

OBS 망에서 복구 시간과 자원의 효율성을 고려한 장애 복구 기법

정희원 이 해정*, 정 태근*, 소원호**, 김 영철*

Fault-Management Scheme for Recovery Time and Resource Efficiency in OBS Networks

Hae-Joung Lee*, Tae-Keun Jung*, Won-Ho So**, Young-Chon Kim* *Regular Members*

요 약

헤더 정보와 버스트를 분리하여 전송되는 광 버스트 스위칭 망에서 장애의 발생은 심각한 서비스 품질 저하를 초래할 수 있으므로, 신속한 복구 대책을 수립하여 망에서 발생하는 장애의 영향을 최소화하여야 한다. 본 논문에서는 먼저 기존에 제안된 복구 기법을 광 버스트 스위칭 망에 적용하여 각 링크의 장애에 따른 망 이용률 분석 및 버스트 손실률 등을 비교 평가하였다. 이에 대한 결과를 고려하여 망 구성 형태와 장애 링크의 위치를 고려한 ASPR (Arca border router Sub-Path Restoration) 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 장애 복구 지연 시간과 과장 변환기의 사용 효율성 관점에서 좋은 성능을 보이며 버스트 손실률, 망 자원 이용률, 그리고 버스트 처리율 관점에서 다른 기법과 비교 평가하였다.

key words : OBS; fault; recovery; protection; restoration

ABSTRACT

In OBS (Optical Burst Switching) networks which decouple the burst from its header, the fault of a fiber link can lead to the failure of all the light-path that traverses the fiber. Because each light-path is expected to operate at a rate of a few Gbps by using WDM (Wavelength Division Multiplexing) technology, any failure may lead to large data loss. Therefore, an efficient recovery scheme must be provided. In this paper, we analyze network utilization and BCP (Burst Control Packet) loss rate according to each link failure by applying the conventional restoration schemes in OBS networks. And through these simulation results, an ASPR scheme is proposed improve the fault management scheme in terms of recovery time and throughput. Finally, We compare the performance of our proposed scheme with that of the conventional one with respect to burst loss rate, resource utilization and throughput by OPNET simulations.

I. 서 론

새 천년을 맞이하여 전세계적으로 인터넷 사용자 수는 이미 2억 명에 도달하였으며, 현재 음성 트

래픽을 상회하는 인터넷 트래픽은 수개월마다 2배씩 급증하는 추세에 있다. 또한 화상 회의, 전자 상거래, 그리고 가상 교육과 같은 실시간 멀티미디어 서비스의 확산으로 사용자의 QoS(Quality of Service) 요구도 계속 증가될 것으로 예측된다. 따

* 전북대학교 전자정보공학부 차세대통신망연구실(lh9238, tkjung, yekun@networks.chonbuk.ac.kr)

** 순천대학교 컴퓨터교육과(whso@suncheon.ac.kr)

논문번호 : 030277-0701, 접수일자 : 2003년 7월 1일

※본 연구는 한국과학기술원의 지역우수대학 연구과제(R05-2003-000-12183-0)와 국제공동연구(KOSET-NSF) 지원으로 이루어졌습니다.

라서 현재의 인터넷은 망의 신뢰성을 보장하면서 고속, 대용량의 전송 능력을 갖는 지능형 차세대 인터넷으로 발전될 것이다. 특히 WDM 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 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.

광 인터넷은 OIF(Optical Internetworking Forum)의 정의에 의하면, 스위칭과 라우터가 통합된 광학적 인터페이스를 가지고 평선유 또는 광 네트워크 요소들로 직접 연결되어 구성된 데이터 전송용 네트워크 기반구조라고 정의하고 있다. 그러나 현실적으로 대부분의 코어 망에서는 IP 트래픽에 대한 처리가 SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy) 기반의 점 대 점 WDM 전송 시스템을 통한 네트워크에 의하여 이루어지고 있고, 또한 일부의 가입자망 또는 에지 네트워크에서는 ATM 계층으로의 변환 과정을 통하여 처리되고 있다. 이러한 IP/ATM/SONET/WDM (IP over ATM over SONET over WDM)이나 IP/SONET/WDM(IP over SONET over WDM) 등의 다계층 구조는 각 계층에 맞는 망 운영과 관리 기능이 포함되며 계층간에 동일한 기능이 중복되는 특징을 보인다. 하지만 이로 인하여 망 계층간 상호 작용 기능을 요구하게 되어, 매우 큰 트래픽 변화에 대해서 자체 적응력이 느낄 수밖에 없고 비용 측면에서도 효율적이지 못한 문제점을 갖고 있다. 따라서 IP 패킷을 중심으로 한 IP/WDM(IP over WDM) 방식의 2계층 구조를 적용한 광 인터넷 연구가 활발히 진행되고 있다^[1].

WDM 계층은 광 교환 기능을 수행해야 하는데, 최근 OCS(Optical Circuit Switching)와 OPS(Optical Packet Switching)의 장점을 이용한 OBS가 가장 적합한 것으로 인식되고 있다. OBS 방식에서는 제어 패킷과 전송 데이터를 offset 시간으로 분리하고 서로 다른 파장 채널을 이용하는 특징을 갖는다. 이로 인하여 광전변환이 없는 데이터 전송이 가능하고 IP 패킷을 모은 버스트 단위의 통계적 다중화로 채널 자원의 이용률을 높이는 장점을 갖는다.

이와 같이 OBS 망을 구성하고 있는 노드나 링크에서는 많은 양의 트래픽을 처리 또는 전송하고 있으므로 장애 발생은 심각한 데이터 손실을 야기할

수 있다. 그러므로 장애 발생 시점에 신속한 장애 복구가 이루어지지 않는다면 트래픽에 대한 QoS를 보장할 수 없게 된다. 결론적으로 OBS 망에서 신뢰성 있는 서비스를 제공하기 위해서는 신속한 장애 복구 방법에 대한 연구는 매우 중요하다. 또한 파장 변환기와 같은 망 자원의 효율적 사용도 함께 고려되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 복구 기법을 OBS 망에 적용하고 나타난 결과를 활용하여 노드에서 사용하는 파장 변환기 수를 줄이면서 빠른 복구가 가능한 기법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 OBS의 개요와 망에서 발생할 수 있는 장애의 종류 및 장애를 보호-복구할 수 있는 기법에 대하여 살펴보고 각 복구 기법에 대한 분석을 실시한다. 3장에서는 이러한 분석을 통하여 OBS 망에 적합한 새로운 기법을 제안한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능 평가를 실시하고 평정한 결과를 다양한 측면에서 비교 분석하였으며 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논하였다.

