

論文2003-40TC-10-4

광 버스트 교환망에서 Preemption 기반 서비스 차별화 기법 (Preemption-based Service Differentiation Scheme for Optical Burst Switching Networks)

金炳喆*, 金俊燁**, 趙有濟*

(Byung-Chul Kim, June-Yeob Kim, and You-Ze Cho)

요약

본 논문에서는 광 버스트 교환망에서의 대표적인 서비스 차별화 방식인 오프셋 타임 기반 방식의 문제점을 분석하고, preemption 채널 선택 알고리즘과 채널 분할 알고리즘으로 구성된 preemption 기반 서비스 차별화 기법을 제안한다. 제안된 preemption 채널 선택 알고리즘은 채널 효율을 증가시키기 위해 preemption이 되는 버스트의 크기를 최소화하며, 제안된 채널 분할 알고리즘은 클래스간 서비스 차별화 정도를 조절할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 제안된 기법은 오프셋 타임 기반 서비스 차별화 기법에서 나타날 수 있는 다중 홉 환경에서의 서비스 차별화 성능 저하를 개선하며, 제안된 채널 스케줄링 알고리즘을 이용하여 중단간 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we investigated the problems of the offset time based service differentiation scheme for optical burst switching (OBS) networks, and proposed the preemption-based service differentiation scheme which combines a preemption channel selection algorithm and channel partitioning algorithm. The proposed preemption channel selection algorithm minimizes the length of preempted bursts to improve the channel efficiency, while the proposed channel partitioning algorithm controls the degree of service differentiation between service classes. The simulation results showed that the proposed schemes could improve the end-to-end performance and effectively provide controllable service differentiation in the multiple hop network environments.

Keywords : Optical Burst Switching, Service Differentiation, Preemptive Channel Scheduling

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部
(School of Electrical Engineering and Computer
Science Kyungpook National University)

** 正會員, 三星電子
(Samsung Electronics)

※ 이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음.(KRF-2001-041-E00234 및 BK21 지원사업)

接受日字:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

I. 서론

현재 인터넷 환경은 단순한 데이터 트래픽 뿐만 아니라 복잡하고 다양한 화상 정보나 고화질 동영상의 전달 단계까지 발전하고 있으며, 동시에 사용자의 증가로 인해 트래픽 양도 급격히 증가하고 있다. 따라서, 늘어나는 트래픽을 효과적으로 수용하고 전달하기 위해서 광 통신 기술과 인터넷 기술을 결합한 광 인터넷 기술이 요구되고 있다. 광 인터넷은 다양한 트래픽 특성을 지원하는 고속의 광대역 교환기를 요구하므로 중간 노드에

서 광/전 변환을 거치지 않고 완전 광으로 처리하는 광 교환 기술의 중요성이 대두되고 있다¹⁻²⁾. 광 인터넷을 위한 교환 기술 중 광 회선 교환 방식과 광 패킷 교환 방식의 장점을 결합한 광 버스트 교환 방식은 중간 노드에 버퍼를 사용하지 않고 구현 가능하여 버퍼가 필수적인 광 패킷 교환 방식에 비해 구현이 용이하고, 버스트 단위로 채널을 예약하고 전송하기 때문에 광 회선 교환 방식에 비해 우수한 효율을 보인다.

현재의 인터넷은 최선형 서비스만을 제공하고 있으나, 다양한 멀티미디어 응용 서비스의 지원을 위해서 서비스에 따른 차별화 된 QoS의 지원은 차세대 인터넷의 핵심 요소로 인식되고 있다. 기존 인터넷에서 차별화 된 QoS를 제공하기 위한 연구는 대부분 버퍼 관리 및 스케줄링 기법을 기반으로 하고 있다. 그러나, 현재 효과적인 광 버퍼의 개발이 이루어지지 않고 있기 때문에 기존 버퍼링을 사용한 서비스 차별화 기법을 직접적으로 광 인터넷에 적용하기는 어려운 상황이다. 따라서, 최근 광 버스트 교환 방식에서 버퍼를 사용하지 않고 서비스 차별화를 제공하기 위한 방안에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다³⁻⁶⁾.

