

광 버스트 교환 망을 위한 GMPLS 기반 기능 모델과 연결 수락 제어 알고리즘

정희원 소원 호*, 노선 식**, 김 영 천***

GMPLS based Functional Models and Connection Admission Control Algorithms for Optical Burst Switched Networks

Won-ho So*, Sun-sik Roh**, Young-chon Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 광 버스트 교환 (Optical Burst Switching; OBS) 기반의 광 통신망에 GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) 기술을 적용하기 위한 OBS 라우터의 기능 모델을 제시한다. 또한 이 모델에서 응용되고 사용자의 QoS 요구를 수용하는 연결 수락 제어 알고리즘을 제안한다. 기능 모델을 제시하기 위하여 IP/WDM(IP over WDM) 기반 광 인터넷을 위한 기존의 GMPLS와 OBS 특징을 먼저 고려한다. 이를 기반으로 현재의 파장 경로 배정 기반 GMPLS가 제어 정보를 이용하여 버스트 데이터의 경계를 구분하고 광 링크에서 버스트 단위의 통계적 다중화가 가능한 OBS의 특징을 수용하도록 기능 모델을 제안한다. 마지막으로 제안된 모델에서 버스트 손실률과 서비스 차등률 같은 QoS 파라미터를 고려하여 연결 수락 제어가 가능하도록 OBS을 위한 offset 시간 결정 (offset time decision; OTD) 알고리즘을 이용한다. 제안된 연결 수락 제어 알고리즘은 LSP (Label Switched Path)의 인가된 부하와 파장 정보, 요구 QoS 파라미터를 OTD 알고리즘에 대입한다. 새로운 LSP 설정 요구가 발생할 때 OTD 알고리즘으로 결정된 offset 시간으로 요구 QoS를 만족하면 설정 요구를 수락한다. 성능 평가는 시뮬레이션을 이용하며 제안된 방식이 기존 방식에 비해서 많은 LSP에 의한 이용률 증가와 요구 QoS를 만족시킴을 보인다.

Key Words : OBS, GMPLS, CAC, QoS, IP over WDM

ABSTRACT

In this paper, we propose the functional models of optical burst switching (OBS) routers to apply GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) to optical networks based on OBS. In addition, we introduce a connection admission control (CAC) algorithms which are operated in this models and can accommodate the required QoS. Firstly, the characteristics of current GMPLS and OBS for the optical Internet are basically considered. With this consideration, the models are proposed to accept OBS features which include the recognition of data boundary with control information and the statistical multiplexing in terms of bursts. Secondly, we use an offset time decision (OTD) algorithm on behalf of controlling the connection admission with taking QoS parameters such as burst loss rate(BLR) and service-differentiation ratio(SDR) into consideration. The proposed CAC algorithms use the offered load of LSP (Label Switched Path), wavelength information, and QoS parameters as inputs of OTD algorithm. A call setup request will be accepted when the offset time decided by OTD algorithm is reasonable for guaranteeing its requested QoS. Simulation is used for performance evaluation. Results show the proposed schemes can guarantee the required QoS and those are better than the previous one in terms of channel utilization.

* 순천대학교 컴퓨터교육과 (whso@sunchon.ac.kr), ** 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 정보통신전공 (ssroh@hosim.gwangju.ac.kr), *** 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망연구실 (yckim@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 040012-0110, 접수일자 : 2004년 1월 12일

※본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광인터넷연구센터(OIRC) 프로젝트의 지원으로 이루어졌습니다.

I. 서론

오늘날의 SONET 또는 SDH 전달망은 음성과 전송선에 적합한 망 기반 기술이다. 1995년 이후에 인터넷의 발전과 가상 사설망 (Virtual Private Network; VPN)의 확대 보급은 데이터 트래픽을 급격하게 증가시켰다. 특히 새로운 세기의 시작과 더불어 데이터 트래픽 양은 음성 트래픽 양을 넘어섰고 향후 이러한 추세는 계속될 것이다. 특히 망 이용자는 망사용에 대한 경제적인 부담을 줄여 비용 부담을 줄이기 위한 요구를 하고 있다. 이러한 망 환경의 변화와 사용자 요구사항을 만족시키기 위하여 정보 서비스 제공자 (Information Service Provider; ISP)는 새로운 망 관리 기술과 서비스 품질 향상을 위한 지속적인 노력을 하고 있다^[1-3].

현재 인터넷을 위한 전달망은 IP/ATM/SONET/WDM (IP over ATM over SONET over WDM) 또는 IP/SONET/WDM (IP over SONET over WDM)과 같은 다계층 구조로서 계층마다 다른 종류의 망 운영, 관리, 그리고 서로간의 상호작용에 대한 기능을 요구하기 때문에 망의 확장성 및 비용 측면에서 효율적이지 못하다. 따라서 기존에 ATM과 SONET이 가졌던 트래픽 엔지니어링, QoS, 그리고 망의 생존성 보장 등의 기능을 IP 계층과, 광 교환 기술을 고려한 WDM 계층에 두는 IP/WDM (IP over WDM) 구조가 효과적인 전달망 기술로 평가되고 있으며 이에 대한 연구와 표준화가 전세계적으로 진행되고 있다^[4].

광 인터넷을 위한 IP계층의 주된 연구는 IETF (Internet Engineering Task Force)의 MPLS (Multiprotocol Label Switching)에 의한 고속 교환 및 트래픽 엔지니어링 기술이다. 최근엔 MPLS 기술의 단점을 보완하고 확장하여 파장 경로 배정 또는 광 회선 교환 (optical circuit switching; OCS) 방식의 광 통신망에서 운용될 수 있는 GMPLS (Generalized MPLS)에 대한 연구와 표준화도 활발히 진행되고 있다. 하지만 광 영역에서는 광 패킷 교환 (optical packet switching; OPS)이나 광 버스트 교환(optical burst switching; OBS) 방식이 새로운 대안으로 제시되고 있다. 특히 OBS 방식은 OPS의 실현을 위한 중간 단계로서 가까운 미래에 실현될 광 인터넷을 위한 현실적인 대안으로 각광받고 있다. IP 트래픽의 비대칭성, 버스트성, 자기복제 (self-similarity) 특성 등을 고려할 때 OCS보다는

OBS 방식이 광 인터넷 망에 더 효과적이다. 또한 사용자의 다양한 서비스 요구를 수용하기 위해서는 현재의 GMPLS 기술도 OBS 방식을 수용하고 있다^[5-8].

따라서 본 논문에서는 OBS와 GMPLS의 기본 특성을 융합하여 두 기술이 효과적으로 운용되기 위한 기본적인 기능 모델과 사용자 요구를 만족하는 OBS 기반의 연결 수락 제어(Connection Admission Control; CAC) 방식을 제안한다. 이를 위하여 먼저 OBS의 기본적인 특징과 현재 표준화가 진행 중인 OCS 기반의 GMPLS 기술의 특징을 분석하여 OBS 라우터에 적용되는 기능 모델을 제안한다. 또한 제안된 모델에서 사용자의 요구 QoS를 만족시키며 자원을 효과적으로 관리하기 위하여 offset 시간을 이용한 CAC를 제안한다. 제안된 CAC는 선행 연구된 offset 시간에 의한 QoS 지원 기능과 요구 QoS에 의한 offset 시간 결정 알고리즘을 이용한다. 망에 인가된 트래픽 조건과 사용자의 서비스 차별화 파라미터가 연결 설정 시 주어질 때, 제안된 방식은 적합한 offset 시간을 결정하기 때문에 우선순위가 높은 서비스의 요구 QoS를 보장하고 연결의 수락 여부를 결정한다. 제안된 방식은 시뮬레이션을 이용하여 기존 방식과 비교하고 평가한다.

II. 레이블기반 광 버스트 교환에 대한 선행 연구

본 장에서는 파장 경로 배정 방식을 이용하는 레이블 (label) 기반의 GMPLS 기본 특성과, OBS 기술과 레이블 기술을 접목한 IP/WDM 광 통신망에 대한 선행 연구를 간단히 설명한다. 또한 본 논문에서 제안한 기능 모델과 연결 수락 제어 알고리즘의 연구 배경을 기술한다.

