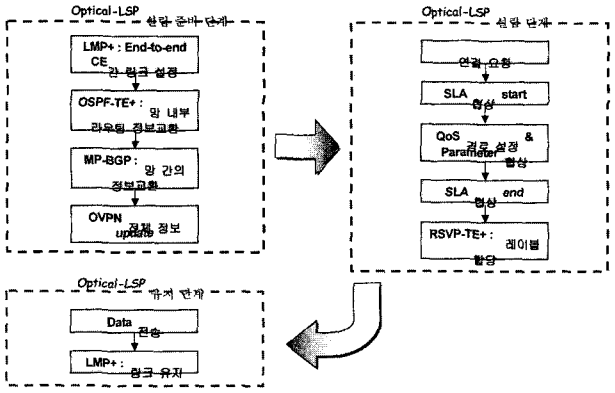


그림 6. DOQoS-OVPN 제어 메커니즘
Fig. 6. Control mechanism of DOQoS-OVPN.

1. Optical-LSP 설립 준비 메커니즘

가. LMP+에 의한 end-to-end CE간 링크 설정

그림 7은 링크관리 프로토콜인 LMP+에 의하여 각 노드간의 제어채널이 동작하여 OVPN의 링크가 설정되는 과정이다.

(A)는 노드간에 제어 채널을 활성화하기 위하여 Hello 메시지를 교환하는 시간 간격과Hello 메시지의 최초의 Sequence number를 협상하는 정보가 있는 Config 메시지를 상호 교환하여 협상한다.

(B)는 노드간에 제어 채널의 연결성을 유지하도록 Config 메시지에서 협상된 시간 간격과 Sequence number를 준수하여 주기적으로 노드간에 Hello 메시지를 교환한다.

(C)는 노드간에 활성화된 제어 채널을 동작시키기 위하여 LinkSummary 메시지를 사용해 링크의 다중화 능력, 보호 메커니즘, 번들링된 링크에 속하는 모든 데이터 링크의 리스트, 데이터 링크의 타입 등의 특성을 교환한다. 이러한 절차가 수행되고 나면 각 노드간의 제어 채널이 동작하게 되고 라우팅 프로토콜에 의하여 각 노드에 라우팅 정보가 분배된다.

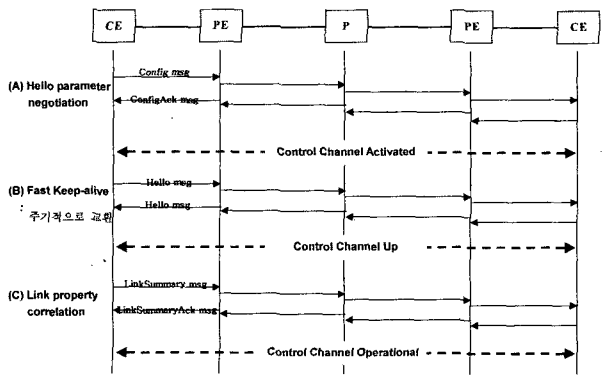


그림 7. LMP+의 동작
Fig. 7. Operation of the LMP+.

나. OSPF-TE+에 의한 라우팅 정보 교환

OVPN에서 동작하는 라우팅 프로토콜로는 PE간의 라우팅과 CE와 PE간의 라우팅을 하는 MP-BGP와 OVPN 백본망 내의 PE와 P간의 라우팅과, P간의 라우팅을 하는 OSPF-TE+ 혹은 IS-IS-TE+ (IS-IS Extensions in Support of GMPLS)[20]가 있으며, 본 논문에서는 OSPF-TE+를 이용하여 라우팅 정보를 분배한다. 그림 8는 OVPN 백본망 내에 PE간의 라우팅을 위한 OSPF-TE+의 라우팅 정보 교환 절차이다.

(A)는 인접관계 형성과정으로, PE 사이의 인접 라우터 간에 Hello packet을 교환함으로써 이웃 노드와의 connection이 이루어지고, 이러한 인접관계가 형성된 상태를 "Adjacent"의 관계에 있다고 하며, Hello packet은 주기적으로 교환하여 인접관계를 유지한다.

(B)는 database header 교환 과정으로, Database Description packet을 통해 LSA (Link State Advertisements) header만을 교환하여 그 중에서 필요한 최신 정보를 확인한다.

(C)는 database 교환 과정으로, (B)에서 LSA header 교환 후 필요한 최신 정보들을 Link State Request packet을 통해 요구하고, Link State Update packet에 LSA(Router-LSA, TE-LSA 등)를 포함하여 라우팅 정보를 전송한다. 그리고 Link State Acknowledgment packet으로 응답함으로써 초기 database 교환이 이루어지며, database exchange가 완료된 상태를 "Fully Adjacent"라 한다.

