

# 광 버스트 스위칭 망에서 최소 경로비용 기반의 동적 경로배정 기법

정희원 이 해 정\*, 송 규 엽\*\*, 유 경 민\*\*\*, 유 완\*\*\*, 김 영 천\*\*\*

## Dynamic Routing Algorithm based on Minimum Path-Cost in Optical Burst Switching Networks

Hae jung Lee\*, Kyu yeop Song\*\*, Kyoung min Yoo\*\*\*

Wan Yoo\*\*\*, Young chon Kim\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

광 버스트 스위칭 방식은 제어 채널과 데이터 채널을 분리하여 버스트 제어 패킷을 제어 채널로 먼저 전송하고 Offset 시간 후에 도착할 데이터 버스트에 대한 데이터 채널을 예약하는 단방향 예약 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 특성 때문에 버스트 간에 데이터 채널을 예약하기 위한 경합이 발생하게 되며 경합에 실패한 버스트는 손실되어 심각한 QoS (Quality of Service) 저하를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 버스트 손실을 최소화하기 위해 노드에서 발생하는 버스트 손실이 임계값을 초과할 경우 버스트 우선순위와 버스트가 생성된 근원지 정보에 따라 유동적으로 경로를 재설정하는 동적 경로 설정 기법을 제안하였다. 이와 같이 제안된 기법은 기존 경로로 전송되고 있는 버스트 흐름에 영향을 최소화하기 위하여 링크 비용을 고려한 최소 경로 비용을 기반으로 하고 있다. 또한, 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 버스트 손실률, 버스트 처리율 및 평균 홉 수 관점에서 기존의 기법과 비교 평가하였다.

**Key Words** : OBS; Contention; QoS.

### ABSTRACT

Optical burst switching networks usually employ one-way reservation by sending a burst control packet with a specific offset time, before transmitting each data burst frame. Due to such a property, burst-contentions occur when multiple bursts contend for the same wavelength in the same output link simultaneously in a node, leading to burst losses, eventually degrading the quality of service. Therefore, in this paper, we propose a dynamic routing algorithm using minimum local state information in order to decrease burst-contentions. In this proposed scheme, if burst loss rate exceeds a threshold value at a certain node, a new alternative routing path is chosen according to burst priority and location of burst generation, which enables the contending bursts to detour around the congested link. Moreover, for reducing the effect of sending bursts on the primary path due to the alternative path, we also apply a minimum path-cost based routing on link-cost concept. Our simulation results show that proposed scheme improves the network performance in terms of burst loss probability and throughput by comparing with conventional one.

\* 국무조정실 심사평가2심의관실 (lhj9238@opc.go.kr), \*\*전북대학교 정보통신학과 차세대통신망연구실(click3535@chonbuk.ac.kr)

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

논문번호 : KICS2004-06-046, 접수일자 : 2004년 6월 19일

※ 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광 인터넷연구센터(OIRC) 프로젝트 지원으로 이루어졌습니다

## I. 서론

최근 인터넷 사용의 폭발적인 증가로 데이터 트래픽은 매 6개월마다 2배씩 증가되고 있으며 이러한 경향은 더욱더 가속화될 전망이다 또한 새로운 세기의 시작과 더불어 전 세계의 인터넷 트래픽은 전화를 통한 음성 정보량을 초과하고 있으며 현재의 추세로 볼 때 이것은 영상 및 데이터 전송 등에 의한 서비스의 증가로 2010년대에는 현재의 100배 이상으로 증가될 전망이다 따라서 차세대 인터넷은 폭주하는 인터넷 트래픽을 감싸고 높은 품질로 제공할 수 있어야 한다 최근 이러한 통신망 환경 변화에 대응하기 위하여 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광소자 기술을 이용한 광 인터넷 구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1,2</sup>.

이러한 광 인터넷을 위한 최근의 교환 기술은 OPS(Optical Packet Switching)와 OCS (Optical Circuit Switching) 그리고 OBS (Optical Burst Switching) 기술로 분류된다. OCS는 파장 라우팅 기반의 광 통신망에서 대용량, 고속 DWDM 채널을 간단하게 유지하고 관리할 수 있는 장점을 갖는다 그러나 동적으로 변하는 IP트래픽의 특성을 적절히 대응할 수 없어 자원 이용률이 낮은 문제점을 갖는다. 반면에 고정 길이의 패킷을 이용한 OPS 방식은 패킷의 동기화에 의한 통계적 다중화가 가능하여 광 인터넷을 위한 최적의 방식으로 평가되고 있다 그러나 현재의 광소자 기술로 광 패킷의 동기화와 광메모리 및 버퍼에 대한 기술의 미성숙 그리고 전 광영역에서 광 신호를 모두 처리해야하는 문제로 인하여 실현 불가능한 상황이다 반면, OBS 방식은 이러한 OCS와 OPS 방식의 장점만을 결합하여 제시되었으며 광 인터넷 구축을 위한 현실적인 대안으로 인식되고 있다<sup>3,4</sup>.

그림 1은 OBS 망의 핵심 기술을 보여주고 있다 이와 같이 OBS 방식은 IP 도메인에서 입력된 여러 개의 IP 패킷을 모아 IER (Ingress Edge Router)에서 버스트 단위 데이터를 생성하여 코어 망에 전송하며 데이터 버스트 (Burst Data Frame; BDF)에 해당하는 제어 패킷 (Burst Control Packet; BCP)을 분리된 채널을 통하여 BCP를 해당 BDF보다 offset 시간 이전에 목적지 노드로 전송하여 offset 시간 후에 도착하는 BDF에 대한 자원을 미리 예약하고 전송하는 단방향 방식이다 그러므로 버스트는 전송 과정에서 광전변환을 거치지 않고 투명성을 가지고

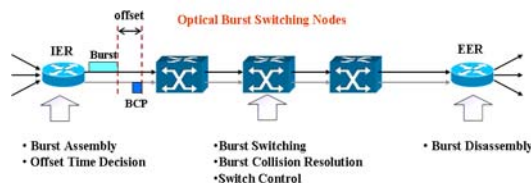


그림 1. 광 버스트 스위칭 망

목적지에 도달할 수 있게 하는 특징을 갖는다.

그러나 OBS 망은 단방향 자원 예약 방식을 운용함으로 인하여 코어 노드에서 버스트 간의 채널 예약을 위한 버스트 경합이 빈번히 발생하게 된다 특히 OBS 망에서 트래픽의 균등 분포를 고려하지 않은 최단 거리 홉 수 기반의 근원지 라우팅 방식을 적용하였을 경우 특정 링크에 트래픽이 집중되는 현상이 발생한다. 따라서 채널 예약을 위한 버스트 간의 빈번한 경합으로 버스트 손실이 발생하게 되어 QoS (Quality of Service)에 심각한 저하를 초래하게 된다.

이와 같은 버스트 경합에 따른 버스트 손실 최소화를 위한 해결 방안으로는 파장 변환기 사용, FDL (Fiber Delay Line)을 통한 지연, 그리고 우회 경로 기법들이 있다. 그러나 이러한 기법들은 버스트 충돌 발생을 미리 예방하는 기법이 아닌 버스트 충돌 발생에 대한 반응적인 해결 방안들이며 노드내의 국한된 정보만을 바탕으로 하는 수동적인 특징을 갖는다. 또한 하드웨어 구성에 있어서 매우 높은 복잡성, 그리고 비용 측면에서 매우 고가의 장비라는 문제점들을 가지고 있다<sup>8-10</sup>.