2.1 MPLS와 GMPLS의 특징

IETF는 MPLS 시스템을 LDP (Label Distribution Protocol)을 따르며, 경로배정 정보 프로토콜 (Routing Information Protocol; RIP), OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway Protocol)를 동작시켜 얻어진 IP 라우팅 정보를 스위칭의 2계층 정보로 변환시켜 전달 경로 설정을 스위칭 하드웨어의 호처리·자원관리 블록에 보내어 라우팅을 실현하는 시스템으로 정의하고 있다. 이것은 다음과 같은 MPLS의 특징으로 정리된다. 첫째, LER (Label Edge Router)과 LSR (Label

Switching Router) 또는 LSR과 LSR간에 라우팅 프로토콜과 신호 프로토콜을 이용하여 LSP (Label Switched Path)를 설정한다. 둘째, LER에서는 입력되는 IP 패킷을 FEC (Forward Equivalence Class)를 기반으로 레이블을 결정하고, 결정된 레이블 정보를 계층 2의 헤더와 IP 헤더간에 끼워서 전송한다. 셋째, 중간 노드에 해당하는 LSR은 입력되는 패킷을 계층 3에서 수행하던 패킷 단위의 라우팅 방식이 아닌 레이블 스와핑 (swapping)을 이용한 데이터 포워딩을 이용한다. 넷째, 다양한 데이터 링크 계층에 적용될 수 있도록 데이터 링크 계층과 독립적이다⁵⁾.

이것은 LSR이 IP 패킷 헤더 또는 셀 (cell) 헤더의 경계를 인식할 수 있고 헤더 정보를 기반으로 데이터를 포워딩할 수 있음을 전제 조건으로 하고 있다. 따라서 MPLS는 패킷의 'shim'헤더 내에 명시적인 레이블 정보를 기반으로 IP 패킷을 고속으로 포워딩하는 교환 기술이라 할 수 있다. 하지만 IP 트래픽의 폭발적인 증가는 WDM 기술을 이용한 광 전달 계층 (Optical Transmission Layer; OTL)과 이것의 상위계층인 IP 기반의 MPLS 서비스 계층 (IP-based MPLS Layer)으로 된 IP/WDM의 새로운 통신망을 기본 요구사항으로 제시하고 있다.

최근 IETF에서는 MPLS의 라우팅과 신호 프로토콜을 확장하여 광 전달망에서 운용될 수 있는 GMPLS를 표준화하고 있으며 이것을 IP/WDM 망을 운용하기 위한 기본 제어 계층으로 제시하고 있다. 현재의 GMPLS 기반 LSR은 광 전달망에서 패킷의 경계를 인식할 수 없어 패킷 헤더 정보를 기반으로 한 데이터 포워딩이 불가능하기 때문에 타임 슬롯, 파장, 또는 물리적 포트 등의 암시적인 레이블 정보를 이용하여 데이터를 포워딩한다. 이 외에도 GMPLS는 기존 MPLS가 광 전달망에 적용될 수 있도록 IGP (Interior Gateway Protocol) 확장, LSP 계층 구조 지원, RSVP-TE (Resource Reservation Protocol with Traffic Engineering) 또는 CR-LDP (Constraint-based Routing Label Distribution Protocol) 등의 신호 방식 확장, 링크 관리 프로토콜 (LMP) 이용, 링크 번들링 (link bundling), 제약 기반 라우팅 (constraint-based routing) 등의 기능을 추가 또는 확장하고 있다. 이와 같이 기존 MPLS 기능의 확장은 GMPLS의 LSP의 특징, 레이블 요구 및 교환, 그리고 에러의 전달과 에지 라우터간의 동기 등에 많은 영향을 주어 IP/WDM 기반의 광 인터넷 구축에 주된 기술이

되고 있다⁶⁾.

2.2 OBS 기반의 연결 설정을 위한 고려사항

파장 경로 배정을 기반 한 현재의 GMPLS 기술은 광 통신망에서 새롭게 등장하고 있는 OBS 광교환 기술과 특징을 고려하지 않았다. 따라서 현재의 GMPLS 기술이 OBS기반의 광 통신망에 이용되기 위한 OBS의 특징을 먼저 살펴보고 다음 장에서 이를 고려한 광 인터넷을 위한 OBS 기반의 기능 모델을 제시한다. 다음은 GMPLS가 OBS의 기능을 수용하기 위해서 반드시 고려해야할 몇 가지 중요한 특징이다^{3,4)}.

OBS에서는 제어 정보와 데이터를 분리한다. OBS의 제어 정보인 BCP (Burst Control Packet)와 데이터인 BDF (Burst Data Frame)는 offset 시간을 간격으로 각각 제어 채널 그룹과 데이터 채널 그룹의 파장 채널을 통하여 전송된다.

OBS 에지 라우터는 같은 서비스 클래스에 해당하는 패킷을 모아서 가변 길이의 버스트를 생성한다. 이때 BCP는 BDF의 라우팅을 지원하고 코어 라우터에서 버스트의 경계를 인식할 수 있는 정보를 포함한다.

OBS 코어 라우터가 광 영역에서 공간 교환 기능과 파장 변환기에 의한 파장 교환이 가능하면 BDF의 채널 예약은 출력 링크의 데이터 채널 그룹의 채널을 효율적으로 공유하여 이루어진다. 따라서 OBS 코어 라우터는 버스트 단위의 통계적 다중화 (statistical multiplexing)를 지원할 수 있다.

이것은 버스트 데이터에 대한 제어 정보를 BCP가 포함하고 offset 시간의 사용과 제어 채널 그룹과 데이터 채널 그룹의 채널 분리로 기존 GMPLS에서 제공할 수 없었던 버스트 경계 인식과 제어 정보에 대한 처리가 가능함을 의미한다. 따라서 기존의 ATM 교환기나 IP 라우터에서 수행하던 통계적 다중화를 OBS 기반으로 제공할 수 있음을 의미한다.

2.3 Offset 시간을 고려하지 않은 연결 수락 제어 알고리즘

OBS 기반 광 인터넷을 위한 기존 연결 수락 제어 알고리즘은 offset 시간을 이용하지 않는 특징을 가지며 다음과 같다⁷⁾. 먼저 새로운 LSP 설정 요구가 상위 응용 계층에서 발생하면 각 노드에 있는

GMPLS 제어기는 요구된 LSP 설정에 필요한 망 자원의 유무와 요구 QoS에 대한 만족 여부를 판단한다. 이 방식에서 QoS 파라미터는 버스트 손실률을 사용하며, 이미 망에 설정된 LSP의 전체 인가된 부하와 새로 설정될 LSP의 인가된 부하를 합하여 버스트 손실률을 계산한다. 만일 계산된 버스트 손실률이 망에서 요구하는 버스트 손실률보다 작으며 새로운 LSP의 설정 요구는 수락되며 그렇지 않은 경우에는 거절된다. 여기서 버스트 손실률의 계산과 연결 수락 제어 알고리즘은 코어 라우터에 있는 하나의 출력 링크를 대상으로 수행되며, $N-1$ 개의 LSP가 이미 이 링크에 설정되어 있고 출력 링크에 도착하는 버스트와 버스트 길이는 각각 포아송과 지수 분포로 가정한다. 다음은 이 알고리즘 분석을 위한 표기 및 LSP 설정을 위한 구체적인 알고리즘이다.

□ 표기

- c : 광전송 링크 당 파장 개수
- λ_i : LSP i 에 대한 버스트 데이터 (BDF) 도착률, BCP의 도착률과 같음
- μ : 광 링크의 버스트 전송률
- p_{target} : LSP의 QoS로서 요구되는 BLR의 상한값
- p_{erlang} : 새로운 LSP의 데이터 도착률이 고려된 BLR

□ LSP 설정을 위한 연결 수락 제어 알고리즘

- (1) 요구 BLR이 p_{target} 이고 버스트의 도착률이 λ_N 인 LSP에 대한 설정 요구가 상위 응용 계층에서 발생한다.
- (2) GMPLS 제어기는 식 (1)의 M/M/c/c Erlang B formula를 이용하여 새로운 LSP를 포함한 모든 LSP들에 대한 BLR을 계산한다.

$$P_{erlang} = B(\rho, c) = \frac{\rho^c / c!}{\sum_{k=0}^c \rho^k / k!} \quad (1)$$

여기서 $\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ 이고 $\rho = \lambda / \mu$ 이다.