이렇게 update된 Link State Database 정보를 바탕으

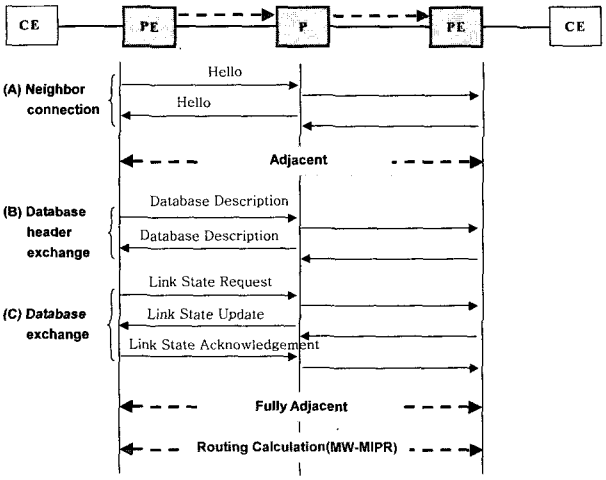


그림 8. OSPF-TE+의 동작
Fig. 8. Operation of the OSPF-TE+.

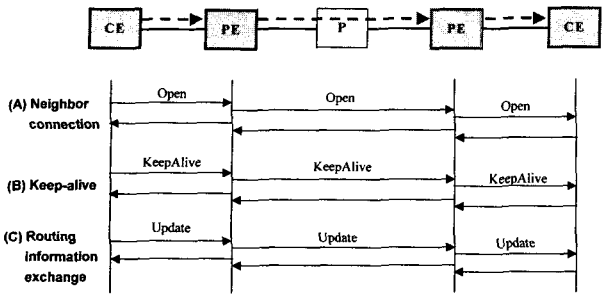


그림 9. MP-BGP의 동작
Fig. 9. Operation of the MP-BGP.

로 SLA 협상 시 PE간에 MW-MIPR 알고리즘[21]을 이용하여 QoS 보장 경로를 계산하게 된다.

다. MP-BGP에 의한 라우팅 정보 교환

MP-BGP는 IPv4 라우팅 정보 뿐 아니라 여러 network layer 프로토콜들의 라우팅 정보교환을 위해 확장된 BGP 프로토콜이며, OVPN에서도 동일한 OVPN에 속하는 가입자 사이트 사이의 라우팅 정보교환을 위해 사용한다. 그림 9는 OVPN에서 PE간의 라우팅과 CE와 PE간의 라우팅을 하는MP-BGP의 라우팅 정보 교환 절차이다.

(A)는 인접 관계 형성 단계로, OPEN 메시지를 이용하여 다른 노드와 이웃 관계를 설정하며, 관련 파라미터의 협상을 위해 AS 번호, 현재 작동하고 있는 BGP의 Version, BGP Router ID, Keep-alive Hold Time등과 같은 값들을 교환한다.

(B)는 인접 관계를 유지하기 위해 주기적으로 KEEPALIVE 메시지를 교환하여 이웃 노드가 살아있는지 확인한다.

(C)는 라우팅 정보 교환 단계로, UPDATE 메시지를 사용하여 네트워크 주소, 목적지까지 도달하기 위해 경유해야 하는 AS number list, next hop 등의 정보를 교환한다.

이러한 전체 OVPN의 라우팅 테이블을 형성한 후 연결 요구시 SLA 협상 절차를 거쳐 QoS 보장 경로를 설정하게 된다.

2. Optical-LSP 설립 메커니즘

가. SLA 협상 절차

OVPN 백본망을 통해 차등화된 서비스 제공을 위해서는 가입자 사이트와 QoS-TP 서버간의 SLA 협상 절차가 수행되어야 한다. 그림 10은 QoS-TP 서버의 SLA 협상 과정으로 가입자 사이트의 CE는 근원지 및

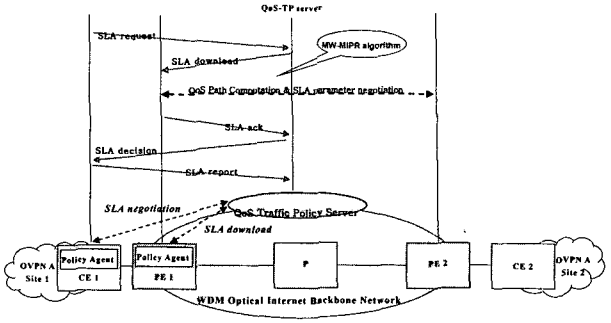


그림 10. OVPN에서의 SLA 협상 절차
Fig. 10. SLA negotiation procedure in an OVPN.