II. OBS의 개요 및 장애 복구 기법

2.1 OBS의 개요

광 버스트 스위칭 기술은 근원지에서 전송해야 할 버스트가 발생했을 경우, 이 버스트를 바로 전송하는 것이 아니고 제어 정보, 즉 목적지 주소, offset 시간, 파장 정보, 요구 대역폭, 그리고 QoS 정보 등을 담은 버스트 제어 패킷 (Burst Control Packet; BCP)를 먼저 보내어 이후에 전송될 데이터 버스트 (Burst Data Frame; BDF)에 대한 채널을 예약한다. 이때 제어 패킷에 대응하는 데이터 버스트는 일정한 offset 시간 동안 전기적인 버퍼에 저장되어 대기한 후 전송된다. 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 시간이 모두 동일하다고 가정할 때, 처리시간 δ 에 의해 결정되며, $T \geq H \times \delta$ 를 만족해야 된다. 그림 1에서 $T = 3 \times \delta$ 로 결정되며 제어 패킷이 첫 번째 중간 노드에 도착했을 때, 버스트와 시간 간격은 T 이며 노드에서 처리되어 다음 노드로 전송될 때는 δ 만큼 감소되어 전송된다. 따라서 다음 노드로부터 ACK (Acknowledge) 응답 없이 제어 패킷인 BCP가

버스트 보다 먼저 다음 노드로 전송되기 때문에 고속의 채널 예약이 가능하다. 또한 각 중간 노드가 제어 패킷을 처리하는 동안 데이터 저장을 위해 버퍼를 사용하지 않기 때문에 데이터 버스트는 광 계층에서 O-E-O 변환 없이 cut-through 방식으로 데이터의 투명성을 유지하면서 전송된다^[2,3,4].

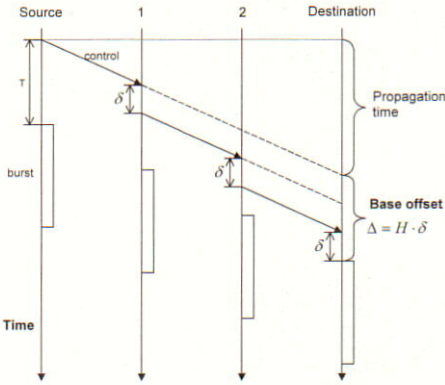


그림 1. OBS 기술

낭비하는 문제가 발생한다. 두 번째는 offset 시간이 작아 장애 링크에 BCP와 BDF가 같이 존재하는 경우이다. 마지막으로 세 번째는 BDF는 아직 장애 링크에 도착하지 않았지만 링크나 노드 장애로 인하여 BCP가 손실되는 경우로 offset 시간 후에 BDF는 장애가 발생한 상향 노드에 도착하여 손실되는 경우로 분류할 수 있다. 그러므로 첫 번째 경우와 두 번째 경우에는 BDF를 상실하기 때문에 BDF에 대한 복구가 불가능하지만 세 번째 경우와 같이 BDF가 손실되지 않은 상태는 장애가 발생한 상향 노드에서 BCP를 생성하여 전송하면 BDF를 목적지 노드에 안전하게 전송할 수 있다.

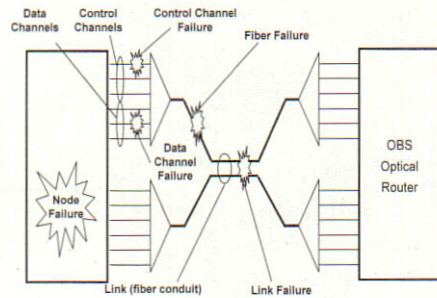


그림 2. OBS 망 장애의 종류

2.2 OBS 망 고장과 장애 복구 기법

2.2.1 OBS 망 고장 종류와 버스트 손실

OBS 망에서는 BCP를 먼저 보내어 offset 시간 후에 전송될 BDF에 대한 채널을 예약하고 다음 노드로 BCP는 전송된다. Offset 시간 후에 도착된 BDF는 미리 예약된 채널 정보를 이용하여 다음 노드로 전송하게 된다. 그러나 OBS 망에서 장애가 발생할 경우 BCP나 BDF의 손실이 발생하여 QoS에 많은 영향을 초래하게 된다. 이와 같이 OBS 망에서 발생할 수 있는 망고장의 종류로는 그림 2와 같다. 여기서 링크는 하나 이상의 파이버(fiber)로 구성된 전송 매체를 의미한다. 또한 제어 채널과 데이터 채널을 분리하는 OBS의 중요한 특징으로 인하여 제어 채널과 데이터 채널의 고장을 따로 분류한다. 따라서 OBS 망에서 발생할 수 있는 망 고장은 용량관점에서 보면 노드, 링크, 파이버, 데이터 채널, 그리고 제어 채널 고장으로 분류될 수 있다.

이와 같이 장애 발생으로 인하여 BDF가 손실되는 경우는 그림 3과 같이 세 가지 경우로 분류할 수 있다. 첫 번째는 BCP는 BDF에 대한 채널을 예약하고 노드를 통과했고 BDF는 장애 링크에 존재하는 경우이며 이러한 경우 BDF는 손실되지만 BCP는 정상적으로 목적지까지 채널을 예약하여 자원을

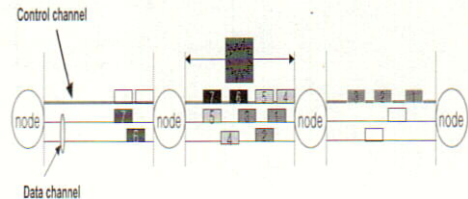


그림 3. 장애 발생에 따른 버스트 손실

OBS 망에서 장애에 대한 복구 방법은 장애 복구 시점에 따라 장애가 발생하기 이전에 대체 경로를 미리 설정하는 보호(Protection) 기법과 장애가 발생한 시점에 대체 경로를 설정하는 복구(Restoration) 기법으로 분류할 수 있다. 또한 복구 영역 단위에 따라 Path, Sub Path 및 Link 복구 기법으로 분류할 수 있다^[5,6,7]. 표 1은 OBS 망에서 고려할 수 있는 보호-복구 기법의 종류를 나타내고 있다.

2.2.1 보호 기법

OBS 망에서 가능한 보호 기법으로는 자원 공유 유무에 따라 1+1, 1:1, Shared Path, Shared

Sub-Path, 및 Shared Link 기법으로 분류할 수 있다.

