

論文2003-40TC-12-10

광 버스트 스위칭 망에서 망 고장에 대한 offset 시간 영향 분석 및 QoS를 고려한 장애 복구 기법

(Analysis of the Effect on Offset Time under Fault and Propose a New Restoration Scheme Considering QoS in OBS Networks)

李海正*, 宋奎燁**, 蘇元鎬***, 金永川*

(Hae Joung Lee, Kyu-Yeop Song, Won-ho So, and Young-Chon Kim)

요약

광 버스트 스위칭 망에서는 헤더정보와 버스트 정보를 분리하여 offset 시간 후에 버스트를 전송하는 One-Way reservation 특성을 가지고 있다. 그러므로 링크 장애와 같은 망 장애가 발생하였을 경우 offset 시간의 영향으로 선행된 헤더 정보에 대한 버스트의 추가적인 손실이 발생하여 심각한 서비스 품질 저하를 초래할 수 있다. 이에 본 논문에서는 망 장애 발생 시 광 버스트 스위칭의 가장 큰 특징인 offset 시간이 버스트 손실에 미치는 영향과 기존 장애 복구 기법을 사용하였을 경우 offset 시간에 따른 버스트 손실을 수학적 관점에서 분석하였다. 또한 offset 시간 영향으로 링크 장애 발생 시 선행된 제어 패킷으로 인해 후 행하는 버스트 손실을 최소화할 수 있는 QoS를 고려한 offset 시간 기반의 새로운 장애 복구 기법을 제안하였다.

Abstract

OBS(Optical Burst Switching) networks which decouple the burst from its header has characteristic one-way reservation. Therefore, the fault of a fiber link may lead to the magnitude of burst loss. Since sending a header packet and using an offset time before the transmission of the corresponding burst. In this paper, we analysis a offset time based on the burst loss rate resulting from only link failure and by applying the restoration schemes in an optical burst switching networks. The simulation results in terms of the effect of a offset time is evaluated in our network model to verify that comparing the numerical analysis with simulation result. Finally, and through these results, We propose the new restoration scheme based on offset time considered Quality of Service.

Keywords : OBS, Offset time, Restoration

* 正會員, 全北大學校 컴퓨터工學科

(Dept. of Computer Engineering, ChonBuk National University, Korea)

** 正會員, 全北大學校 情報通信科

(Dept. of Information & Communications Engineering, ChonBuk National University, Korea)

*** 正會員, 順天大學校 컴퓨터教育科

(Dept. of Computer Education, Sunchon National University, Korea)

※ 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 인터넷연구센터

(OIRC) 프로젝트 지원으로 이루어졌습니다.

接受日字:2003年11月8日, 수정완료일:2003年12月3日

I. 서 론

새 천년을 맞이하여 전세계적으로 인터넷 사용자의 수는 이미 2억 명에 도달하였으며, 현재 움성 트래픽을 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. 따라서 현재의 인터넷은 망의 신뢰성을 보장하면서 고속, 대용량의 전송 능력을 갖는 지능형 차세대 인터넷으로 발전될 것이다. 특히 WDM 기술과 광 송수신기, 광 중복기 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 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. 광 회선 교환 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 지원 비효율적인 사용으로 대역폭의 낭비가 심하게 발생한다. 이에 비해 광 패킷 교환 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全光영역에서 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 있다^[1, 2].

그러나 OBS 망에서는 광파이버를 이용하여 많은 양의 트래픽을 처리하고 있고 One-Way reservation을 사용하여 트래픽을 전송하고 있기 때문에 망 고장으로 인한 트래픽의 손실은 매우 심각하다. 그러므로 장애 발생 시점에 신속한 장애 복구가 이루어지지 않는다면 트래픽에 대한 QoS를 보장할 수 없는 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 OBS 망에서 고장이 발생하였을 경우 OBS의 가장 큰 특성인 offset 시간이 장애에 미치는 영

향을 수학적으로 분석하고 이를 기반으로 인한 버스트의 손실률을 최소화할 수 있는 QoS를 고려한 offset 시간 기반의 장애 복구 기법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OBS의 개요와 망에서 발생할 수 있는 장애의 종류 및 장애를 보호-복구할 수 있는 기법에 대하여 살펴보고 III장에서는 offset 시간이 장애에 미치는 영향을 분석하였으며 IV장에서는 QoS를 고려한 offset 시간 기반의 장애 복구 기법을 제안하였다. 마지막으로 V장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논하였다.

II. 광 버스트 스위칭 및 장애 복구 기법

1. 광 버스트 스위칭

일반적으로 OBS 노드 구조는 <그림 1>과 같이 입력 단에 Inlet FDL (Fiber Delay Line)을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우로 분류할 수 있는데, 본 논문에서는 <그림 1>과 같이 Inlet FDL을 사용하는 구조로 가정한다. <그림 1>은 $N \times N$ 노드 구조로서 하나의 광 링크에 K 개의 파장이 사용되며, 이때 제어 패킷을 위한 채널 (Control Channel Group; CCG)은 1개, 버스트를 위한 채널 (Data Channel Group; DCG)은 $K-1$ 개로 설정되었다.

입력 링크로 입력되는 버스트는 여러 개의 IP 패킷이 결합된 것으로 목적지와 QoS 등이 같은 IP 패킷들로 구성하고 곧 바로 버스트를 전송하는 것이 아니라 제어 정보, 즉 목적지 주소, offset 시간, 파장 정보, 요구 대역폭, 그리고 QoS 정보 등을 담은 BCP (Burst Control Paxket)를 먼저 보내어 이후에 전송될 BDF (Burst Data Frame)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, 균원지와 목적지 사이의 BCP가 거쳐야 할 중간 노드수 H 와 각 중간 노드에서의 BCP를 처리하는 시간이 모두 동일하다고 가정할 때, 처리시간 δ 에 의해 결정되며, $T \geq H \times \delta$ 을 만족해야 된다. <그림 2>에서 T 는 $T = 3 \times \delta$ 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^[3, 4].