- (3) 만일 $p_{erlang} < p_{target}$ 이면 새로운 LSP는 설정이 허락되며, 그렇지 않은 경우에는 LSP에 대한 연결 수락이 거절된다.

이 방식에서 GMPLS 제어부는 새로운 LSP의 설정 요구에 대하여 단순 LSP의 요구 버스트 손실률 조건이 만족되는지 판단하여 연결 수락을 제어한다. 따라서 광 인터넷이 다중 클래스를 지원하여 LSP간에 우선 순위가 고려된다면, 기존 방식은 하위 클래스 LSP의 선행적인 설정으로 상위 클래스 LSP의 설정 요구를 수용할 수 없는 경우도 발생한다. 또한 상위 클래스의 요구 QoS를 위해서 하위 클래스의 LSP를 설정할 수 없는 문제도 발생한다. 결국 IP 서비스의 특성을 고려하여 다중 서비스 클래스를 효과적으로 수용하기 위한 연결 수락 제어는 상위 클래스의 QoS를 보장하고 각 클래스간의 영향을 줄일 수 있어야 한다. 또한 망 자원을 효율적으로 관리하여 이용률을 향상시켜야 한다. 이에 대한 결과는 4장에서 기술한다.

III. GMPLS 기반의 OBS 기능 모델 설계

본 장에서는 앞 절에서 설명된 GMPLS와 OBS의 특징을 고려하여 IP/WDM 광 네트워크를 위한 OBS 기능 모델을 제시한다.

3.1 기능 모델 설계를 위한 요구사항

OBS 기술은 파장 경로 배정 기반의 OCS와 몇 가지 차이점을 갖는데 이는 기존의 GMPLS가 OBS 광 통신망에 적용될 때 깊이 있게 고려될 사항이다. 특 2.2절의 내용은 반드시 고려되어 기능 모델이 설계되어야 하며 본 논문에서는 다음과 같은 GMPLS의 기본 기능을 가정한다. 먼저 LSP의 설정은 GMPLS의 상위 계층 또는 망 운영자 요청에 의해서 시작되는 제어 구동 (制御 驅動, control-driven) 방식을 이용한다^[5]. 각 LER 또는 LSR은 설정 요청에 대한 LSP를 설정하기 위하여 이웃하는 LSR 또는 LER로 레이블 값을 요청한다. 이때 CR-LDP 또는 RSVP-TE 방식의 신호 방식을 이용하며, 결정된 레이블 값은 각 노드의 LIB (Label Information Base)에 저장된다. 따라서 각 LSR의 LIB의 값이 결정됨으로써 LER과 LER간에 LSP가 설정되며, 근원지 주소 및 목적지 주소와 서비스 클래스에 따라서 독립적인 LSP를 설정할 수 있다. 또한 망 자원의 이용률과 사용자 요구 및 QoS 요구 사항을 제공하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 추가적인 요구 사항을 만족하도록 기능 모델을 제안한다.

첫째, OBS 광 인터넷 기능 모델에서 LER과

LER간에 설정되는 LSP는 버스트 데이터의 가상 LSP (virtual LSP)가 된다. 즉, 광 출력 링크를 지나는 LSP의 출력 레이블 값은 그 광 링크 또는 특정 파장 채널을 의미하지 않는다. 따라서 제안된 광 인터넷 모델에서 광 링크나 파장 채널은 특정 LSP에 의해서 전용되지 않으며 여러 개의 LSP가 공유하는 특징을 갖는다. 예를 들면, 그림 1의 광 인터넷망에서 LSP A와 LSP B가 에지 라우터 A와 C, 그리고 B와 C간에 설정된 경우를 가정한다. 또한 A와 B는 이미 설정된 LSP이기 때문에 중간 노드에 있는 레이블 교환 테이블은 그림과 같이 결정되고 제어 채널 그룹과 데이터 채널 그룹을 위한 파장 채널은 각각 1개로 가정한다. 이때 A와 B의 출력 링크는 OP1으로 동일하며 출력 레이블 값만 다르게 설정된다. 이 경우는 목적지인 에지 라우터 주소가 같고 서비스 클래스가 다른 경우로서 각각 독립적인 LSP가 설정된 경우이다. 따라서 각 LSP를 통하여 데이터 버스트가 전송될 때, LSP A와 B의 BDF는 출력 데이터 채널 그룹을 공유하여 이용하게 된다. 이것은 데이터 채널 그룹의 파장 개수가 증가하면 할수록 버스트의 통계적 다중화 효과는 증가됨을 의미한다. 반면에 특정 서비스에 대한 LSP가 설정되었다고 해서 모든 버스트 데이터가 손실이 없이 전송됨을 의미하지는 않는다. 다만 GMPLS의 제어부가 LSP를 설정할 때 연결 수락 제어 알고리즘에 의한 사용자의 요구에 대한 협상 결과에 의해서 LSP의 설정 여부가 최종적으로 결정된다.

둘째, 코어 망에 전송되는 버스트는 에지 라우터에서 세 가지 종류의 지연 즉, 버스트 생성을 위한 생성 지연, offset 시간을 위한 지연, 그리고 버스트를 코어 망에 전송하기 위한 전송 지연을 겪는다. 이러한 지연 특성은 상위 응용계층의 서비스 특징을 결정짓는 QoS 파라미터로 사용될 수 있으며 코어 라우터의 스케줄링에 의해서 발생하는 서비스의 버스트 손실률에 대한 차등률이 QoS 파라미터로서 이용된다.

셋째, OBS 망에서 extra-offset¹⁾ 시간을 이용하여

1) 광 버스트 스위칭에서는 제어 패킷이 버스트 데이터 보다 먼저 전송되어 데이터 채널을 예약한다. 따라서 코어 라우터에서 제어 패킷이 처리되는 동안 버스트 데이터는 에지 라우터에서 지연되어야 하며 이 시간을 기본 offset (base-offset)시간이라 한다. 또한 광 버스트 스위칭에서는 기본 offset 시간의에 추가적인 offset 시간을 갖는 버스트 데이터가 우선적으로 채널 예약을 할 수 있다. 이 시간을 추가 offset (extra-offset) 시간이라 한다.

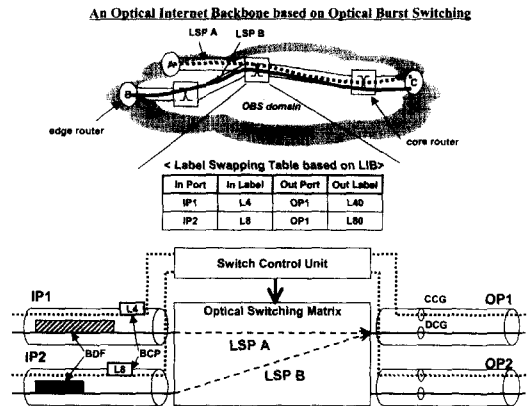


그림 1. OBS 기반 광 인터넷에서 레이블 맵핑
Fig. 1. Label mapping in OBS based optical Internet

상위 클래스와 하위 클래스로 서비스 차별화가 가능하고 적합한 extra-offset 시간의 결정으로 상위 클래스의 요구 손실률을 만족한다.

이와 같은 요구 사항을 충족하기 위해서는 OBS 망을 구성하는 에지 라우터와 코어 라우터의 기능을 확장 또는 수정해야 한다. 또한 이를 이용하여 OBS 망에 새로운 LSP 설정을 위한 요청이 발생되면 버스트 단위의 통계적 다중화, QoS 지원, 그리고 offset 시간을 이용한 다중 클래스 서비스를 지원할 수 있는 GMPLS 기반의 OBS를 위한 연결 수락 제어 알고리즘이 설계되어야 한다.