현재까지 제안된 광 버스트 교환 방식을 위한 대표적인 서비스 차별화 기법으로는 JET (Just-Enough Time) 방식에서 사용되고 있는 옹셋 타임 기반 기법이 있다³⁾. 옹셋 타임 기반 서비스 차별화 기법에서는 우선 순위가 높은 상위 클래스에 큰 크기의 QoS 옹셋 타임을 할당하여 작은 크기의 옹셋타임을 가진 하위 클래스의 버스트 보다 미래의 시간을 예약함으로써 상위 클래스의 예약 확률을 높이는 방안이다. 그러나, 옹셋 타임 기반 기법에서 서비스 차별화를 위해서는 망 내의 모든 노드에서 서비스 클래스 간에 동일하게 차별화된 옹셋 타임을 할당을 필요로 하지만, 실제 JET 방식의 동작에서 버스트는 전송 중에 목적지에 가까워 질수록 옹셋 타임이 감소하여 서비스 클래스에 따른 차별화 성능의 저하가 발생한다⁷⁾. 그리고, 이러한 차별화 성능의 저하는 종단간의 홉 수가 길거나 제어 채널의 폭주 발생시 심각해지고 서비스 차별화를 보장할 수 없게 된다.

본 논문에서는 광 버스트 교환 방식에서 서비스 차별화를 제공하기 위한 방안으로 preemption 기반 기법을 제안한다. 제안된 방안에서는 상위 클래스 버스트가 이미 예약된 하위 클래스 버스트의 채널을 preemption 할 수 있도록 하여 상위 클래스의 버스트 블로킹 확률을 줄일 수 있는 서비스 차별화를 제공한다. 제안된

preemption 기반 서비스 차별화 기법에서는 채널 효율의 개선을 위한 preemption 채널 선택 알고리즘과 서비스 클래스간의 차별화 정도를 제어하기 위해 채널 분할 알고리즘을 이용한 채널 스케줄링 알고리즘을 사용한다.

논문의 구성은 서론에 이어 제II장에서 광 버스트 교환 망에서의 기존 서비스 차별화 방안을 고찰한다. 제III장에서 서비스 차별화를 위해 preemption 채널 선택 알고리즘과 채널 분할 알고리즘을 사용한 preemption 기반 서비스 차별화 기법을 제안한다. 제IV장에서 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 분석하고 끝으로 제V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 광 버스트 교환 방식을 위한 서비스 차별화 방안

기존 전기적 교환망에서 사용되는 버퍼링을 이용한 QoS 제공 기법들은 광 버퍼의 사용이 용이하지 않는 광 교환망에는 적합하지 않기 때문에 WDM 계층에서 버퍼링을 사용하지 않는 서비스 차별화 방안들이 제안되고 있다⁴⁻⁶⁾. 본 장에서는 최근 제안되고 있는 대표적인 광 버스트 교환 방식을 위한 QoS 제공 기법들을 고찰한다.

1. 옹셋 타임 기반 기법

광 버스트 교환 방식을 위한 가장 대표적인 QoS 제공 기법인 옹셋 타임 기반 서비스 차별화기법은 각 서비스 클래스마다 추가적인 QoS 옹셋 타임을 할당한다⁴⁾. 즉, 우선 순위가 높은 상위 클래스 버스트에 큰 QoS 옹셋 타임을 할당하여 하위 클래스 버스트에 비해 우선적으로 자원을 예약할 수 있도록 하는 방안이다. 그리고, 서비스 클래스 간의 차별화 정도의 제어를 위해서 하위 버스트 크기의 수배에 해당하는 QoS 옹셋 타임의 크기를 조정한다.