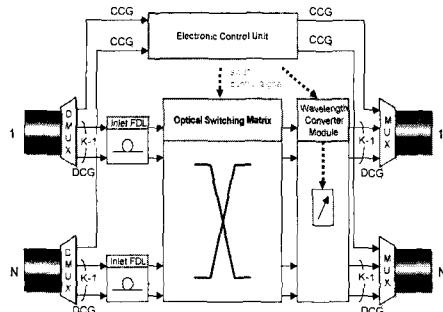


그림 1. 광 버스트 스위칭 노드의 구조
Fig. 1. OBS node architecture.

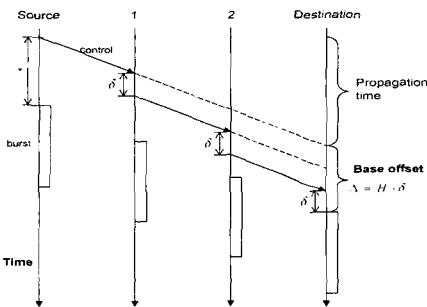


그림 2. offset 시간
Fig. 2. Offset time.

2. OBS 망 고장과 장애 복구 기법

OBS 망에서 발생할 수 있는 망고장의 종류로는 <그림 3>과 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 대용량의 버스트를 전송하는 OBS 망에서 장애 발생은 심각한 서비스의 품질 저하를 초래할 수 있으므로 신속한 복구 대책을 수립하여 망에서 발생할 수 있는 장애에 대한 영향을 최소화하여야 한다. 현재 제안되고 있는 망 장애에 대한 다양한 복구 기법은 <그

림 4>와 같다.

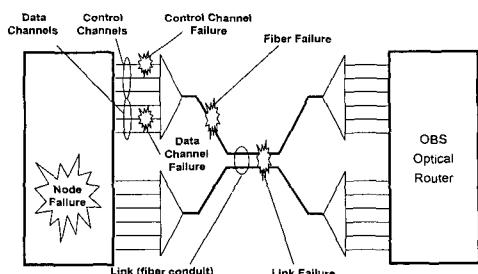


그림 3. OBS 망 장애의 종류
Fig. 3. Different types of failures.

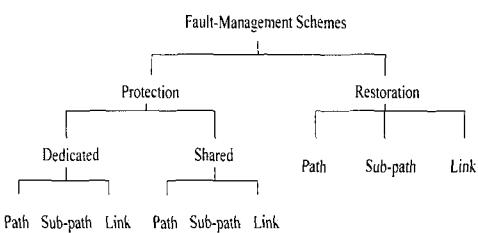


그림 4. 장애 복구 기법
Fig. 4. Fault-management schemes.

장애 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^[5, 6].

보호 기법으로는 자원 공유 유무에 따라 점유(Dedicated)와 공유(Shared) 기법으로 분류할 수 있다. Dedicated 기법은 근원지와 목적지 쌍에 해당하는 주경로와 대체 경로를 미리 설정하여 동일한 BCP와 BDF를 두 경로로 동시에 전송하는 기법이다. Shared 기법은 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. 그러나 망 장애가 발생하였을 경우에는 예약된 자원을 이용하여 BCP와 BDF를 보호하는 기법이다. 이러한 보호 기법의 경우 빠른 장애 복구는 가능하지만 자원을 미리 할당함으로써 자원 이용의 효율성이 부족하다는 단점을 가지고 있다.

복구 기법으로는 장애가 발생한 후에 트래픽을 복구하기 위하여 새로운 경로를 설정하는 기법이다. 이러한

새로운 경로는 장애 및 망 형태 정보에 의해 설정된다. 이러한 복구 기법은 보호 기법과 비교할 때 장애 복구 속도는 느리지만 망 상태 정보를 기반으로 재 경로가 설정되므로 자원의 효율성 측면에서 매우 우수한 성능을 가진다.

현재 망 장애에 대한 연구는 망 이용률의 최적화와 QoS 보장이 가능한 장애 복구를 위해 많은 연구가 복구 기법에 집중되고 있다. 이러한 장애 복구 기법으로는 복구 영역 단위에 따라 Path, Sub-Path, 및 Link 기법으로 분류할 수 있다^[8, 9].

III. 장애 발생에 따른 offset 시간 영향

1. 장애 발생에 따른 버스트 손실

OBS 망에서는 망 특성에 따라 BDF에 해당하는 BCP를 먼저 전송하여 채널을 예약하게 된다. 그러므로 offset 시간 후에 BDF가 도착하여 미리 예약된 정보를 이용하여 다음 노드로 전송하게 된다. 그러나 만약 링크 장애가 발생하였을 경우에는 BCP와 BDF가 손실되어 목적지까지 버스트가 안전하게 전송되지 못하여 QoS에 많은 영향을 초래하게 된다. 이와 같이 OBS 망 특성으로 인하여 링크 장애 발생에 따른 버스트 손실 경우는 <그림 5>와 같다.

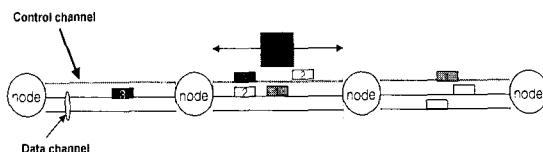


그림 5. 링크 장애에 따른 버스트 손실

Fig. 5. Burst loss of effect on offset time in link failure.