3.2 GMPLS 기반 OBS 기능 모델

그림 2는 3.1절에서 기술한 요구 사항을 고려하여 제시된 광 인터넷 모델이다. 제시된 모델은 광 영역의 OBS 코어 라우터 (LSR)와 전기적 영역의 OBS 에지 라우터 (LER)를 WDM 광 링크로 연결함으로써 구성된다. OBS 도메인은 액세스 도메인에 있는 Ingress LER (ILER)과 Egress LER (ELER)을 연결하는 코어 라우터로 구성된다. 이때 코어 라우터는 GMPLS의 라우팅과 신호방식 제어를 위한 레이블 제어기 (label controller)와 버스트 교환을 위한 버스트 제어기 (burst controller)를 코어 라우터의 교환 제어부 (switch control unit; SCU)에 포함하며 데이터 교환은 광교환부 (optical switching unit; OSU)를 통하여 수행한다. 액세스 도메인은 IP 도메인과 OBS 도메인을 연결하는 인터페이스로서 IP 도메인에서 입력되는 IP 패킷을 버스트로 생성하여 코어망에 전달한다. 이때 광 인터넷 서비스를 위한 LSP는 ILER과 ELER간에 생성되며 단방향 또는 양방향을 지원한다.

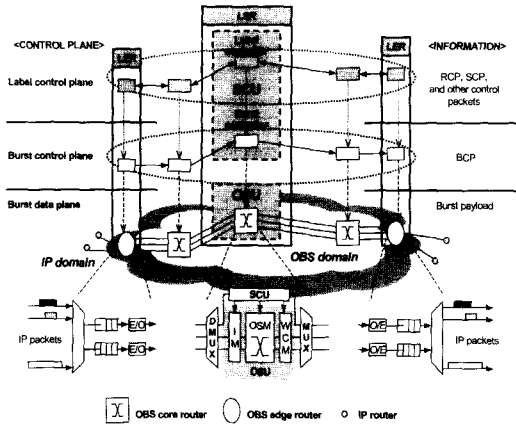


그림 2. GMPLS 기반의 OBS에 의한 광 인터넷 모델
Fig. 2. Optical Internet model using GMPLS based OBS

각 에지 라우터와 코어 라우터는 GMPLS 제어 평면, 버스트 제어 평면, 그리고 버스트 데이터 평면으로 구성되며 이때 각 평면에서 취급되는 정보는 각각 RCP (Routing Control Packet), SCP (Signaling Control Packet), BCP, 그리고 BDF이다. 가상 LSP를 설정하기 위하여 최상위의 레이블 제어 평면 (label control plane)은 서비스 데이터를 전송하기 위한 LSP의 설정과 관리를 위한 라우팅 정보와 신호 정보를 교환한다. 따라서 RCP와 SCP는 제어 채널인 제어 채널 그룹을 이용하여 이웃하는 LER과 LSR 또는 LSR과 LSR간에 교환된다. 버스트 제어 평면에서는 ILER이 버스트를 생성하면서 BCP도 생성하는데 BCP의 레이블 정보는 FEC를 기반으로 결정된다. 또한 OBS 도메인을 구성하는 코어 라우터의 구조와 BCP 처리 시간이 고려되어 base-offset이 결정되며 서비스 클래스에 따라서 extra-offset이 결정되어 BCP에 포함된다. 마지막으로 BCP가 레이블 제어 평면에 의해서 설정된 LSP에 대한 LIB을 기반으로 레이블 스와핑과 데이터

채널을 예약하기 위한 스케줄링이 수행되면 버스트 데이터 평면은 이를 기반으로 OSU에서 광영역의 데이터 패스를 제공한다.

제안된 모델은 OBS 코어 라우터인 LSR이 파장 변환기능을 제공하기 때문에 가상 LSP에 의해서 전송되는 서로 다른 BDF는 광 링크의 데이터 채널 그룹을 효율적으로 공유하여 BDF마다 서로 다른 파장을 예약할 수 있다. 따라서 BCP의 레이블 값은 입력 링크 대 출력 링크 (incoming-fiber-to-outgoing-fiber)로 매핑되며 이로 인하여 제안된 프로토콜 계층은 광 영역에서 버스트기반의 통계적 다중화가 가능한 특징을 갖는다.

제안된 광 인터넷 모델은 RCP, SCP, 그리고 BCP와 망 관리를 위한 제어 패킷 등, 사용 가능한 모든 제어 패킷을 제어 채널 그룹을 통하여 전송해야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 그림 3과 같이 GMPLS 표준에서 사용하는 TLV (Type-Length-Value) 포맷을 기반으로 제어 패킷의 포맷을 제시한다. 각 패킷의 Type 필드는 제어 패킷의 종류를 구분하며 Length 필드는 제어 패킷의 크기 정보를 나타낸다. Value 필드의 경우에는 각 제어 패킷마다 서로 다른 기능을 포함하는데, 먼저 RCP는 이 필드에 IS-IS나 OSPF 같은 표준 라우팅 프로토콜이 사용한 포맷을 그대로 사용한다. SCP의 경우에는 현재 GMPLS에서 가장 경쟁적으로 사용되고 있는 신호 프로토콜인 CR-LDP와 RSVP-TE이 된다. BCP의 경우에는 LSP를 위한 레이블과 버스트 생성과 분리에 이용될 패킷의 개수 정보를 포함한다. 또한 BDF를 위해 결정된 파장 번호, offset 시간, 버스트 스케줄링을 위한 버스트 길이 정보가 포함된다. 이때 offset 시간은 QoS를 위해서 사용되거나 base-offset과 extra-offset을 모두 고려하여 결정될 수 있다.

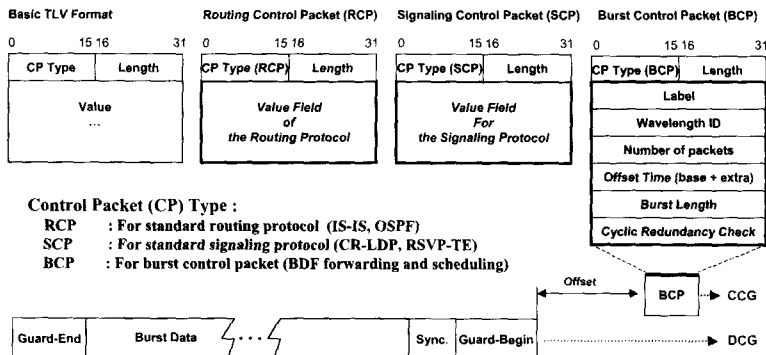


그림 3. GMPLS 기반 OBS를 위한 기본 제어 패킷 포맷
Fig. 3. Basic control packet formats for GMPLS based OBS

