

광 버스트 스위칭 망에서 장애에 둔감한 SCM 기반의 노드 구조 설계

정희원 송규엽*, 유경민**, 유완**, 이해정***, 김영천**

Design of Fault-Tolerant Node Architecture based on SCM in Optical Burst Switching Networks

Kyu-Yeop Song*, Kyoung-Min Yoo**, Wan Yoo**,
Hae-Joung Lee***, Young-Chon Kim** *Regular Members*

요약

광 버스트 스위칭 망은 Ingress 에지 라우터에서 입력된 IP 패킷을 모아서 데이터 버스트를 생성하고 과도한 프로세싱 오버헤드 없이 효율적인 버스트 교환을 수행하기 위하여 채널에 대한 예약을 목적으로 데이터 버스트보다 offset 시간 이전에 제어 패킷을 전송하여 과장 채널을 예약한다. 따라서 OBS 방식은 광 계층에서 버퍼에 의존하지 않고 단방향 예약 방식으로 빠르게 투명성을 지닌 광전송 경로를 설정할 수 있다. 그러나 링크 장애와 같은 망 장애가 발생할 경우 광 버스트 스위칭 망의 단 방향 예약 특성 때문에 데이터 버스트의 많은 손실이 발생하게 되어 트래픽 QoS에 심각한 영향을 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 광 버스트 스위칭 망에서 장애 발생시에도 손실되는 버스트를 최소화하여 QoS를 보장할 수 있도록 Ingress 에지 라우터에서는 부 반송파 다중화 방식 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 설계하고 코어 망에서는 신속한 장애 복구가 가능한 혼합형 장애 복구 기법을 제안하였다. 또한 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 망 장애 발생에 따른 버스트 손실률, 버스트 처리율 및 망 자원 사용량 관점에서 기존의 기법과 비교 평가하였다.

Key Words : SCM, OBS, BCP, Offset time, Fault-Management, QoS

ABSTRACT

In optical burst switching(OBS) networks, the ingress edge router assembles packets in the same class queue into the appropriate size of burst. A burst control packet(BCP) is generated for channel reservation of corresponding data burst and sent earlier than the corresponding data burst with an offset time. Offset time is determined considering the number of hops from source to destination and the required quality of service(QoS). After offset time, the burst data is passed through the pre-configured optical switches without any O/E/O conversion. But a failure in OBS networks may lead to the loss of bursts until the ingress nodes receive the failure indication signal. This results in a significant degradation in QoS. Therefore, in this paper, we propose a fault-tolerant node architecture based on sub-carrier multiplexing to reduce the effects of failure in OBS networks. The Performance of the proposed fault-tolerant node architecture exhibits considerable improvement as compared with the previous ones.

* 전북대학교 정보통신학과 차세대통신망연구실 (click3535@chonbuk.ac.kr)

** 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망연구실 (yckim@chonbuk.ac.kr)

*** 국무조정실 심사평가2심의관실 (lhj9238@opc.go.kr)

논문번호 : KICS2004-06-047, 접수일자 : 2004년 6월 19일

* 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광 인터넷연구센터(OIRC) 프로젝트 및 한국산업기술재단의 지원으로 이루어졌습니다.

I. 서론

현재 전 세계적으로 인터넷 사용자의 수는 이미 2억 명에 도달하였으며, 음성 트래픽을 상회하는 인터넷 트래픽은 수개월마다 2배씩 급증하는 추세에 있다. 또한 화상 회의, 전자 상거래, 그리고 가상 교육과 같은 실시간 멀티미디어 서비스 확산으로 사용자의 QoS(Quality of Service) 요구도 계속 증가될 것으로 예측된다. 따라서 현재의 인터넷은 망의 신뢰성을 보장하면서 고속, 대용량의 전송 능력을 갖는 지능형 차세대 인터넷으로 발전되고 있다. 특히 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광소자 기술의 발전에 의해 구체화되기 시작한 광 인터넷(Optical Internet)에 대한 연구는 망 전송용량 증대, 비용 절감 및 관리기능의 단순화를 목적으로 국내외에서 활발히 진행되고 있다¹⁻³⁾.

OIF(Optical Internetworking Forum)에서 광 인터넷은 “스위치와 라우터가 통합된 광학적 인터페이스를 가지고 WDM 기반의 광섬유 또는 광 네트워크 요소들로 직접 연결되어 구성되는 데이터 전송용 네트워크 기반구조”라고 정의하고 있다. 그러나 현재의 인터넷은 WDM 전송 계층위에 ATM(Asynchronous Transfer Mode)과 SONET(Synchronous Optical Network) 계층을 둔 다계층 구조를 이용하여 IP 트래픽을 수용하는 구조로 구성되어 있다. 이러한 구조에서 IP 트래픽을 전송하기 위해서는 계층 간의 망 운영 및 관리와 계층 간 상호 작용에 대한 기능 정의가 요구되어 망의 확장성이나 경제적 측면에서 매우 비효율적이다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 ATM 트래픽 엔지니어링 및 QoS 제공 기능과 SONET의 일부 망 복구 기능을 IP 계층이 제공하고, 광대역 전송 및 광 계층의 망 보호 기능을 제공하는 WDM 계층을 하부에 둔 IP over WDM(IP/WDM) 구조가 광 인터넷의 기본 구조로 발전되고 있다.

광 인터넷 구성을 위한 교환 방식은 광 회선 교환 방식(Optical Circuit-Switching; OCS)과 광 패킷 교환 방식(Optical Packet-Switching; OPS)으로 크게 분류된다. OCS 방식은 단순하게 운용될 수 있는 장점이 있지만 채널 사용 시간과 관계없이 채널의 설정과 해제과정에 대하여 일정한 신호방식에 대한 오버헤드 시간이 요구된다. 따라서 상대적으로 작은 채널 사용 시간을 요구하는 IP 트래픽을 수용하면 자원의 비효율적인 사용으로 대역폭의 낭비가

심하게 발생한다. 이에 비해 OPS 방식은 고정 길이의 패킷을 이용하여 채널을 동적으로 이용할 수 있어서 채널의 이용 효율을 증가시킬 수 있다. 그러나 현실적으로 광 논리 소자 기술의 미비와 단순한 광 버퍼 기능으로 광 신호를 모두 전광영역에서 처리하기란 매우 어려운 상황이다. 최근 이러한 OCS와 OPS 방식의 장점만을 이용한 광 버스트 스위칭(optical burst switching; OBS) 방식이 제시되어 광 인터넷 구축을 위한 현실적인 대안으로 활발히 연구되고 있다⁴⁻⁵⁾.