첫 번째는 BCP1과 같이 BDF1에 대한 채널을 예약하고 상향 노드를 통과했지만 BDF1은 장애 링크에 존재하는 경우이며 이러한 경우 BDF1은 손실되지만 BCP1은 정상적으로 목적지 노드까지 채널을 예약함으로써 자원을 낭비하는 문제가 발생한다. 두 번째는 BCP와 BDF간의 offset 시간이 매우 작아 장애 링크에 BCP2와 BDF2가 함께 존재하는 경우이며 이러한 경우 BCP2와 BDF2가 동시에 손실되는 경우이다. 이 경우에는 BCP2 정보가 손실되어 목적지 노드까지의 채널 예약이 이루어지지 않아 자원 예약 낭비는 발생하지 않는다. 마지막

으로 세 번째는 BDF3와 같이 아직 장애 링크나 상향 노드에 도착하지 않았지만 링크 장애로 인하여 BCP3이 손실되는 경우로 offset 시간 후에 BDF3이 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.

2. 버스트 손실 분석

본 논문에서는 버스트 손실 분석을 간단히 하기 위하여 광 버퍼가 없는 단일 출력 링크를 갖는 OBS 코어 노드를 고려하였으며 버스트 도착은 포이송, 처리 시간은 지수분포로 가정한다. 다음은 광 버스트 스위칭에서 offset 시간에 의한 손실률의 분석을 위한 변수 정의이다.

n : 노드의 개수(14) λ : 평균 버스트 도착률

k : 채널 수(8) μ : 버스트 처리율(R/L)

E : 링크의 개수(21) L : 평균 버스트 크기(105)

t : offset 시간 R : 링크 대역 용량(1G)

P_d : 링크 전송지연시간(10-3) H : 평균 흡수

ρ : 입력 부하, $\rho = \lambda / (\mu \cdot k) = r/k$

h_i : 근원지 노드 s 에서 노드 i 까지 흡수

$Fault_{BDF}$: 장애 영향에 따른 버스트 손실 수

$Link_{BDF}$: 장애 링크에 도착하지 않은 BDF 수

$Offset_{BDF}$: 장애 링크에 존재하는 BDF 수

그러므로 버스트 도착률 λ 는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

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

여기서 $r = \lambda / \mu$ 이고 따라서 전체 입력 부하 $\rho = \sum_{i=0}^{n-1} \rho_i$ 이다. 먼저 출력 링크의 파장수가 k 개고 파장 변환이 가능한 OBS 노드에서 버스트 손실률은 다음과 같이 Erlang 손실 공식 ($M/M/k/k$)을 이용하여 분석할 수 있다.

$$B(\rho, k) = \frac{1/k! \cdot r^k}{\sum_{m=0}^k 1/m! \cdot r^m} \quad (2)$$

여기서 $r = \rho \cdot k$ 이고 식 (1)은 전체 입력 부하를 고려했을 때 결정되는 버스트 손실률이 된다.

1) 단방향을 고려하였을 경우

$B(\rho, k)$ 은 버스트가 손실될 확률 p_{loss} 와 같으므로 버스트의 성공 확률 $p_{succ} = (1 - p_{loss})^k$ 이다. <그림 6>과 같이 버스트가 근원지 노드 S에서 출발하여 h_i 흡을 거쳐 노드 i 에 버스트가 도착할 수 있는 성공 확률은 $p_{succ} = (1 - p_{loss})^h$ 이 된다. 따라서 노드 i 에서 입력 부하는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\rho_i = \rho \cdot (1 - p_{loss})^h, \quad (3)$$

그러므로 OBS 망에서 장애가 발생하였을 경우 장애의 영향으로만 손실되는 버스트의 수는 다음과 같다. 3.1절에서 언급한 것과 같이 버스트의 손실은 세 가지 경우로 구분할 수 있지만 두 번째 경우는 BCP와 BDF가 동시에 손실되므로 장애 영향으로 손실되는 버스트는 장애 발생 시점에 장애 링크에 존재하는 BDF 수와 장애 링크에 아직 도착하지 않은 BDF 수의 합과 같다. 장애 링크에 아직 도착하지 않은 BDF의 수는 BCP가 이미 장애 링크를 통과하였거나 장애 링크에 위치하는 경우이므로 offset 시간 동안 도착하는 BDF의 수와 같다.

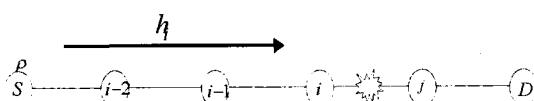


그림 6. 단방향 버스트 손실 분석

Fig. 6. Burst loss in unidirectional failure link.

먼저 장애 링크에 존재하는 BDF의 수는 링크의 전송 지연 시간동안 도착하는 버스트의 수와 동일하므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Link_{BDF} = P_d \cdot \lambda_i \quad (4)$$

또한 offset 시간 영향에 따른 버스트 손실은 상향 노드에 BDF는 도착하지 않았지만 BCP가 이미 전송되어진 상황으로 offset 시간 동안의 버스트 도착과 같으므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Offset_{BDF} = t \cdot \lambda_i \quad (5)$$

그러므로 링크 장애에 따른 버스트 손실 $Fault_{BDF}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Fault_{BDF} = Link_{BDF} + Offset_{BDF} \quad (6)$$

2) 양방향을 고려하였을 경우

장애 링크를 포함하는 노드 i 와 노드 j 의 입력 부하를 고려하면 노드 i 에서 입력 부하는 $\rho_i = \rho \cdot (1 - p_{loss})^h$ 이고 노드 j 에서 입력 부하는 $\rho_j = \rho \cdot (1 - p_{loss})^h$ 이다. 그러므로 양방향의 경우 장애의 영향으로만 손실되는 버스트의 수는 장애 링크에 존재하는 버스트의 수와 BCP는 노드를 통과하였지만 BDF가 아직 노드에 도착하지 않은 경우를 합한 것과 같다.