제안된 OBS 기반의 광 인터넷 모델과 제어 패킷이 효과적으로 운용되기 위해서는 에지 라우터와 코어 라우터의 OBS 기능이 GMPLS와 원활 결합되어야 한다. 그림 4는 액세스 도메인에 해당하는 에지 라우터의 기능 모델로서 기능적으로 Ingress 부분 (ILER)과 Egress 부분으로 (ELER)로 구분된다. ILER은 RCP, SCP, 그리고 BCP와 같은 제어 패킷을 생성하고 처리하는 부분과 IP 패킷을 수용하여 OBS 도메인에 전송하는 부분으로 구성된다. 레이블 제어기 (label controller)는 제어 채널 그룹 (control channel group; CCG)으로 전송되는 기본적으로 라우팅 프로토콜과 신호 프로토콜을 위하여 RCP와 SCP를 생성하고 처리되며 이를 기반으로 LER간의 LSP 설정을 담당한다. LSP의 설정은 LIB를 최종적으로 생성함으로써 이루어진다. 반면에 IP 도메인에서 ILER로 입력되는 IP 패킷은 LIB와 FEC를 기준으로 적합한 서비스 클래스로 분류되며 각 클래스를 위한 버퍼에 저장된다. 제안된 모델의 버스트 제어기 (burst controller)는 버스트를 생성하기 시작하는 시간에 BCP 생성기가 새로운 버스트에 대한 버스트 제어 패킷 (BCP)을 생성한다. 따라서 버스트의 생성이 완료되면 BCP는 생성된 버스트의 크기, LIB에 의한 레이블 정보, 그리고 LSP에 적합한 offset 시간 정보를 포함하여 CCG로 전송된다. 또한 이 정보는 스케줄러 의해서 데이터 채널 그룹 (data channel group; DCG)의 파장으로 전송되는 BDF의 전달에 관여한다. 그림의 오른쪽 부분은 OBS 백본 망을 거쳐 목적지에 도착하는 버스트를 처리하는 ELER의 기능 모델이다. 제어 채널 그룹으로 입력되는 RCP, SCP, 그리고 BCP는 제어 패킷의 종류에 따라서 레이블 제어 모듈과 버스트 제어 모듈로 각각 전송되어 처리된다. 또한 입력되는 버스트 전기적인 데이터 신호로 전환되고 버스트 분리를 위한 버퍼에 저장된다. 이때 ELER의 버퍼는 ILER과 마찬가지로 버스트를 생성하여 전송한 송신측의 에지 라우터 주소와 트래픽 클래스를 기준으로 분류되어 관리된다. 따라서 같은 LSP를 이용하여 전송된 버스트는 순서가 보장되고 버스트에 대한 트래픽 제어가 가능하다. 마지막으로 버스트는 IP 패킷단위로 분리되어 IP 도메인의 IP 라우터에 전송된다.

제안된 OBS 기반의 광 인터넷을 효과적으로 운용하기 위해서는 에지 라우터뿐만 아니라 코어 라우터도 GMPLS 기능과 결합되어야 한다. OBS 기술은 데이터와 제어 패킷을 분리하여 처리하기 때

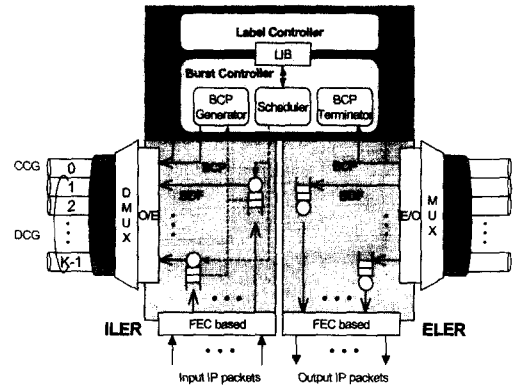


그림 4. 에지 레이블 라우터의 기능 모델
Fig. 4. Functional model of edge label router

문에 GMPLS 기능과 연관된 부분은 코어 라우터의 교환 제어부이며, 광 변환 없이 전광영역에서 전송되는 BDF는 광 교환부에서 동일하게 교환된다. 그림 5는 GMPLS 기능을 수용한 OBS 코어 라우터의 기능 모델을 나타낸다. RCP와 SCP는 O/E변환을 거쳐 전기 신호로 변환되고 입력 패킷 모듈에 의해서 레이블 제어기로 전송되어 처리된다. 이 제어 패킷들은 GMPLS의 LSP 설정과 유지, 해제에 관련된 기능을 수행하며 인접 코어 라우터간에 주기적으로 정보를 주고받는다. 반면에 버스트를 위한 BCP는 전기 신호로 변환되며, 레이블 제어기에 의해서 결정된 LIB를 참조하여 출력 링크로 나갈 때 사용할 새로운 레이블과 입력 레이블을 교체한다. 새로운 레이블을 갖은 BCP는 공유 메모리 스위치를 거쳐 스케줄러 (scheduler)에 입력된다. 스케줄러는 offset 시간과 버스트의 길이를 고려하여 해당 출력 링크에서 파장 채널을 예약한다. 이때 예약된 결과는 버스트의 입력 포트와 출력 포트간에 설정되는 광 교환부내의 패스와 출력 링크, 그리고 출력될 파장 정보이다. 따라서 스케줄러는 BCP에 대한 파장 정보를 갱신하고 예약된 결과를 교환 제어기 (switch controller)에 전달한다. 교환 제어기는 스케줄링된 결과에 근거하여 입력 광 버퍼, Inlet-FDL, 신호 증폭기 등의 입력 모듈 (input module; IM)과 광 교환 매트릭스 (optical switching matrix; OSM), 그리고 파장 변환 모듈 (wavelength conversion module; WCM)의 제어를 담당한다.

OBS 방식으로 운용되는 광 인터넷은 코어 라우터의 교환기 제어부의 처리 속도에 의해서 버스트의 길이와 base-offset 등이 영향을 받게 된다. 따라서 제안된 교환 제어부는 단일 프로세스로 운용하는 구조나 각 링크마다 독립된 프로세스를 이용하

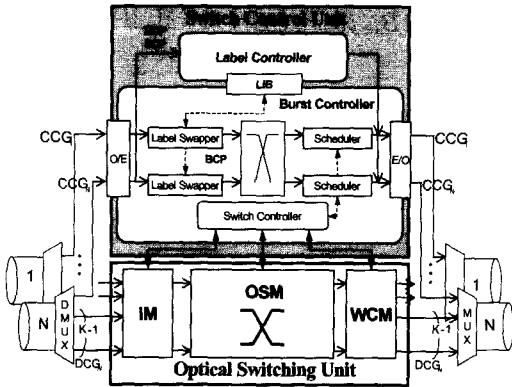


그림 5. 코어 라우터 교환 제어부
Fig. 5. Switch control unit of core router

는 분산 다중 프로세스로 구조로 구성할 수 있으며 처리 속도 향상을 위하여 파이프 라인 (pipe-line) 기능을 포함할 수도 있다. 하지만 교환기 제어부의 처리 속도는 구조에 의해서만 영향을 받는 것이 아니고 광 교환부의 교환 시간 (switching time), 스케줄링 시간, 그리고 레이블 교환 시간 등에 의해서도 영향을 받기 때문에 이를 동시에 고려하여 교환기 제어부가 설계되고 버스트 길이 등이 결정되어야 한다.

IV. 연결 수락 제어

본 장에서는 3장에서 제시된 GMPLS 기반의 OBS에 의한 광 인터넷 모델에서 운용될 수 있는 상위 클래스의 요구 QoS와 클래스간의 서비스 차등률을 고려한 연결 수락 제어 알고리즘을 제시한다. 제안된 알고리즘은 다음과 같은 특징을 갖도록 설계된다.

- 단일 서비스뿐만 아니라 상위 클래스와 하위 클래스로 분류 가능한 다중 클래스 지원
- 서비스 차별을 위한 QoS 파라미터는 요구 버스트 손실률과 서비스 차등률 사용
- Offset 시간 결정을 위하여 offset 시간 결정 (OTD) 알고리즘 이용

4.1 Offset 시간 결정 알고리즘

Offset 시간 결정 알고리즘은 상위 클래스를 하위 클래스로부터 차별할 수 있도록 상위 클래스 트래픽의 추가적인 offset 시간을 결정하는 알고리즘이다^{[11],[12]}. OTD 알고리즘은 2장의 식 (1)을 extra-offset을 고려하여 상위 클래스 트래픽에 적용된 버스트 손실식을 이용한다. 이 식은 extra-offset

시간 t_1^* 가 0인 경우, $0 < t_1^* < \infty$ 인 경우, 그리고 ∞ 인 경우를 고려하여 결정되었으며, t_1^* 이 주어질 때 상위 클래스 대한 버스트 손실률을 결정할 수 있다. 하지만 요구 버스트 손실률이나 차등률과 같은 QoS 파라미터가 주어지는 경우에는 역으로 상위 클래스의 extra-offset 시간을 결정해야 하기 때문에 기존의 손실식을 그대로 사용할 수 없다. [12]에서는 HLF (Heuristic Loss Formula)를 제시하여 상위 클래스의 extra-offset 시간에 대한 버스트 손실률을 구하였으며 이 식은 기존 손실식과는 다르게 역변환이 가능하기 때문에 이를 이용하여 OTD 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 OTD (c, ρ_0, ρ_1, pb_1)인 함수 형식을 가지며 입력 파라미터로는 파장수 (c), 하위 클래스와 상위 클래스의 입력부하 (각각 ρ_0, ρ_1), 그리고 상위 클래스의 요구 버스트 손실률 (pb_1)을 이용한다. 이 함수의 반환 값은 상위 클래스의 extra-offset 시간이다. 이 알고리즘에 대한 자세한 사항은 [11]과 [12]를 참고하기 바란다.