간에 복구할 수 있는 기법이다. 그러나 이러한 방법의 경우 전체 망 자원의 50%를 낭비함으로써 자원

표 1. OBS 망을 위한 다양한 보호 및 복구 기법

기 법		고장 발생 전	고장 발생 후
보 호 방 식	1+1		
	1:1		
	Shared Path		
	Shared Sub-path		
	Shared Link		
복 구 방 식	Path		
	Sub-path		
	Link		

1+1 보호 기법은 근원지와 목적지 쌍에 해당하는 주경로와 대체 경로를 미리 설정하여 동일한 BCP와 BDF를 두 경로로 동시에 전송하는 기법이다. 이러한 보호 기법은 주경로 상에서 장애가 발생하였을 경우 목적지 노드에서는 대체 경로로 전송되고 있는 BCP와 BDF를 수신하기 위하여 스위칭을 전환함으로써 장애 발생으로 인한 트래픽을 빠른 시

의 효율성이 극히 저하되는 단점을 가지고 있다.

1:1 보호 기법은 1+1 보호 기법과 동일하게 망 설계 시점에 근원지와 목적지 쌍에 해당하는 주경로와 대체 경로를 미리 설정하지만 대체 경로에 대해서는 주경로로 전송되고 있는 BCP와 BDF를 전송하지 않고 미리 자원 예약만을 설정하는 기법이다. 이러한 예약된 자원은 장애가 발생하지 않았을 경우에는 우선 순위가 낮은 BCP와 BDF를 전송하지만

장애가 발생하였을 경우에는 예약된 자원을 이용하여 BCP와 BDF를 보호하는 기법이다. 그러나 1:1 보호 기법의 경우에도 미리 자원을 예약함으로써 우선 순위가 높은 BCP와 BDF 입장에서는 망 자원의 낭비를 초래한다.

Shared 보호 기법에는 Path, Sub-Path 및 Link 기법으로 분류할 수 있다. 먼저 Shared Path 보호 기법은 근원지와 목적지 쌍의 보호 경로를 공유하는 기법으로 1:1 보호 기법을 확장한 개념이며 1:M과 N:M 보호 기법이 있다. 1:M 보호 기법은 M개의 주경로가 하나의 대체 경로를 공유하는 보호 기법이며, N:M 보호 기법은 M개의 주경로가 N개의 대체 경로를 공유하는 기법이다. Shared Sub-Path 보호 기법은 근원지와 목적지 사이의 전체 경로를 공유하는 것이 아니라 장애가 발생한 링크의 상향 노드에서 목적지까지의 미리 설정된 경로를 이용하여 장애를 보호하는 기법이다. Shared Link 보호 기법은 장애가 발생한 링크의 상향 노드에서 하향 노드까지 미리 설정된 경로를 통하여 장애를 보호하는 기법이다. 이러한 Shared 기법의 문제점은 하나 이상의 장애가 발생할 경우 장애에 대한 보호 기능이 없다는 것이며, 보호를 위한 경로 설정에 대하여 자원 공유는 가능하지만 미리 자원을 할당함으로써 자원 이용의 효율성이 부족하다는 것이다.

이와 같이 보호 기법은 장애 발생 시점에 빠른 복구는 가능하지만 미리 자원을 예약함으로써 장애가 발생하지 않는 경우에도 자원을 점유하는 낭비를 가진다. 또한 주경로와 대체 경로가 모두 장애인 경우에는 장애를 보호할 수 없는 심각한 문제점을 가지고 있다.

2.2.2 복구 기법

복구 기법은 장애가 발생한 후에 트래픽을 복구하기 위하여 새로운 경로를 설정하는 기법이다. 이러한 새로운 경로는 장애 및 망 형태 정보에 의해 설정된다. OBS 망에서 가능한 복구 기법으로는 Path, Sub-Path, 및 Link 복구 기법을 이용할 수 있다. 먼저 Path 복구 기법은 장애를 감지한 상향 노드에서 근원지로 FIS(Failure Indication Signal) 메시지를 전송하면 근원지 노드에서는 목적지까지의 새로운 경로를 재 설정하여 BCP와 BDF를 전송하는 복구 기법이다. 그러나 Path 복구 기법의 경우 목적지 노드 근처에서 장애가 발생하였을 경우 근원지에 FIS 메시지를 전송하는 동안

근원지에서는 목적지에 계속적으로 BCP와 BDF를 전송함으로써 많은 양의 BCP와 BDF 손실을 야기한다. Sub Path 복구 기법은 장애가 발생한 상향 노드에서 망 형태 정보를 이용 목적지까지의 경로를 재 설정하여 BCP와 BDF를 전송하는 방법이다. 이러한 기법의 경우 OBS의 offset 시간 특성으로 미리 전송된 BCP 정보에 대해서는 새롭게 BCP를 생성하여 전송하여야 한다. Link 복구 기법은 장애가 발생한 상향 노드에서 하향 노드까지의 새로운 경로를 재 설정하여 BCP와 BDF를 전송하는 기법이다. 그러나 Link 복구 기법의 경우 망 형태에 매우 의존적이며 근원지에서 목적지까지 복구 경로를 볼 때 동일한 노드를 재 방문하는 현상이 발생하여 복구 경로가 길어지는 문제가 발생한다. 또한 Link 복구 기법에서도 이미 전송된 BCP 정보에 대해서는 새로운 BCP를 생성하여 전송하여야 한다. 이와 같이 복구 기법은 보호 기법과 비교할 때 장애 복구 속도는 느리지만 망 상태 정보를 기반으로 재 경로가 설정되므로 자원의 효율성 측면에서는 매우 성능이 우수하다^[5,6,7].

이와 같이 OBS 망에서 가능한 보호-복구 기법은 각 기법에 따라 장단점을 가지고 있다. 그러므로 망에서 요구하는 복구 시간을 만족시키면서 망 자원의 효율성을 극대화시키기 위해서는 OBS 특성에 적절한 보호-복구 방법이 제안되어야 한다.

2.3 OBS 망 장애 복구 기법에 대한 분석

본 논문에서는 OBS 기반의 장애 복구 기법에 대한 성능을 평가하기 위해 OPNET 시뮬레이터를 이용하였으며 그림 4(a)와 같이 NSF 망을 이용하였다^[8].

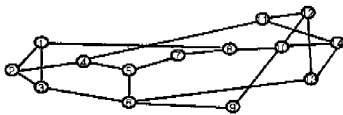
NSF 망에 있는 각각의 노드들은 OBS 기능을 수행하기 위하여 그림 4(b)와 같이 여러 개의 프로세스로 구성하였다. gen 프로세스는 버스트 도착률에 따른 BDF를 생성하고 proc 프로세스는 도착되는 BDF에 대한 BCP를 생성한다. rte 프로세스는 도착된 BCP 정보를 분석하여 목적지 노드인 경우에는 sink 프로세스에 전송하고 중간 노드인 경우이면 채널을 예약하고 이웃 노드로 전송한다. FIS_gen 프로세스는 장애 발생을 감지하여 장애 알림 메시지를 생성하고 전달하는 프로세스이다. 각 노드는 버스트 생성을 위한 버스트 도착률 λ 를 식 (1)을 이용하여 구할 수 있고 λ 를 결정하기 위해 버스트의 평균 길이는 IP 트래픽의 self-similarity를 줄이기 위하여 500 비트의 25배와 양방향 링

크를 사용하는 것으로 설정하여 실험을 실시하였다.