목적지 주소, 요구 대역폭, QoS 요구사항 등을 포함하는 'SLA request' 메시지를 QoS-TP 서버에게 전달한다. QoS-TP 서버는 이 메시지를 수신하여 각 OVPN과 협상된 기존의 Traffic Contract (OVPN의 QoS)에 대한 위배 여부를 확인한 후, 해당 PE로 SLA 파라미터를 다운로드하여 SLA의 수락 여부 판단을 요구한다. 이를 위해, PE는 QoS 보장 경로를 계산하고, 경로 상의 모든 노드에서 요구 대역폭과 DOQoS 클래스의 세부 파라미터를 만족하면, SLA가 수락된다. QoS-TP 서버는 PE로부터 SLA 파라메터가 협상되었음을 수신하면 CE에게 이를 통보함으로써, 전자 제어 도메인과 광제어 도메인 간의 SLA를 협상한다.

그림 11은 OVPN 노드의 기능 블록으로 Ingress PE 노드에 SLA 파라미터가 수신되었을 때의 과정을 나타낸다. Ingress PE 노드의 Negotiation policy agent가 SLA 파라미터를 수신하면(①), QoS Routing policy agent로 트리거(trigger)를 송신하여 QoS 요구사항을 만족하는 경로 설정을 요구한다(②). QoS Routing policy agent는 제어 평면의 Routing agent에게 QoS 보장 경로를 계산하게 하므로(③), OSPF-TE+ 라우팅 프로토콜을 사용하여 OVPN 백본망 내의 QoS 보장 경로를 찾고, OVPN의 폐쇄 사용자 그룹지정 기능과 관계되는 PE간의 라우팅과 CE와 PE간의 라우팅은 MP-BGP 프로토콜을 사용한다(④). Routing agent에서 QoS 보장경로를 계산하면 QoS Routing policy agent에게 이를 알리며(⑤), QoS Routing policy agent는 Resource allocation policy agent에게 계산된 경로를 따라 자원의 예약을 요구한다(⑥). Resource allocation policy agent는 GMPLS signaling agent를 트리거하여(⑦) 계산된 경로를 따라 RSVP-TE+ 시그널링 프로토콜을 사용하여 광경로를 설정한다(⑧). 이때 경로 상의 모든 노드에서 QoS 요구 사항들을 만족하여 호 수락이

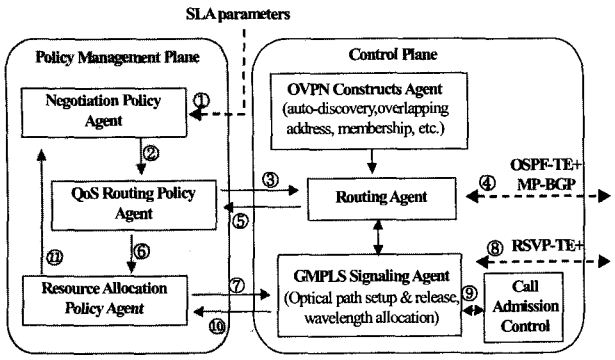


그림 11. OVPN 노드에서의 SLA 협상
Fig. 11. SLA negotiation in OVPN node.

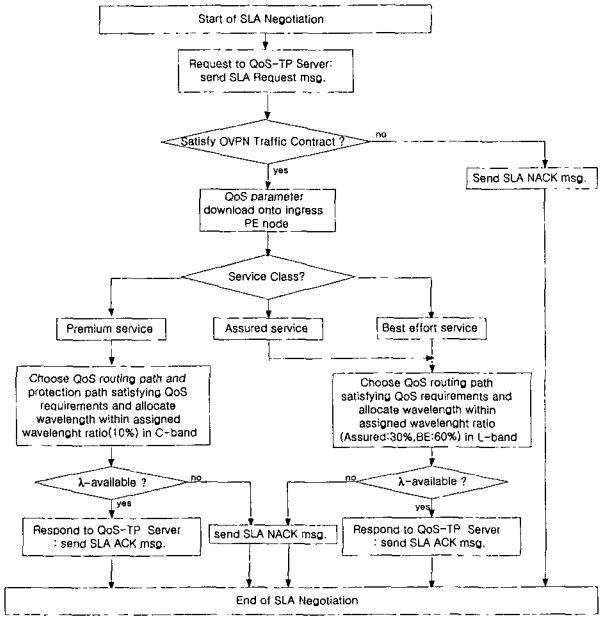


그림 12. SLA 협상과정 흐름도
Fig. 12. Flowchart of the SLA negotiation procedure.

결정되면(⑨), OVPN의 Optical-LSP가 설립되고 자원이 예약된다(⑩,⑪).

그림 12는 DOQoS 클래스를 고려한 CE와 QoS-TP 서버간 SLA 협상 과정의 흐름도이다. 그림에서와 같이 SLA 협상은 서비스 클래스 등급에 따라 다르게 이루어진다. Premium 서비스는 Ⅲ장의 DOQoS 클래스 정의와 같이 C-band 내의 미리 할당된 파장비율(10%) 내에서 QoS 요구사항을 만족하는 광 경로(working path)와 백업 경로(protection path)를 선택하여 SLA 수락 여부를 판단한다. Assured 서비스와 최선형 서비스의 경우, Premium 서비스에 비해 낮은 등급의 서비스 이므로 L-band 내의 미리 할당된 파장비율(Assured 서비스: 30%, 최선형 서비스: 60%) 내에서 QoS 요구사항을 만족하는 광 경로를 선택하여 SLA 수락 여부를 판단한다.