이와 같은 OBS 방식은 제어 채널과 데이터 채널을 분리하여 제어 패킷(Burst Control Packet; BCP)을 먼저 전송하고 offset 시간 후에 버스트 데이터(Burst Data Frame; BDF)를 데이터 채널로 전송한다. 이러한 단방향 예약 특성은 버스트성이 강한 인터넷 트래픽을 효과적으로 수용할 수 있으며 데이터의 광전변환 없이 목적지까지 투명한 전송이 가능하다. 그러나 광파이버를 이용하여 많은 양의 트래픽을 처리하고 있는 OBS 망에서 노드나 링크의 장애 발생은 버스트 데이터 손실이 발생하여 심각한 서비스 품질 저하를 초래한다. 그러므로 서비스 QoS를 보장하기 위해서는 OBS 망에 적합한 장애 복구 대책이 수립되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 OBS 망 내에서 장애 발생에도 버스트 손실을 최소화할 뿐만 아니라 신속한 장애 복구를 수행하여 서비스 QoS를 보장할 수 있는 장애에 둔감한 SCM 기반의 OBS 노드 구조를 설계하였다. 이를 위해 먼저 IER(Ingress Edge Router)에서는 버스트 크기를 줄이는 부 반송과 다중화(Sub-Carrier Multiplexing; SCM) 기술을 이용한 새로운 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 제시하고 코어 망에서는 신속한 복구 수행이 가능한 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법을 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 OBS 개요와 장애 복구 기법에 대해 살펴보고 3장은 장애 둔감 구조를 가지는 OBS 노드 구조 설계를 위하여 IER에서 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 적용하고 코어 망에서는 QoS 보장을 위해 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법을 설계하였다. 4장에서는 제안된 구조에 대해 성능 평가를 실시하고 평가한 결과를 다양한 측면에서 비교 분석하였으며 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논하였다.

II. OBS의 개요 및 장애 복구 기법

2.1 OBS 개요

OBS 망에서는 IER에서 입력된 데이터 버스트를 과도한 프로세싱 오버헤드 없이 효율적인 버스트 교환을 수행하기 위하여 채널에 대한 예약을 목적으로 데이터 버스트 보다 offset 시간 이전에 제어 패킷인 BCP를 전송하여 파장 채널을 예약한다. 그러므로 OBS 방식은 이러한 특징을 이용하여 광 계층에서 버퍼에 의존하지 않고 단방향 예약 방식으로 빠르게 투명성을 지닌 광전송 경로를 설정할 수 있다. 이와 같은 OBS 방식에서 광전송 경로를 설정하는 과정은 그림 1과 같다. 그림 1(a)와 같이 근원지에서 전송해야 할 버스트가 발생했을 경우, 이 데이터 버스트의 전송을 위해 전송 정보를 담은 제어 패킷(Burst Control Packet; BCP)을 먼저 보낸다. BCP는 목적지 노드의 주소, 파장 정보, 요구 대역폭, QoS 파라미터, 그리고 offset 시간 등의 정보를 포함하고 있으며 BCP에 대응되는 데이터 버스트(Burst Data Frame; BDF)는 BCP 전송 후 바로 전송되는 것이 아니라 일정한 offset 시간 동안 전기적인 버퍼에 저장되어 대기한 후 전송된다. 여기에서 전기적 버퍼란 광 계층의 상위에 있는 IP 계층에 있는 일반적인 전기적 RAM을 말한다. 이와 같이 OBS 방식은 네트워크 자원을 미리 예약하기 위하여 Tell-and-Go 프로토콜의 성질을 지닌다. 즉, BCP 전송 후 수신측으로부터 전송 경로 설정에 대한 성공여부를 기다리지 않고 offset 시간대기 후 바로 BDF를 전송하는 기법이다.

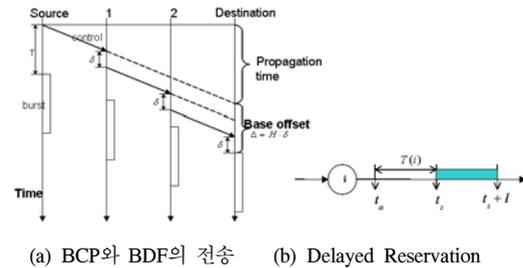


그림 1. OBS 방식

이러한 방식으로 전송될 때 이용되는 offset 시간을 *base offset* 시간이라 하고 T 로 표시한다. 여기서 offset 시간 T 의 값은 두 가지 요인 즉, 근원지와 목적지 사이의 BCP가 거쳐야 할 중간 노드 수 H 와 각 중간 노드에서의 BCP를 처리하는 시간

$\delta(i)$ 에 의해 결정되며, $T \geq H \times \delta(i)$ 을 만족해야 된다. 그림 1(a)에서 $H=3$ 이고 모든 노드에 대해 $\delta(i)=\delta$ 로 같은 값을 갖는 경우이다. 즉, $T=3 \times \delta$ 는 광 계층에서 각 중간 노드가 BCP를 처리하는 동안 BDF 저장을 위해 버퍼를 사용하지 않기 위하여 근원지에서 결정되어야 할 최소값이다. 따라서 BCP가 각 중간 노드를 통과할 때는 T 값이 해당 노드에서 처리되는 시간인 $\delta(i)$ 만큼 감소된다. 즉, 임의의 노드 i 에서 offset 시간 $T(i) \geq h(i) \times \delta(i)$ 로 주어지고 여기서 $h(i)$ 는 노드 i 에서 목적지까지 남아있는 중간 노드 수를 의미한다.

그림 1(b)는 임의의 노드 i 에 t_s 시간에 BCP가 도착하고 offset 시간 $T(i)$ 가 지난 후 $t_s + T$ 시간에 도착하는 BDF를 위하여 $t_s + T$ 만큼의 시간 동안 채널을 예약하는 과정을 나타내고 있다. 여기서 T 은 BDF의 전송시간이며 이러한 과정을 지연 예약(Delay Reservation; DR) 방식이라 한다. 이와 같이 OBS 방식은 다음 노드로부터 승인 없이 BCP가 BDF 보다 먼저 다음 노드로 전송되기 때문에 고속의 채널 예약이 가능하며 각 중간 노드가 BCP를 처리하는 동안 BDF 저장을 위해 버퍼를 사용할 필요 없이 BDF는 WDM 계층에서 광전변환 없이 cut-through 방식으로 데이터의 투명성을 유지하면서 전송된다.