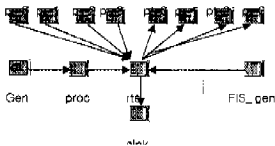
$$\lambda = \frac{\rho \cdot \mu \cdot W \cdot E \cdot 2}{n \cdot H} \quad (1)$$

- n 노드의 개수(14).
- W 파장의 개수(8).
- ρ 입력 부하 (0.1~0.9).
- E 링크의 개수(21)
- L 버스트 평균길이(500byte×25).
- L₀ 링크 대역 용량 (1Gbps)
- μ 버스트 처리율(L / L₀).
- H 평균 홉 수(2.362637)

본 논문에서는 Path, Sub Path, Link 복구 기법의 성능을 평가하기 위하여 다음과 같이 가정하였다. 첫째 노드 구조는 도착한 BCP 처리 시간동안 BDF를 지연시키기 위하여 InputFDL(Fiber Delay Time)을 사용한다. 둘째 노드에서 파장 변환이 가능한 파장 변환기를 사용하였으며 셋째 소스에서 복제기까지의 라우팅을 위해 홉 기반의 라우팅을 이용한다. 넷째 BCP가 채널을 예약할 때 동일 포트에 대한 충돌이 발생할 경우 우회경로 사용을 고려하지 않고 BCP의 손실로 가정하였다. 마지막으로 본 논문에서는 단일 링크의 장애에 대한 상태를 고려하여 실험하였다.



(a)



(b)

그림 4. (a) NSF 모델 (b) 노드 모델

먼저 망에 존재하는 각각의 링크에 대하여 장애 복구 기법을 망 자원 점유를 측면에서 살펴보면 그

림 5(a),(b)와 같다. 그림과 같이 입력 부하가 증가할수록 특정 링크 장애에 대해서는 서로 다른 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 입력 부하 증가와 링크 장애 지속 시간의 증가로 많은 양의 BDF 복구를 요구한다. 그러나 Path 복구 기법의 경우 FIS 메시지를 근원지에서 수신하는 동안 해당 노드에서 BCP와 BDF가 손실되므로 망 자원의 이용률은 줄어들게 된다. 반면, Link와 Sub-Path 기법의 경우 상향 노드에서 BDF를 대체 경로로 전송함으로써 망 자원의 이용률은 증가하게 된다.

그림 6은 버스트 손실률을 나타내고 있으며 (a)에서 Path 기법의 경우 FIS 메시지 전송지연으로 버스트 손실률이 증가한다. 그러나 (b)와 같이 입력 부하의 증가와 장애 지속 시간의 증가는 Link와 Sub-Path에서 대체 경로 설정에 따른 부담 증가로 복구 기법을 수행하지 않는 경우보다 특정한 링크에서는 더 좋지 않는 성능을 나타내기도 한다. Path 기법의 경우 장애가 발생한 시점에 FIS 메시지를 소스에 전송하는 동안에는 BCP 손실을 가지지만 일단 대체 경로가 설정되면 대체 경로를 통해 BCP를 전송함으로써 Link나 Sub-Path보다 더 좋은 성능을 나타내고 있다.

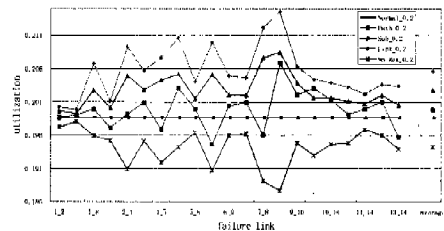


그림 5(a). 망 자원의 이용률(offered load=0.2, failure duration time=1sec)

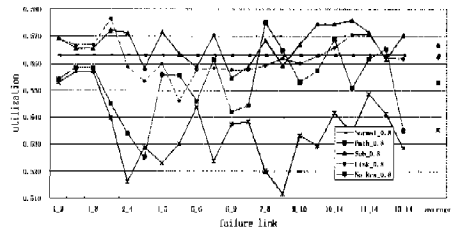


그림 5(b). 망 자원의 이용률(offered load=0.8, failure duration time=3sec)

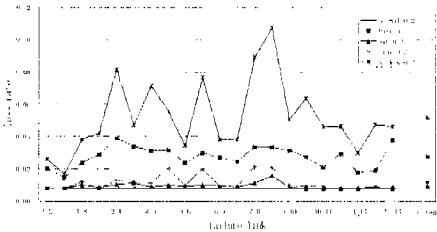


그림 6(a). BCP 손실률(offered load=0.2, failure duration time=1sec)

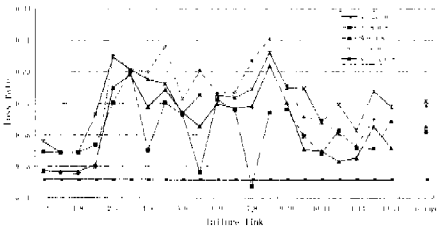


그림 6(b). BCP 손실률(offered load=0.8, failure duration time=3sec)

종합적으로 분석하여 볼 때 장애에 대한 복구 대처 방안으로 버스트 손실률을 최소화하면서도 망 자원의 이용률을 높이고 전체적인 처리율을 증대시킬 수 있는 장애 복구 기법이 적용되어야 한다. 그러나 성능 분석 결과 각각의 링크 장애와 입력 부하 및 장애 지속 시간에 따라 성능 차이를 보여주고 있으므로 일정한 복구 방법만을 사용하지 않고 특정 링크 특성에 따른 장애 복구 대책이 수립되어야 할 것이다. 또한 망 자원의 이용률, 손실률 및 처리율 측면에서 살펴 볼 때 그림 4(a)의 NSF 모델에서 링크 <1-2>, <1-3>, <1-8> 지역과 링크 <10-12>, <10-14>, <11-12>, <11-14>, <12-13>, <13-14> 지역이 유사한 패턴을 보여주고 있으므로 그룹 단위 별 복구 대책이 수립되어야 한다.