그러나, 광 버스트 교환망 내에서 옹셋 타임은 기본적으로 각 교환기에서 제어 패킷의 처리 시간을 보상하기 위해서 이용되며, 각 홉을 거쳐가면서 감소한다. 따라서, 목적지까지 거쳐야 할 홉이 많을수록 남아있는 버스트는 옹셋 타임이 크기 때문에 작은 수의 홉이 남은 버스트에 비해 낮은 블로킹 확률을 가진다. 즉, 목적지까지 남아 있는 홉 수에 따라 서로 다른 버스트 블로킹 확률을 가지게 되고 목적지에 가까워질수록 블로킹 확률이 증가하게 되는 path length priority effect의 문제점이 발생한다⁷⁾. 따라서, 옹셋 타임 기반 서비스 차별화 기법

을 적용할 경우 이러한 기본 읍셋 타임에 의한 path length priority effect의 영향으로 인하여 특정 교환기에서 우선 순위가 높은 상위 클래스의 버스트를 효과적으로 차별화하여 서비스 할 수 없는 문제가 발생한다. 즉, 남아 있는 홉 수에 따라서 특정 코어 노드에서 상위 클래스의 버스트가 하위 클래스의 버스트보다 채널 예약을 위한 경쟁에서 불리해 질 수도 있기 때문에 서비스 차별화 성능이 저하된다. 그리고 읍셋 타임 기반 서비스 차별화 기법은 JET와 같은 delayed reservation 방식에서만 적용이 가능하고, 상위 클래스에 속한 버스트는 하위 클래스에 속한 버스트에 비해 종단간 지연이 증가할 수 있는 문제점이 있다.

2. 능동적 폐기 기반 기법

기존 읍셋 타임 기반 서비스 차별화 기법에서 나타날 수 있는 문제점을 개선하여 효과적인 서비스 차별화를 제공하기 위해 제안된 방안으로 능동적 폐기 기반 방안이 있다^[5]. 능동적 폐기 기반 서비스 차별화 방안에서는 각 서비스 클래스에 따라 미리 목표 서비스율을 설정한다. 그리고 각 버스트의 도착 시에 버스트의 서비스율의 측정을 통하여 미리 설정한 목표 서비스율을 초과한 경우 폐기하여 목표 서비스율이 크게 설정된 상위 클래스의 자원 예약 성공율을 높이는 방식이다. 그러나, 능동적 폐기 기반 방식은 사용 가능한 채널이 존재하는 경우라도 목표 서비스율을 초과하게 되면 버스트가 폐기되기 때문에 남아있는 채널을 효과적으로 이용할 수 없어 채널 이용 효율이 크게 저하되는 문제점이 있다.

3. Preemption 기반 기법

최근 능동적 폐기 기반 서비스 차별화 기법의 비효율성을 개선하면서 효과적으로 서비스 차별화를 제공하기 위한 방안으로 preemption 기반의 기법이 제안되었다^[6]. 기존에 제안된 preemption 기반 예약 기법은 능동적 폐기 기반의 서비스 차별화 기법과 같이 각 클래스 별로 미리 목표 서비스율을 설정하고, 새로운 버스트의 도착 시에 예약 가능한 자원이 없으면 목표 서비스율을 초과하여 예약된 클래스의 버스트를 preemption 시키는 방법이다. 그러나, 기존 preemption 기반 예약 기법은 능동적 폐기 기반 방식과 같이 각 클래스 별로 버스트의 도착시 마다 서비스율을 측정하고 이를 목표 서비스율과 비교하여 초과여부를 결정하여야 하고 preemption 될 버스트의 길이가 새로 도착할 버스트의 길이보다 긴 것만을 선택하도록 제한하고 있기 때문에 버스트 스케

줄링의 복잡성이 커지는 단점이 있다.

