

논문 2005-42TC-12-5

BcN 망에서 효율적인 데이터 전송을 위한 새로운 개념의 광 교환망 설계

(The Design of New Optical Switching Networks for Efficient Data
Transmission in BcN)

이 성 영*, 박 홍 식**

(SeoungYoung Lee and Hong-Shik Park)

요 약

현재 네트워크는 유/무선은 물론 통신과 방송이 통합되어 멀티미디어 서비스를 지원하는 방향으로 진화하고 있다. 이와 같은 BcN 망에서는 P2P등을 비롯한 대용량의 데이터 전송이 빈번할 것으로 예상되어 광 전송 시스템의 전송 용량을 확대할 필요성이 대두된다. 이를 위한 대규모의 설비 투자를 회피하기 위하여 광 전송 시스템에 네트워크의 개념을 도입하여 네트워크의 비용을 절감하고자 하는 광버스트교환 시스템에 대한 연구가 최근 몇 년간 진행되어왔다. 광버스트교환 시스템을 위한 대표적인 연구 분야는 JET (Just Enough Time) 프로토콜로서 수년간 많은 연구가 진행되어 왔으나, JET 프로토콜의 본질적인 문제인 높은 버스트 손실률로 인하여 상용 망에 적용하기는 어려운 상황이다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 새로운 개념의 광교환 시스템을 설계함으로써 높은 대역폭을 요구하는 BcN 망에서 효율적인 데이터 전송을 위한 광교환 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 간단한 구조를 갖고 있는 매트릭스 망에 쉽게 적용이 가능하며, 복잡한 구조의 메쉬망에도 쉽게 적용 가능 하여 도래하는 BcN 망의 트래픽의 증가에 대응할 수 있는 새로운 개념의 광교환 시스템이다.

Abstract

In this paper, we propose a new optical switching system as a infrastructure of the BcN, in which the high traffic volume will be expected due to the multimedia service, like P2P services. Because the JET protocol, the most popular protocol in OBS (Optical Burst Switching) research area, has high blocking probability for burst, it prevents commercialization in real network for its low throughput in TCP layer. To improve high blocking rate in OBS network, we segment large network into small network and perform burst scheduling to avoid burst loss. By using proposed scheme, Internet provider can reduce network deployment cost in Metro network as well as large mesh core networks

Keywords : BcN, OBS, TCP

I. 서 론

현재 네트워크는 유무선의 통합은 물론 통신과 방송이 통합되어 멀티미디어 서비스를 지원하는 방향으로 진화하고 있다. 이와 같은 BcN에서는 P2P등을 비롯한 대용량의 멀티미디어 트래픽이 증가할 것으로 예상된다. 이와 같은 데이터 트래픽의 증가는 기존에 포설되

어 있는 광전송 시스템의 대역을 확대할 필요성을 유발한다. 이를 위한 대규모의 설비 투자를 회피하기 위하여, 광전송 시스템에 네트워크의 개념을 추가하여 패킷 교환이 갖는 장점인 통계적 다중화 이득을 광전송 시스템에 적용함으로써 네트워크의 비용을 절감하고자 하는 연구가 진행되어, 회선 교환 방식과 패킷 교환 방식의 장점을 갖고 있는 광버스트교환 시스템 (OBS: Optical Burst Switching System)에 대한 연구가 진행되어 왔다^[1-3].

광버스트교환 시스템의 대표적인 연구는 JET (Just Enough Time) 프로토콜로서 수년간 많은 연구가 진행되어 왔으나, JET 프로토콜이 갖고 있는 본질적인 문제

* 학생회원, ** 정회원, 한국정보통신대학교
(Dept. of Eng, Information and Communication
University)

※ 본 연구는 2005년 한국과학재단, 과학기술부, 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 이루어졌음.
접수일자: 2005년11월30일, 수정완료일: 2005년12월10일

인 높은 버스트 손실률로 인한 TCP 프로토콜 성능의 급격한 저하로 고속의 데이터 전송을 가로막는 문제점이 있다^[4-6]. 이와 같은 JET의 성능은 회선 교환을 사용한 경우보다 네트워크 성능이 저하되는 문제점이 있다. 또한 JET에서는 상위 클래스를 갖는 데이터 트래픽을 하위 클래스를 갖는 트래픽과 차별화하기 위하여 상위 클래스에 추가 오프셋 시간을 할당함으로써 상위 클래스 트래픽에 QoS를 보장한다^[1]. 이와 같이 추가 오프셋 시간을 사용하여 QoS를 보장하는 방법은 다수 개의 노드를 경유하여 버스트가 전송되는 경우에는 QoS를 보장할 수 없는 문제점이 있다.