III. ASPR 장애 복구 기법

2.3절에서 분석한 결과 OBS 망에서 장애 발생에 따른 다양한 복구 방법을 수행하였을 경우 망 구성 형태에 따라 그룹별 유사한 성능을 나타내고 있다. 그러므로 본 논문에서는 망 자원 사용의 최소화

와 빠른 복구가 가능한 ASPR 기법을 제안하였다. ASPR 기법은 링크 장애가 발생한 위치의 인접한 특정 노드나 근원지 노드에서 장애 복구를 수행함으로써 빠른 복구가 가능하다. 또한 고가의 파장 변환기를 특정 노드에서만 가지는 경우로 망 비용을 감소시킬 수 있다. 이러한 ASPR 장애 복구 방식은 두 단계의 과정을 거쳐 장애에 대한 복구를 수행한다. 첫 단계는 노드 환형 알고리즘을 적용하여 망 구성 형태에 따라 망을 분리하고 두 번째 단계에서는 장애 링크의 위치에 따라 파장 변환이 가능한 특정 노드 또는 근원지 노드에서 복구를 수행한다.

3.1 노드 환형 알고리즘을 적용한 망 분리

본 논문에서 적용한 망 분리 기법은 노드 환형 알고리즘으로 망에 존재하는 어느 특정한 노드에서 출발하여 다시 그 노드로 되돌아오는 가장 짧은 경로에 해당하는 홉 수를 계산하여 이용하는 것이다. 따라서 망을 구성하고 있는 모든 노드에 대한 환형 홉 수를 계산하고 망 전체의 평균 홉 수를 기준으로 망을 분리하는 기법이다^{9,10}. 노드에 대한 홉 수가 평균 이하라는 의미는 해당 노드에 장애가 발생하였을 경우 Path 기법보다는 Link 기법을 이용하여 빠르게 복구가 가능하다는 의미이며 홉 수가 평균 이상인 경우는 Link 기법을 이용하였을 경우 상향 노드에서 하향 노드까지의 홉 수가 길어지거나 또는 Link 기법 특성상 방문한 노드를 재 방문하는 현상이 발생하여 근원지와 복귀지 쌍의 대체 경로에 대한 홉 수가 증가하는 문제가 발생한다. 그러므로 이러한 경우에는 Link 기법보다는 Path 기법을 적용하는 것이 좋은 성능을 나타낸다.

본 논문에서 적용한 노드 환형 알고리즘은 다음과 같다. OBS 망을 그래프 $G(V, E)$ 로 표기하고 V 는 n 개의 노드 집합을 의미하며 E 는 두 노드 쌍 사이의 링크의 집합을 의미한다.

Notations

- C : the number of node-encircling hop
- T : the total number of node-encircling hop
- A : the average number of node-encircling hop

Algorithm procedure

input : $G(V, E)$
 output : $G' = \{G^i | i=1, 2, \dots, m\}$, $G^i \subseteq G$,
 m is number of elements in G'

```

Procedure Find_Set_Of_Subgraph(G(V,E))
n = |V|
for i:=1 to n
Find Ci, T = T+Ci
A = T / n
for i:=1 to n
if A ≤ Ci then add node to G'H
else add node to G'L
G' = Find_Subgraph(G'H)
G' = Find_Subgraph(G'L)
return G'
end Find_Set_Of_Subgraph
    
```

*Find_Set_Of_Subgraph*의 알고리즘을 수행한 결과 각각의 노드에 대한 환형 홉 수는 표 2와 같다. 그러므로 평균 홉 수를 기준으로 그룹 1은 노드 (1, 2, 3), 그룹 2는 노드(4, 5, 6, 7, 8, 9), 및 그룹 3은 노드(10, 11, 12, 13, 14)로 망을 분리할 수 있다. 분리된 망의 구조는 그림 7과 같다.

표 2. 노드 홉 수

환형 홉	노드
3 홉	1, 2, 3
4 홉	10, 11, 12, 13, 14
5 홉	4, 5, 6, 9
6 홉	7, 8
평균	4.285

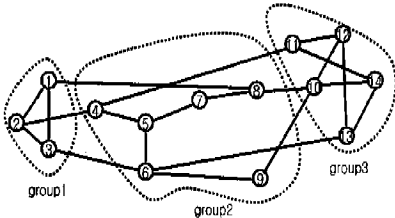


그림 7. 망 분리 구조

3.2 장애 복구 기법

OBS 망에서 모든 노드가 고가의 파장 변환기를 소유할 경우 링크 장애에 대한 복구 성공률과 망 전체의 버스트 처리율은 높지만 망 비용 측면에서는 부담이 많은 편이다. 그러므로 망에서 요구하는 복구 시간과 버스트 처리율을 만족시키면서 망 지원 비용을 감소시킬 수 있는 장애 복구 기법이 요구된다. 본 논문에서 제안한 ASPR 복구 기법은 그룹간

을 연결하는 특정한 노드를 ABR 노드로 지정하고 ABR 노드에서만 파장 변환 능력을 가지는 경우이다.

ABR 노드의 지정은 각각의 분리된 그룹을 연결하는 특정 노드로 결정하였으며 그룹간을 통과할 경우에 반드시 거쳐야하는 노드로 지정하였다. 이와 같은 노드로는 그림 7과 같이 NSFNET 망에서 각 그룹을 연결하는 노드는 노드 (4, 6, 8) 이다.

ASPR 기법은 링크 장애가 발생할 경우 복구를 위하여 Path 기법과 Sub Path 기법을 혼합한 형태로 볼 수 있다. 먼저 그림 8(a)는 주경로 (1, 2, 3, 4, 5, 6)에서 링크 장애 (4-5)가 발생할 경우 상향 노드인 4번 노드에서 FIS 메시지를 생성하여 ABR 노드인 3번 노드에 전송하면 ABR 노드에서 목적지까지의 대체 경로 (3, 9, 10, 6)를 설정하는 기법이다. 그림 8(b)는 주경로에서 링크 장애 (2-3)가 발생할 경우 상향 노드인 2번 노드에서 FIS 메시지를 생성하여 근원지인 1번 노드에 전송하면 근원지에서 목적지까지의 대체 경로 (1, 7, 8, 9, 10, 6)를 설정하는 기법이다. 이와 같이 ASPR 기법은 주경로에서 링크의 장애가 ABR 노드 앞에서 발생하면 ABR 노드에서 목적지까지의 대체 경로를 설정하는 Sub Path 기법과 동일하며 링크의 장애가 ABR 노드 뒤에서 발생하면 근원지에서 목적지까지의 대체 경로를 설정하는 Path 기법과 동일하다. 기존의 Path 기법과 비교할 때 장애 링크의 위치에 따라 복구 시간을 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 모든 노드에서 파장 변환 능력을 가지는 경우와 비교할 때 ABR 노드에서만 파장 변환 능력을 가지는 경우 자원 활용도 측면에서 효율성을 가질 수 있다.