4. 버스트 분할 기반 기법

버스트 분할 기법은 기본적으로 종단간에 전송 효율을 개선하기 위한 충돌 해결 기법으로 제안된 방식이다^[8]. 버스트 분할 기법에서 버스트는 다수개의 분할 가능한 부분으로 구성되어있다고 가정하며, 중간 노드에서 버스트 간에 충돌 발생 시에 버스트 전체를 폐기하지 않고 충돌 발생 구간만을 폐기하여 종단간 전송 효율을 증가시킨다. 이러한 버스트 분할 기법에서 서비스 차별화를 제공하기 위하여 충돌로 인하여 분할된 버스트를 서비스 클래스에 따라서 차별화된 방식으로 폐기 또는 우회 경로로 전송한다. 따라서, 버스트 분할 기반의 서비스 차별화 기법은 종단간 전송 효율을 증가시키면서 효과적인 서비스 차별화를 제공할 수 있다. 그러나, 버스트를 분할 기법의 적용을 위해서는 버스트 분할시 각 부분의 경계를 인식하여 처리하기 위한 버스트 구성 및 처리의 복잡성이 크게 증가하는 단점이 있다.

III. 제안된 Preemption 기반 서비스 차별화 기법

본 장에서는 preemption 채널 선택 알고리즘과 채널 분할 알고리즘으로 이루어진 preemption 기반 서비스 차별화 기법을 제안한다. 제안된 채널 분할 알고리즘은 서비스 클래스 간의 차별화 정도를 조절하기 위해서 사용되는 기법으로 기존의 능동적 폐기 기법^[5] 및 preemption 기반 예약 기법^[6]의 서비스율 측정을 통한 차별화에 비해 구현이 용이하다. 그리고 기존의 preemption 기반 예약 기법^[6]에서는 새롭게 도착하는 버스트가 기존에 예약된 버스트에 비해 길이가 짧은 경우만 preemption할 수 있도록 제한하였으나, 제안된 preemption 채널 선택 알고리즘은 이러한 제한을 없애면서 preemption되는 하위 하위 클래스 버스트의 길이를 최소화하도록 채널을 선택하여 대역폭 낭비를 줄인다. 본 논문에서는 편의상 상위 클래스 H 와 하위 클래스 L 의 두 개의 클래스를 가정하였다. 하위 클래스 L 은 최선형 또는 비실시간 서비스로 가정할 수 있고, 상위 클래스 H 는 오디오나 화상 대화와 같은 실시간 서비스로 가정할 수 있다.

제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법에서는 상위 클래스 H 버스트가 기존의 데이터 버스트를 위한

채널 스케줄링 알고리즘을 이용하여 예약 가능한 채널을 찾지 못할 경우, 하위 클래스 버스트를 위해 예약된 채널을 preemption하고 자신이 채널을 사용하기 위하여 preemption 채널 선택 알고리즘을 수행한다. 따라서, 상위 클래스에 대해 하위 클래스보다 낮은 버스트 블로킹 확률을 제공한다.

즉, 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법에서는 <그림 1>에 나타난 것과 같이 2단계 데이터 채널 스케줄링 알고리즘을 이용한다. 먼저 1단계로 setup 제어 패킷이 중간 노드에 도착하여 해당 버스트를 위한 자원 예약을 요구하면, 기존의 광 버스트 교환 방식에서 고려되고 있는 기본적인 데이터 채널 스케줄링 알고리즘을 이용하여 예약 가능한 채널을 검색한다. 이때 예약 가능한 채널이 있으면 해당 버스트의 전송을 위해 채널이 예약된다. 그러나, 1단계에서 상위클래스 H 에 속한 버스트가 예약 가능한 채널을 찾지 못하면 하위 클래스 L 버스트를 preemption하는 2단계 preemption 알고리즘을 실행한다. 이 단계에서 채널 효율을 높이기 위해 새로운 preemption 채널 선택 알고리즘이 사용된다. 한편, 제안된 채널 분할 알고리즘은 서비스 클래스간 서비스 차별화 정도를 조절하고 하위 클래스에게 어느 정도의

대역폭을 보장하기 위해 preemption 가능한 채널을 제한한다. 따라서, 상위 클래스 버스트의 도착시 2단계에서 수행되는 preemption 채널 선택 알고리즘은 채널 분할 알고리즘에 의해 제한된 preemption 가능 영역에 예약된 하위 클래스 버스트를 대상으로 수행되며 1단계 기본 스케줄링 알고리즘에서 이용되는 정보만을 이용함으로써 구현상의 복잡성은 크게 증가하지 않는다.