이에 본 논문에서는 버스트 경합으로 인한 버스트 손실 최소화와 망 자원의 이용률을 극대화시키기 위한 해결 방안으로 최소 경로비용 기반의 동적 경로 배정 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 코어 노드에 입력되는 버스트들에 대하여 출력 포트 단위로 버스트 손실을 모니터링한다 만약 버스트 손실이 QoS 기준에 따라 미리 설정한 임계값을 초과할 경우에는 상향 노드에 메시지를 전송하여 버스트 우선순위와 버스트가 생성된 근원지 정보에 따라 동적으로 경로를 재설정하는 기법이다 이와 같은 경로 재설정은 코어 망에서 기존 트래픽 흐름에 영향을 최소화하기 위하여 링크비용을 고려한 최소 경로비용을 기반으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다 2장에서는 OBS의 개요에 대해 살펴보고 2장에서는 QoS 제공을 위한 일반적인 경로 배정기법을 분석하고 3장은

OBS 망에서 버스트 손실 최소화를 위해 최소 경로 비용 기반의 동적 경로 배정 알고리즘을 설계하였다. 5장에서는 제안된 기법의 성능 평가를 실시하고 평가 결과를 다양한 측면에서 비교 분석하였으며 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논하였다.

## II. OBS의 개요

OBS 방식은 다수의 IP 패킷을 하나의 가변길이 버스트로 생성하여 제어 채널과 분리된 데이터 채널을 통해 전송한다. 그러므로 근원지에서 전송해야 할 버스트가 발생하였을 경우, 이 버스트를 바로 전송하는 것이 아니고 제어 정보 즉 목적지 주소, offset 시간, 파장 정보, 요구 대역폭, 그리고 QoS 정보 등을 담은 BCP를 먼저 보내어 이우에 전송될 BDF에 대한 채널을 예약한다. 이때 BCP에 대응하는 BDF는 일정한 offset 시간 동안 전기적인 버퍼에 저장되어 대기한 후 전송된다. 그림 2는 offset 시간에 따른 버스트 전송과정을 보여주고 있다.

먼저 그림 2(a)에서는 BCP를 전송한 후 수신 측의 승인을 기다리지 않고 offset 시간 후에 BDF를 전송하는 단 방향 예약 방식을 보여주고 있으며 offset 시간을  $T$ 로 표시하면  $T$ 값은 수신 측까지의 노드 수  $H$ 와 중간 노드에서의 BCP 처리 시간  $\delta$ 에 의해 결정되고 버스트가 중간 노드에서 지연 없이 전송되기 위해서  $T \geq H \times \delta$ 을 만족해야 한다. 그러므로 그림 2(a)에서는  $T \geq 3 \times \delta$ 로 결정되며 BCP가 첫 번째 중간 노드에 도착하였을 때 버스트와 시간 간격은  $T$ 이며 노드에서 처리되어 다음 노드로 전송될 때는  $\delta$ 만큼 감소되어 전송된다. 그림 2(b)는 임의의 노드  $i$ 에서 시간  $t_s$ 에 BCP가 도착하고 offset 시간  $T(i)$ 가 지난 후  $t_a$ 에 버스트가 도착하는 것을 나타낸다. BCP는 버스트가 도착하기 전

에 노드  $i$ 에서 버스트가 전송될 채널을 예약한다. 또한 채널 이용률을 높이기 위해서 채널 예약에 대한 스케줄링이 끝나는 시점이 아닌 버스트의 도착 시간  $t_s$ 부터 버스트의 전송이 종료되는  $t_s + l$ 까지 예약하는 지연 예약 방식을 사용한다. 그러므로 각 중간 노드가 BCP를 처리하는 동안 BDF 저장을 위해 버퍼를 사용하지 않기 때문에 BDF는 광 계층에서 광전변환 없이 cut-through 방식으로 데이터의 투명성을 유지하면서 전송된다<sup>[5-7]</sup>.

## III. 경로배정 방식

최근 다양한 QoS 요구 조건과 효과적인 자원 사용 등을 고려한 Unicast/Multicast 기반의 QoS 제공 경로배정 기법들이 제안 되어지고 있다. 전체적으로 이러한 경로 배정 기법들은 망 상태 정보 수집 및 유지 방법과 적절한 경로배정 방법에 따라 크게 근원지 경로배정 기법 (Source Routing), 분산 경로배정 (Distributed Routing) 기법 그리고 계층적 경로배정 기법 (Hierarchical Routing) 세 개의 영역으로 구분 할 수 있다. 근원지 경로배정 기법은 망에 속해 있는 모든 노드들은 망 상태 정보와 모든 링크의 상태 정보를 항상 유지하고 있으며 이 정보를 기반으로 근원지 노드에서 목적지까지의 적절한 경로를 선택하는 기법이다. 분산 경로배정 기법은 모든 노드에서 분산적인 경로 계산 방식에 의해 근원지 노드와 목적 노드 사이의 경로를 중간 노드에서 분산적으로 계산하여 경로를 선택하는 기법이다. 제어 메시지들은 노드들 사이에서 교환 되며 수집된 망 상태정보는 각 노드에서 유지되고 경로배정 선택에 이용된다. 대부분의 분산 경로 배정 기법은 전체 링크 상태 정보를 거리 벡터의 형태로 유지 및 관리하기 위해 거리 벡터 프로토콜 (Distance vector protocol)를 필요로 한다. 이런 거리 벡터 정보를 기반으로 Hop-by-Hop 형태로의 경로배정이 이루어진다. 마지막으로 계층적 경로배정 기법은 여러 개의 노드를 하나의 그룹으로 집단화시키고 여러 개의 그룹을 하나의 큰 단위의 형태로 다중 계층화하여 망 상태 정보를 단순화 시켜 망 상태 정보의 수집과 경로 배정을 용이 하게 하는 방법이다. 각 그룹에 속해 있는 노드들은 같은 상태 정보를 유지하고 있으며 그룹에서 다른 그룹과의 연결을 제공하는 노드를 통해 전체 망 상태 정보를 주고받으며 이 정보를 통하여 다른 그룹의 경로를

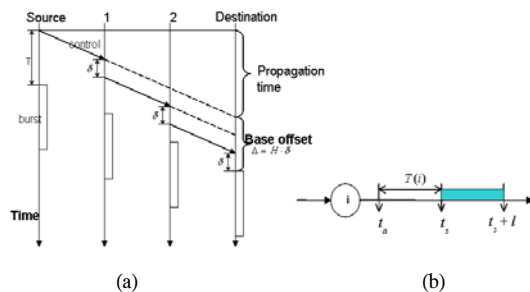


그림 2. Offset 시간

선택하여 해당 그룹의 목적지 노드에 데이터를 전송하게 된다<sup>12)</sup>.