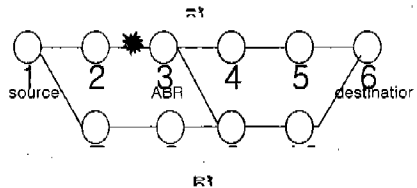
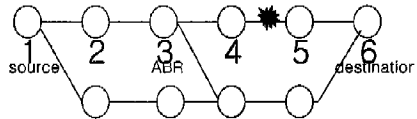


그림 8. ASPR 복구 기법

3.3 복구 시간 분석

OBS 망에서 장애 발생은 복구 시간 동안 연속적으로 전송되고 있는 버스트의 손실을 의미하나 빠른 복구를 수행하지 않을 경우 트래픽의 심각한 QoS 저하를 초래하게 된다. 그러므로 OBS 망의 신뢰성을 제공하기 위해서 복구 시간은 매우 중요하다. 본 논문에서는 ASPR 복구 기법에 대하여 복구 시간 측면에서 다른 기법과 비교 분석하였다.

3.3.1 복구 시간 분석

OBS 망에서 복구 시간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{복구 시간} = & \text{장애 감지 시간} + \\ & \text{장애알림메시지 생성/전송/처리시간} \\ & + \text{BCP 생성/전송/처리시간} \quad (2) \end{aligned}$$

RT_{ij}^{sd} : 링크 $\langle i, j \rangle$ 장애로 주경로 (s, d) 에서 버스트가 상실되는 시간(복구시간)

d_{is} : 노드 i 에서 근원지 노드 s 까지 지연 시간

h_{is} : 노드 i 에서 근원지 노드 s 까지 홉 수

h_{jd} : 노드 j 에서 목적지 노드 d 까지 홉 수

h_b : 노드 쌍 (s, d) 에서 대체 경로의 홉 수

h_{iA} : 노드 i 에서 ABR 노드 A 까지의 홉 수

h_{Ad} : ABR 노드에서 목적지 노드 d 까지의 홉 수

F_{detect} : 링크 $\langle i, j \rangle$ 의 장애 감지시간

FIS_c : FIS 생성시간

FIS_p : FIS 처리시간

BCP_c : BCP 생성시간

BCP_d : BCP 전송 지연시간

BCP_p : BCP 처리시간

본 논문에서는 제안한 ASPR 기법의 복구 시간을 분석하기 위하여 Path 복구 기법과 Sub Path 복구 기법을 비교 분석하였다. 또한 복구 시간의 관점은 장애가 발생하고 난 후 목적지 노드에서 복구 경로를 통해 첫 번째 BCP를 받는 시점으로 정의하였다.

Path 복구 시간

수식 (2)에 근거하여 링크 장애 발생으로 Path 복구 기법을 사용할 경우 FIS 메시지를 수신한 근원지 노드에서 대체 경로를 설정함으로써 복구 시간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} RT_{ij}^{sd} = & F_{detect} + FIS_c + h_{is} * (FIS_p \\ & + FIS_d) + BCP_c + h_b * (BCP_d + \\ & BCP_p) \quad (3) \end{aligned}$$

Sub-Path 복구 시간

Sub Path 기법은 장애가 발생한 링크의 상향 노드에서 대체 경로를 설정함으로써 복구 시간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} RT_{ij}^{sd} = & F_{detect} + BCP_c + h_{jd} * \\ & (BCP_d + BCP_p) \\ & j = \text{upstream node} \quad (4) \end{aligned}$$

ABR Sub-Path 복구 시간

ABR 노드에서 FIS 메시지를 수신한 후 Sub Path 기법을 이용하여 대체 경로를 설정함으로써 복구 시간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} RT_{ij}^{sd} = & F_{detect} + FIC_c + \\ & h_{iA} * (FIS_b + FIS_d) + BCP_c + \\ & h_{Ad} * (BCP_d + BCP_p) \quad (5) \end{aligned}$$

ASPR 복구 시간

ASPR 복구 기법에서 복구 시간은 두 가지 경우로 분류할 수 있다. 첫 번째 경우는 장애가 발생한 링크의 위치가 주경로 상에 위치하는 ABR 노드의 앞에서 발생하였을 경우에는 수식 (5)와 같은 복구 시간이 요구된다. 두 번째 경우는 ABR 노드의 뒤에서 링크 장애가 발생하였을 경우에는 근원지 노드에서 목적지까지의 대체 경로를 수행하는 Path 기법으로 분류할 수 있으므로 수식(3)과 같은 복구 시간이 요구된다. 그러므로 복구 시간 관점에서 Path 기법과 비교할 때 주경로에서 장애가 발생한 링크의 위치가 ABR 노드의 앞에서 발생할 확률에 따라 복구 시간은 감소하게 된다.

3.3.2 파장 변환기 사용 수

주경로에서 링크 장애 발생으로 대체 경로를 설정하기 위해서는 대체 경로 상에 사용 가능한 파장이 존재하여야 한다. 그러나 모든 노드에서 파장 변환기를 사용한다는 것은 비용 측면에서 많은 부담이 존재한다. 그러므로 본 논문에서는 망 전체에서 사용하는 파장 변환기의 수를 줄이기 위해 ABR 노드에서만 파장 변환이 가능한 형태를 가지고 있다.

ASPR 기법에서 요구하는 파장 변환기의 수를 분석하기 위하여 모든 노드에서 파장 변환기를 가지

는 경우와 비교 분석하였다. 노드 수를 N 이라 하고 W 는 파장의 수 그리고 D_i 를 노드 i 에서 노드의 degree라 할 때 모든 노드에서 파장 변환기를 가질 경우 요구되는 파장 변화기의 수는 식 (6)과 같다.

$$WC = \sum_{i=1}^N D_i \times W \quad (6)$$

본 논문에서 제안한 ASPR 기법에서 요구되는 파장 변환기의 수는 다음과 같다.

$$WC = \sum_{i=1}^N D_i \times W \text{ if } i = ABR \quad (7)$$

이와 같이 ASPR 기법에서 사용한 파장 변환기의 수는 모든 노드에서 사용하는 것과 비교할 때 ABR 노드에서만 사용함으로써 많은 차이가 발생한다. 본 논문에서 모의 실험을 위해 그림 7의 NSFNET 망을 고려할 경우 모든 노드에서 파장 변환기를 사용한다면 파장 변환기의 수는 $42 \times W$ 에 해당하며 ASPR 기법의 경우 ABR 노드의 degree가 10이므로 요구되는 파장 변화기의 개수는 $10 \times W$ 에 해당한다.

IV. 모의 실험 및 성능 평가

ASPR 기법에 대한 성능 평가를 수행하기 위하여 그림 7의 NSFNET 망을 사용하였고 실험을 위해 2.4.1절에서 정의한 파라미터를 이용하였으며 버스트 도착률은 수식 (1)에서 정의한 λ 을 이용하였다. 또한 본 논문에서 사용한 장애 링크에 대한 시나리오는 표 3과 같다.