4.2 QoS 가상 LSP 설정을 위한 연결 수락 제어

4.2.1 요구 버스트 손실률을 위한 연결 수락 제어

제안된 연결 수락 제어 알고리즘은 다음을 가진다. 첫째, OBS 망에는 설정되는 모든 가상 LSP²⁾의 설정과 관리, 해제를 담당하는 중앙 집중형 서버가 있다. 둘째, LSP는 하위 클래스와 상위 클래스로 분류되며 표현의 편의상 class 0를 하위 클래스로, class 1은 상위 클래스를 나타낸다. 셋째, 각 클래스가 만족해야 할 버스트 손실률의 상한은 class 0와 class 1에 대하여 각각 p_{class0} 와 p_{class1} 로 가정한다. 또한 전체 트래픽은 p_{class0} 을 하한 (Lower Boundary; LB)으로 p_{class0} 를 상한 (Upper Boundary; UB)으로 한 조건을 만족해야 한다. 넷째, 제안된 알고리즘은 코어 라우터에 있는 하나의 출력 링크를 대상으로 한다. 이때 $N-1$ 개 LSP가 이미 설정되어 있고, 새로운 LSP 설정 요구가 도착하면 N 개의 LSP가 되며 이 중에서 v 개는 상위 클래스 LSP이고 w 개는 하위 클래스의 LSP로 구성되어 있다고 가정한다. 마지막으로 출력 링크에 도착하는 버스트와 버스트 길이는 각각 포아송 분포

2) 본 논문에서 설정하는 LSP는 모두 가상 LSP이다. 따라서 이후에는 LSP로 표기한다.

와 지수 분포로 가정한다.

다음은 제안된 알고리즘을 위한 표기와 이에 대한 설명이다.

□ 표기

- c : 광전송 링크 당 파장 개수
- λ_j^k : Class k 에 해당하는 j 번째 LSP의 도착률
- μ : 광 링크의 버스트 전송률
- ρ_{all} : 전체 인가된 부하의 합, $\sum_{i=1}^N \lambda_j^k / \mu, k = 0$ 또는 1
- ρ_k : Class k 의 인가된 부하의 합, 만일 class 0 LSP부터 순서를 부여하고 이후에 class 1 LSP에 순서를 부여하면 각 클래스의 ρ_k 는 다음과 같다.

$$\rho_k = \begin{cases} \sum_{j=1}^v \lambda_j^k / \mu, & k=0 \\ \sum_{j=v+1}^N \lambda_j^k / \mu, & k=1 \end{cases} \quad (2)$$

따라서 $N = v + w$ 이고 $\rho_{all} = \rho_0 + \rho_1$ 이다.

- D_{edge} : Class 1의 요구 지연 시간 (본 논문에서 고려하지 않음)
- t_1^o : Class 1의 extra-offset 시간
- pb_i : Class i 의 버스트 손실률, 트래픽 전체를 고려한 pb_{all} 은 $pb_0 + pb_1$

제안된 연결 수락 제어 알고리즘의 수행 순서는 다음과 같다.

- ① 그림 6에서 λ_N^k 인 N 번째 LSP의 설정 요구가 있으면 각 클래스의 LSP 개수를 고려하여 식 (2)에 의한 ρ_0 와 ρ_1 , 그리고 ρ_{all} 을 결정한다.
- ② Erlang 손실률 공식인 식 (5.1)을 이용하여 pb_{all} 을 계산한다. 만일 $LB \leq pb_{all} \leq UB$ 이면 extra-offset을 고려하여 class 1과 class 0의 손실률을 결정한다. 그렇지 않고 $pb_{all} < LB$ 이면 서비스 클래스에 관계없이 요구 손실률의 하한값을 만족하기 때문에 LSP 설정은 수락된다. 반면에 $pb_{all} > UB$ 인 경우는 상위 클래스는 수용할 수 있을 지라도 하위 클래스는 수용할 수 없어 설정이 거절된다.

조건 $LB \leq pb_{all} \leq UB$ 이 충족된 경우에는 4장

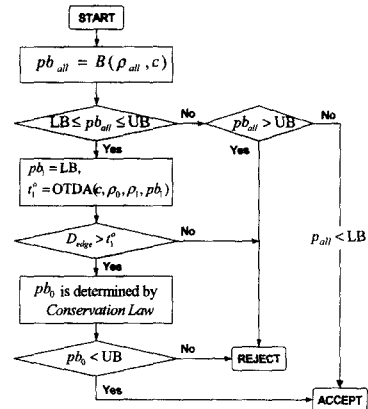


그림 6. 요구 버스트 손실률을 고려한 연결 수락 제어 알고리즘

Fig. 6. Connection admission control algorithm considering the required burst loss rate

에서 제시한 OTD 알고리즘을 이용하여 상위 클래스인 class 1의 extra-offset t_1^o 를 결정한다.

만일 t_1^o 가 D_{edge} 보다 크면 LSP 설정 요구는 거절된다.

- ④ 요구 지연 조건이 충족되면 상위 클래스에 의한 하위 클래스의 손실률을 결정하여 손실률의 상한값과 비교해야 한다. 따라서 Conservation Law에 의해서 pb_0 를 결정하며 만일 상한값보다 크면 연결 설정은 거절된다. 그렇지 않은 경우에는 LSP 설정은 허락되어 CR-LDP와 RSVP-TE와 같은 신호 프로토콜에 의해서 LSP 설정과정이 수행된다.
- ⑤ 제안된 알고리즘이 성공적으로 수행된 후에 결정된 extra-offset 시간은 링크를 지나는 모든 상위 클래스 LSP의 에지 라우터에 통보된다. 이것은 새로 설정된 LSP가 고려되어 요구 손실률의 상한값과 하한값이 계속 유지되어야 하기 때문이다.

제안된 기법의 특징은 설정된 LSP의 클래스에 관계없이 설정 요구가 발생하면 OTD 알고리즘에 의해서 상위 클래스의 QoS를 효과적으로 지원할 수 있다. 따라서 extra-offset에 의한 버스트 단위의 통계적 다중화가 가능하여 채널의 이용률을 향상시킬 수 있다.

4.2.2 요구 서비스 차등률을 위한 연결 수락 제어

본 절에서는 LSP 설정 요구시 서비스 차등률을 QoS 파라미터로 이용한다. 여기서 서비스 차등률 (service differentiation-rate; SDR)은 상위 클래스의 버스트 손실률에 대한 하위 클래스의 버스트 손실률의 비율로 정의된다. 알고리즘을 위한 표기 및 가정은 앞 절과 같고 그림 7은 QoS 파라미터가 서비스 차등률인 경우를 고려한 연결 수락 제어 알고리즘이다. 먼저 LSP 설정이 요청되어 처리되는 과정은 앞 절과 동일하다. 요구 하한값을 pb_1 의 요구 손실률로 결정하고 요구 차등률 d_{req} 과 차등률의 정의에 의해서 pb_0 를 결정한다. 이때 요구 손실률의 상한값은 $\min\{UB, pb_0\}$ 에 의해서 결정한다. 단계 (3) 이후 과정은 앞 절의 제시된 알고리즘과 동일하다. 이 알고리즘의 특징은 상위 클래스와 하위 클래스의 요구 손실률이 서비스 차등률 d_{req} 에 의해서 결정되기 때문에 클래스간의 상대적 차별화가 가능하다. 따라서 상위 클래스와 하위 클래스간에 절대적인 평가 기준이 없을 때, GMPLS 기반 OBS 제어 계층에서 이용될 수 있다.