나. QoS 경로 계산을 위한 MW-MIPR

기존 IP망에서 OSPF 라우팅 프로토콜의 라우팅 알고리즘으로 Dijkstra 최소경로 알고리즘을 사용한다. 하지만 IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN의 OSPF-TE+에 적용될 라우팅 알고리즘은 망 자원 즉 파장의 효율적인 사용이 고려되어야 한다.

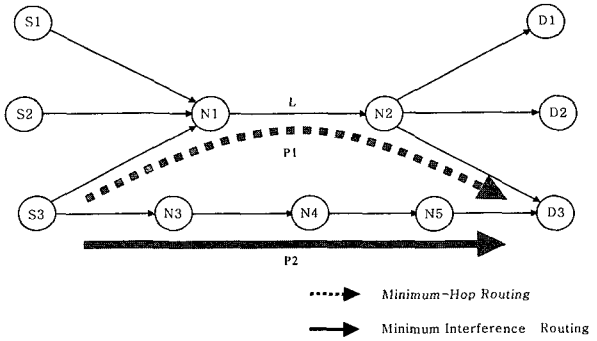


그림 13. MIPR 알고리즘 개념
Fig. 13. Concept of the MIPR algorithm.

따라서 본 논문에서 제시하는 MW-MIPR 알고리즘은 미래에 잠재적인 연결 설정을 요구하는 많은 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소로 미치는 경로를 선택하는 개념으로, 모든 노드에 파장 변환기를 사용하고 하나의 파이버를 가지는 DWDM 기반의 OVPN 백본망에서 최적의 효율성을 가진다. 예를 들면, 그림 13에서 노드쌍 (S3, D3)간에 광경로 설정 요청이 들어올 경우, 노드 N1과 N2사이의 혼잡 링크 L을 경유하는 최소 홉 경로 P1보다는 홉수는 많지만 다른 송수신 쌍들 (S1,D1)와 (S2,D2)의 잠재적인 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치는 P2 경로상으로 연결 설정을 수행한다.

이후에 언급될 수식에 앞서 사용되는 기호들을 다음과 같이 정의한다.

- $G(N, L, W)$: 주어진 network graph (N: 노드의 집합, L: 링크의 집합, W: 링크의 총 파장수)
- M: 미래에 연결 요청 가능한 잠재적인 노드 쌍들의 집합((s,d): 송수신 노드쌍, (a,b): 현재 연결 설정을 요구하는 노드쌍)
- P_{sd}: 송수신 노드쌍(s,d)의 최소 홉수 경로
- π_{sd}: P_{sd}에 속하는 링크 집합
- $R(l)$: 링크 l에 현재 이용 가능한 파장수 ($\forall l \in L$)
- F_{sd}: 송수신 노드쌍(s,d)의 π_{sd}에 속하는 링크들

중 병목링크에서 사용 가능한 파장집합

- C_{sd}: 송수신 노드쌍(s,d)의 π_{sd}에 속하는 링크들 중 혼잡링크의 집합
- α_{sd}: 송수신 노드쌍(s,d)의 가중치

위에 언급된 기호들 중 C_{sd}와 α_{sd}는 MW-MIPR 알고리즘에서 가장 중요하게 사용되는 파라미터로서, C_{sd}는 두 개 이상의 송수신 노드쌍들에 대해 최소 홉 경로상에서 공유되는 링크들로 결정되며, α_{sd}는 각 송수신 노드쌍(s,d)에 연결 요구가 들어오는 통계적인 수치에 따라 노드쌍(s,d)의 중요성을 가중치로 반영한 것이다.

$$CL_WC_{sd} : (l \in C_{sd}) \cap (R(l) < \Delta) \quad (4)$$

식(4)은 미래의 연결 요구에 영향을 미치는 혼잡 가능 링크들을 나타내는 것으로, 파장 변환 기능을 지닌 Network에서는 링크상의 잔여 파장수도 고려하여 결정한다. 이 때 파라미터 는 현재 설정되는 링크의 잔여 파장수에 대한 임계치를 나타내는데, 이 값은 자원의 효율성 측면에서 매우 중요하게 사용된다. 즉, 값이 너무 크면 혼잡 링크상으로 미래에 연결 설정을 위해미리 예약되는 자원이 너무 많으므로 자원 낭비가 발생하는 반면, 너무 작으면 미래의 연결 요청에 대한 잠재적인 blocking probability가 높아질 가능성이 크다. 따라서 값은 일반적으로 0.2W ~ 0.4W 정도가 적당하다.

$$\begin{cases} \partial F_{sd}/\partial R(l) = 1 \ [if\,(s,d) : l \in CL_WC_{sd}] \\ \partial F_{sd}/\partial R(l) = 0 \ [otherwise] \end{cases} \quad (5)$$