본 논문에서는 JET 프로토콜이 갖고 있는 문제점을 분석하고, 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 새로운 개념의 광교환 시스템을 설계함으로써 높은 대역폭을 요구하는 BcN 망에서 효율적인 데이터 전송을 가능하게 하는 광교환 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안된 광버스트 교환시스템에서는 복잡한 매쉬 네트워크를 작은 네트워크로 분할하여, 광버스트가 손실 없이 목적지까지 도달할 수 있는 구조로 설계되었다. 효율적으로 채널을 이용하여 통계적 다중화 이득을 얻기 위하여 본 논문에서는 계층적 버스트 스케줄링 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 시스템을 적용하면 패킷 스위칭이 갖는 장점인 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있을 뿐 아니라 회선교환 시스템이 갖고 있는 장점인 안정적인 데이터 전송을 가능하게 할 수 있는 장점이 있다. 제안된 시스템은 간단한 구조를 갖고 있는 매트릭스 망에 쉽게 적용이 가능하며, 복잡한 구조를 갖고 있는 매쉬망에도 적용 가능하여 도래하는 BcN 망의 트래픽의 증가에 대응할 수 있는 새로운 개념의 광교환시스템이다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성된다. II장에서 JET 기반의 QoS 보장 방법과 JET 기반 QoS 보장 방법이 NSF 망과 같은 거대한 매쉬망에서 적용할 경우 발생하는 문제에 대하여 기술하고, III장에서 버스트 손실이 발생하지 않는 새로운 방식의 광교환 네트워크 구조 및 버스트 스케줄링 방법을 제시하고, IV장에서는 향후 연구 방향을 기술한다. 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

II. OBS에서의 QoS 보장 방법 및 문제점

본 장에서는 추가 오프셋 시간을 이용하여 클래스간의 우선도를 부여하는 JET 기반 OBS 네트워크의 QoS를 보장하는 방법에 대하여 기술한다^[1]. OBS 네트워크

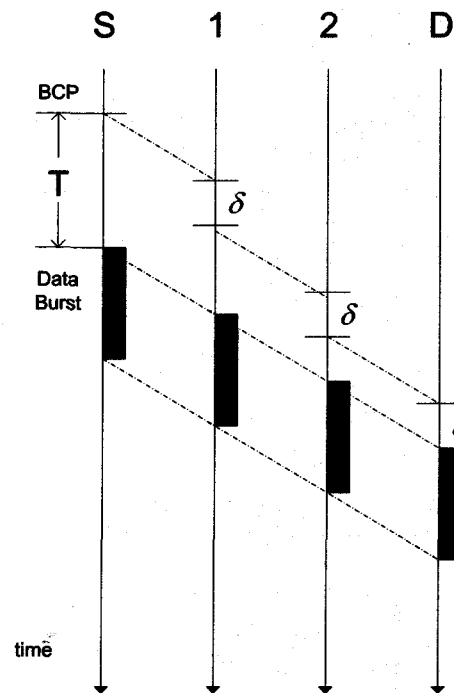


그림 1. OBS 망에서 오프셋 시간을 이용한 버스트 전송

Fig. 1. Data Burst transmission Scheme by using offset time in Optical Burst Switching.

는 제어 채널과 데이터 채널이 분리 되어 있고, 제어 채널에서 사용되는 버스트제어패킷 (BCP : Burst Control Packet)은 광전 변환을 수행하는 반면 데이터버스트 (DB : Data Burst)는 광전 변환을 거치지 않고 BCP가 설정한 경로에 따라 광 영역에서 전송된다. 그림 1에서 보는 바와 같이 BCP는 각 노드에서 광전변환과 DB를 위한 경로 설정을 위한 시간(δ)이 필요한 반면 DB는 광전 변환을 수행하지 않는다. 그러므로 BCP는 항상 DB보다 먼저 출발하여 DB를 위한 경로를 설정해야 한다. BCP와 DB 사이의 시간 차이는 오프셋 시간이며, 오프셋 시간은 기본 오프셋 시간과 추가 오프셋 시간으로 구분된다.