먼저 장애 링크에 존재하는 BDF의 수는 링크의 전송 지연 시간동안 도착하는 버스트의 수와 동일하므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Link_{BDF} = P_d \cdot (\lambda_i + \lambda_j) \quad (7)$$

또한 offset 시간 영향에 따른 버스트 손실은 상향 노드에 BDF는 도착하지 않았지만 BCP가 이미 전송되어진 상황이며 offset 시간 동안의 버스트 도착과 같으므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Offset_{BDF} = t \cdot (\lambda_i + \lambda_j) \quad (8)$$

그러므로 양방향의 경우 링크 장애 발생에 따른 버스트 손실 $Fault_{BDF}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다

$$\begin{aligned} Fault_{BDF} &= Link_{BDF} + Offset_{BDF} \\ &= (\lambda_i + \lambda_j) \cdot (P_d + t) \end{aligned} \quad (9)$$

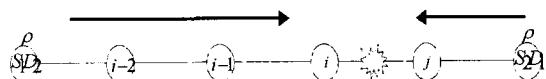


그림 7. 양방향 버스트 손실 분석

Fig. 7. Burst loss in bidirectional failure link.

3) 전체 망을 고려하였을 경우

링크 $\langle i, j \rangle$ 를 통과하는 주경로가 N 개일 경우 장애로 인한 버스트 손실률은 N 개의 근원지와 목적지 노드 쌍에 해당하는 입력 부하를 고려하여야 한다. 먼저 경로 쌍 (s, a) 에서 링크 $\langle i, j \rangle$ 에 장애가 발생하였을 경우 분석을 위한 변수 정의는 다음과 같다.

h_{ij}^{sd} : 노드 s 를 출발하여 노드 i 까지 흡수

ρ_s^d : 근원지 노드 s 에서 입력 부하

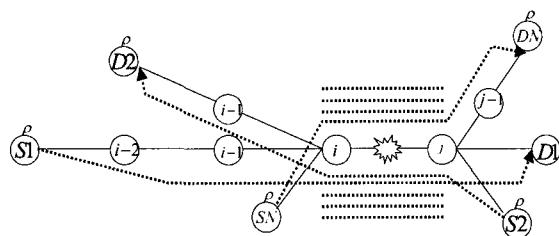


그림 8. 망 관점의 버스트 손실 분석
Fig. 8. Burst loss considering network.

P_{ij}^{sd} : 주경로 (s, d) 가 장애 링크 $\langle i, j \rangle$ 을 통과할 확률

P_{ji}^{sd} : 주경로 (s, d) 가 장애 링크 $\langle j, i \rangle$ 을 통과할 확률

λ_{ij} : 장애 링크 $\langle i, j \rangle$ 에 부과되는 입력 부하

λ_{ji} : 장애 링크 $\langle j, i \rangle$ 에 부과되는 입력 부하

$$\lambda_{ij} = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N (\rho_s^d \cdot (1 - p_{loss})^{k_i} \cdot P_{ij}^{sd}) s \neq d, i \neq j \quad (10)$$

$$\lambda_{ji} = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N (\rho_s^d \cdot (1 - p_{loss})^{k_j} \cdot P_{ji}^{sd}) s \neq d, i \neq j \quad (11)$$

그러므로 전체 망 관점에서 장애의 영향으로 손실되는 버스트의 수는 장애 링크에 존재하는 버스트의 수와 BCP는 노드를 통과하였지만 BDF가 아직 노드에 도착하지 않은 경우를 합한 것과 같다.

먼저 장애 링크에 존재하는 BDF의 수는 링크의 전송 지연 시간동안 도착하는 버스트의 수와 동일하므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Link_{BDF} = P_d \cdot (\lambda_{ij} + \lambda_{ji}) \quad (12)$$

또한 offset 시간 영향에 따른 버스트 손실은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Offset_{BDF} = t \cdot (\lambda_{ij} + \lambda_{ji}) \quad (13)$$

그러므로 전체 망 관점에서 링크 장애에 따른 버스트 손실 $Fault_{BDF}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Fault_{BDF} &= Link_{BDF} + Offset_{BDF} \\ &= (\lambda_{ij} + \lambda_{ji}) \cdot (P_d + t) \end{aligned} \quad (14)$$

3. 장애 복구 방법에 따른 버스트 손실

OBS 망에서 장애 발생은 복구 시간 동안 연속적으로 전송되고 있는 버스트의 손실을 의미하며 빠른 복구를 수행하지 않을 경우 트래픽의 심각한 QoS 저하를 초래하게 된다. 그러므로 OBS 망의 신뢰성을 제공하기 위해

서는 적절한 복구 기법이 제공되어야 한다.

본 논문에서는 장애로 인해 발생되는 버스트 손실을 Path 복구 기법과 Sub-Path 기법으로 분리하여 분석하였다.

1) Path 복구 기법

링크 장애로 인한 복구를 수행하기 위하여 Path 복구 기법을 사용할 경우 손실되는 버스트는 장애 링크에 존재하는 버스트와 offset 영향에 의해 BCP는 상향 노드를 통과하였지만 BDF는 아직 도착하지 버스트 그리고 상향 노드에서 근원지에 FIS 메시지를 전송하는 동안 손실되는 버스트의 합으로 볼 수 있다.