4.3 시뮬레이션 결과 및 토의

제안된 연결 수락 제어 알고리즘을 offset 시간을 이용하지 않는 기존의 연결 수락 제어 알고리즘과 비교하고 분석한다. 설정된 모든 LSP의 대역폭은 서비스 클래스에 관계없이 동일하게 주어지며, 각 LSP에 대한 버스트의 도착은 포아송 분포, 그리고 버스트의 길이는 지수 분포로 가정한다. 이때 광 링크는 16개의 데이터 파장이 있고 파장 용량은 2.5Gbps, 발생하는 전체 트래픽에서 class 0와 class 1의 트래픽의 비율은 70%와 30%이다. 그리고 평균 버스트길이는 $40 \mu s^3$ 로 설정한다.

성능 평가는 서비스 클래스에 요구 QoS가 주어질 때 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘과 비교한다. 이를 위해서 먼저 요구 손실률을 상위 클래스는 10^{-4} , 하위 클래스는 10^{-2} 으로 설정한다. 이때 요구 손실률을 위한 연결 수락 제어 알고리즘과 기존 방식은 LSP 설정에 대한 요구가 발생하면 알고리즘을 수행하여, 각 알고리즘에 의해서 설정할 수

있는 LSP 개수, 채널 이용률, 그리고 상위 클래스 QoS에 대한 만족여부를 평가한다. 둘째, 요구 서비스 차등률을 고려한 연결 수락 제어 알고리즘은 차

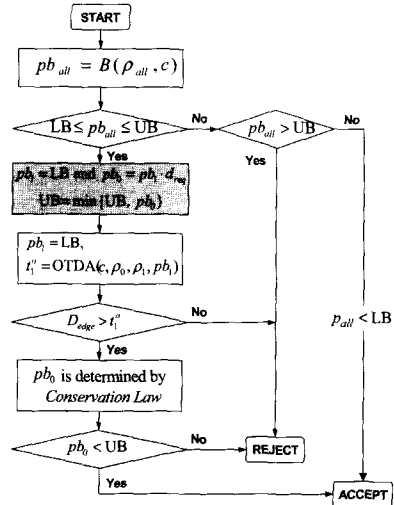


그림 7. 서비스 차등률을 고려한 연결 수락 제어 알고리즘
Fig. 7. Connection admission control algorithm considering service differentiation-ratio

등률의 값을 5, 50, 500, 1000 등으로 변화시켜 기존 방식과 위와 같은 성능 파라미터를 이용하여 비교한다. 또한 결정된 상위 클래스에 설정된 extra-offset 시간과 채널의 이용률에 대한 관계도 분석한다.

그림 8은 LSP의 요구 대역에 따른 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘에 의해서 설정된 LSP의 개수에 대한 비교를 나타낸다. 이 결과로부터 첫째, 제안된 연결 수락 제어 알고리즘은 LSP를 설정할 때 기존 방식에 비해서 약 1.6배정도 더 많은 LSP를 설정할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 extra-offset 시간을 이용하는 상위 클래스가 하위 클래스 트래픽으로 인하여 손실될 확률이 감소하기 때문이다. 따라서 상위 클래스와 하위 클래스의 인가된 부하를 고려하여 extra-offset 시간을 OTD 알고리즘에 의해서 조절하면 설정할 수 있는 LSP의 개수를 증가시킬 수 있다. 물론, 상위 클래스의 요구 QoS는 만족해야 한다. 둘째, 전체 인가된 부하의 변화에 따라서 설정할 수 있는 LSP의 개수가 변하지만 기존 연결 수락 제어 기법에 대한 제안된 기법의 성능 비율은 약 1.6배로 유사하다. 이것은 LSP의 대역폭 단위가 변하지만 상위 클래스와 하위 클래스의 전체적인 대역폭은 유사하게 유지되기 때문이다.

3) 하나의 버스트는 여러 개의 IP 패킷을 모아서 형성된다. 본 논문에서는 IP 패킷의 평균 크기를 500바이트로 가정할 때 25개를 모아서 12500 바이트의 버스트를 평균값으로 정하고 이것을 지수 분포로 발생시켜 시뮬레이션을 수행한다.

그림 9는 제안된 연결 수락 제어 알고리즘이 요구 QoS인 손실률의 상한값과 하한값을 유지할 수 있음을 보인다. 상한값과 하한값이 각각 10^{-2} 과 10^{-4} 으로 설정될 때, LSP의 단위 용량의 변화에

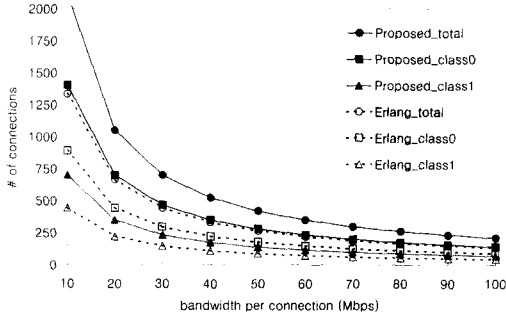


그림 8. 설정된 LSP 수
Fig. 8. The number of setup LSPs

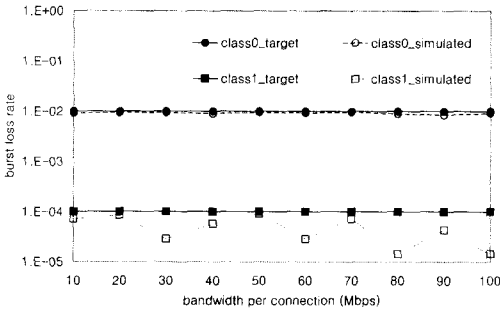


그림 9. 버스트 손실률의 보장
Fig. 9. Burst loss rate guarantee

도 불구하고 요구 QoS값이 유지된다. 이것은 설정할 LSP의 단위 용량에 관계없이 4장에서 제시한 OTD 알고리즘의 OTD()함수를 이용하면 상위 클래스와 하위 클래스의 요구 버스트 손실률을 보장할 수 있음을 나타낸다. 따라서 제시된 연결 수락 제어 알고리즘은 offset 시간을 이용하여 통계적 다중화 이득을 증가시킬 뿐만 아니라 다양한 트래픽 조건에서도 상위 클래스와 하위 클래스의 요구 QoS를 모두 보장 할 수 있다.

그림 10부터 그림 12까지는 요구 서비스 차등률을 고려한 연결 수락 제어 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과이다. 먼저 그림 10은 요구 서비스 차등률을 다르게 설정할 때, 설정할 수 있는 LSP의 개수를 기존 연결 수락 제어 알고리즘과 비교한다. 그림에서 수평하게 나타낸 결과는 기존 기법이 설정할

수 있는 LSP의 개수를 나타내며, 이 값을 기준으로 제안된 기법이 추가로 더 설정되는 LSP의 개수를 각 서비스 차등률에 따라서 나타냈다. 서비스 차등률이 클수록 상위 클래스와 하위 클래스간의 QoS 차이가 크며, 이것은 상위 클래스의 요구 버스트 손실률이 하위 클래스에 비해 상대적으로 낮음을 의

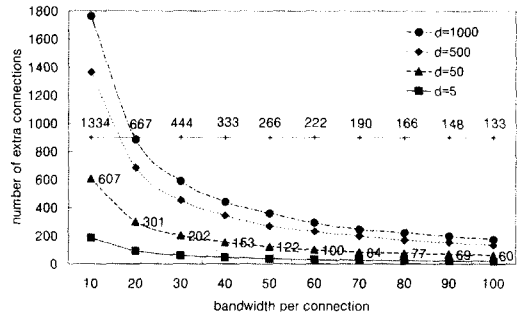


그림 10. 설정된 LSP 수
Fig. 10. The number of setup LSPs

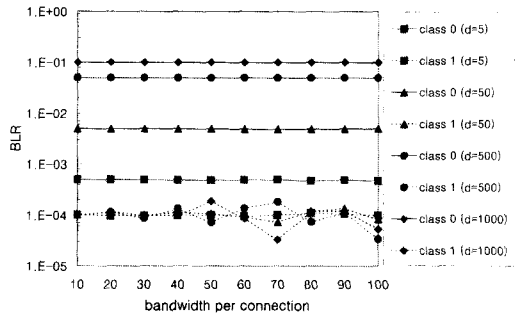


그림 11. 요구 서비스 차등률의 보장
Fig. 11. Service differentiation-ratio guarantee

미한다. 따라서 OTD 알고리즘에 의해서 결정되는 상위 클래스의 extra-offset도 증가되며 설정할 수 있는 LSP의 개수도 증가한다.