기본 오프셋 시간은 상위 클래스 트래픽과 하위 클래스 트래픽에 동일한 값이 할당되는 반면, 추가 오프셋 시간은 상위 클래스 트래픽에만 할당이 된다. 기존에 연구된 바와 같이 추가 오프셋 시간이 많이 할당되면 높은 우선도를 갖고, 그렇지 않으면 낮은 우선도를 갖는다^[1]. 그러나 다음에 기술하는 바와 같이 NST 망과 같은 매쉬 형태의 네트워크에서는 QoS보장이 어려울 뿐 아니라 높은 버스트 손실률로 인하여 상용화에 어려움이 있다.

1. 매쉬망에서 QoS 보장의 문제

앞에서 기술한 바와 같이 JET 기반의 OBS 방식은 추가 오프셋 시간을 이용하여 상위 클래스 트래픽과 하위 클래스 트래픽간의 우선도를 구분하지만, NSF 망과 같이 다수의 노드를 경유하여 버스트를 전송하는 경우에는 추가 오프셋 시간을 사용하여 QoS를 구분할 수 없다.

그림 3에서는 NSF망에서 WA에서 NY로 버스트를 전송하는 PATH1과 CO에서 PA로 버스트를 전송하는 PATH2에 대하여 동일한 클래스를 갖는 버스트들 간의 공정성이 훼손됨을 보여 주고 있다. 그림에서 보여 주는 바와 같이 동일한 클래스를 갖는 버스트가 남아 있는 노드의 수에 따라 오프셋 시간이 상이한 모습을 보여 주고 있다. 위의 예에서 PATH1의 버스트는 남아 있는 노드의 수가 2개 이고, PATH2는 남아 있는 노드의 수가 1개 이므로 오프셋 시간은 PATH1이 크고 PATH1을 사용하는 버스트가 링크를 점유할 확률이 높다.

이의 예에서 보는 바와 같이 목적지 노드에 도달하기 위하여 경유해야 할 노드의 개수에 따라 QoS 레벨이 달라지는 문제가 있어서, 높은 QoS를 보장해야 하는 버스트도 남아 있는 노드의 수가 적은 경우, 남아 있는 노드의 수가 많은 낮은 QoS의 버스트 보다 채널 점유 확률이 낮은 문제가 발생한다.

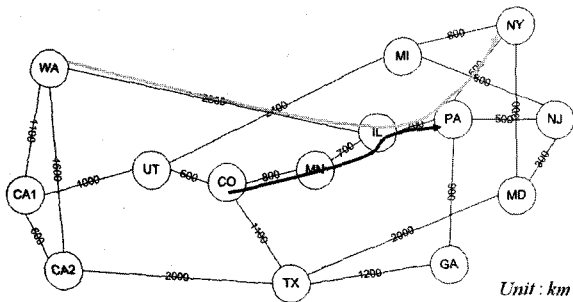


그림 2. NSTNET의 구조
Fig. 2. NSTNET structure.

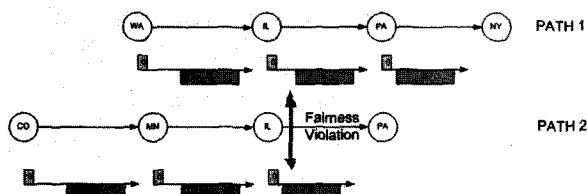


그림 3. 노드 IL과 PA 사이의 링크에서 공정성의 문제
Fig. 3. Fairness violation at link between IL and PA in Mesh Networks.

2. 높은 버스트 손실률

일반적으로, 패킷 교환 방식을 사용하는 망의 중심 노드들은 대용량의 버퍼를 보유하고 있어 입력 패킷의 충돌이 발생하면 패킷을 큐에 저장하여 출력 링크가 가용한 시간 까지 지연시킴으로서 패킷 손실을 줄일 수 있다. 이와 같은 패킷 교환 방식과 달리 광버스트교환 방식에서는 DB가 buffer가 없는 광 영역에서만 전달되므로 손실률이 큰 단점이 있다. 최근 들어 FDL (Fiber Delay Line)을 사용하여 광 버퍼를 구현하려는 연구가 진행이 되고 있으나 기술적이 한계로 인하여 상용화에 어려움이 있다. 이와 같은 높은 버스트 손실률은 TCP 레이어에서 timeout이 발생하여 CW (Contention Window)의 증가를 막아 전체적인 성능이 저하되는 원인으로 작용한다.