따라서 현재의 광 기술의 미성숙과 광전송 속도 및 전기적인 교환 처리 속도를 감안한다면, 제어 정보는 전기적인 영역에서 처리하고 데이터는 광 영역에서 전송하는 OBS 방식이 광 인터넷을 구성하는 비용과 구현의 복잡성 측면에서 현실적인 대안으로 대두되고 있기 때문에 OBS 기술에 대한 많은 연구가 요구된다.

2.2 장애 복구 기법

OBS 망은 WDM 기술을 이용하여 데이터의 고속 전송과 다양한 종류의 대용량 서비스를 수용할 수 있다. 그러나 OBS 망을 구성하고 있는 노드나 링크의 장애 발생은 심각한 데이터의 손실을 야기할 수 있으며 QoS를 보장하고 신뢰성 있는 서비스를 제공하기 위해서는 OBS 망에 적합한 보호-복구 방법이 제공되어야만 한다.

현재 제안되고 있는 장애 복구대책 기법은 자원 공유 유무, 복구영역 단위 및 장애 복구 시점에 따라 그림 2와 같이 분류된다. 먼저 장애 복구 시점에 따라 장애가 발생하기 이전에 대체 경로를 미리 설

정하는 보호 기법과 장애가 발생한 시점에 대체 경로를 설정하는 복구 기법으로 분류할 수 있다. 보호 기법은 장애 발생 시점에 빠른 복구는 가능하지만 미리 자원을 예약함으로써 장애가 발생하지 않는 경우에도 자원을 점유하는 낭비를 가진다. 또한, 주 경로와 대체 경로가 모두 장애인 경우에는 장애를 보호할 수 없는 심각한 문제점을 가지고 있다⁶⁻⁸⁾. 그러므로 이러한 문제를 해결하고 망 자원 이용률의 최적화와 QoS 보장이 가능한 장애 복구를 위해 많은 연구가 복구 기법에 집중되고 있다. 따라서 본 논문에서도 OBS 망에서 장애 발생 시 망에서 요구하는 복구 시간을 만족하면서 서비스 QoS를 제공할 수 있는 장애 복구 기법에 초점을 맞추어 연구를 수행하였다. OBS 망에서 가능한 장애 복구 기법은 복구 영역 단위에 따라 Path, Sub-path, 그리고 Link 기법으로 분류되며 그림 3에서 링크 <4, 5>에 장애가 발생하였을 경우 각각의 장애 복구 기법은 다음과 같이 수행된다.

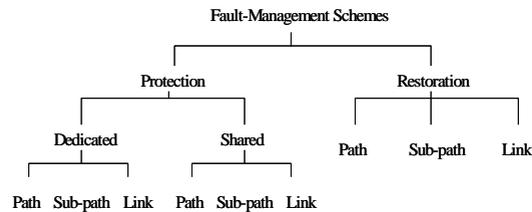
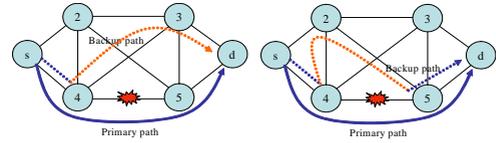


그림 2. 장애 복구 기법에 따른 분류

2.2.1 Path 복구 기법

Path 복구 기법에서는 링크 <4, 5>에서 장애가 발생하였을 경우 그림 3(a)와 같이 상향 노드 4에서 장애 발생을 감지하고 장애 알림 메시지인 FIS 메시지를 생성하여 근원지 노드 s에 장애 발생을 알린다. 근원지 노드 s에서는 FIS 메시지를 수신하면 주경로 상에 있는 링크 (<s, 4>, <4, 5>, <5, d>)를 사용하지 않는 대체 링크 (<s, 2>, <2, 3>, <3, d>)를 설정하고 BCP와 BDF를 대체 경로 (s-2-3-d)로 전송한다. 또 다른 Path 복구 방법은 그림 (b)와 같이 주경로 상에서 사용한 링크를 재사용하는 기법으로 대체 경로 (s-2-5-d)를 이용하여 BCP와 BDF를 전송한다. 그러나 path 복구 기법의 경우 근원지 노드에서 FIS 메시지를 수신하고 대체 경로를 설정하기 이전까지는 계속하여 주경로 상에 BCP와 BDF를 전송함으로써 많은 양의 버스트 손실이 발생하는 문제점을 가지고 있다.



(a) Sub-path Restoration (b) Link Restoration
그림 3. Sub-path vs Link Restoration

2.2.2 Sub-path 복구 기법

Sub-path 복구 기법에서는 그림 3(a)와 같이 Path 복구 기법과 다르게 장애를 감지한 상향 노드 4에서 FIS 메시지를 생성하지 않고 상향 노드 4에서 목적지까지의 대체 링크 (<4, 3>, <3, d>)를 설정하여 BCP와 BDF를 대체 경로 (s-4-3-d)로 전송한다. 이와 같이 Sub-path 복구 기법의 경우 장애 발생에 대하여 Path 복구 기법보다 빠른 복구가 가능하나 상향 노드에서 경로 변경에 따른 BCP의 정보 수정이 요구된다.

2.2.3 Link 복구 기법

Link 복구 기법에서는 그림 3(b)에서와 같이 상향 노드 4에서 장애를 감지하고 상향 노드 4에서 하향 노드 5까지의 대체 링크 (<4, 2>, <2, 5>)를 설정한다. 따라서 근원지 노드 s에서 출발한 BCP와 BDF는 대체 경로 (s-4-2-5-d)를 경유하여 목적지에 전송된다. 이와 같은 Link 복구 기법의 경우 상향 노드 4에서 하향 노드 5까지의 대체 경로가 최악의 경우 망에서 발생할 수 있는 최대 홉 수를 경유하여 대체 경로를 설정할 수 있어 BCP와 BDF의 목적지 전송에 많은 지연이 발생하는 단점이 발생할 수 있다.