식(5)는 링크 l에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드쌍 (s,d)의 최소 홉 경로 링크 집합인 π_{sd}내 병목 링크상에서 이용 가능한 파장 수의 변화량을 나타내며, 링크가 혼잡링크에 포함되고 링크의 잔여 파장 수가 임계치 이하이면 1, 그 이외에는 0의 값을 부여한다.

$$w(l) = \sum_{(s,d) \in M \setminus (a,b)} (\partial F_{sd}/\partial R(l)) \quad (6)$$

식(6)은 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l에 파장이 할당될 때 미래에 연결 설정을 요청하는 다른 송수신 쌍들에게 영향을 미치는 정도를 나타내는 식(2)와 각 송수신 쌍의 가중치 α_{sd}를 곱하여 현재 연결 설정을 요구하는 노드쌍(a,b)를 제외한 나머지 노드 쌍 $(\forall (s,d) \in M \setminus (a,b))$에서 계산된 값을 모두 합한다. 위 식을 바탕으로 모든 노드에 파장 변환기를 사용한 MW-MIPR 알고리즘은 다음과 같다.

```
MW-MIPR(L, M, w(l), α_sd, R(l), C_sd, CL_WC_sd)
(1)  If connection is requested between a node pair (a,b) then {
(2)    For each link l, where ∀l ∈ L {
(3)      link weight w(l) = 0
(4)      If R(l) < Δ then {
(5)        For each node pair(s,d), where ∀(s,d) ∈ M \ (a,b) {
(6)        node pair weight α_sd
(7)        If l ∈ C_sd then{
(8)          CL_WC_sd := CL_WC_sd Y l
(9)          w(l) := w(l) + α_sd } } } }
(10)   Remove a link l from L with R(l) = 0 }
(11)   Choose the minimum hop path with the smallest w(l)
       using the Dijkstra's algorithm
```

여기서 계산된 각 링크의 가중치 $w(l)$값이 작을수록 다른 송수신 노드쌍(s,d)의 잠재적인 경로 설정 요구에 영향을 최소로 미치는 링크이며, Dijkstra 최소 경로 알고리즘에 가중치 $w(l)$을 적용하여 미래의 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치면서 최소 홉 수를 지니는 경로를 선택한다.

다. MW-MIPR 적용을 위한 OSPF-TE+의 제안

차세대 OVPN에서는 GMPLS의 link state information 전송을 지원할 수 있도록 하는 OSPF 라우팅 프로토콜의 확장으로 OSPF-TE+을 사용한다. 이에 적절한 라우팅 알고리즘으로 제시한 MW-MIPR을 사용하기 위해서 라우팅 정보 교환 시 망 자원인 파장 정보에 대한 교환이 요구된다. 따라서 MW-MIPR 라우팅 알고리즘을 적용하기 위해 필요한 파라미터로는, 링크에 대한 식별자와 링크의 최대 파장 수(Maximum wavelength number) 및 링크의 파장 임계치 계산을 위한 이용가능한 파장 수(Available wavelength number)가 필요하다. 이러한 파라미터 값을 라우팅 정보로 교환하기 위해 TE-LSA의 sub-TLV를 활용한다. 표 3은 MW-MIPR을 위해 활용될 OSPF-TE+의 TE-LSA 내의 sub-TLV이다.

표 3의 Sub-TLV들 중 Maximum wavelength number는 Type 6의 Maximum bandwidth를 활용하여 링크의 전체 파장수를 전달하고, Available wavelength number는 Type 7의 Maximum reservable bandwidth

표 3. MW-MIPR을 위한 sub-TLV들
Table 3. Sub-TLVs for MW-MIPR.

Sub-TLV Type	Length	Name
6	4	Maximum bandwidth
7	4	Maximum reservable bandwidth
11	8	Link local/remote identifiers

를 활용하여 링크의 현재 이용가능한 파장 수를 전달하며, 이때 잔여 파장 수가 임계치 이하이면, 최소경로 외 다른 경로가 있을 경우 파장이 많은 경로를 선택한다. 링크 식별자는 Type 11의 Link local/remote identifiers를 활용하여 정보를 전달함으로써 unnumbered link도 지원한다. 이러한 3개의 Sub-TLV를 이용하여 OSPF-TE+의 라우팅 알고리즘으로 MW-MIPR 알고리즘 사용을 제안한다.

라. RSVP-TE+에 의한 시그널링 과정

가입자 사이트와 OVPN 백본망 사이 SLA 협상 절차를 거친 후 Optical-LSP 설립을 위한 GMPLS 시그널링 과정을 수행한다. 본 논문에서는 GMPLS의 시그널링 프로토콜 중 RSVP-TE+를 이용하여 레이블을 분배한다. RSVP-TE+의 동작은 자원 예약을 위해 사용되는 기본 메시지인 PATH 메시지와 RESV 메시지를 통해 그림 14과 같이 이루어진다.