먼저 상향 노드에서 근원지에 FIS 메시지를 전송하는 동안 상향 노드에서 근원지까지의 노드에 도착하는 버스트 도착률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_{ij}^s = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N \sum_{k=1}^{h_{sd}} (\rho_s^d \cdot (1 - p_{loss})^{k_i} \cdot k \cdot P_{ij}^{sd}) s \neq d, i \neq j \quad (15)$$

$$\lambda_{ji}^s = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N \sum_{k=1}^{h_{sd}} (\rho_s^d \cdot (1 - p_{loss})^{k_j} \cdot k \cdot P_{ji}^{sd}) s \neq d, i \neq j \quad (16)$$

그러므로 장애로 발생하는 전체 버스트의 개수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Fault_{loss} &= Link_{BDF} + Offset_{BDF} + FIS_{loss} \\ &= (\lambda_{ij} + \lambda_{ji}) * (P_d + t) + FIS_d * (\lambda_{ij}^s + \lambda_{ji}^s) \end{aligned} \quad (17)$$

2) Sub-Path 복구 기법

Sub-Path 복구 기법에서 손실되는 전체 버스트 수는 Path 복구 기법과 유사하나 Sub-Path 기법에서는 FIS 메시지를 전송하지 않기 때문에 FIS_{loss} 에 해당하는 버스트는 손실되지 않는다. 그러므로 전체 손실 버스트 수 $Fault_{BDF}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Fault_{BDF} &= Link_{BDF} + Offset_{BDF} \\ &= (\lambda_{ij} + \lambda_{ji}) \cdot (P_d + t) \end{aligned} \quad (18)$$

그러나 Sub-Path 복구 기법의 경우 상향 노드에서 BCP를 생성할 수 있는 기능 모듈을 추가되어야 한다.

3. 성능평가 및 분석

본 논문에서는 장애 발생에 따른 offset 시간 영향을 분석하기 위하여 OPNET 시뮬레이터 환경에서 <그림

9(a)>와 같이 NSF 망을 이용하였다.

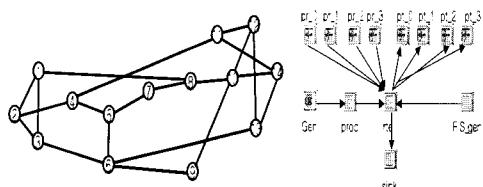


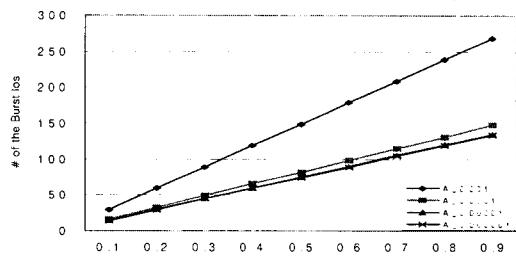
그림 9. (a) NSF 모델 (b) 노드 모델

Fig. 9. (a) NSF network model (b) Node model.

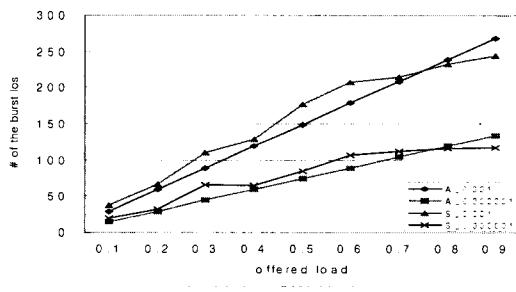
NSF 망에 있는 각각의 노드들은 OBS 기능을 수행하기 위하여 <그림 9(b)>와 같이 여러 개의 프로세스로 구성하였다. gen 프로세스는 버스트 도착율에 따른 BDF를 생성하고 proc 프로세스는 도착되는 BDF에 대한 BCP를 생성하여 rte 프로세스에 전송한다. rte 프로세스는 도착된 BCP 정보를 분석하여 목적지 노드인 경우에는 sink 프로세스에 전송하고 중간 노드인 경우이면 채널을 예약하고 다음 노드로 전송한다. FIS_gen 프로세스는 장애 발생을 감지하여 장애 알림 메시지를 생성하고 전달하는 프로세스이다.

본 논문에서는 장애 발생에 따른 offset 시간의 영향 분석을 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 목적지까지의 라우팅을 위해 흡 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 상태만을 고려하여 실험하였다.

실험은 NSF 모델에서 <7-8>과 <2-4> 링크 장애에 대한 평균 실험 결과를 반영한 것이다. 먼저 장애 발생 시점에 손실되는 버스트를 수학적 분석과 성능 평가한 결과를 살펴보면 <그림 10>과 같다. 망 장애 발생 시 장애 발생 시점만을 고려하였을 경우 손실되는 버스트는 장애 링크에 존재하는 버스트와 상향 노드에 BCP는 전송되어 채널을 예약하였지만 아직 BDF는 도착하지 않은 버스트에 해당한다. <그림 10(a)>은 offset 시간의 변화에 따른 수학적 분석을 통한 버스트 손실을 보여주고 있다. 그림과 같이 offset 시간이 클수록 미리 자원을 예약하기 때문에 더 많은 버스트가 손실되게 된다. <그



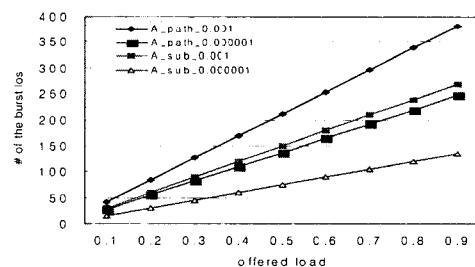
(a)



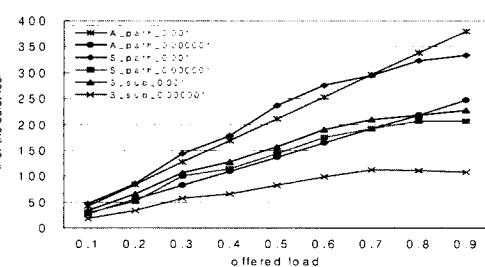
(b)

그림 10. offset 시간에 따른 버스트 손실

Fig. 10. Burst loss based on offset time.



(a)



(b)

그림 11. 장애 복구 기법에 따른 버스트 손실

Fig. 11. Burst loss based on restoration scheme.