표 3. 장애 시나리오

time	type	node1	node2	action	scheme
1.25	link	7	8	Fail	ASPR
1.50	link	7	8	Recover	ASPR
2.50	link	4	11	Fail	ASPR
2.25	link	4	11	Recover	ASPR
3.00	link	6	13	Fail	ASPR
3.25	link	6	13	Recover	ASPR

성능 평가는 링크 장애에 대하여 Path 복구 기법을 사용하면서 모든 노드에서 파장 변환이 가능한 WFPR(Wavelength Free Path

Restoration) 복구 기법, 모든 노드에서 파장 변환이 가능하지 않은 WCPR(Wavelength Constraint Path Restoration) 복구 기법과 특정 노드인 ABR 노드에서만 파장 변환이 가능한 ASPR 복구 기법에 대하여 성능을 평가하였다. 성능평가 요소로는 망 자원의 이용률, 버스트 손실률 및 버스트 처리율 관점에서 비교 분석하였다.

그림 9은 NSFNET 망에서 ABR 노드의 개수에 따라 망에서 사용되는 파장 변화기의 수를 보여주고 있다. WFPR 기법의 경우 모든 노드에서 파장 변환기를 사용하므로 14개의 ABR 노드가 있는 것과 같다. 만약 하나의 링크에서 8개의 파장을 사용한다면 식(6)에 의해 WFPR 기법은 336개의 파장 변환기를 요구한다. 하지만 ASPR 기법에서는 3개의 ABR 노드를 지정하여 사용하므로 80개의 파장 변환기만을 사용하여 76.19%의 파장 변환기 수를 줄일 수 있다. 그림 9은 ABR 노드에서 degree를 3으로 가정하고 비교하였다.

그림 10은 링크에서 장애가 발생할 경우 Path 복구 기법과 본 논문에서 제안한 ASPR 기법의 복구 경로에 따른 평균 홉 수를 비교 분석하였다. WFPR과 WCPR 기법은 Path 복구 기법을 사용하므로 식(3)에서 정의한 것과 같이 장애가 발생한 상향 노드에서 FIS 메시지를 근원지 노드에 전송하고 근원지 노드에서는 대체 경로를 설정하여 버스트를 전송한다. 그러므로 장애가 발생한 상향 노드에서 근원지 노드까지의 홉 수가 장애 복구 시간에 많은 영향을 미치게 된다. 본 논문에서 제안한 ASPR 기법은 링크 장애가 발생할 경우 FIS 메시지를 주 경로상의 ABR 노드나 근원지 노드에서 처리하기 때문에 근원지 노드에서만 처리하는 Path 기법보다는 더 적은 홉 수를 가지게 된다. 대체 경로에 대한 홉 수가 작다는 것은 복구 지연 시간이 작다는 것과 같다. 그림 11은 각 기법에 대해 전체 망 관점에서 버스트 손실률을 살펴보았다. WCPR 기법의 경우 근원지에서 목적지까지 하나의 파장만을 이용하여 버스트를 전송하기 때문에 손실되는 버스트의 양은 WFPR과 ASPR 기법보다 상당히 많아지게 된다. 또한 각 노드에서 사용하는 파장의 수를 16으로 증가시켰을 경우 링크에서의 채널 예약 가능성이 높아지기 때문에 버스트의 손실률은 줄어들게 된다.

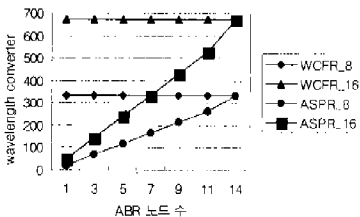


그림 9. ABR 노드 수에 따른 파장 변환기 수

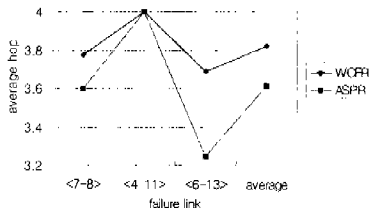


그림 10. 장애 링크에 따른 대체 경로 홉 수

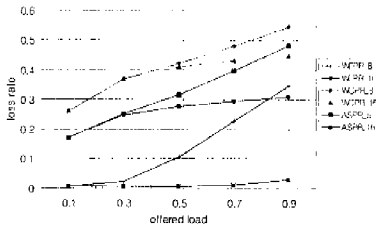


그림 11. 입력 부하에 따른 버스트 손실률

본 논문에서 제안한 ASPR 기법은 입력 부하가 0.8에 근접하고 파장을 8개 사용하는 경우에 WCFR 기법에서 파장을 16개 사용하는 경우 보다 버스트 손실률이 낮아지게 된다. 또한 ASPR 기법에서 파장을 16개 사용할 경우에는 WCFR 기법의 8개의 파장을 사용할 경우 보다 버스트 손실률이 낮아지게 된다. 이러한 경우 ASPR 기법에서는 80개의 파장 변환기를 사용하지만 WCFR 기법의 경우 336개의 파장 변환기를 요구한다. 이와 같이 ASPR 기법은 입력 부하가 클 경우 적은 수의 파장 변환기를 사용하면서도 WCFR 기법보다 작은 손실률을 나타내고 있다. 또한 OBS 망에서 버스트 손실률은 채널 예약을 위한 스케줄링 부분과 링크 장애로 구분할 수 있다. 스케줄링 부분에서 손실률은

링크에서 가지고 있는 파장 수에 의존적이며 링크 장애로 인한 손실은 대체 경로를 설정하는 동안 계속해서 전송되어지는 버스트 량에 해당한다. 그림 12는 세 가지 기법에 대해 대체 경로를 설정하는 동안 연속적으로 전송되어 손실되는 버스트의 수를 보여주고 있다. 다음은 링크 이용률 관점에서 각 기법의 성능을 살펴보면 그림 13과 같다. 링크 이용률은 파장의 수가 증가할수록 낮아지게 되며 모든 노드에서 파장 변환이 가능한 WCFR 기법이 높게 나타나고 있다. 특히 WCFR 기법은 근원지에서 목적지까지 같은 파장을 사용하여야 하므로 버스트가 목적지에 도착할 수 있는 성공 확률이 적기 때문에 링크의 이용률은 낮아지게 된다.