DOQoS 클래스를 고려한 차등화된 Optical-LSP 설립을 위해 GMPLS 헤더의 Exp 필드를 CoS 기능으로 사용하여 서비스 클래스별로 다른 값을 할당하고,

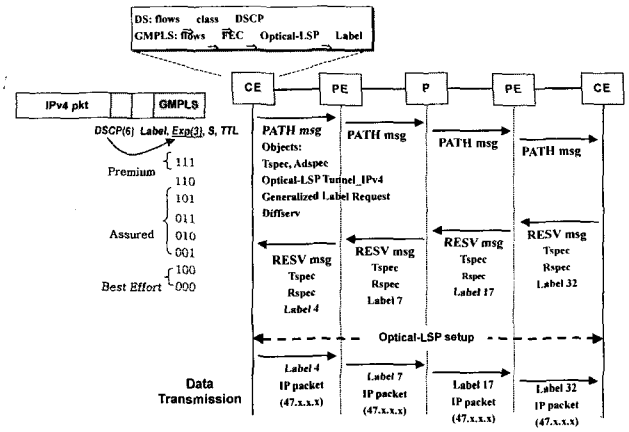


그림 14. RSVP-TE+의 동작
Fig. 14. Operation of the RSVP-TE+.

표 4. Tspec, Rspec, Adspec 객체
Table 4. Tspec, Rspec and Adspec Object.

Tspec	p	플로우의 최대속도 (bytes/s)
	r	토큰 버킷 속도 (bytes/s)
	b	토큰 버킷 크기 (bytes)
	m	최소 정책 단위 (bytes)
	M	최대 전송 패킷의 크기 (bytes)
Rspec	R	망에서 제공해 주는 전송률(bytes/s)로, r보다 반드시 커야 한다.
	S	여유 항 (ms), 요청하는 대역 R을 사용할 경우 얻어지는 지연 시간과 실제 네트웍을 통과하면서 겪게 되는 지연 시간의 차이
Adspec	Qmindel	패킷을 전달하는데 걸리는 최소 지연 시간
	Bpath	경로 상에서 최소 대역을 갖는 링크의 대역폭
	PathMTU	최대 전송 패킷 길이

RSVP-TE+에서의 Tspec, Rspec, Adspec 객체를 사용하여 DOQoS 클래스별 트래픽 및 QoS 파라미터를 설정하고, 이 파라미터에 근거하여 자원을 예약함으로써 차등화된 QoS 보장이 이루어진다.

표 4는 MPLS 네트웍에서의 QoS 보장과 관계된 Tspec, Rspec, Adspec 객체를 구성하고 있는 파라미터를 나타낸다.

Premium 서비스는 종단점 간에 엄격한 지연 시간 한계(end-to-end delay bound)를 요구하며, 트래픽 특성에 순응하는 패킷의 흐름에 대해서는 패킷 손실이 없을 것을 요구하는 서비스이다. 따라서 엄격한 QoS 요구를 충족하기 위해서는 일정한 크기의 대역을 보장해 주어야만 한다. 이를위해 PATH 메시지를 수신한 Egress CE 노드는 Tspec으로부터 r, b, p, m의 정보를, Adspec으로부터 Qmindel, 에러항(Ctot, Dtot), PathMTU(M), Bpath의 정보를 구한다. Egress CE 노드가 요구하는 최대 지연시간으로부터 Qmindel을 빼면 종단간 최대 큐잉 지연시간(Qdelreq)을 구할 수 있다. Qdelreq, Ctot, Dtot, M, r, b, p 값을 아래의 식(7), 식(8) 혹은 식(9)에 대입하면 R을 구하게 된다. 자원 예약 요청이 실패하지 않기 위해서, R 값이 Bpath 보다 클 경우에는 R 값을 감소시킨다. 이렇게 구한 R 값을 가지고 Egress CE 노드는 Rspec을 구성하고, 이를 포함한 RESV 메시지를 Ingress CE 노드 방향으로 전송함으로써, GMPLS 망 상에 자원을 예약하여 QoS를 보장한다.

$$Q=\frac{(b-M)(p-R)}{R(p-r)}+\frac{M+C_{tot}}{R}+D_{tot}\ (p>R\geq r) \quad (7)$$

$$Q=\frac{M+C_{tot}}{R}+D_{tot}\ (R\geq p\geq r) \quad (8)$$

$$Q=\frac{b}{R}+\frac{C_{tot}}{R}+D_{tot}\ (R\leq r) \quad (9)$$

Assured 서비스는 적응적인 실시간 서비스와 같이 어느 정도의 지연 시간과 손실을 허용할 수 있는 서비스이므로 지연 시간과 패킷 손실에 대해서 특정한 값을 요구하지 않는다. 트래픽 파라미터는 표 4의 Tspec 및 Rspec 파라미터로 나타내며, Premium 서비스와 달리 네트웍 상황에 따라 어느 정도의 패킷 손실을 허용하기 때문에, 전송되는 패킷 플로우의 최대 속도 p를 반드시 보장할 필요가 없으므로 Tspec의 p 값을 명시하지 않는다.