그림 10(b)>은 시뮬레이션 결과와 수학적 분석을 비교하

였으며 거의 유사한 추세를 나타내고 있다. 그러나 입력 부하가 0.8 이상에서는 성능 평가의 결과가 수학적 분석을 통한 결과보다 버스트 손실이 적게 발생한다. 이러한 이유는 입력 부하가 증가할 수록 균원지 노드를 출발한 버스트가 상향 노드까지 도착하는 동안 스케줄링 과정에서 손실되는 버스트 수가 많아지기 때문에 상향 노드에 입력되는 버스트 수가 줄어들기 때문이다.

<그림 11(a)>는 장애 발생 시 복구 기법을 사용할 경우 수학적 분석 관점에서 Path 복구 기법과 Sub-path 복구 기법을 사용할 경우 버스트 손실을 나타내고 있다. 여기에서 Path 기법의 경우 상향 노드에서 전송한 FIS 메시지를 균원지 노드에서 수신하는 지연 시간은 망의 평균 흡수를 고려하여 계산하였다.

그림과 같이 Path 복구 기법의 경우 Sub-path 복구 기법보다 더 많은 버스트 손실을 나타내고 있다. 이러한 이유는 Sub-path 기법의 경우 상향 노드에서 장애를 감지한 후 도착하는 버스트에 대해서는 대체 경로를 통하여 전송 가능하기 때문이다. <그림 11(b)>는 수학적 분석과 실험을 통한 결과를 비교한 것이다. <그림 10>과 같이 입력부하가 증가함으로써 상향 노드에 도착하기 전에 스케줄링 과정에서 많은 버스트를 손실하기 때문에 버스트 손실수가 감소하는 현상이 발생한다. 이와 같아 offset 시간은 장애가 발생할 경우 버스트 손실에 많은 영향을 끼치고 있다. 또한, 장애 복구 기법에 따라 버스트 손실이 상이하여 OBS 망에서 QoS가 가능한 서비스 제공을 위해서는 offset 시간 결정 및 장애 복구 기법은 매우 중요하다. 그러므로 버스트 손실을 최소화하면서도 망 자원의 이용률을 줄이고 전체적인 처리율을 증대시킬 수 있는 장애 복구 기법이 적용되어야 한다.

IV. QoS를 고려한 offset 시간 기반의 장애복구 기법

OBS 망에서는 BCP와 BDF를 분리하여 offset 시간 후에 BDF를 전송하는 One-Way reservation 특성을 가지고 있어 망 장애가 발생하였을 경우 offset 시간의 영향으로 선행된 BCP에 대한 BDF의 추가적인 손실이 발생하여 심각한 서비스 품질 저하를 초래할 수 있다. 그러므로 신속한 복구 대책을 수립하여 망 장애 발생으로 인한 장애의 영향을 최소화하여야 한다.

본 논문에서는 망 장애 발생에 따른 복구 기능을 수

행하기 위하여 offset 시간을 기준으로 하는 새로운 복구 방안을 제안한다.

1. 채널 정보 관리

OBS 광 교환 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 제어부 (Switch Control Unit; SCU)와 광전변환이 없이 BDF의 투명한 교환이 수행되는 광교환부 (Optical Switching Matrix; OSM)가 핵심 구성요소이다.

교환기 제어부인 SCU에서는 BCP 정보에 따라 채널을 예약하고 예약된 시간에 광 교환부에서 스위칭을 할 수 있도록 제어 신호를 전달한다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 교환기 제어부인 SCU에서 BCP에 대한 내용이 관리되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 채널정보를 관리하기 위하여 채널정보테이블 (Channel Information Table; CIT)을 운영한다.

먼저, 채널정보는 SCU에서 offset 시간 후에 도착하는 버스트에 대한 채널사용을 위해 이용된다. 또한 장애 발생 시 손실될 수 있는 버스트에 대한 BCP 생성을 위해 사용된다. SCU에서 관리하는 채널정보 필드는 다음과 같다.

표 1. 채널 정보 테이블 포맷

Table 1. Format of Channel Information Table.

Input port	Incoming data burst's port
IWI	Input wavelength identifier
Input Start time	Start time of incoming data burst
Input End time	End time of incoming data burst
Output port	Outgoing data burst's port
OWI	Output wavelength identifier
Output Start time	Start time of outgoing data burst
Output End time	End time of outgoing data burst

또한, BCP가 노드에 도착하여 채널을 예약한 정보가 교환 제어부인 SCU의 채널정보테이블에 삽입되고 삭제되는 과정은 다음과 같다.

단계1] BCP가 노드에 도착

단계2] BCP 정보와 SCM 정보를 이용하여 채널 정보를
구성

단계3] 채널정보를 채널정보테이블에 저장

단계4] BCP를 다음 노드로 전송

단계5] Offset 시간 후에 버스트가 도착하여 노드를 통
과할 때 채널정보테이블에서 삭제

이와 같은 교환기 제어부에 있는 채널정보테이블은 노드에 버스트가 도착하고 출발할 때 광교환부에서 임 출력 포트와 채널을 예약된 시간에 사용 가능하도록 한다. 또한 링크 장애와 같이 BCP에 문제가 발생하였을 경우 교환기 제어부는 채널정보테이블을 이용하여 BCP를 생성할 수 있다. 그러므로 만약 망 내에서 장애가 발생하였을 경우 상향 노드에서 BCP를 생성할 수 있는 충분한 시간이 가능하다면 아직 도착하지 않은 버스트에 대해서는 안전하게 목적지에 전송할 수 있다.

본 논문에서는 망 장애 발생 시 상향 노드에서 BCP 생성이 가능한 임계시간(Threshold)을 다음과 같이 정의하였다.

임계시간(Threshold) = 대체경로설정시간 + BCP 생성
시간

그러므로 망 장애 발생 시 BCP는 상향 노드를 이미 통과하였지만 아직 도착하지 않은 버스트에 대해서는 CIT 정보를 이용하여 남아있는 도착시간과 임계시간을 비교한다. 만약 임계시간보다 도착시간이 작을 경우에는 버스트가 손실되지만 임계시간이 큰 경우에는 BCP 생성이 가능하므로 버스트 보호가 가능하다.