그림 4는 그림 2와 같은 14개의 노드로 구성된 매쉬 구조의 NSF 망에서 JET 프로토콜을 사용하여 버스트 손실률을 컴퓨터 모의실험을 수행하여 얻은 결과이다. 그림의 결과를 얻기 위하여 링크당 광파장의 개수를 10에서 30까지 변화 시켰다. 본 모의 실험에서는 OSFP (Open Shortest Path First)를 사용하여 경로 설정을 하였으며 NSF 망에서 최대hop 수는 5이다. 모의실험에서 보는 바와 같이 NSF 망과 같이 복잡한 매쉬망에서 JET 기반 OBS 프로토콜을 사용하는 경우 트래픽 로드가 0.4 이상에서는 버스트 손실이 10% 이상으로 급격히 증가하여 데이터 서비스를 불가능하게 하는 요인으로 작용한다.

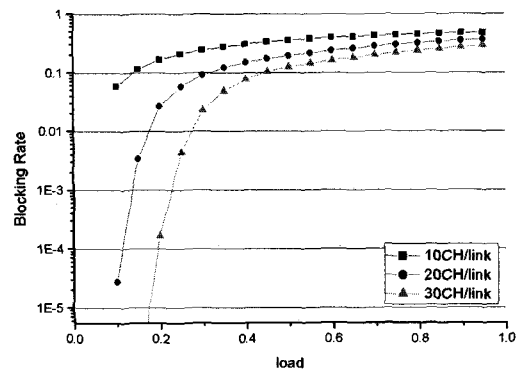


그림 4. NSF 망에서 JET 기반 OBS 프로토콜의 버스트 손실률
Fig. 4. Burst Loss rate in JET-OBS protocol-based NSFNET.

III. OBS에서의 무손실 버스트 전송 방법

앞 장에서 기술한 바와 같이 JET 기반의 OBS 방식

은 높은 버스트 손실뿐만 아니라 클래스간의 QoS 보장 문제를 해결할 수 없는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 장에서는 그림 5와 같은 회선교환 방식과 버스트 교환 방식이 혼재된 새로운 개념의 하이브리드 형태의 광전송망의 구조를 제안한다.

그림에서 노드 0에서 노드 3까지는 전용의 파장을 사용하여 버스트를 전송한다. 이때 노드1은 버스트를 통과시켜 결론적으로 교환기능을 하지 않는다. 노드 3과 노드 6 사이에 위치한 노드 4 역시 이와 같은 가상의 서킷 (VC : virtual Circuit)으로 동작한다. 그림에서는 child 노드인 노드 3인 root 노드에서 생성된 버스트를 출구 노드 (EN : Egress Node)로의 교환 기능을 수행한다.

이와 같은 교환 방식에서 노드 0과 노드 3 사이의 회선은 3개의 각각 다른 버스트가 공유할 수 있는 반면 노드 3과 노드 7 사이의 회선을 비롯하여 3개의 회선은 다른 버스트들이 공유할 수 없게 된다. 이는 패킷 교환 방식과 같은 통계적 다중화 이득을 얻을 수 없는 결과를 초래한다.

이와 같은 단점을 보완하여 통계적다중화 이득을 얻고자 다음과 같은 HBS (Hierarchical Burst Scheduling) 방법을 제안한다. HBS 방법을 사용하여 버스트를 전송하기 위해서는 OSPF등의 프로토콜을 사용하여 망의 구성을 파악한 후, root 노드를 결정한다. root 노드가 결정되면 root 노드는 최소의 파장을 사용하여 버스트를 EN까지 전송할 수 있는 child 노드를 구한다. 그림 6에 root 노드와 5개의 child 노드의 모습이 나타나 있다. Root 노드는 child 노드를 거쳐 EN에 버스트가 전송되도록 버스트를 전송한다. Root 노드에서 버스트 전송은 그림 7과 같이 전송한다. 그림 7에서 link는 root 노드와 child 노드 사이의 회선을 의미하며 한 사이클 동안 한 회선에서의 버스트의 점유상태를 보여 주고 있다. 네모 안의 숫자는 송/수신 노드의 쌍을

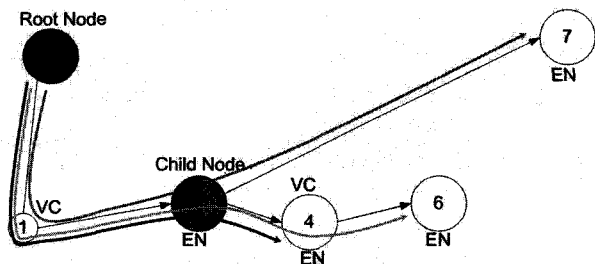


그림 5. 무손실 버스트 전송 방법
Fig. 5. Lossless burst transmission scheme.