OBS 망은 일반적으로 근원지 노드에서 모든 경로를 선택하는 근원지 경로 배정 기법과 유사한 특성을 가지고 있으며 분산 경로배정 기법은 OPS와 비슷한 경로배정을 수행한다. 근원지 경로배정 기법은 개념적으로는 매우 단순하고 실행 측정, 모니터링, 디버그 그리고 업그레이드가 쉽다는 장점을 가지고 있다. 반면에 네트워크 파라미터(bandwidth, delay 등)의 동적인 변화에 따라 망 상태 정보들을 빈번하게 모든 노드에 전송 하고 새로운 정보에 대하여 갱신 작업을 수행하면 각 노드들에게 큰 부하를 주게 된다. 따라서 전역 망 상태 정보 수집 방식에 따른 QoS를 고려한 경로배정 기법은 최적의 경로를 찾는 데 어려움이 따르고 이로 인해 망 성능 저하를 야기하게 된다. 특히 OBS망에서 기본적으로 운용되는 최단 거리 홉 수를 기반으로 하는 근원지 경로배정 기법을 적용하였을 경우 특정 링크에 트래픽이 집중되는 현상이 발생하게 된다. 그러므로 동적으로 급변하는 트래픽 환경 하에서 망 상태 정보를 수집하여 버스트 손실에 따른 적절한 새로운 경로를 배정하기 어려우며 트래픽 QoS에 심각한 저하를 초래하게 된다. 따라서 버스트 경쟁으로 인한 버스트 손실 최소화화 와 망 자원의 이용률을 극대화시키기 위한 해결 방안은 기존 경로 설정 단계에서 버스트 경쟁 방식을 위하여 망 내 트래픽의 균등 분배를 고려하여야한다. 이를 위해 특정 링크에 트래픽이 집중되는 현상을 방지하고 인접 노드들로부터 입력되는 버스트 손실에 대한 모니터링을 통하여 특정 노드로부터 유입되는 트래픽에 대해서만 새로운 경로를 재설정하여 동적으로 경로를 배정하는 형태의 기법이 연구되어야 한다 또한, QoS 제공을 위한 다양한 파라미터와 망 상태 정보 수집 방법 그리고 OBS 망에 적합한 형태의 경로 배정 기법에 대한 연구가 요구 되어지고 있다.

#### IV. 최소 경로비용 기반 동적 경로배정 알고리즘 설계

OBS 방식에서는 여러 개의 IP 패킷을 하나의 버스트 단위로 생성한 다음 버스트에 상응하는 BCP를 생성하여 offset 시간 후에 전송되는 버스트의 채널 예약을 위해 먼저 전송하는 특징을 갖는다. 이와 같은 특성으로 인하여 BCP들은 망에서 버스트들이 망 자원을 사용할 수 있도록 채널 예약을 위

한 경합이 발생하게 되며 경쟁에서 실패한 BCP는 손실이 발생하게 된다. 이와 같은 현상은 일반적으로 OBS망에서 운용되어지는 최단 거리 홉을 기반으로 하는 근원지 경로배정 기법을 사용하였을 경우 특정 링크에 트래픽이 집중됨으로써 버스트 손실이 심각하게 발생된다. 그러므로 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안으로는 망에서 버스트 손실 발생에 대한 손실 정보를 실시간으로 수집하고 이를 기반으로 근원지 노드에서 버스트 경합이 빈번하게 발생하는 지역을 회피하여 새로운 대체 경로를 선택하여야 한다. 그러나 각 노드에서 모든 노드에 대한 망 상태 정보를 관리하고 처리하기에는 많은 오버헤드가 따른다. 또한 노드에서 수집한 정보가 가장 멀리 떨어진 노드에 대한 상태 정보인 경우 전송 지연으로 인해 정보에 대한 신뢰성 문제도 발생하게 되어 오히려 전체 망 성능을 심각하게 저하시킬 수가 있다<sup>13-14)</sup>.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 최소 경로비용 기반의 동적 경로 설정 기법 (Minimum Path-Cost based Dynamic Routing; MPCDR)을 제안하였다. 제안된 기법은 코어 망의 각 노드에서 출력 포트 단위별로 우선순위에 따른 버스트 손실만을 모니터링한다. 만약 버스트 손실이 미리 설정한 임계값을 초과할 경우 경로 변경 메시지를 생성하여 버스트 손실이 임계값을 초과한 상향 노드에만 메시지를 전송한다. 이와 같이 동적으로 경로 변경을 위해 필요한 정보는 노드에 연결된 인접 노드의 버스트 손실 정보인 최소 지역정보 (Minimum Local State Information; MLSI)만을 활용함으로써 메시지 오버헤드와 신뢰성에 관한 문제를 해결하였다. 또한 상향 노드에서 경로 변경으로 인한 기존 트래픽 흐름에 영향을 최소화하기 위하여 링크 비용을 고려한 최소 경로비용 기반의 경로 설정 기법을 기반으로 하고 있다.

#### 4.1 동적 경로배정 기법 설계

##### 4.1.1 망 상태 모니터링 및 MLSI 메시지 전송 기법

OBS 망에서 버스트 경합으로 인해 발생하는 버스트 손실을 방지하기 위한 방안으로는 트래픽이 집중되는 경로를 회피하여 버스트를 전송하여야 하며 이를 위해서는 현재 망 상태 정보를 수집하여 결정하여야 한다<sup>13)</sup>. 이를 위해 본 논문에서는 코어 노드에 입력되는 특정 포트의 버스트 손실이 미리 설정한 임계값을 초과할 경우 해당 포트를 이용하는 상향 노드에 MLSI 메시지를 전송한다. 따라서

망 내에 있는 노드들은 인접 노드로 부터 MLSI 메시지를 수신할 경우 새로운 대체경로를 설정하여 버스트를 전송한다. 이와 같이 모니터링 노드에서 수집한 망 상태 정보는 망 내에 있는 모든 노드에 전송되는 것이 아니라 버스트 손실이 임계값을 초과한 특정 상향 노드에만 전송되기 때문에 MLSI 메시지 전송을 위한 오버헤드 문제는 발생하지 않는다. 또한, MLSI 메시지 전송 지연에 따른 신뢰성을 보장할 수 있는 장점들을 가지고 있다 따라서 망 내에서 버스트 우선순위에 따른 버스트 손실률을 모니터링할 수 있기 때문에 각각의 서비스 품질에 맞는 버스트 손실률을 제공할 수 있다

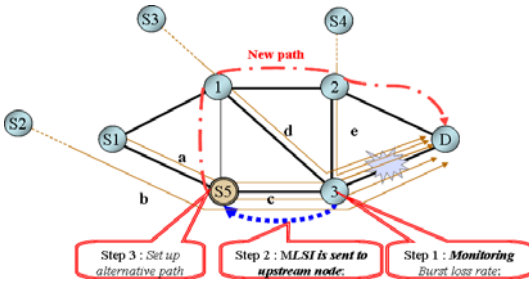


그림 3. 망 상태 모니터링을 통한 MLSI 메시지 전송기법

본 논문에서 제안한 망 상태 정보 수집 방법은 그림 3과 같다. OBS 망에서 버스트는 Offset 시간의 크기에 따라 우선순위를 N개의 클래스로 구분할 수 있지만 본 논문에서는 버스트를 우선순위가 높은 클래스와 낮은 클래스를 갖는 것으로 가정한다. 그림 3에서와 같이 노드 S5를 경유하는 버스트들이 노드 3과 노드 D 사이의 링크에서 버스트 경합이 빈번하여 노드 3에서 클래스에 따른 버스트의 손실률을 모니터링하고 있다가 특정 임계값을 초과하는 경우 MLSI 메시지를 상향노드인 S5에 전송한다. 이때 노드 3에서는 MLSI 메시지를 인접 노드인 1, 2, S5에 모두 전송하지 않고 버스트 손실이 초과한 노드 S5에만 MLSI 메시지를 전송한다. MLSI 메시지를 수신한 노드 S5에서는 버스트의 우선순위와 버스트 생성 근원지 정보를 이용하여 새로운 대체 경로를 설정한다.

본 논문에서 정의한 MLSI 메시지 종류는 다음과 같다.