III. 장애에 둔감한 SCM 기반의 OBS 노드 구조 설계

OBS 망은 단방향 예약 특성으로 인하여 망 장애가 발생하였을 경우 offset 시간 영향으로 선행된 BCP에 대한 BDF의 추가적인 손실이 발생하여 QoS를 만족시킬 수 없는 상황이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 망 장애 발생에도 장애 영향에 둔감한 구조를 가지는 SCM기반의 OBS 노드 구조를 설계하기 위하여 IER에서는 [12]와 같은 SCM기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 이용하였다. 또한 코어 망에서는 장애 발생에 따른 버스트 손실을 최소화 하기 위해 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법을 설계하였다.

3.1 SCM 기반의 IER 구조

OBS 망의 IER은 IP 패킷을 모아서 버스트를 생성하고 제어 정보를 설정하여 버스트 제어 패킷을 생성한다. 이때 제어 정보에는 송신 측과 수신 측의 주소와 파장 정보, offset 시간 정보, QoS 정보 등이 포함된다. 그러나 망 내에서 링크 절단과 같은 장애가 발생할 경우에 신속한 장애 복구 대책을 수립하지 못하면 IER에서 생성되는 버스트는 코어 망에 계속적으로 유입되어 버스트는 손실되게 될 것이다. 따라서 링크 장애 발생 시 버스트 보호를 위해서는 상향 노드에서 BCP 복구를 위한 충분한 시간동안 버스트가 지연될 수 있어야 한다. 이와 같이 OBS 망에서는 버스트 지연을 위해 FDL을 사용하지만 버스트 크기가 크고 오랜 시간동안 버스트를 지연시키기 위해서는 매우 긴 FDL 크기가 요구된다. 이것은 현실적으로 코어 노드의 부피 증가와 신호 감쇄라는 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 FDL 크기를 줄일 수 있는 방안으로 [12]에서 적용한 SCM 기술을 사용하여 SCM 사용개수 만큼 버스트 크기를 줄임으로써 동일한 길이의 FDL 크기를 가지고도 더 많은 버스트를 지연시킬 수 있어 장애 발생에도 버스트에 대한 복구가 가능한 SCM 기반의 IER 구조를 사용하였다^[9-12].

[12]에서 설계된 IER 구조에서는 버스트 생성을 위하여 OBS 망에 가장 적합한 방식이라 평가되고 있는 NPA-MIN(Non-Periodic Assembly based on Limitation of Minimal Burst Length) 기법을 적용하였으며 NPA-MIN 기법에서는 먼저 IER에 입력된 IP 패킷은 각각의 클래스에 맞게 해당하는 버스트 생성 큐(Burst Assembly Queue; BAQ)로 전송되어 버스트를 생성한다. 이와 같이 BAQ에 모여진 버스트의 길이 $BAQ(i)$ 을 주어진 1개의 주 밴드와 $N-1$ 개의 보조 밴드로 구성된 N 개의 채널로 나누어서 버스트 전송 큐(Burst Transmission Queue; BTQ)에 전달한다. 그림 4는 NPA-MIN 기법으로 $BAQ_7(i)$ 동안 모은 버스트 $BAQ(i)$ 을 N 개의 채널로 나눈 버스트 전송 길이를 보여 주고 있다.

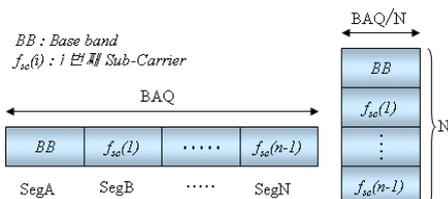


그림 4. SCM 기반의 버스트 전송 길이

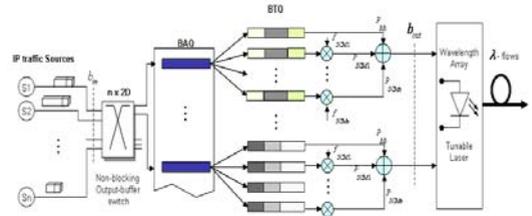


그림 5. SCM 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조

그림 5는 [12]에서 설계된 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 보여주고 있으며 NPA-MIN 기법으로 BAQ에서 생성된 버스트를 EER로 전송하기 위하여 SCM 개수에 맞게 버스트를 세분화하여 BTQ로 전송하여 변조한다. 변조된 채널은 다시 멀티플렉서를 통해 다중화되어 하나의 WDM 채널로 전송하는 구조이다.

3.2 SCM 기반의 OBS 망에서 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구기법 설계

OBS 망의 특성은 제어 정보인 BCP를 먼저 보내어 offset 시간 후에 전송될 BDF에 대한 채널을 예약하고 다음 노드로 BCP는 전송되며 offset 시간 후에 도착된 BDF는 미리 예약된 채널 정보를 이용하여 다음 노드로 전송하게 된다. 그러나 OBS 망에서 장애가 발생할 경우 이와 같은 OBS의 단방향 예약 특성 때문에 BCP나 BDF의 많은 손실이 발생하게 되어 QoS에 심각한 영향을 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 그림 5와 같이 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송 모듈구조에서 링크 장애와 같은 망 장애 발생에도 빠른 복구 기능 수행을 위하여 BCP 재생성 가능한 임계시간을 기준으로 QoS 보장 가능한 혼합형 장애 복구 대책 기법을 제시한다. 제시된 장애 복구 기법은 코어 노드의 SCU에서 BCP 정보를 관리하고 링크 장애로 인해 BCP 정보가 손실되었을 때 BCP를 재생성하여 offset 시간 후에 도착하는 버스트를 복구하는 장애 복구 기법이다.