최선형 서비스는 특정한 자원의 예약 혹은 QoS의 보

장을 필요로 하지 않으므로, Ingress CE는 Tspec의 파라미터값을 0으로 설정한 PATH 메시지를 전송하여 특정한 자원의 예약 없이 최선형 트래픽을 전달하기 위한 Optical-LSP 터널을 설정하도록 한다. Egress CE로부터 역시 Tspec 및RSpec 의 파라미터 값을 0으로 설정한 RERV 메시지를 수신하게 되면 종단 CE 노드간에 자원을 예약하지 않은 Optical-LSP 터널이 수립되고, 이 Optical-LSP를 통해 포워드 되는 패킷들은 최선형 서비스를 제공받게 된다.

3. Optical-LSP 유지 메커니즘

가. LMP+의 링크 관리

그림 15은 OVPN의 망 생존성을 위한 매우 중요한 동작으로 optical data를 전송하는 과정에서 모든 노드의 장애를 관리하는 LMP+가 수행되는 Control flow 과정이다.

(A)는 링크 연결 검증 과정으로, 광백본망에서 데이터의 전달은 광전 변환없이 광신호만으로 이루어지기 때문에, 제어 채널이 관리하는 각각의 데이터 채널에 Test 메시지를 전달하여 데이터 채널의 물리적 연결을 확실하게 보장한다.

(B)는 노드에 장애가 발생하면 장애 위치를 통보하여 고장 난 요소를 기존의 트래픽과 분리시키는 지역화 과정으로, ChannelStatus 메시지를 사용하여 이웃하는 업스트림(Upstream) 노드로 장애의 발생을 알린다. ChannelStatus 메시지는 장애가 발생한 데이터 링크의 식별자(Interface_Id), 데이터 링크의 상태(Signal Okay, Signal Degrade, Signal Fail) 및 데이터 채널의 방향을 나타낸다. ChannelStatus 메시지를 수신한 업스트림 노드는 먼저 ChannelStatusAck 메시지로 ChannelStatus 메시지의 수신에 대한 응답을 하고, 해당 LSP에 또 다른 장애 발생의 유무를 확인한다. 그 결과를 다시 ChannelStatus 메시지로 다운스트림(Downstream) 노드에게 알림으로써 두 노드간의 장애를 지역화한다. 장애를 인지한 후 이를 알리는 ChannelStatus 메시지가 수신되지 않으면 ChannelStatusRequest 메시지를 보내어 ChannelStatus 메시지를 요청하여 장애를 지역화한다.

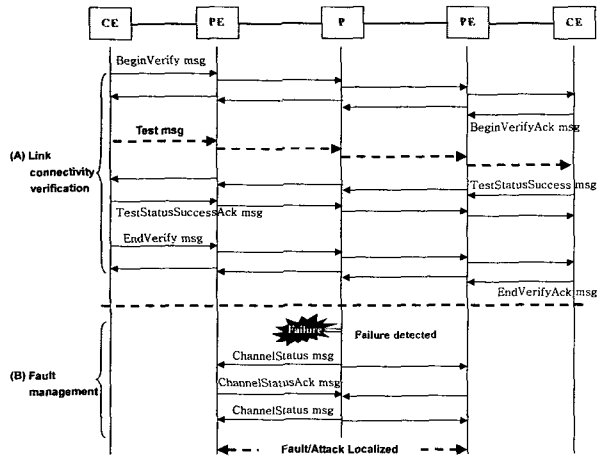


그림 15. LMP+의 링크관리
Fig. 15. link management of the LMP+.

V. 결 론

본 논문에서는 DWDM 광 백본망 기술, GMPLS 제어 프로토콜 기술, OVPN 기술, QoS 기술들을 모두 통합적으로 고려하여, OVPN over IP/GMPLS over DWDM 환경에서 지연에 민감하고 높은 대역폭을 요구하는 다양한 멀티미디어 실시간 서비스 제공을 위해 DOQoS 클래스를 분류하였다. 그리고 DOQoS를 보장하는 OVPN 환경에서, 여러 제어 프로토콜들(MP-BGP, OSPF-TE+, RSVP-TE+, LMP+)의 구체적인 기능 확장과 동작절차에 대해 정의하여 DOQoS 제공을 위한 Optical-LSP 설립 메커니즘을 제시하고, 망 장애와 공격에 의한 QoS Failure들을 분석하여 DOQoS 클래스별 회복 메커니즘으로 QoS 유지 방안을 제안하였다.

그리고 향후에는 SRLG(Shared Risk Link Group)를 고려한 전체적인 프레임워크 연구 및 RWA 알고리즘 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] H. Ould-Brahim et al.: Generalized VPN Services using BGP and GMPLS Toolkit, draft-ouldbrahim-ppvpn-gvpn-bgpgmpls-05.txt, IETF Internet Draft, May 2004.