**Type1** : 높은 우선순위 버스트 손실이 높은 우선순위 임계값을 첫 번째로 초과할 경우

**Type2** : 높은 우선순위 버스트 손실이 높은 우선순위

임계값을 연속하여 초과할 경우

**Type3** : 전체 버스트 손실이 전체 임계값을 첫 번째로 초과할 경우

**Type4** : 전체 버스트 손실이 전체 임계값을 연속하여 초과할 경우

표 1. 변수 정의

변수	정의
$bl_p$	특정 포트 p를 통해 입력된 전체 버스트 손실 수
$itb_p$	특정 포트 P를 통해 입력된 전체 버스트 수
$tblr_p$	특정 포트 p를 통해 입력된 버스트의 전체 손실률
$hbl_p$	특정 포트 p를 통해 입력된 높은 우선순위 버스트 손실 수
$ithb_p$	특정 포트 p를 통해 입력된 높은 우선순위 버스트 수
$hblr_p$	특정 포트 p를 통해 입력된 높은 우선순위 버스트 손실률

표 1은 모니터링 노드에서 임계값 결정을 위한 변수 정의이며 식 (1)은 메시지 종류를 결정하기 위한 식이다. 이 식에서  $tblr_p$ 과  $hblr_p$ 는 특정 포트로부터 유입되는 모든 버스트에 대한 손실률과 우선순위가 높은 버스트에 대한 모니터링 값이며 특정 포트의 구분은 유입되는 버스트에 해당하는 BCP 정보를 버스트가 도착하기 전에 미리 중간 노드에서 분석하여 근원지 노드에서 목적지까지의 정보 및 버스트의 우선순위 등에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이에 따라서 상향 노드의 정보를 통하여 트래픽 입력 포트를 구별하며 해당 노드로 유입되는 버스트의 클래스를 구별 할 수 있다 그리고 특정 포트로의 전체 손실률과 높은 우선순위를 갖는 버스트에 해당하는 손실률을 분석할 수 있다

$$tblr_p = \frac{bl_p}{itb_p}, hblr_p = \frac{hbl_p}{ithb_p} \quad (1)$$

그림 3과 같이 모니터링 노드에서는 버스트 우선순위에 따라 미리 설정한 임계값을 기준으로 버스트 손실을 모니터링 한다. 만약 버스트 손실률이 임계값인  $th_t$ 나  $th_h$ 을 초과할 경우에는 MLSI 메시지 Type을 결정하고 상향 노드에 MLSI 메시지를 전송하여 해당 출력 포트를 이용하는 버스트들에 대해 대체 경로를 설정한다. 본 논문에서 제안한 망 상태 모니터링 및 MLSI 메시지 전송 기법에 대한 알고리즘은 그림 4와 같다. 망 내의 모든 노드는 버

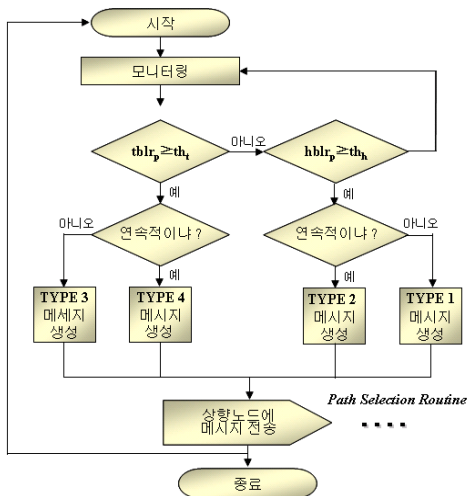


그림 4. MLSI 메시지 type 결정 알고리즘

스트 손실을 입력 포트 단위로  $tblr_p$  과  $hblr_p$  에 대한 모니터링을 수행한다. 모니터링은 버스트 손실이 특정 임계값인  $th_t$  나  $th_h$  을 초과할 경우 버스트 우선순위와 버스트 손실이 임계값을 초과하는 발생 횟수에 따라 MLSI type 을 결정하게 된다.

먼저 Type1은 모니터링 노드에서  $hbl_p$  이  $th_h$  을 초과할 때 발생하며 모니터링 노드에서는 Type1 메시지를 생성하여 상향 노드에 메시지를 전송한다. Type2는 모니터링 노드에서 일정 시간이 지난 후에도 계속하여  $hbl_p$  이  $th_h$  을 초과할 때 발생되며 모니터링 노드에서는 Type2 메시지를 생성하여 상향 노드에 전송한다. Type3은 모니터링 노드에서  $tblr_p$  이  $th_t$  을 초과할 때 발생되며 모니터링 노드에서는 Type3 메시지를 생성하여 상향 노드에 메시지를 전송한다. Type4는 모니터링 노드에서 일정 시간이 지난 후에도 계속하여  $tblr_p$  이  $th_t$  을 초과할 때 발생되며 모니터링 노드에서는 Type4 메시지를 생성하여 상향 노드에 전송한다.

이와 같이 본 논문에서 제안된 기법은 버스트 손실이 임계값을 초과할 경우 우선순위와 버스트가 생성된 근원지 위치에 따라 메시지를 생성한다. 그러나 임계값  $th_t$  와  $th_h$  을 하나의 고정된 값으로 설정할 경우 버스트 손실률에 대한 모니터링 결과는 버스트 손실이 임계값을 초과하는 경우와 초과하지 않은 경우가 연속적으로 반복하게 되어 MLSI 메시지 오버헤드 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 5와 같이  $th_t$  에 대한 임계값은 상한 값  $th_{t-upper}$  와

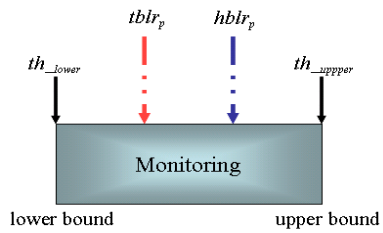


그림 5. 임계값 결정 기법

$th_{t-lower}$  로 설정하였고  $th_h$  에 대한 임계값은  $th_{h-upper}$  와  $th_{h-lower}$  로 설정하여 이러한 현상을 방지하였다.

#### 4.1.2 경로배정 기법

모니터링 노드에서 버스트 손실이 임계값을 초과할 경우 MLSI 메시지를 생성하여 버스트 손실이 초과된 입력 포트의 상향 노드에 MLSI 메시지를 전송한다. MLSI 메시지를 수신한 상향 노드에서는 버스트 손실을 방지하기 위하여 메시지 Type에 따라 경로를 재설정 한다. 그림 6은 상향 노드에서 수신한 MLSI 메시지 Type에 따라 버스트가 처리되는 과정을 보여주는 흐름도이다. 먼저 Type1을 수신한 상향 노드에서는 상향 노드가 근원지인 높은 우선순위에 대한 버스트들에 대해 대체 경로를 설정한다. Type2를 수신한 상향 노드에서는 상향 노드가 근원지인 높은 우선순위 버스트와 상향 노드를 경유하는 높은 우선순위 버스트에 대해 대체 경로를 설정한다. Type3을 수신한 상향 노드에서는 높은 우선순위 버스트와 상향 노드가 근원지인 낮은 우선순위 버스트에 대해 대체 경로를 설정한다. Type4를 수신한 상향 노드에서는 모니터링 노드를 경유하는 모든 버스트에 대해 대체 경로를 설정한다.