OBS 방식은 제어 패킷인 BCP가 버스트인 BDF보다 먼저 전송되기 때문에 BDF가 코어 라우터에 도착했을 때는 이미 버스트를 위한 출력 파장 채널이 예약되어 있어야 한다. 따라서 코어 라우터는 제어 패킷을 위한 전기적 영역의 교환기 제어부와 광전변환이 없이 BDF의 투명한 교환이 수행되는 광교환부가 핵심 구성요소이다. 교환기 제어부에서는 BCP 정보에 따라 채널을 예약하고 예약된 시간에 광 교환부에서 스위칭을 할 수 있도록 제어 신호를

전달한다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 교환기 제어부에서 BCP 정보가 관리되어야 한다. 따라서 이와 같은 채널 정보관리를 위하여 채널정보테이블을 운영한다. 그림 6은 채널정보테이블 포맷을 보여주고 있으며 이와 같은 채널정보테이블 정보들은 교환기 제어부에서 offset 시간 후에 도착하는 버스트에 대한 채널사용을 위해 이용되며 장애 발생 시 손실될 수 있는 버스트에 대한 BCP 생성을 위해 사용된다. 그림 7은 BCP가 노드에 도착하여 채널을 예약한 정보가 교환 제어부에서 채널정보테이블에 삽입되고 삭제되는 과정이다. 그림 7과 같이 코어 노드에 BCP가 도착하면 채널 예약을 위하여 스케줄링을 실시하고 채널 예약에 실패하면 BCP를 삭제한다. 그러나 채널 예약을 성공한 BCP에 대해서는 BCP 정보를 SCU에 있는 채널정보테이블 포맷에 맞게 재가공하여 정보를 저장하고 다음 노드로 BCP를 전송한다. 이와 같이 저장된 정보는 채널 예약 시간에 버스트가 도착하여 성공적으로 노드를 통과하면 채널정보테이블에서 정보를 삭제한다. 그러므로 만약 링크에서 장애가 발생할 경우에 BCP 정보는 이미 채널 예약을 마치고 다음 노드로 전송되었지만 offset 시간으로 인하여 버스트가 도착하지 않은 버스트에 대해서는 상향 노드에서 BCP 생성과 대체 경로설정에 대한 충분한 시간이 된다면 SCU에서 관리하는 채널정보테이블 정보를 이용하여 BCP 재생성이 가능하다. 따라서 재생성된 BCP를 이용하여 버스트를 안전하게 목적지에 전송할 수 있다.

Incoming data burst's port	Start time of incoming data burst	Outgoing data burst's port	Start time of outgoing data burst	The number of hop	Address of the destination
Inlet wavelength identifier	End time of incoming data burst	Outlet wavelength identifier	End time of outgoing data burst	Address of the source	Quality of service

그림 6. 채널정보테이블 포맷

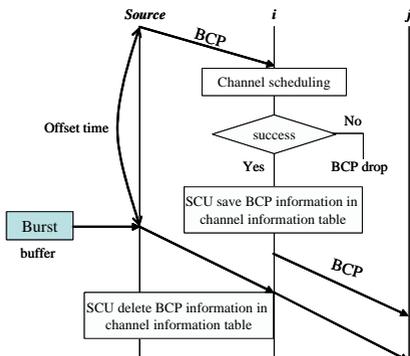


그림 7. 채널정보테이블 관리 흐름도

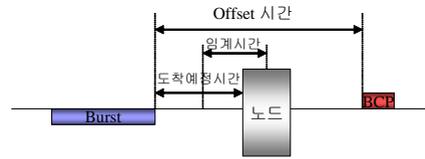


그림 8. Offset 시간과 버스트 도착예정 시간

이와 같이 OBS 망에서 임계시간(Threshold)을 링크 장애로 인해 상향 노드에서 BCP 재생성을 위한 시간으로 설정할 때 그림 8과 같이 버스트 도착 예정 시간이 임계시간 보다 작을 경우에는 버스트는 손실된다. 하지만 버스트 도착 예정시간이 임계시간보다 상당히 큰 경우에는 BCP 생성이 가능하므로 버스트 복구가 가능하다.

본 논문에서 제안한 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법(Hybrid Restoration Scheme consider Offset Time; HRSOT)의 동작은 그림 9와 같이 크게 세 가지 경우를 고려할 수 있다. 첫 번째 경우는 상향 노드에서 장애를 감지한 시점에 이미 BCP1이 상향 노드를 통과하였지만 Burst1이 상향 노드에 도착하기 위해서는 RT_1(Remaining Time) 시간인 1.1s 후에 도착하는 상황으로 BCP1 재생성을 위한 임계시간인 1s 보다 큰 경우이다. 그러므로 이러한 경우 Burst1은 상향 노드에서 BCP1을 재생성하여 대체 경로로 전송함으로써 Burst1은 보호가 가능하다. 두 번째 경우는 BCP2와 Burst2의 offset 시간이 1.3s인 경우이며 역시 상향 노드에서 장애를 감지한 시점에 BCP2는 상향 노드를 통과하였지만 Burst2는 아직 상향 노드에 도착하지 않은 상황이다. 그러나 이러한 경우 Burst2가 상향 노드에 도착하기 위해 남아있는 시간 RT_2가 임계시간 1s보다 적은 0.6s를 가지고 있으므로 BCP2를 재생성할 수 없어 Burst2는 손실된다. 세 번째 경우는 상향 노드에서 장애를 감지한 시점에 BCP3가 아직 상향 노

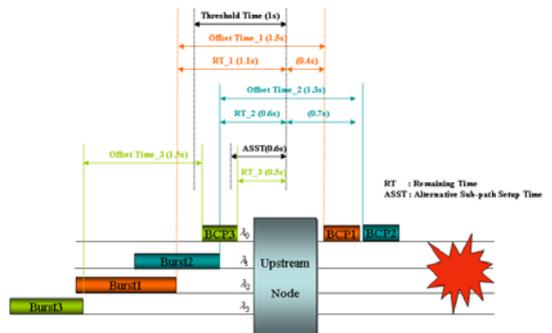


그림 9. Offset 시간을 고려한 장애 복구 기법 예시

드에 도착하지 않은 상황으로 BCP3 도착 예정 시간이 대체 경로 설정 시간인 ASST(Alternative Sub-path Setup Time)보다 큰 경우에는 BCP3 정보를 수정하여 Burst3를 보호할 수 있다. 그러나 BCP3의 도착 예정 시간인 RT_3가 0.5s이고 ASST 시간이 0.6s인 경우에는 대체 경로설정 시간보다 먼저 BCP3가 도착함으로 Burst3를 보호할 수 없다.