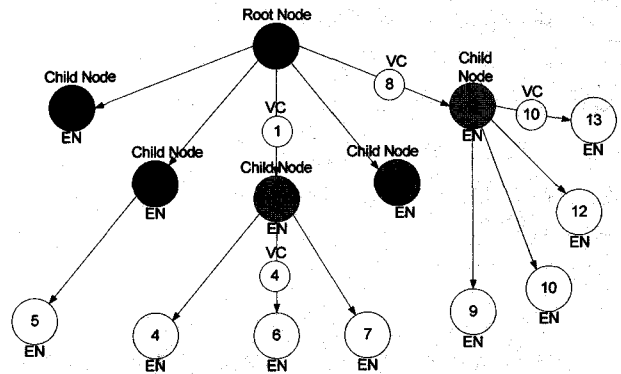


그림 6. NSFNET 노드의 계층화
Fig. 6. Hierarchy of NSFNET nodes.

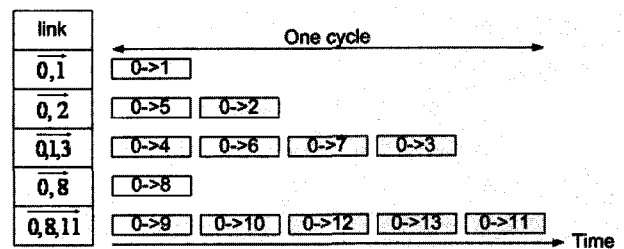


그림 7. Root 노드에서의 버스트 전송 방법
Fig. 7. Burst transmission scheme in root node 11.

의미한다. Root 노드와 child 노드 사이에서 전송된 버스트는 child 노드와 EN 노드 사이의 회선에도 일정 시간의 전송 지연을 거친 후 전송되게 된다. 이때 그림 6에서 child 노드로 동작한 노드는 root 노드로 동작하게 된다.

그림 8에서는 그림 6에서 child 노드(2번 노드)로 동작하는 노드가 root 노드로 동작하는 과정을 보여 주고 있다. 그림 7에서 노드 0에서 노드 5로 전송되는 버스트는 노드 0과 노드 2 사이의 회선과 노드 2와 노드 5 사이의 회선에 동시에 나타난다. 노드 2는 root 노드 0에 종속적인 관계가 있으므로 그림 9에서 보는 바와 같이 노드 0번에서 전송되어 5번 노드로 전송되는 버스트를 가장 먼저 채널에 할당한 후 2번 노드에서 출발하는 버스트를 전송하게 된다.

2번 노드에서는 0번 노드에서 전송되는 버스트가 기준 버스트로 동작한다. 기준 버스트로부터 한 사이클이 되는 시간 까지 2번 노드에서 시간의 나누어 채널에 버스트를 할당하여 다음 child 노드로 전송하게 된다. 이와 같은 과정은 네트워크에 있는 모든 노드에 버스트들이 도달할 때 까지 반복하게 된다.

모든 노드는 자신의 root 노드에서 전송된 버스트를 기준으로 한 사이클을 시작한다. 그림 9에서는 0번 노드에서 출발한 버스트를 기준으로 한 사이클 동안 9번

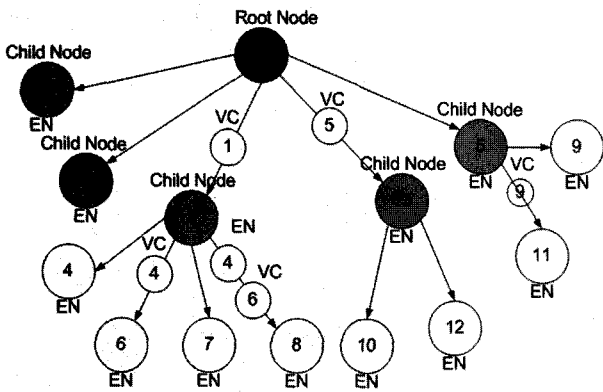


그림 8. Child 노드로서 root 노드기능
Fig. 8. Root node function as a child node.