그림 11은 요구 서비스 차등률에 의해서 결정되는 손실률의 상한값과 하한값이 유지됨을 보인다. 손실률의 상한값은 10^{-4} 로 주어졌으며 하한값은 10^{-1} 으로 설정하였다. 이때, 서비스 차등률에 의해서 하한값은 각각 다르게 결정되기 때문에 하한값은 차등률이 5일 때 5×10^{-4} , 50일 때 5×10^{-3} , 500일 때 5×10^{-2} , 그리고 1000일 때는 10^{-1} 으로 결정된다. 결과에서 알 수 있듯이 제안된 연결 수락 제어 알고리즘은 각 서비스 차등률에 따른 class 0과 class 1의 손실률을 보장할 수 있음

을 알 수 있다.

그림 12는 LSP의 단위 용량이 10Mbps일 때, 서비스 차등률에 따른 최대 링크 이용률과 서비스 차등률을 유지하기 위한 extra-offset 시간의 결과다. 기존 연결 수락 제어 알고리즘으로 얻을 수 있는 이용률의 상한값은 차등률이 0인 경우로 상위 클래스와 하위 클래스를 구분하지 않은 것을 의미한다. 반면에 요구 서비스 차등률이 증가되면서 제안된

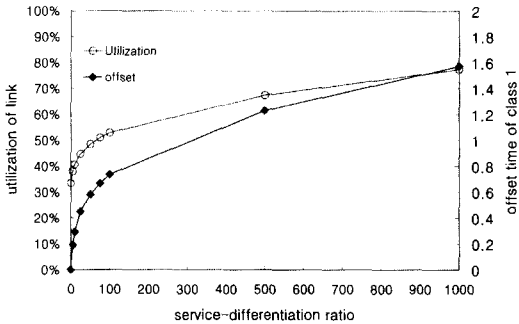


그림 12. 최대 링크 이용률과 extra-offset 시간
Fig. 12. Maximum link utilization and extra-offset time

알고리즘에 의해서 결정되는 extra-offset 시간은 증가되고 통계적 다중화 이득도 증가하여 채널 이용률이 같이 증가됨을 알 수 있다. 이것은 상위 클래스 서비스의 offset 시간 지연이 증가됨을 의미한다. 하지만 요구 서비스 차등률을 1000배로 설정한 경우에 extra-offset이 약1.6(64 μs)인 것을 고려하면 상위 서비스의 LER에서의 지연은 큰 값이 아니다. 따라서 제안된 연결 수락 제어 알고리즘이 OTD 알고리즘을 이용하기 때문에 extra-offset을 단순히 길게 설정하지 않고 요구 서비스 차등률을 만족시킬 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 차세대 광 인터넷을 위한 IP/WDM 망을 IP 기반의 GMPLS와 OBS 기술로 운용하기 위한 기본적인 기능 모델과 사용자 요구에 부응하는 가상 LSP 설정을 위한 연결 수락 제어 방식을 제안하였다. 기능 모델을 제안하기 위하여 OBS의 기본적인 특징과 GMPLS 수용의 장점을 도출하였다. 제안된 모델을 OBS 에지 라우터와 코어 라우터에 적용하여 GMPLS 특징을 갖는 가상 LSP가 버스트 트래픽을 수용할 수 있게 하였다. 또

한 제안된 기능 모델을 사용하는 OBS 망에서 버스트 손실률과 서비스 차등률을 만족하도록 가상 LSP의 연결 수락 제어 알고리즘을 제안하였다. 상위 클래스에 extra-offset 시간을 부여하여 하위 클래스로부터 차별화가 가능한 OBS 특징을 이용하였고 이때 요구 버스트 손실률을 만족시키는 offset 시간 결정 알고리즘을 적용하여 가상 LSP의 QoS를 만족시켰다. 주어진 요구 QoS가 있을 때, 제안된 알고리즘은 적절한 extra-offset 시간을 결정함으로써 요구 QoS의 상한과 하한을 만족하였으며 기존 알고리즘에 비하여 많은 연결을 수용하기 때문에 채널의 이용률을 향상시켰다.

향후 연구로는 본 논문에서 가정한 포아송 프로세스 기반의 입력 트래픽을 가정한 CAC 알고리즘을 개선한다. 자기복제 특성을 갖는 IP 트래픽을 고려하기 위해서는 제안된 CAC 방식의 새로운 분석이 요구된다. 또한 제안된 GMPLS 기반 OBS 기능 모델을 개선하고 구현을 위하여 시뮬레이션 환경을 구축한다. 마지막으로 구축된 시뮬레이션 환경으로 OBS 망에서 가상 LSP의 요구 QoS를 고려한 트래픽 엔지니어링 방식을 연구한다.

참고 문헌

- [1] J.S. Turner, "Terabit burst switching," *Journal of High Speed Networks*, Vol.8, No.1, pp.3-6, Jan. 1999.
- [2] F. Callegati, H.C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Applications," *IEEE Communications Magazine*, Vol.37, No.12, pp.124-128, Dec. 1999.
- [3] C. Qiao and M. Yoo, "Choices, Features and Issues in Optical Burst Switching," *Optical Networks Magazine*, Vol.1, No.2, pp.36-44, 2000.
- [4] T. Battestilli and H. Perros, "An Introduction to Optical Burst Switching," *IEEE Optical Communications*, Aug. 2003.
- [5] C. Seneria, "Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing in the New Public Network," *White Paper* in <http://www.juniper.net>.
- [6] A. Banerjee, J. Drake, J.P. Lang, B. Turner, K. Kompella, J. Networks, Y. Rekhter, "Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements," *IEEE*

Communications Magazine, pp.144-150, Jan. 2001.

- [7] H.M. Chaskar, S. Verma, and R. Ravikanth, "A framework to support IP over WDM using optical burst switching," *Proceedings of the Optical Networks Workshop*, Richardson, TX, Jan. 2000.
- [8] C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, Issue: 9, pp. 104-114, Sep. 2000.
- [9] M. Yoo, C. Qiao, "Supporting multiple classes of services in IP over WDM networks," *Proceedings of IEEE GLOBECOM 99*, pp. 1023-1027., Dec. 1999.
- [10] M. Yoo, C. Qiao and S. Dixit, "Effect of limited fiber delay lines on QoS performance of optical burst switched (OBS) WDM networks," *Intl' Conf. on Communications (ICC)*, New Orleans, LA, pp.974-979, Jun. 2000.
- [11] W.H. So, S.S. Roh, H.C. Lee, Y.C. Kim, "QoS Supporting Algorithms for Optical Internet Based on Optical Burst Switching," *Photonic Network Communications*, Vol.5, No.2, pp.147-162, Mar. 2003.
- [12] 소원호, 차운호, 노선식, 김영천, 광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가," *한국통신학회논문지* 제27권 1C호 pp. 1-10, 2002.

소원호(Won-ho So)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 1A호 참조

현재: 순천대학교 컴퓨터교육과 전임강사

<관심분야> 컴퓨터네트워크, 통신망 프로토콜 설계,
네트워크 시뮬레이션 및 제어

노선식(Sun-sik Roh)

정회원

한국통신학회 논문지 제20권 제8호 참조

현재: 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 조교수

김영 (Young-chon Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제19권 제2호 참조

현재: 전북대학교 컴퓨터공학과 교수