이와 같이 본 논문에서 제안한 HRSOT 기법은 망 내에서 장애가 발생하였을 경우 근원지에서 이미 전송된 버스트에 대해 상향 노드 관점에서 BCP 생성을 위한 임계시간을 초과하지 않은 버스트에 대해서는 BCP 생성이 가능하므로 보호가 가능하다. 그러므로 근원지에서 FIS 메시지를 수신하여 Path 복구를 수행하기 전까지는 상향노드에서 Sub-path 복구 기법으로 이러한 버스트를 보호할 수 있다. 근원지 노드에서는 FIS 메시지를 수신하고 장애 링크가 복구되기 전까지는 발생하는 버스트에 대하여 Path 복구기법의 대체 경로를 이용하여 목적지에 BCP와 버스트를 전송한다. 그러나 Burst2와 같이 상향 노드에 도착 예정인 버스트 도착 시간이 임계 시간보다 작은 경우에는 BCP2를 생성하지 못하여 버스트가 손실되는 문제가 발생한다. 또 다른 경우는 BCP3과 같이 상향 노드에서 장애 발생 감지 후 Sub-path 복구를 위한 대체 경로설정 시간 보다 먼저 BCP3가 도착하는 경우에는 도착되는 BCP3 역시 손실되는 문제가 발생하게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안은 그림 10과 같다. 먼저 Burst2와 같은 경우 상향 노드에서 장애 발생을 감지하면 FDL를 통해 BCP2가 재생성할 수 있는 필요 시간만큼 지연시켜 BCP2를 생성한 다음 대체 경로를 통해 전송하는 방법이다. 또 다른 경우인 상향 노드가 망 장애를 감지하고 대체

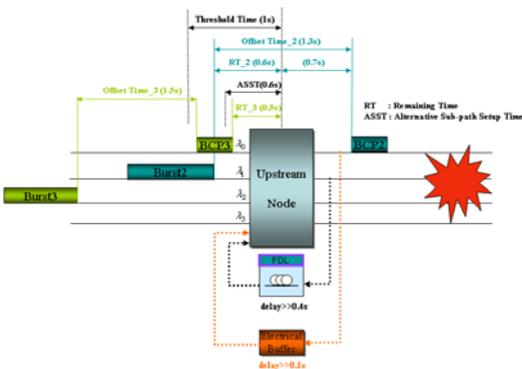


그림 10. 버퍼링을 통한 장애 복구 기법

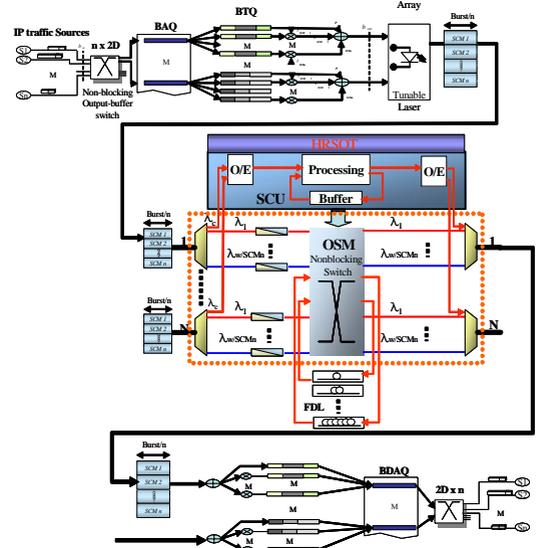


그림 11. HRSOT 기법을 가지는 SCM 기반의 OBS 노드 구조

경로 설정을 위한 충분한 시간이 되지 않은 상태에서 BCP3가 도착할 경우 BCP3는 손실되게 된다. 그러므로 BCP3 손실을 방지하기 위하여 대체 경로 설정 시간 이전에 도착하는 BCP3에 대해서는 전기적 버퍼를 사용하여 BCP3를 지연함으로써 대체 경로 설정을 위한 충분한 시간을 확보하여야 한다. 그림 11은 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 가지며 OBS 망에서 장애 발생 시 버스트와 BCP 지연을 위한 노드 구조를 보여주고 있다. 그러나 이 구조에서도 만약 BCP와 버스트 간의 offset 시간이 매우 작은 경우에는 BCP 뿐만 아니라 동시에 버스트도 지연시켜야 하는 매우 복잡한 상황이 발생할 수 있다.

따라서 OBS 망에서 장애 발생으로 인한 BCP와 버스트의 손실을 최소화하기 위해서는 적절한 offset 시간이 설정되어야 한다. 또한 QoS를 고려한 서비스 제공을 위해서는 에지 라우터에서 버스트를 클래스별로 분리하여 높은 우선순위의 클래스에는 긴 offset 시간을 할당하고 낮은 우선순위의 클래스에는 짧은 offset 시간을 할당하여 높은 우선순위의 BCP가 먼저 채널을 예약하여 버스트의 손실을 보장할 수 있다. 이와 같이 offset 시간을 길게 한다는 의미는 망 내에서 장애가 발생할 경우 상향 노드에서 장애를 감지하고 새로운 BCP를 생성하는 동안 버스트가 도착하지 않기 때문에 버스트 손실을 줄일 수 있다는 의미와 같다. 그러나 짧은 offset 시간을 가진 낮은 우선순위의 버스트는 BCP 생성을 위

한 시간이 충분하지 않기 때문에 버스트가 손실될 수 있다. 그러므로 높은 우선순위의 버스트를 장애 상황에서도 보호하기 위한 offset 시간의 결정은 장애 감지시간에 매우 민감하다. 왜냐하면, 장애 링크의 지연 시간을 p 라하고 장애가 링크의 중간 부분에서 발생하였을 경우에 장애 감지 시간은 $p/2$ 가 되며 링크의 맨 마지막 부분에서 발생할 경우에는 p 라는 시간 후에 장애를 감지할 수 있다. 그러므로 장애가 발생할 경우 아직 상향 노드에 도착하지 않은 버스트를 보호하기 위해서는 offset 시간을 링크의 지연 시간보다 크게 설정하여야 한다. 그러나 이와 같이 offset 시간을 결정할 경우에는 링크의 장애 위치에 관계없이 아직 상향 노드에 도착하지 않은 버스트에 대한 BCP를 생성하여 버스트를 전송할 수 있기 때문에 장애 영향을 최소화할 수 있다. 그러나 전체 장애 링크의 지연 시간을 offset 시간으로 고려할 경우 Ingress 노드에서 BCP가 출발하고 버스트를 긴 시간동안 지연시켜야 되는 문제가 발생한다. 그러므로 서비스 클래스에 맞는 적절한 offset 시간 결정이 이루어져야 한다. 또한, 장애 발생으로 인한 버스트 손실을 보호하기 위해서는 상향 노드에서 BCP 생성을 위한 추가 모듈이 필요하며 버스트 지연을 위한 FDL 길이 결정도 매우 중요한 요소이다.