2. offset 시간 기반의 장애 복구 기법

본 논문에서는 OBS 망에서 기존의 장애 복구 기법인 Path와 Sub-path 복구 기법을 적용하였을 경우 발생하는 문제점을 살펴보고 이러한 문제를 해결할 수 있는 offset 시간을 기반으로 하는 새로운 장애 복구 기법을 제안하였다.

1) 기존 장애 복구 기법

OBS 망 특성은 제어 패킷과 데이터 버스트를 분리하여 전송함으로써 제어 패킷인 BCP가 먼저 전송되어 채널 자원을 미리 예약하는 교환방법이다. 그러나 링크에서 장애가 발생할 경우에는 이러한 특성으로 인하여 손실되는 버스트에 많은 영향을 주고 있다. 그러므로 망 장애 발생에 대한 영향을 최소화하기 위해서는 효율적

인 장애 복구 기법이 적용되어야 한다.

기존에 제시되고 있는 복구 기법 중 Path 복구 기법을 사용할 경우에는 장애가 발생한 상향 노드에서 장애를 감지하고 FIS 메시지를 생성하여 근원지 노드에 전송하는 동안 연속적으로 전송되는 BCP와 버스트는 손실되며 3장에서 분석한 것과 같이 이미 BCP가 상향 노드를 통과함으로써 손실되는 버스트가 추가적으로 손실된다. 이러한 현상은 offset 시간이 길면 길수록 심각해지는 결과를 초래하게 된다. 또한 Sub-path 장애 복구 기법을 사용할 경우에는 Path 복구 기법과 동일하게 BCP가 이미 장애 링크의 상향 노드를 통과했을 경우에 발생하는 버스트의 손실은 동일하나 FIS 메시지를 전송하는 동안 연속적으로 전송된 BCP와 버스트에 대해서는 손실이 발생하지 않는다. 그러나 Sub-path 복구 기법은 장애 링크가 복구되는 동안은 연속적으로 상향 노드에 유입되는 버스트에 대해서 버스트 단위의 대체 경로를 설정해야하는 추가적인 문제가 발생하게 된다.

그러므로 본 논문에서는 기존 장애 복구 기법의 문제점을 해결하고 장애로 인한 버스트 손실을 최소화할 수 있는 새로운 offset 기반의 장애 복구 기법을 제안한다.

2) 새로운 장애 복구 기법

본 논문에서 제안한 장애 복구 기법은 링크 장애가 발생하였을 경우 장애를 감지하는 상향 노드에서는 CIT를 이용하여 상향 노드에서 BCP 생성을 위한 시간이 충분하다면 BCP를 생성하여 아직 전송되지 않은 버스트를 보호하는 복구 기법이다. 반대로 BCP 생성을 위한 시간이 충분하지 않을 경우에는 버스트를 지연시켜 버스트를 보호하는 기법이다.

이와 같은 offset 시간을 기준으로 하는 장애 복구 기법은 <그림 13>과 같고 장애 복구를 위해 상향/하향/근원지 노드에서 처리하는 복구 시나리오는 다음과 같다.

[상향 노드]

- 1] 상향노드에서 장애를 감지한다.
- 2] 상향노드는 FIS 메시지를 생성하여 근원지에 전송한다.
- 3] CIT 테이블의 offset 시간을 기준으로 임계값과 비교 한다.
- 4] BCP 생성이 가능한 버스트는 BCP를 생성하여 Sub-Path 복구를 수행한다.

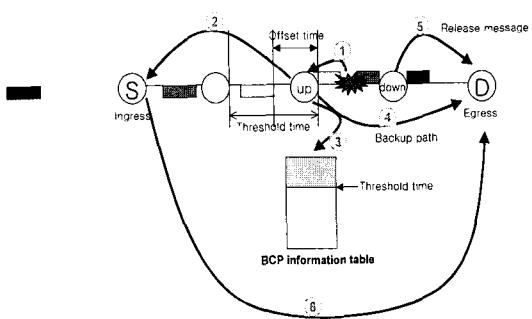


그림 13. 장애 복구 시나리오

Fig. 13. Restoration scheme scenario.

[하향 노드]

- 5] 장애를 감지하고 자원 해제 메시지를 목적지에 전송 한다.

[근원지]

- 6] FIS 메시지를 수신하면 아직 전송되지 않은 버스트에 대해 Path 복구 수행

이와 같이 본 논문에서 제안한 방법은 망 내에서 장애가 발생하였을 경우 근원지에서 이미 전송된 버스트에 대해 상향 노드 관점에서 임계값을 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. 그리고 근원지에서는 FIS 메시지를 수신하고 난 후에는 장애 링크가 복구되기 전까지는 발생된 버스트에 대하여 대체경로를 이용하여 목적지에 전송한다.

그러나 이 기법의 경우 상향 노드에 도착하는 시간이 임계시간보다 작은 경우에는 버스트가 손실되는 문제가 발생한다. 또한, 장애 발생 감지 후 Sub-path 복구를 위한 대체 경로 설정 시간 보다 빨리 BCP가 도착할 경우 도착되는 BCP 역시 손실되는 문제가 발생한다.

그러므로 본 논문에서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안은 다음과 같다.

▲ 버스트 지연

망 내에서 장애가 발생하고 상향 노드에 도착하는 버스트의 도착 잔여 시간이 임계시간보다 작을 경우 해당하는 버스트는 보호할 수 없기 때문에 손실되게 된다. 그러므로 버스트 손실을 보호하기 위해서는 상향 노드에서 장애 발생을 감지하면 버스트가 FDL를 통해 임계

시간 이상을 지연시켜 BCP를 생성한 다음 대체 경로를 통해 전송하는 방법이다.