1. 채널 분할 알고리즘

본 절에서는 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법에서 클래스간 서비스 차별화 정도를 조절하는 채널 분할 알고리즘을 제안한다. <그림 2>는 채널 분할 알고리즘의 기본 개념을 보여주는 것으로 데이터 채널은 공유 영역과 preemption 가능 영역으로 구분된다. Preemption 가능 영역에서 상위 클래스 버스트는 하위 클래스 버스트보다 채널 예약의 우선권을 가진다. 한편, 공유 영역에서는 preemption을 허용하지 않기 때문에 하위 클래스 버스트도 상위 클래스 버스트와 동일하게 경쟁하여 채널 예약을 할 수 있고, 이 영역에서는 어느 정도 하위 클래스 버스트의 성능을 보장 할 수 있다.

제안된 채널 분할 알고리즘에서는 preemption 가능 영역의 채널 수 m 의 설정을 통하여 서비스 차별화 정도를 조절할 수 있다. 즉, m 이 전체 데이터 채널의 수 K 와 같다면 상위 클래스 버스트는 모든 데이터 채널에서 preemption을 할 수 있다. 따라서, 하위 클래스 버스트의 손실을 통하여 더 낮은 상위 클래스 버스트의 블로킹 확률을 보장할 수 있다. 만약 m 이 0이 되면 모든 버스트는 동일한 클래스인 것처럼 채널을 이용하기 위하여 동일하게 처리되어 경쟁하게 된다.

1단계 기본 스케줄링이 실행될 때 하위 클래스 버스트는 λ_K 부터 λ_1 순으로 채널 탐색하도록 하고, 상위 클래스 버스트는 하위 클래스 버스트에게 공유 영역에서 더 많은 채널을 사용할 수 있도록 λ_1 부터 λ_K 까지 역순으로 채널 탐색을 한다. 3개 이상의 다중 클래스를 지원할

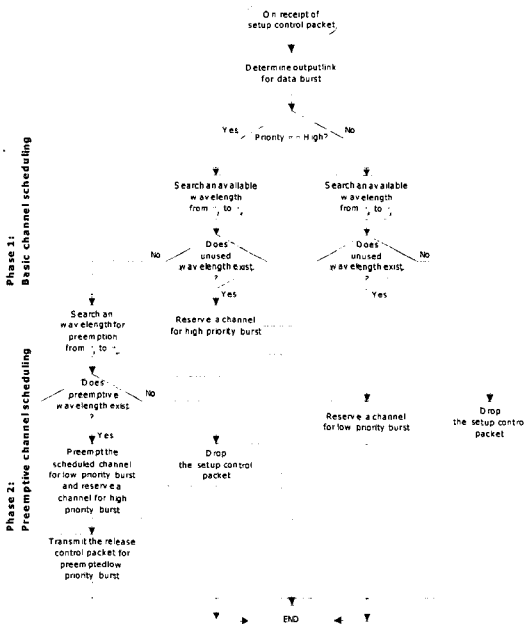


그림 1. 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 채널 스케줄링 동작

Fig. 1. Operations of the proposed preemption-based service differentiation scheme.

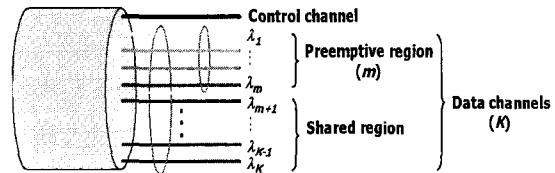


그림 2. 제안된 채널 분할 알고리즘

Fig. 2. Concept of the proposed channel partitioning algorithm.