IV. 성능평가

본 논문에서 제안한 장애에 둔감한 OBS 노드 구조의 성능을 평가하기 위하여 OPNET 시뮬레이터 환경에서 NSF 망을 이용하였다. 표 1은 시뮬레이션 환경 설정을 위한 파라미터이며 시뮬레이션 결과는 NSF 모델에서 링크 <7, 8> 장애에 대한 실험 결과를 반영한 것이다.

그림 12는 제안된 SCM 기반의 OBS 망에서 주

표 1. 시뮬레이션을 위한 환경 설정

항 목	설 정 값
노드의 수 n	14
파장의 수 W	8, 16, 32
입력부하 ρ	0.1~0.9
버스트 길이 L	100,000bit
링크용량 L_b	1Gbps
평균 홉의 수 H	2.362637
SCM 채널수	0~4

밴드와 하나의 SCM을 사용하여 버스트 크기가 절반으로 줄여 전송하는 구조에서 링크 <7, 8>의 장애 지속시간이 1초인 경우에 손실되는 버스트 개수를 보여주고 있다. 먼저 본 논문에서 제안한 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법인 HRSOT 기법을 사용할 경우 동일한 offset 시간에서는 Path 기법과 Sub-path 복구 기법보다 적은 버스트 손실이 발생한다. 이러한 이유는 HRSOT 기법의 경우 장애 발생으로 손실될 수 있는 버스트를 임계시간을 기반으로 하여 복구 가능하기 때문이다. 또한 HRSOT 기법은 offset 시간이 크면 클수록 더 좋은 성능을 보여주고 있다. 왜냐하면 offset 시간이 크다는 의미는 HRSOT 기법에서 장애 영향을 받는 버스트에 대해 상향 노드에서 더 많은 버스트를 복구할 수 있기 때문이다.

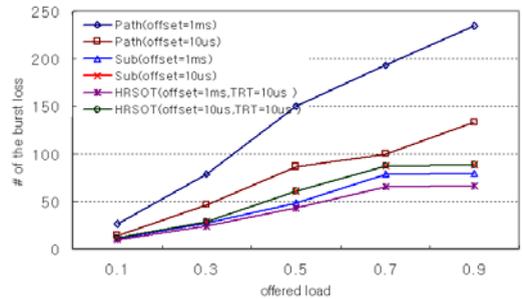


그림 12. 장애 복구 기법에 따른 버스트 손실 개수

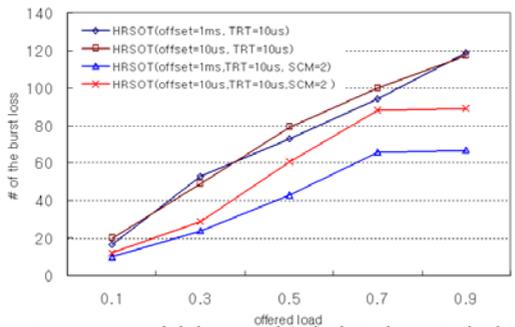


그림 13. Offset 시간과 SCM 사용에 따른 버스트 손실 개수

그림 13은 SCM을 사용하지 않는 OBS 망과 SCM 기반의 OBS 망에서 주밴드와 하나의 SCM을 사용한 OBS 망구조에서 HRSOT 기법에 대한 버스트 손실 개수를 나타내고 있다. 그림과 같이 SCM을 사용한 OBS 망구조에서 버스트 손실이 입력 부하의 증가에도 적게 발생되며 offset 시간이 크면 클수록 HRSOT 기법에 대한 장애 복구 기능은 더 좋아진다. 이와 같은 결과로 볼 때 SCM 사용개수

증가와 장애 영향의 버스트를 복구하기 위해 필요한 BCP 재생성을 위한 임계시간보다 작으면 작을 수록 복구할 수 있는 버스트 개수가 많아지기 때문이다.

그림 14는 SCM 사용 여부에 따른 OBS 망구조에서 Path 복구 기법과 HRSOT 복구 기법에 대한 버스트 손실률을 나타내고 있다. 본 논문에서 설계한 SCM 기반의 OBS 망에서 HRSOT 복구 기법을 적용하였을 경우가 훨씬 더 좋은 성능을 보여주고 있다. 이러한 이유는 SCM 기반의 OBS 망에서는 SCM 사용 개수에 따라 버스트 크기가 줄어들어 전체적인 버스트 처리율이 증가하며 망 장애에 대하여 HRSOT 복구 기법을 사용하기 때문에 장애 발생으로 링크는 사용할 수 없지만 offset 시간과 임계시간을 이용하여 BCP는 이미 상향 노드를 통과하였지만 버스트가 아직 도착하지 않은 경우에 대해 BCP 복구가 가능하여 해당 버스트를 목적지에 안전하게 전송할 수 있기 때문이다.

그림 15는 버스트 처리율 관점에서 성능 평가한 결과이다. 그림과 같이 SCM을 사용한 OBS 망구조가 SCM을 사용하지 않은 망구조보다 훨씬 좋은 버스트 처리율을 보여주고 있다. 또한 SCM 기반의

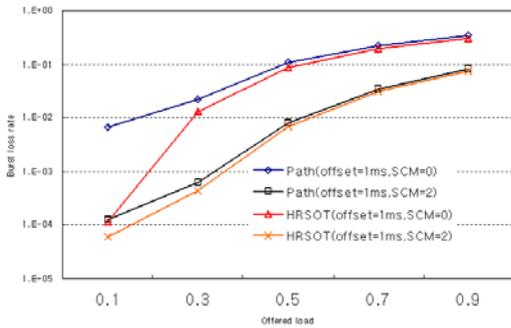


그림 14. 장애 복구 기법에 따른 버스트 손실률

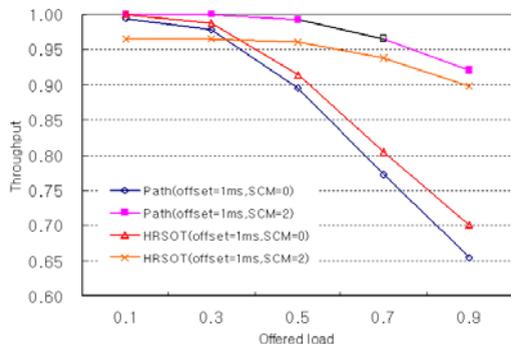


그림 15. 장애 복구 기법에 따른 버스트 처리율

HRSOT 복구 기법은 상향 노드를 통과하지 않은 버스트를 복구할 수 있어 SCM을 사용하지 않은 OBS 망구조에서 Path 복구 기법보다 더 좋은 성능을 나타내고 있다.