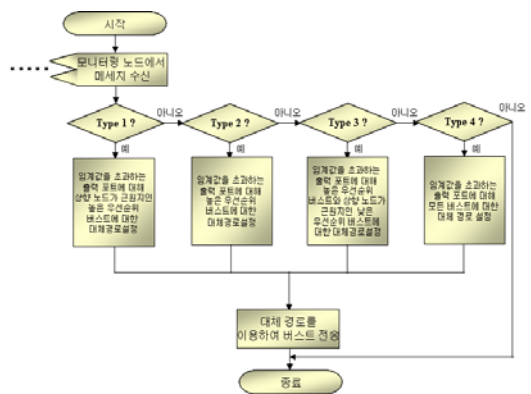


그림 6. 경로 배정 기법

이와 같이 본 논문에서 제안된 기법은 버스트 손실이 임계값을 초과할 경우 우선순위와 버스트가 생성된 근원지 위치에 따라 단계적으로 경로를 재설정함으로써 버스트의 손실을 줄일 수 있으며 특정 출력 포트에 해당하는 상향 노드의 버스트만을 선택적으로 경로 변경하기 때문에 기존 경로 트래픽에 대한 영향을 최소화 할 수 있다

4.2 최소 경로비용 기반의 경로배정 기법

망 상태 모니터링을 통해 MLSI 메시지를 수신한 상향 노드에서는 MLSI 메시지 종류에 따라 대체 경로를 설정하여야 한다. 가장 일반적인 대체 경로 배정 기법은 Dijkstra's algorithm을 이용한 최단 거리 홉 수 기반의 경로배정 방식을 이용하고 있다 그러나 최단 홉 수 기반의 경로배정 기법은 특정 링크에 트래픽이 집중되는 현상을 가져와 버스트 손실 증가 및 망 자원 이용률 저하를 초래한다 따라서 망 내 트래픽의 균등 분배를 통해 망 자원의 이용률을 극대화 시키고 버스트 손실을 줄일 수 있는 새로운 경로설정 방안이 요구된다 이를 위해 본 논문에서는 망 내 트래픽의 균등 분포를 위하여 link-cost 개념을 고려한 최소 경로비용 기반의 경로 배정 알고리즘을 제안한다

4.2.1 링크비용 함수와 경로비용

OBS 망에서 버스트 손실을 방지하고 트래픽을 효과적으로 분산시키며 망 자원 이용률을 고려한 최소 경로비용 기반의 경로 설정 알고리즘을 제안하기 위하여 본 논문에서는 link-degree 개념과 링크 비용 (link-cost) 함수를 정의한다 먼저 그림 7에서와 같이 노드 i와 노드 j 사이의 링크 l<sub>ij</sub>의 트래픽 입력 부하를 link-degree δ(l<sub>ij</sub>)로 정의하고 δ(l<sub>ij</sub>)는 링크 l<sub>ij</sub>을 통과하는 입력 부하를 의미한다

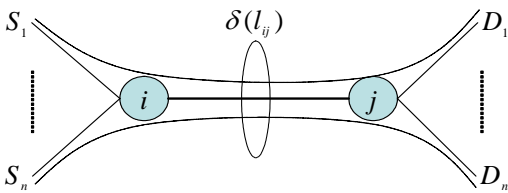


그림 7. link-degree 개념

$$\delta(l_{ij}) = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N \rho_{sd}^{ij}, \quad \rho_{sd}^{ij} = \begin{cases} 1 & l_{ij} \in P_{sd} \\ 0 & l_{ij} \notin P_{sd} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 ρ<sub>sd</sub><sup>ij</sup>는 근원지와 목적지 경로 쌍, P<sub>sd</sub>에 의해 야기되는 트래픽이 링크 l<sub>ij</sub>을 통과하는 트래픽 부하를 나타낸다. 여기에서 P<sub>sd</sub>가 링크 l<sub>ij</sub>을 통과할 경우에는 1의 값을 통과하지 않을 경우에는 0의 값을 가지므로 모든 경로 쌍에 대한 link-degree δ(l<sub>ij</sub>)는 식 (2)과 같이 구할 수 있다<sup>15)</sup>. 그러나 식 (2)와 같은 경우 근원지에서 출발한 버스트들이 목적지에 도착할 때까지의 버스트 손실에 해당하는 부하를 고려하지 않아 링크 l<sub>ij</sub>에 부과되는 정확한 트래픽 부하를 고려하지 못하였다

따라서 버스트 손실을 고려한 link-degree δ(l<sub>ij</sub>)을 구하기 위하여 버스트 손실 식을 정의한다 먼저 출력링크의 파장수가 k개고 버스트를 클래스로 구분하지 않으며 파장 변환이 가능한 OBS 노드에서의 버스트 손실률은 다음과 같이 M/M/k/k로 모델링되는 Erlang B formula로 구할 수 있다

$$B(\rho, k) = \frac{1/k! \cdot \rho^k}{\sum_{m=0}^k 1/m! \cdot \rho^m} = \alpha \quad (3)$$

여기서 ρ = ρ · k이고, 식 (3)은 전체 입력 부하를 고려했을 때 결정되는 버스트 손실률이 된다. 여기에서 B(ρ, k)는 버스트가 손실될 확률 α와 같으므로 버스트의 성공 확률은 p<sub>succ</sub> = (1 - α)이다. 그러므로 그림 8과 같이 버스트가 근원지 노드 s를 출발하여 h<sub>si</sub> 홉을 거친 다음 중간 노드 i에 버스트가 도착할 수 있는 성공 확률은 p<sub>succ</sub> = (1 - α)<sup>h<sub>si</sub></sup>이 된다. 따라서 목적지 노드 d에서 입력 부하는 다음과 같이 계산할 수 있다

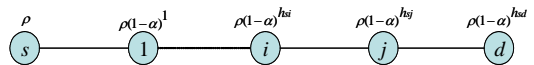


그림 8. 버스트 손실을 고려한 입력 부하

$$\rho_d = \rho \cdot (1 - \alpha)^{h_{sd}} \quad (4)$$

이와 같이 식 (4)을 이용하면 근원지 노드 s에서 전체 입력 부하 ρ을 가지고 출발하였지만 중간 노드에서의 버스트 손실에 의해 목적지 노드 d에 도착하는 트래픽 입력 부하 ρ<sub>d</sub>는 식 (4)과 같이 가지므로 link-degree δ(l<sub>ij</sub>)을 계산하기 위해서는 이와 같은 버스트 손실을 고려하여야 한다

$$P(p_{ij}^{sd}) = \begin{cases} (1-\alpha)^{h_{si}} & l_{ij} \in P_{sd} \\ 0 & l_{ij} \notin P_{sd} \end{cases} \quad (5)$$

$h_{si}$  : 주경로 상의 근원지  $s$ 에서 노드  $i$ 까지 홉 수  
 $\alpha$  : 주경로 상의 버스트 손실 확률 ( $0 < \alpha < 1$ )

그러므로 *link-degree*  $\delta(l_{ij})$ 는 다음 식 (6)과 같이 정의할 수 있다

$$\delta(l_{ij}) = \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N P(p_{ij}^{sd}) \quad i, j \in P_{sd} \quad (6)$$

OBS 망에서는 하나의 링크에서 가질 수 있는 채널의 수가 제한되어 있기 때문에 버스트 손실률을 줄이기 위해서는 트래픽 균등 분배를 가지는 적절한 경로가 설정되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 *link-degree*를 기반으로 하는 *link cost* 함수를 고려하였다.