경우에도 이러한 채널 분할 알고리즘을 사용하여 우선 순위 클래스의 수에 따라 preemption 영역을 수정함으로써 클래스간 차별화 정도를 조절할 수 있다.

2. Preemption 채널 선택 알고리즘

OBS 망에서는 데이터 채널을 효율적으로 사용하기 위해 데이터 채널 스케줄링을 사용한다. 기존의 기본적인 데이터 채널 스케줄링 알고리즘은 채널 상에 이미 예약된 버스트 사이의 시간인 gap/void의 이용 유무에 따라서 with 또는 without void filling (VF)으로 구분할 수 있다. With-VF 알고리즘에서는 예약된 버스트 사이의 비어있는 공간인 gap/void를 새로운 버스트가 예약에 이용할 수 있다. 따라서, with-VF 알고리즘은 모든 버스트 예약 정보들과 각 채널의 void를 관리해야 하며 JET 방식과 같은 delayed reservation 기법에만 사용할 수 있다. 반면, without-VF 알고리즘은 각 채널의 최종 예약 종료 시점만을 관리하면 되므로 JIT (Just-In-Time) 방식^[6]과 TBS (Terabit Burst Switching) 방식^[2]과 같이 비교적 구현이 간단한 immediate reservation 기법에 이용할 수 있다.

이러한 데이터 스케줄링 알고리즘들은 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 1단계 기본 스케줄링 알고리즘에서 사용된다. 그러나, 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 2단계에서는 preemption을 위해 채널을 선택하는 새로운 알고리즘이 필요하다. 즉, 채널 분할 알고리즘에 의해 제한된 preemption 가능 영역에 예약된 하위 클래스 버스트 중에 어느 하위 클래스 버스트를 preemption 할 것인지를 선택하여야 한다. 2단계에 적용될 수 있는 preemption 채널 선택 알고리즘으로 preemption이 가능한 하위 클래스 버스트 중에서 랜덤하게 선택하는 Random 채널 선택 알고리즘은 가장 구현이 간단한 방법으로 고려될 수 있다.

본 절에서는 preemption에 따른 채널 낭비를 최소화하기 위해 Least Reserved Channel (LRC)와 Latest Horizon Channel (LHC)의 두 가지 preemption 채널 선택 알고리즘을 제안한다. LRC 알고리즘은 기본 데이터 채널 스케줄링 알고리즘으로 FF-VF (First-Fit with VF)와 LAUC-VF (Latest Available Unused Channel with VF)^[10]과 같은 with-VF 알고리즘을 사용할 경우 적용할 수 있다. 그리고 LHC 알고리즘은 Horizon^[2], FF (First-Fit) 및 LAUC (Latest Available Unsche-

duled Channel)^[10]와 같은 without-VF 기본 채널 스케줄링 알고리즘과 같이 사용할 수 있다. 이때, 제안된 preemption 채널 선택 알고리즘은 1단계 기본 스케줄링을 통한 채널 선택 실패 이후에 2단계에서 제한된 과장 영역에서만 수행되며 기본 채널 스케줄링 알고리즘에서 이용되는 정보만을 그대로 이용하여 수행되므로 구현의 복잡성 증가를 줄일 수 있다.

2.1. LRC 알고리즘

제안된 LRC 알고리즘은 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 1단계 기본 데이터 채널 스케줄링에서 with-VF 알고리즘을 사용할 때 적용 가능한 방식이다. 기본적으로 with-VF 알고리즘을 사용하기 때문에 예약된 하위 클래스 버스트들의 크기를 알 수 있다. 따라서, 제안된 LRC 알고리즘에서는 preemption이 발생한 하위 클래스 버스트의 크기를 최소화하여 preemption에 따른 채널 낭비를 줄이기 위해 가장 짧은 하위 클래스 버스트가 예약된 채널을 상위 클래스 버스트가 preemption 하도록 선택한다.