[2] Eric Mannie: Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture, RFC 3945, IETF, Oct. 2004.

[3] Jigesh K. Patel, Sung U. Kim and David H. Su: QoS Recovery Schemes Based on Differentiated MPLS Services in All-Optical Transport Next Generation Internet, Photonic Network Communications, vol. 4, no. 1, pp. 5-18, Jan. 2002.

[4] Y. Qin et al.: Architecture and analysisfor providing virtual private networks with QoS over optical WDM networks, Optical Network

Magazine, vol. 2, no. 2, pp. 57-65, Apr. 2001.
[5] Chava Vijaya Saradhi and C. Siva Ram Murthy: A Framework for Differentiated Survivable Optical Virtual Private Networks, Photonic Network Communications, vol. 4, no. 3, pp. 457-487, Jul. 2002.
[6] J. P. Lang et al.: Link Management Protocol, draft-ietf-ccamp-lmp-10.txt, Internet Draft, IETF, Oct. 2003.
[7] L. Berger: GMPLS Signaling Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions," RFC 3473, IETF, Jan. 2003.
[8] P. Ashwood-Smith and L. Berger: GMPLS Signaling Constraint-based Routed Label Distribution Protocol (CR-LDP) Extensions, RFC 3472, IETF, Jan. 2003.
[9] T. Bates et al.: Multiprotocol Extensions for BGP-4, RFC 2858, IETF, Jun. 2000.
[10] K. Kompella et al: OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS, draft-ietf-ccamp-ospf-gmpls-extensions-12.txt, Internet Draft, Oct. 2003.
[11] V. Jacobson et al.: An Expedited Forwarding PHB, RFC 2598, IETF, June 1999.
[12] J. Heinanen et al.: Assured Forwarding PHB Group, RFC 2597, IETF, June 1999.
[13] F. Chiussi et al.:Framework for QoS in Provider-Provisioned VPNs, draft-chiussi-ppvpn-qos-framework-00.txt, Internet Draft, June 2002.
[14] E. Rosen et al.: MPLS Label Stack Encoding, RFC 3032, IETF, January 2001.
[15] Rec. G.976: Test methods applicable to optical fiber submarine cable systems, COM15R68(TSB, 7 Nov. 1996), Sect. 7.6.1.1: 'Measurement of Q-factor', pp.172-174 and Annex A.4: 'Q-factor' p.17.
[16] G. Bendelli et al.: Optical performance monitoring techniques, ECOC 2000, Munich, paper 11.4.1, pp.113-1168, September 2000.
[17] Lucent's White Contribution COM 15-39-E: L-AND C-BADN ATTENUATION IN INSTALLEDFIBRE LINKS
[18] KDDI's White Contribution D.97(WP4/15): Recent technical informationon C- and L-bands in optical transmission systems of Rec. G.dsn, Feb. 2001.
[19] C.Villamizar: Dynamic Behavior of MPLS Traffic Engineered Networks, MPLS 2000, October 1997.
[20] K. Kompella and Y. Rekhter: IS-IS Extensions in Support of Generalized MPLS, draft-ietf-isis-gmpls-extensions-16.txt, Internet Draft, Dec. 2002.
[21] J. G. Hwang 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, iss. 3, pp. 319-334, Nov. 2004.

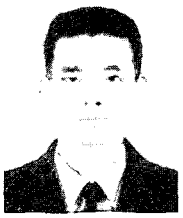
저 자 소 개

정 창 현(학생회원)
2003년 부경대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
2005년 부경대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : OVPN, QoS, DWDM, RWA and Sensor Network>

조 광 현(학생회원)
2003년 동명정보대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
2005년 부경대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.
<주관심분야 : OVPN, QoS and Survivability>

김 성 운(정회원)
1982년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1990년 프랑스 국립 파리7대학교 정보공학과 석사 졸업.
1993년 프랑스 국립 파리7대학교 정보공학과 박사 졸업.
1982년~1985년 ETRI, 연구원
1986년~1995년 한국통신 연구개발원, 연구실장
1995년~국립부경대학교 정보통신공학과 부교수
2000년~2001년 미국 NIST 초빙연구원, DARPA 과제수행
2003년~2004년 TTA 시험인증특별위원회, 의장
2004년~2005년 TTA 광전송프로젝트그룹 (PG201), 의장
<주관심분야 : Protocol Engineering, GMPLS, DWDM Optical Network, QoS and RWA>



이 석 진(학생회원)
2003년 부경대학교 전자공학과 학사 졸업.
2005년 부경대학교 정보통신 공학과 석사 졸업

<주관심분야 : Multicast Routing, Sensor Network Routing>

윤 미 라(학생회원)
2002년 부경대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
2004년 부경대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.
<주관심분야 : OVPN, QoS, GMPLS, NGN and Survivability>