제안된 *link cost*  $lc_{ij}$ 는 *link-degree*와 홉 수를 고려하기 위하여 수식 (7)과 같이 정의할 수 있다

$$lc_{ij} = W_h f(h) + W_l g(l) \quad (7)$$

여기에서  $W_h, W_l$ 은 홉 수를 고려하기 위한 함수  $f(h)$ 와 *link-degree*를 고려하기 위한 함수  $g(l)$ 의 가중치를 의미한다. 본 논문에서는 홉 함수  $f(h)$ 에 대해서는 고정된 값을 적용하기 위하여  $f(h) = 1$ 을 적용하고 *link-degree* 함수  $g(l)$ 에 대해서는 최대값의 비율로 적용하기 위하여  $g(l) = \delta(l_{ij})/\delta_{\max}$ 와 같이 적용하였다. 그러므로 *link cost* 함수,  $lc_{ij}$ 은 식 (8)과 같이 정의된다.

$$lc_{ij} = W_h 1 + W_l (\delta(l_{ij})/\delta_{\max}) \quad (8)$$

여기에서 가중치 함수가  $W_h > W_l$ 인 경우에는 최단 거리 홉 수에 비중을 두어 경로를 설정하는 것이며 반대의 경우에는 최단 거리 홉 수 보다는 *link-degree* 함수에 비중을 두어 경로를 설정하게 된다.

이와 같은 정의된  $lc_{ij}$  함수를 이용하여 경로 쌍  $(s, d)$ 에 대한 경로 설정을 위해 *path cost*  $pc_{sd}$ 을 식 (9)과 같이 정의하였다.

$$pc_{sd} = \sum_{i,j \in V} lc_{ij} \quad i, j \in P_{sd} \quad (9)$$

**Minimum Path-cost based Path Selection Algorithm**

Input :  $PR$ ,  $PR$  is the set of primary routes.  
 Output :  $AR$ ,  $AR$  is the set of alternative routes.

Step 1:  $\delta(l_{ij}) = 0, AR = \emptyset, count = 0$   
 $N$  is the number of primary path pair  $(s, d)$ .

Step 2: Run Dijkstra's shortest path algorithm to get  $A_{sd}^h, h \in \{1, 2, \dots, Maxhop\}$ , set  $h = 1$

Step 3: For  $l_{ij}$ , calculate  $lc_{ij}$  using equation in (4.9),  $l_{ij} \in E_{sd}, E_{sd}$  is the set of links for  $(s, d)$  pair.

Step 4:  $pc_{sd}[A_{sd}^h] = pc_{sd}^h$ , remove  $(s, d)$  from  $P_{sd}^h, h = h + 1$ , If  $h > Maxhop$ , then goto Step 5, otherwise goto Step 3.

Step 5:  $A_{sd} = Min(pc_{sd}[A_{sd}^h])$

Step 6:  $AR = AR \cup A_{sd}, count = count + 1$ , update  $\delta(l_{ij})$  using equations in (4.7).

Step 7: if  $count > N$  then goto Step 8, otherwise goto Step 3.

Step 8: Return  $AR$

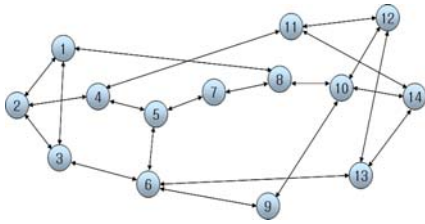
#### 4.2.2 최소 경로비용 기반의 경로배정 알고리즘 설계

본 논문에서는 대체 경로설정 시 망 내 트래픽의 균등 배분을 통해 버스트 손실을 줄이고 망 자원 활용의 효율성을 증대시킬 수 있도록 하기 위하여 앞 절에서 정의한 *path cost* 개념을 기반으로 하는 최소 경로비용 기반의 경로배정 알고리즘을 제안한다. 먼저 제안된 알고리즘은 망 형태에 따른 경로 테이블을 입력으로 하여 최소 경로비용 기반의 대체 경로를 설정한다. Step1, step2는 경로 쌍  $(s, d)$ 에 대해 *Maxhop* 범위에서 가능한 모든 대체 경로를 계산하고 step3, step4에서는 경로 쌍  $(s, d)$ 에 해당하는 링크  $l_{ij}$ 에 링크비용  $lc_{ij}$ 을 이용하여 경로비용  $pc_{sd}$ 을 계산하고 step5, step6, step7, step8을 통해 최소 경로비용 기반의 경로 설정 테이블을 결정한다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 버스트 클래스와 버스트 근원지 위치에 따라 트래픽 균등 배분을 고려하여 단계적으로 버스트에 대한 대체 경로를 설정함으로써 버스트 손실을 줄일 수 있으며 기존 망 내 트래픽에 대한 영향도 최소화할 수 있다.

### V. 성능 평가

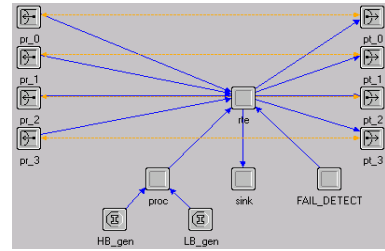
본 논문에서 제안한 MPCDR 알고리즘의 성능 평가를 수행하기 위하여 OPNET 환경에서 그림





(a) NSF 네트워크 모델

그림 9. OBS 기반의 NSF 모델과 노드 모델



(b) 노드 모델

9(a)와 같이 NSF 망 모델을 이용하였다. 그림 9(b)는 NSF 망의 노드 모델을 보여주고 있다. 그림 9 OBS 기반의 NSF 모델과 노드 모델 각각의 프로세스 기능을 살펴보면 pr/pt에서는 인접 노드로 BCP와 BDF의 전송과 수신을 담당하며 gen 프로세스는 지수분포의 버스트를 생성하며 높은 우선순위 버스트와 낮은 우선순위 버스트를 생성한다. proc 프로세스에서는 gen 프로세스에서 전송된 버스트에 대한 BCP를 생성하여 rte에 전송한다. rte 프로세서는 라우팅과 버스트의 채널 예약을 위하여 LAUC\_VF (Latest Available Unscheduled Channel Void Filling) 기반의 스케줄링 기능을 담당한다. 또한 버스트 처리율을 높이기 위하여 파장 변환기 (Turnable Wavelength Converter; TWC)를 사용하며 각 노드에서 버스트 생성을 위한 버스트 도착률  $\lambda$ 는 식 (10)을 이용하였다.

$$\lambda = \frac{n \cdot H}{\rho \cdot \mu \cdot W \cdot E \cdot 2} \quad (10)$$

표 2는 시뮬레이션 파라미터를 나타내며 버스트 도착률  $\lambda$ 를 결정하기 위해 버스트의 평균 길이는 평균 IP 패킷의 길이 500바이트의 25배와 양방향 링크를 사용하는 것으로 가정하였다. 그리고 시뮬레이션의 단순화를 위하여 우선순위가 높은 버스트와 낮은 버스트만을 고려하여 각각의 입력 부하와 발생 비율에 따른 버스트 손실률, 처리율 그리고 평균 홉 수 관점에서 성능 평가를 수행하였다. 또한 제안한 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 모니터링을 수행하지 않는 최단 홉 기반 경로 설정 기법 (Static Routing; SR)과 모니터링을 수행하고 난 후 최단 거리 홉을 기반으로 하는 동적 경로 설정 기법 (Shortest Dynamic Routing; SDR)과 트래픽 균등 배분을 위한최소 경로비용 기반의 MPCDR 기법을 비교하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

항 목	설정 값
노드의 수 n	14
링크의 수 E	21
데이터 채널수 W	8
평균 버스트 크기 L	100,000bits
추가 offset 시간(HC : LC)	2.5us : 500ms
입력 부하량 $\rho$	0.1 ~ 0.9
$th_{l-upper}, th_{l-lower}$	$2 \times 10^{-5}, 1 \times 10^{-5}$
$th_{h-upper}, th_{h-lower}$	$2 \times 10^{-3}, 1 \times 10^{-3}$
평균 홉 수 H	2.1432