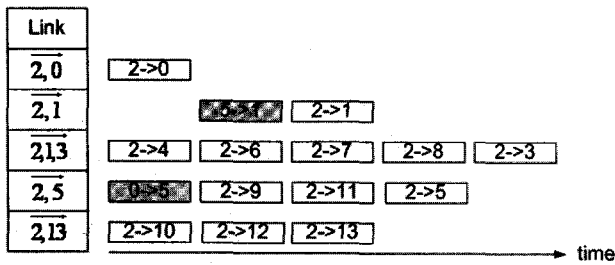


그림 9. Node 2의 버스트 전송방법
Fig. 9. Burst transmission scheme of node 2.

노드와 11번 노드 전송되는 버스트를 전송한다. 이들 버스트를 전송하고 남은 시간 간격 동안 child 노드인 5번 노드로 전송되는 데이터를 버스트로 만들어 전송하게 된다.

본 논문에서 설명의 편의상 모든 버스트의 크기를 일정하게 하였지만 실제 상황에서는 입력 노드 (IN : Ingress Node)에서 발생하는 트래픽의 양에 따라 버스트의 크기가 변화하게 되어 채널의 사용 효율을 높일 수 있을 뿐 아니라, root 노드에서 사이클의 크기를 조절하여 버스트 생성시간을 변화할 수 있다. 이와 같이 root 노드에서 사이클의 크기를 조절할 수 있기 위해서는 네트워크의 신호망을 이용하여 네트워크 상태에 대한 정보를 파악해야 한다.

본 논문에서 제안된 방법을 사용하면 회선교환의 단점과 버스트교환이 갖는 단점을 보완할 수 있다. 그러나 그림 7과 그림 9에서 보는 바와 같이 한 사이클 동안 비어 있는 시간을 감소시켜 패킷 교환방식과 유사한 정도의 채널 효율을 얻을 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다. 예를 들어 그림 9에서 2번 노드와 0번 노드 사이의 회선에서 보는 바와 같이 하나의 버스트 (2->0)가 한 사이클을 점유하므로 채널의 사용률이 매우 낮은 단점이 있다. 채널의 효율을 높이기 위한 연구가 지속

적으로 진행되어야 한다.

IV. 향후 연구 방향 및 결론

본 논문에서 제안된 방식은 JET 기반 OBS 방식의 단점을 보완하여 대용량의 멀티미디어 트래픽이 예상되는 BcN 망에 대응하기 위한 새로운 개념의 광네트워크를 제안하였다. 제안된 방식은 회선 교환 방식과 패킷 교환방식이 혼합된 방식으로서 회선교환방식보다는 채널의 사용률이 높으나 패킷교환방식에 비해서는 통계적 다중화 이득을 많이 얻을 수 없는 단점이 있다.

이와 같은 단점을 보완하면서 버스트 손실이 없는 망을 구현하기 위해서는 NSF 망과 같은 매쉬망에서 최적의 root 노드를 구하는 방법에 관한 연구가 진행되어야 하며, child 노드를 결정하는 방법에 관한 연구가 필요하다. 또한 제안된 방법에 대한 delay, 채널 점유율에 관한 해석이 진행되어야 한다. 제안된 방식은 버스트 손실이 발생하지 않으므로 TCP 성능은 증가할 것으로 예상되나, TCP 패킷의 지연으로 인한 TCP 성능의 변화를 연구해야 한다.

본 논문에서는 JET 기반 OBS 방식이 갖고 있는 문제점에 대하여 고찰하였고, 이에 대한 대안으로서 Sub-Net 기반의 OBS 방식을 제안하였다. JET 기반의 OBS 방식은 다수의 노드를 경우 하여 전송되는 NSF 망과 같은 복잡한 망에서는 버스트 손실률이 높을 뿐 아니라, 상이한 클래스를 갖는 트래픽 사이에 QoS를 보장할 수 없는 문제점이 있다. 기존에 연구된 광버스트 교환 방식으로 TCP를 사용하면, 하나의 버스트가 손실이 되는 경우 다수개의 TCP 패킷이 손실되는 결과가 되어 CW의 증가를 저해하는 요인으로 작용하여 시스템 성능이 낮아지는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 계층적 버스트 스케줄링 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 사용하여 데이터를 전송하면 광버스트 영역에서 버스트 손실이 발생하지 않으므로 TCP성능을 향상시킬 수 있다. 제안된 방식은 P2P들의 멀티미디어 트래픽의 증가로 네트워크 증설이 예상되는 BcN망에서 추가 설비 투자 없이 멀티미디어 트래픽을 수용할 수 있는 장점이 있다.