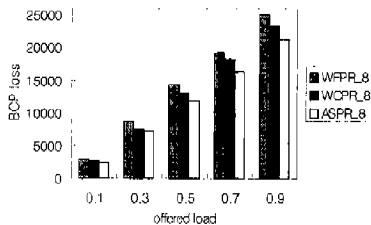


그림 12. 대체 경로 설정 동안 손실되는 버스트

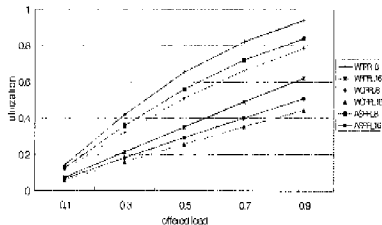


그림 13. 입력 부하에 따른 링크 이용률

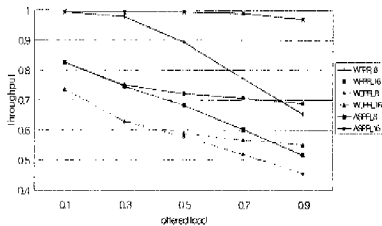


그림 14. 입력 부하에 따른 버스트 처리률

본 논문에서 제안한 ASPR 기법의 링크 이용률은 WFPR과 WCPR 기법의 중간에 위치하고 있다. 그림 13에서 평가한 링크의 이용률이 낮다는 의미는 적은 자원을 사용한다는 것과 같다. 그림 11에서 입력 부하가 0.8에 근접할 경우 ASPR 기법은 ABR 노드에서만 파장을 16개 사용하여 모든 노드에서 파장을 8개 사용하는 WFPR 기법보다 버스트 손실률이 적게 나타났다. 그러나 그림 13과 같이 WFPR 기법은 링크 이용률이 거의 100% 근접하고 있지만 ASPR 기법에서 링크의 이용률은 50%에 불과하다. 이와 같이 ASPR 기법은 입력 부하가 높을 경우 적은 자원을 사용하면서 모든 노드에서 파장 변환이 가능한 WFPR 기법에 근접하고 있으며 0.8 이상에서는 더 좋은 성능을 보여주고 있다. WFPR 기법은 파장을 16개 사용할 경우 망에서 발생하는 거의 모든 버스트를 처리할 수 있으며 파장을 8개 사용할 경우에는 입력 부하가 증가할수록 버스트 처리율은 급격히 저하된다. 입력 부하가 0.8에 근접할 경우 16개의 파장을 이용하는 ASPR 기법은 8개의 파장을 사용하는 WFPR 기법보다 처리율 관점에서 좋은 성능을 보이고 있다. 그림 13은 망에서의 버스트 처리율 관점에서 성능 평가한 결과이다.

V. 결론

OBS 망에서는 제어 패킷과 전송 데이터를 offset 시간으로 분리하여 서로 다른 파장 채널을 이용하는 특징을 갖는다. 그러므로 광전 변환이 없는 데이터 전송이 가능하고 IP 패킷을 모은 버스트 단위의 통계적 다중화로 채널자원의 이용률을 높이는 장점을 갖는다. 하지만 대용량의 버스트를 전송하는 OBS 망에서 장애 발생은 심각한 서비스 품질 저하를 초래하므로 신속한 복구 대책을 수립하여 망에서 발생하는 장애의 영향을 최소화하여야 한다.

논문에서는 기존에 제안된 다양한 복구 기법들 OBS 망에서 분석한 결과 망 구성 형태의 장애 링크의 위치에 따라 서로 다른 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 그러므로 망에서 가지고 있는 이러한 특성을 고려하여 링크 장애가 발생할 경우 빠른 복구와 자원 사용의 효율성을 고려한 ASPR 기법을 제안하였다.

제안된 ASPR 기법은 파장 변환이 가능한 ABR 노드를 지정하여 파장 변환기의 수를 줄였으며 링크

장애가 발생할 경우 빠른 복구를 수행하기 위하여 링크 장애의 위치에 따라 Path와 Sub-Path 기법이 혼란된 형태의 복구 기법을 수행하였다. ASPR 기법에 대하여 모의 실험을 수행한 결과 파장 변환기 수와 복구 시간에 대해 다른 기법과 비교할 때 적은 수의 파장 변환기와 빠른 복구가 가능하였다. 또한 망 관점에서 각 기법에 따른 버스트 손실률, 망 이용률 및 버스트 처리율에 대하여 비교 분석하였다.

향후 연구 과제로는 성능 분석 결과를 이용하여 이종 링크 장애 발생 시 OBS 망에 적합한 복구 기법에 관한 연구이며 버스트를 클래스로 분류하여 각 클래스에서 요구하는 QoS를 만족시키기 위한 장애 복구 대책을 연구하는 것이다.

참고 문헌

- [1] C. Qiao & M. Yoo, Optical burst switching (OBS) - A new paradigm for an optical internet, *Journal of High Speed Networks*, 8(1), 1999, 69-84.
- [2] Vinod Vokkarane, Jason Jue, "Prioritized Routing and Burst Segmentation for QoS in Optical Burst-Switched Networks," *Proceedings, Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2002*, Anaheim, CA, March 2002.
- [3] Dolzer, K., Gauger, C. Sph, J. Bodamer, S. "Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching," *AE International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 55, No. 1, 2001.
- [4] 소원호, 차윤호, 노선식, 김영천, "광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가," *한국통신학회논문지* 제27권 IC호 pp. 1-10, 2002.
- [5] J. Wang, L. Sahasrabudhe & B. Mukherjee, Path vs. Sub-Path vs. Link Restoration for Fault Management in IP-over-WDM Networks: Performance Comparisons Using GMPLS Control Signaling, *IEEE communication magazine*, Nov. 2002.
- [6] Seunghun Oh, Younghun Kim, Myungsik Yoo, and Hyun Ha Hong, "Survivability in the Optical Internet Using the Optical Burst

Switch," ETRI Journal, Volume 24, Number 2, April 2002.

- [7] Hui Zang, biswanath Mukherjee, "Connection management for survivable wavelength routed WDM mesh networks," Optical Networks Magazine July/August 2001.
- [8] OPNET Technologies, Inc.
- [9] D. A. Schupke & C.G. Gruber & A. Autenrieth, Optimal Configuration of p-Cycles in WDM networks, IEEE International Conference on Communications (ICC 2002), New York City, NY, USA, April 28 May2, 2002
- [10] D. Stamatelakis and W. D. Grover, Theoretical Underpinnings for the Efficiency of Restorable Networks Using Preconfigured Cycles ("p-cycles"), IEEE transactions on communications, vol. 48, no. 8, August 2000.

소원호(Won-Ho So) 정회원
 한국통신학회 논문지 제 25권 제 1A호 참조
 현재 : 순천대학교 컴퓨터교육과 교수

김영천(Young-Chon Kim) 정회원
 한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조
 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수

이해정(Hae-Joung Lee) 정회원



1991년 2월 : 전북대학교 전자계산기공학과 졸업
 1991년 2월 : 전북대학교 전자계산기공학과 석사
 1996년 8월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사수료

<주관심분야> 광 버스트 스위칭, 멀티미디어 데이터 통신, 통신망 장애 복구

정태근(Tae-Keun Jung) 정회원



2002년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2004년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사 재학

<주관심분야> 광 버스트 스위칭, 멀티미디어 데이터 통신, 통신망 장애 복구