먼저 그림 10과 11은 버스트 우선순위 비율에 따른 버스트 손실률을 나타내고 있다. 그림 10은 높은 우선순위 버스트 (High Priority Burst; HB)와 낮은 우선순위 버스트 (Low Priority Burst; LB)의 비율을 30%와 70%로 하였으며 그림 11은 HB와 LB의 비율을 각각 70%와 30%로 고려한 경우의 버스트 손실률을 보여주고 있다. 그림 10에서 보는 것과 같이 OBS 망에서 HB의 발생 비율이 LB에 비해 낮을 때 SR 기법의 경우 버스트 우선순위 구분을 위해 사용되어지는 extra offset 시간의 영향으로 버스트 손실이 HC에 더 적게 나타난다. 또한 제안된 기법을 사용하였을 때 HB와 LB 모두 SR 기법에 비해 향상된 성능을 나타내고 있다. SDR 기법과 MPCDR 기법을 비교해 보면 입력 부하가 0.4 이상으로 증가하게 되면 MPCDR 기법은 LB 경우 SDR 기법의 버스트 손실을 초과하여 SDR 상태와 유사한 형태를 이루게 된다. 반면에 HC는 전반적으로 매우 낮은 버스트 손실을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 제안된 기법이 우선순위가 높은 버스트에 대하여 보다 안정된 QoS를 제공할 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 새로운 대체 경로를 선택하여 버

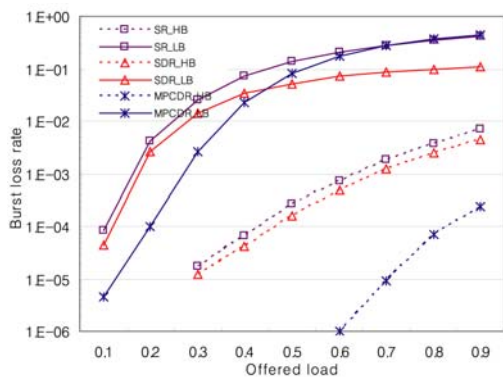


그림 10. 버스트 손실률 (HB(30%):LB(70%))

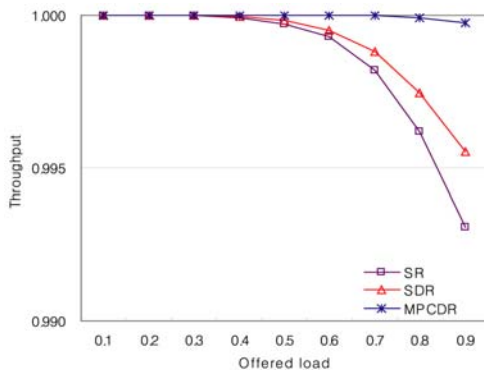


그림 12. HB 처리율 (HB(30%):LB(70%))

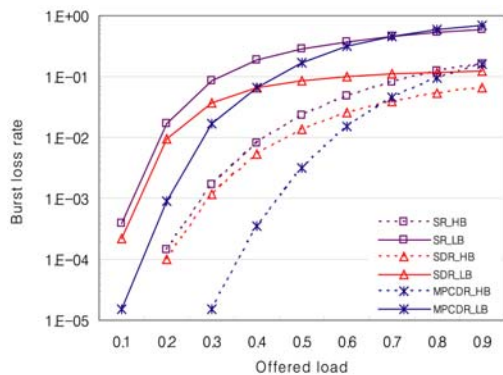


그림 11. 버스트 손실률 (HB(70%):LB(30%))

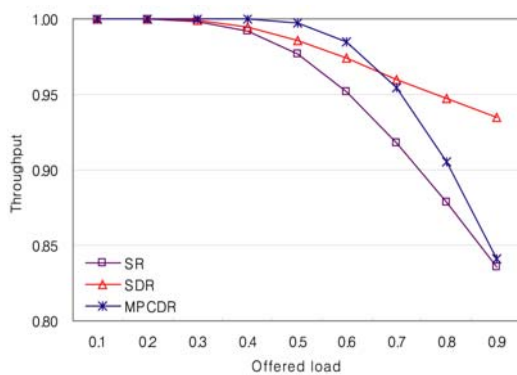


그림 13. HB 처리율 (HB(70%):LB(30%))

스트가 전송 되었을 때 LB에 비해 더 큰 offset 시간을 갖는 HB 버스트가 성공적으로 목적지에 도착하는 것을 알 수 있다 그림 11은 HB와 LB의 발생 비율이 70%와 30% 인 경우로 상대적으로 발생 비율이 높은 HB의 손실이 30% 발생시킨 경우에 비해 보다 큰 손실 결과를 야기하는 것을 알 수 있다. 또한 입력 부하가 0.7 이상으로 증가할 때는 MPCDR의 버스트 손실이 SDR보다 크게 증가함을 보인다. 이는 새로운 경로를 선택하는데 있어서 기본 경로에 비해 더 많은 홉을 거치게 되는 상황에서 상대적으로 발생량이 많은 HB의 동종 및 이종 간 버스트 손실 증가로 인하여 더 많은 손실이 발생하는 것을 알 수 있다 따라서 HB 발생 비율이 낮을수록 버스트 손실률이 낮아짐을 확인 할 수 있다. LB의 경우는 버스트 손실률의 감소가 HB에 비해 상대적으로 매우 적음을 알 수 있다 이는 본 논문에서 제한한 MPCDR 기법이 우선순위가 높은 버스트의 QoS를 보장하는 동시에 전체 적인 버스트 손실을 감소시킴을 알 수 있다

그림 12와 13은 HB와 LB 발생 비율에 따라 HB 관점에서 버스트 처리율을 나타내고 있다 전반적으로 입력 부하가 0.6 미만일 때에는 버스트 처리율은 발생 비율과 상관없이 MPCDR 기법이 다른 기법에 비해 향상된 버스트 처리율을 보이고 있다 하지만 HB 발생 비율이 70%인 경우에는 위의 버스트 손실률 그래프에서 보았듯이 HB 간의 경쟁에 따른 버스트 손실이 급증한다 또한 새로운 경로를 설정함에 있어서 반복적인 버스트 손실이 추가적으로 발생하게 되어 전체적인 HB 손실이 입력 부하가 0.7 이상으로 증가했을 때는 급격한 처리율의 하락을 나타내고 있다 결과적으로 동일한 우선순위 버스트 간의 충돌 발생이 입력 부하량이 커짐과 동시에 새로운 경로를 선택하고 해당 경로를 따라 전송하는 단계에서 추가적인 HB 손실이 증가하게 되어 전체 망에서 버스트 손실이 커짐에 따라 버스트 처리율 성능이 저하된다