이와 같이 망 장애 영향으로 손실되는 버스트는 Path 복구 기법을 사용하였을 경우 상향 노드에서 장애 발생을 감지하고 FIS 메시지를 생성하여 근원지에 전송하는 동안 입력되는 버스트를 잃어버리게 된다. 그러므로 장애 영향으로 손실되는 버스트 손실률은 장애 지속 시간에 민감하지 않고 근원지에서 장애를 감지하는 시간에 의존적이다. 따라서 장애에 따른 버스트 손실은 FIS 메시지를 전달하기 위한 링크의 지연 시간에 종속되며 장애를 감지한 상향 노드에서 FIS 메시지를 전송하기 위한 근원지 노드가 멀수록 버스트 손실이 증가하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안한 HRSOT 기법의 경우는 상향 노드에서 임계시간을 기준으로 BCP를 재생성하여 버스트를 전송하므로 offset 시간 변화에 따라 장애 링크에 존재하는 버스트에 의해서만 버스트 손실이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 SCM 기반의 OBS 망구조에서 TRTRS과 같은 장애 복구 기법을 적용하였을 경우 임계시간 및 offset 시간 설정 그리고 SCM 사용개수에 따라 트래픽이 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있는 장애 둔감 구조를 가지는 OBS 망을 구축할 수 있다.

V. 결론

OBS 망의 특성은 제어 정보인 BCP를 먼저 보내어 offset 시간 후에 전송될 BDF에 대한 채널을 예약하고 다음 노드로 BCP는 전송되며 offset 시간 후에 도착된 BDF는 미리 예약된 채널 정보를 이용하여 다음 노드로 전송하게 된다. 그러나 OBS 망에서 장애가 발생할 경우 이와 같은 OBS의 단방향 예약 특성 때문에 BCP나 BDF의 많은 손실이 발생하게 되어 QoS에 심각한 영향을 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 OBS 망에서 장애 발생 시 손실되는 버스트를 최소화하여 장애에 둔감한 SCM 기반의 OBS 노드 구조를 설계하였다.

제안된 장애에 둔감한 OBS 노드 구조는 장애로 인한 버스트 손실을 줄이기 위하여 IER에서 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송모듈 구조를 이용하고 코어 망에서는 QoS 보장을 위하여 offset 시간을 고려한 혼합형 장애 복구 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 기법과 버스트 손실률, 버스트 처

리올 및 망 자원 사용량 측면에서 성능 분석한 결과 매우 좋은 성능을 보여주었다. 따라서 제시된 SCM 기반의 OBS 노드 구조는 SCM 사용 개수에 따라 망에서 요구하는 서비스 품질을 보장할 수 있었고 장애 발생에도 offset 시간 설정에 따라 트래픽 QoS를 보장할 수 있었다.

향후 연구로는 OBS 망의 다중 클래스 환경에서 서비스 우선순위에 따른 장애 복구 기법과 각 클래스 QoS 보장과 망 자원 효율성이 고려된 OBS 망에 적합한 장애 복구 기법이 연구되어야 한다. 이를 위하여 다중 클래스 환경에서 요구되는 각 클래스에 대한 QoS 분석과 장애 발생에 따른 장애 복구 기법이 제시되어야 한다. 또한 향후 전개될 GMPLS 기반의 OBS 망에 대한 장애 복구 기법이 제시되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] C. Qiao, M. Yoo, "Optical burst switching(OBS) - a new paradigm for an Optical Internet," J, High Speed Network(JHSN), vol 8, no. 1, pp. 69-84, 1999

[2] 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.

[3] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of optical IP Routers for Internet Backbone Application," IEEE Communications Magazine, Dec. 1999.

[4] Hemant M. Chaskar, Sanjeev Verma, Rayadurgam Ravikanth, "A Framework to Support IP over WDM Using Optical Burst Switching," Workshop on Optical Networks (WON), Jan. 2000.

[5] M. Yoo and C. Qiao, "QoS performance of optical burst switching in IP over WDM networks," IEEE J. Selected Areas in Communications, vol.18, no. 10, pp. 2062- 2071, Oct, 2000.

[6] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Survivable WDM mesh Networks, Part I - Protection," Proc., IEEE INFOCOM 1999, vol.2, pp.744-751, March 1999; "Part II. Restoration," Proc., IEEE ICC'99, vol.3, pp.2023-2030,

Jume 1999.

[7] Hui Zang, biswanath Mukherjee, "Connection management for survivable wavelength routed WDM mesh networks," Optical Networks Magazine July/August 2001.

[8] A. K. Somani, M. Sriharan, and R. Srinivasan, "Dynamic routing in survivable WDM network," in Proceedings of 40th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, October 2002.

[9] P. M. Hill and R. Olshansky, "A 20-channel optical communication using subcarrier multiplexing for the transmission of digital video signals," J. Lightwave Technol., vol. 8, pp. 554-560, Apr. 1990.

[10] Rongqing Hui, Benyuan Zhu, Renxiang Huang, "Subcarrier Multiplexing for High Speed Optical Transmission," Journal of lightwave technology, vol 20, No. 3, March 2002.

[11] Seunghum Oh, Younghan Kim, Myungsik Yoo, and Hyun Ha Hong, "Survivability in the Optical Internet Using the Optical Burst Switch," ETRI Journal, vol.24, no.2, Apr. 2002, pp.117-130.

[12] 송규엽, 이해정, 정태근, 김영천, "OBS 망에서 버스트 충돌률을 줄이기 위한 SCM 전송 기법", JCCI 2004, VII-D, 2004. 4

송 규 엽 (Kyu-Yeop Song)



정회원
한국통신학회 논문지 제 30권 제 3B호 참조
현재 전북대학교 차세대통신망연구실 신진연구원

유 경 민 (Kyoung-Min Yoo)



정회원
1992년 8월 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
1997년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과(석사)
2005년 3월~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 광 통신망 구조, OBS,

QoS 라우팅

유 완 (Wan Yoo)

정회원

2004년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업

2004년 3월~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> 광 통신망 구조, EPON, QoS 라우팅

김 영 천 (Young-Chon Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조

현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수

이 해 정 (Hae-Joung Lee)

정회원

한국통신학회 논문지 제 28권 제 9B호 참조

현재 국무조정실 심사평가2심의관실