참고 문헌

[1] M. Yoo and C. Qiao, "A new Optical Burst Switching Protocol for Supporting Quality of

- Service", Proc. SPIE All Optical Comm. Syst. 1998: Architecture, control Network Issues, Vol. 3531, pp.395-405.
- [2] C. Qiao, "Labeled Optical Burst Switching for IP-over-WDM Integration", IEEE Communication Magazine, Vol.1, No. 9, pp. 104-114. 2000.
- [3] Hiroki T., Ohmae K, and Young-Bok Choi:Okada H., "An Effective BECN/CRN Typed Deflection Routing for QoS Guaranteed Optical Burst Switching", IEEE GLOBECOM 2003, Vol. 5, pp. 2601-2606.
- [4] Du, P. and Abe., "TCP performance analysis of optical burst switching networks with a burst acknowledgment mechanism", IEE Proceedings on Communications, Volume 152, Issue 3, Jun 2005 pp. 349 - 352
- [5] Gowda, S., Shenai, R.K., Sivalingam, K.M., Cankaya and H.C. "Performance evaluation of TCP over optical burst-switched (OBS) WDM networks", ICC 2003. Vol. 2, pp. 1433 - 1437
- [6] Zhu, L., Ansari, N. and Liu, J "Throughput of high-speed TCP in optical burst switching networks", IEE Proceedings-on Communications, Vol. 152, Issue 3, June 2005 pp. 349 - 352
- [7] Xiang Yu, Jikai Li, Xiaojun Cao, Yang Chen and C. Qiao., "Traffic statistics and performance evaluation in optical burst switched networks", Journal of Lightwave Technology, Vol 22, Issue 12, Dec. 2004.
- [8] Xiang Yu, Yang Chen and C. Qiao. "Performance evaluation of optical burst switching with assembled burst traffic input", GLOBECOM 2002, Volume 3, pp. 2318 - 2322
- [9] Vokkarane, V.M.; Qiong Zhang; Jue, J.P.; Biao Chen, "Generalized burst assembly and scheduling techniques for QoS support in optical burst-switched networks", GLOCOM.2002, vol.3 , pp 2747-2751
- [10] G. C. Hudek and D. J. Muder (1995), "Signaling analysis for a multi-switch all-optical network," IEEE international conference in communications, pp.1206-1210.
- [11] Qiong Zhang, Vokkarane, V.M., Biao Chen, and Jue J.P, "Early Drop and Wavelength Grouping Schemes for Providing Absolute QoS Differentiation in Optical Burst-Switched Networks", IEEE GLOBECOM 2003, Vol. 5, . 2003, pp. 2694-2698.
- [12] L. Kleinrock., Queuing Systems, volume 1: theory, A Willey-Interscience Publication 1975.
- [13] Barakat N. and Sargent E.H., "The Influence of Low-class Traffic Load on High-class Performance and Isolation in Optical Burst Switching", International Conference on Communication 2004, Vol 3, 2004, pp. 1554-1558.
- [14] SeungYoung Lee, InYong Whang and Hong-Shik Park, "The Influence of Burst Length in optical Burst Switching System with Completely Isolated Classes", IEEE, ICACT 2005, Vol 1, 2005, pp.303-306

 저 자 소 개



이 성 영(학생회원)
 1993년 경희대학교 물리학과
 학사 졸업.
 1996년 경희대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2005년 한국정보통신대학교
 박사 수료.

<주관심분야 : Internet QS, 통신망>



박 홍 식(정회원)
 1977년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1986년 KAST 전기전자공학과
 석사 졸업.
 1995년 KAST 전기전자공학과
 박사 졸업.

1997년~1998년 한국전자통신연구원 책임연구원
 1998년~현 재 한국정보통신대학교 정교수
 <주관심분야 : BcN, 트래픽 엔지니어링, QoS>