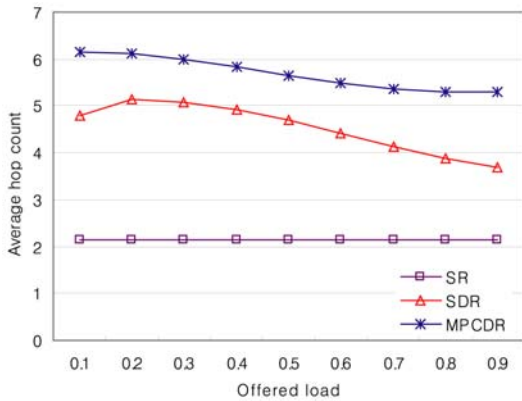


그림 14. 평균 홉 수

그림 14는 제안된 MPCDR 기법을 적용할 때 발생하는 추가적인 평균 홉 수를 나타내는 그래프이다. SR 기법의 경우 입력 부하에 일정 경로만을 선택하여 트래픽을 전송하기 때문에 일정한 평균 홉 수를 갖는다. 반면에 제안된 알고리즘을 적용한 두 기법에서는 SR 기법에 비해 상대적으로 큰 평균 홉 수를 나타냄을 알 수 있다 이는 기존에 일정한 경로 선택을 하는 방식에 비해 제안된 알고리즘은 실시간으로 모니터링 되는 측정값에 따라 발생하는 여러 종류의 MLSI 메시지를 받는 각 해당 노드에서 동적으로 경로를 변경하기 때문에 기존에 갖게 되는 평균 트래픽 전송 홉 수 보다 상당히 큰 평균 홉 수를 보이고 있다 MPCDR 방식이 SDR 보다 전체 상황에서는 더 긴 평균 홉 수를 나타내고 있으며 이는 새로운 경로를 최소 홉 기준으로 찾는 방식에 비해 path cost를 이용한 경로 선택 방식에서 더 많은 선택 가능한 경로와 이에 따른 추가적인 홉 수의 증가를 야기하게 된다

## VI. 결론

OBS 망에서는 제어 패킷과 전송할 버스트를 offset 시간으로 분리하고 서로 다른 채널을 이용하여 버스트를 전송하는 특징을 가지고 있다 그러므로 제어 패킷들은 offset 시간 이전에 망에서 버스트들이 망 자원을 사용할 수 있도록 하기 위하여 다수의 제어 패킷 간에 채널 예약을 위한 경합이 발생한다. 따라서 경합에서 실패한 제어 패킷은 손실이 발생하게 되고 해당 버스트도 손실되게 된다 이와 같은 현상은 근원지에서 목적지까지의 경로 선택이 버스트 균등 분포를 고려하지 않고 단지 최

단거리 홉 수만을 고려하였을 경우 특정 링크에 버스트가 집중됨으로써 버스트 손실이 심각하게 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안이 필요하다.

본 논문에서는 특정 링크의 특정 포트를 모니터링 하여 버스트 손실이 QoS 기준에 맞게 미리 설정한 임계값을 초과할 경우 동적으로 경로를 재설정하는 MPCDR 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 경로 재설정을 통해 전송되는 버스트가 기존의 망 트래픽 흐름에 영향을 최소화하기 위하여 링크비용을 고려한 최소 경로비용 기반의 동적 경로 재설정 기법이다. 또한, 제안된 기법은 인접 노드의 버스트 손실 정보만을 이용하여 경로를 재설정함으로써 망 상태 정보 수집을 위한 메시지 오버헤드와 망 상태 정보 전송 지연에 따른 부정확성 등으로 발생할 수 있는 망의 성능 저하를 방지할 수 있다

제안된 MPCDR 기법의 성능을 평가하기 위하여 버스트를 우선순위에 따라 분류하고 우선순위에 따른 버스트 발생 비율과 입력 부하에 따라 버스트 손실률, 처리율 및 평균 홉 수 관점에서 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가 결과 제안된 기법은 기존의 기법과 비교할 때 평균 홉 수는 증가하지만 버스트 손실율과 처리율에서 측면에서 매우 좋은 성능을 나타내고 QoS를 보장할 수 있었다

향후 연구로는 제안된 알고리즘을 다중 클래스로 분류하고 각 클래스에 따른 QoS를 만족시킬 수 있는 동적 경로배정 기법과 이를 수용할 수 있는 적합한 OBS 노드 구조 설계에 대한 연구가 수행되어야 한다. 일한 형식으로 결론을 작성한다

## 참고 문헌

- [1] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Applications," *IEEE Communications Magazine*, December 1999.
- [2] M. Dueser and P. Bayvel, "Bandwidth Utilisation and Wavelength Re-Use in WDM Optical Burst-Switched Packet Networks," *Proc. IFIP/TC6 5th Working-Conference on Optical Network Design and Modelling (ONDM 2001)*, vol. 1, Vienna, 5 - 7 Feb. 2001
- [3] S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth,

“Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone,” *IEEE Network* Nov/Dec 2000.

[4] T. Battestilli and H. Perros, “An Introduction to Optical Burst Switching,” *IEEE Optical Communications*, Aug. 2003.

[5] V. Vokkarane, J. Jue, “Prioritized Routing and Burst Segmentation for QoS in Optical Burst-Switched Networks,” Proceedings, *Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2002*, Anaheim, CA, March 2002.

[6] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath, S. Bodamer, “Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching,” *AE International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 55, No. 1, 2001.

[7] 소원호, 차윤호, 노선식, 김영천, “광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가” *한국통신학회논문지 제27권 1C호* pp. 1-10, 2002.

[8] C. Gauger, “Dimensioning of FDL Buffers for Optical Burst Switching Nodes,” Proceeding, *Optical Network Design and Modeling (ONDM) 2002*, Torino, Italy, 2002

[9] X. Wang, H. Morikawa, and T. Aoyama, “A Deflection Routing Protocol for Optical Bursts in WDM Networks,” Proceeding, *Fifth Optoelectronics and Communications Conference (OECC) 2000*, MAkuhari, Japan, pp. 94-95, July 2000.

[10] Shun Yao; Yoo, S.J.B.; Mukherjee, B.; Dixit, S.; “All-optical packet switching for metropolitan area networks: opportunities and challenges,” *Communications Magazine, IEEE*, Volume: 39, Issue: 3, March 2001 Pages:142 - 148

[11] A. Shaikh, J. Rexford, and K. G. Shin, “Evaluating the impact of stale link state on quality-of-service routing,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume: 9 Issue: 2, April 2001, Page(s): 162-176.

[12] Shigang Chen, Nahrstedt, k., “An overview of quality of service routing for next-generation high-speed networks: problems and solutions,” *Network, IEEE*, November/

December 1998. Page(s): 64 -79 vol.12.


[13] D. H. Lorenz and A. Orda., “QoS routing in networks with uncertain parameters,” *Infocom 98*, March 1998. Page(s): 3 -10 vol.1.

[14] R. Guerin and A. Orda., “QoS-based routing in networks with inaccurate information: Theory and algorithms,” *Infocom 97*, April 1997. Page(s): 75 -83 vol.1.

[15] Xue Qiu, Shuang Wang, Won-Ho So, young-Chon Kim “Least-Congested-Link Deflection Routing Algorithm in Optical Burst-Switched Networks,” *통신학회학술대회*, 2004, 12월 22. Page(s): 135.

이 해 정(Hae jung Lee) 정회원  
한국통신학회 논문지 제 28권 제 9B호 참조  
현재 국무조정실 심사평가심의관실

송 규 엽(Kyu yeop Song) 정회원  
2003년 2월 전북대학교 기계설계학과 졸업  
2003년 3월~현재 전북대학교 정보통신학과 석사과정  
<관심분야> 광 통신망 구조, 망 장애관리, QoS 라우팅

유 경 민(Kyoung min Yoo) 정회원  
 1992년 8월 전북대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
1997년 2월 전북대학교 컴퓨터 공학과 석사졸업  
2005년 3월~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> 광 통신망 구조,

OBS, QoS 라우팅

유 완(Wan Yoo)

정회원



2004년 2월 전북대학교 컴퓨터  
공학과 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