▲ BCP 지연

상향 노드가 망 장애를 감지하고 대체 경로 설정을 위한 충분한 시간이 되지 않은 상태에서 BCP가 도착할 경우 해당하는 BCP는 손실되게 된다. 그러므로 BCP 손실을 방지하기 위하여 대체 경로 설정 시간 이전에 도착하는 BCP에 대해서는 전기적 베퍼를 사용하여 BCP를 지연시켜 대체 경로 설정을 위한 충분한 시간을 확보한다. 또한 이 구조는 BCP 지연시간 만큼의 시간을 FDL을 이용하여 해당하는 버스트를 지연시켜야 한다.

이와 같이 OBS 망에서는 장애 발생으로 인한 BCP와 버스트의 손실을 보호하기 위해서는 적절한 offset 시간이 설정되어야 한다. 그러므로 QoS를 고려한 서비스 제공을 위해서는 예지 라우터에서 버스트를 클래스별로 분리하여 높은 우선 순위의 클래스에는 긴 offset 시간을 할당하고 낮은 우선 순위의 클래스에는 짧은 offset 시간을 할당하여 높은 우선 순위의 BCP가 먼저 채널을 예약하여 버스트의 손실을 보장할 수 있다. 이와 같이 offset 시간을 길게 한다는 의미는 망 내에서 장애가 발생할 경우 노드에서 장애를 감지하고 새로운 BCP를 생성하는 동안 버스트가 도착하지 않기 때문에 버스트 손실을 줄일 수 있다는 의미와 같다. 그러나 짧은 offset 시간을 가진 낮은 우선 순위의 버스트는 BCP 생성을 위한 시간이 충분하지 않기 때문에 버스트가 손실될 수 있다. 그러므로 높은 우선 순위의 버스트를 장애 상황에서도 보호하기 위한 offset 시간의 결정은 장애 링크를 감지하는 시간에 매우 민감하다. 왜냐하면, 장애 링크의 지연 시간을 P 라고 하고 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 높은 우선 순위의 버스트를 100% 보장하기 위한 offset 시간은 다음과 같다.

$$\text{Extra offset 시간} = \text{장애 링크 지연 시간} + \text{대체 경로 설정 시간} + \text{BCP 생성 시간}$$

이와 같이 offset 시간을 결정할 경우에는 링크의 장애 위치에 관계없이 아직 상향 노드에 도착하지 않은

버스트에 대한 BCP를 생성하여 버스트를 전송할 수 있기 때문에 장애에 관계없이 100%의 전송 보장이 가능하다. 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 중요하다.

V. 결 론

광 버스트 스위칭 망에서는 데이터 버스트에 해당하는 BCP를 먼저 전송하여 채널을 예약하며 offset 시간 후에 BCP에 해당하는 데이터 버스트가 도착하여 전광 변환없이 투명성을 유지하고 고속으로 목적지에 도달할 수 있다. 그러나 만약 링크 장애와 같은 망 장애가 발생하였을 경우 선행된 BCP 정보에 의하여 많은 양의 데이터 버스트가 손실되어 심각한 서비스 품질 저하를 초래할 수 있다.

이에 본 논문에서는 망 장애 발생 시 offset 시간이 버스트 손실에 미치는 영향을 수학적 관점과 실험을 통하여 비교 분석하였고 버스트 손실을 최소화할 수 있는 QoS를 고려한 offset 시간 기반의 새로운 장애 복구 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 장애 복구 기법과는 상이하게 offset 시간을 기준으로 하는 장애 복구 기법이며 offset 시간 설정에 따라 버스트 손실에 따른 서비스 등급을 고려할 수 있는 기법이다. 또한 아직 상향 노드에 도착하지 않은 최우선 서비스 등급의 버스트에 대해서 offset 시간에 따라 100%의 보호가 가능한 장애 복구 기법이다.

향후 연구과제로는 제안기법에 대한 성능평가를 통해 검증을 실시하고 서비스 품질에 맞는 offset 시간 결정과 장애 발생 시 BCP와 버스트를 보호할 수 있는 장애에 둔감한 노드 구조를 연구하는 것이다.

참 고 문 헌

- [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] M. Yoo and C. Qiao, "oS performance of optical burst switching in IP over WDM networks," IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 8, no. 10, pp> 2062-2071, Oct, 2000.
- [3] 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.
- [4] Dolzer,K., Gauger, C. Speth, J. Bodamer, S. "Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching," AE International Journal of Electronics and Communications, Vol. 55, No. 1, 2001.
- [5] S.Ramamurthy and B. Mukherjee, "Survivable WDM mesh networks, part 1-protection," Proc>IEEE INFOCOM'99, vol. 2, pp. 744-751, March 1999.
- [6] S.Ramamurthy and B. Mukherjee, "Survivable WDM mesh networks, part 2-protection," Proc>IEEE INFOCOM'99, vol. 2, pp. 2023-2030, June 1999.
- [7] J. Wang, L. Sahasrabuddhe & 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.
- [8] Seunghun Oh, Younghan 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.
- [9] Hui Zang, biswanath Mukherjee, "Connection management for survivable wavelength routed WDM mesh networks," Optical Networks Magazine July/August 2001.
- [10] OPNET Technologies, Inc.

저자소개

李 海 正(正會員) 第 29卷 A編 第 10號 參照

蘇 元 鑄(正會員) 第 29卷 A編 第 10號 參照

金 永 川(正會員) 第 29卷 A編 第 10號 參照



宋 奎 燁(正會員)

2003년 2월 : 전북대학교 기계설계
학과 공학사, 2003년~현재 : 전북대
학교 정보통신학과 석사 과정, <주
관심분야 : 광 통신망구조, 망 장애
관리>