<그림 3>은 제안된 LRC 알고리즘의 예를 보여준다. 여기서는 모든 데이터 채널이 preemption 가능 영역이라고 가정한다. 즉, $K = 4$ 이고 $m = K$ 로 가정하였다. <그림 3>에서와 같이 상위 클래스 버스트 $H_1 \sim H_2$ 와 하위 클래스 버스트 $L_1 \sim L_6$ 들이 먼저 채널 상에 예약된 것으로 가정하였다. 이때 상위 클래스 버스트 H_3 가 도착한 경우 스케줄러가 예약 가능한 채널을 탐색한다. 그러나, 예약 가능한 채널을 찾을 수 없기 때문에 스케줄러는 preemption을 하기 위해 하위 클래스 버스트가 예약된 채널을 탐색한다. 그림에서 버스트 L_1 과 L_3 가 버스트 H_3 에 의해 preemption이 가능하지만 예약된

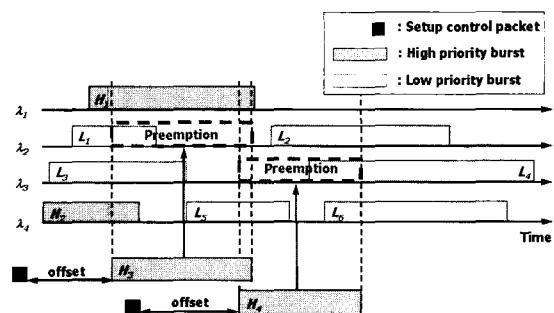


그림 3. 제안된 LRC 알고리즘의 동작 예
Fig. 3. Example of the proposed LRC algorithm operation.

버스트 L_1 의 길이가 L_3 의 길이보다 작기 때문에 L_1 이 preemption이 되고 H_3 가 데이터 채널 λ_2 에 예약된다. 또한 상위 클래스 버스트 H_1 가 도착한 경우 λ_3 와 λ_1 에 preemption이 가능하다. 이 경우 예약된 버스트 L_5 와 L_6 의 전체 길이가 버스트 L_1 의 길이보다 크기 때문에 버스트 L_1 가 preemption 되고 상위 클래스 버스트 H_1 는 데이터 채널 λ_3 에 예약된다

2.2. LHC 알고리즘

기본 데이터 채널 스케줄링 알고리즘으로 without-VF를 사용하는 경우, 중간 노드에서 스케줄러는 각 채널의 최종 예약 종료 시점만을 관리한다. 새로운 버스트를 위한 제어 패킷이 도착했을 때, 각 채널의 예약 종료 시점과 도착할 버스트의 전송 시작 시점만을 비교하면 된다. 따라서, 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 적용을 위해서는 각 채널의 마지막에 예약된 버스트의 예약 종료 시점과 함께 버스트의 클래스 정보를 이용하여 채널을 선택한다.

LHC 알고리즘에서는 상위 클래스 버스트가 기본 데이터 채널 스케줄링 알고리즘으로 예약 가능한 채널을 찾지 못한다면, 예약된 하위 클래스 버스트의 종료 시점을 이용하여 preemption할 채널을 선택한다. 즉, 예약된 하위 클래스 버스트의 종료 시점이 가장 큰 채널을 preemption 한다. 각 채널에 마지막으로 예약된 하위 클래스 버스트의 크기가 동일하다고 가정할 경우에 최종 예약 종료 시점이 가장 큰 채널의 하위 버스트를 preemption 시키면 이미 채널을 사용한 양이 작기 때문에 채널을 낭비할 확률이 가장 작아진다.

3. 부가적 시그널링

제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법에서 하위 클래스 버스트가 예약된 채널이 preemption될 경우, preemption된 하위 클래스 버스트가 전송되는 경로 상에 예약된 채널을 해제하고 다시 사용할 수 있도록 upstream 노드와 downstream 노드에게 이를 알려줌으로써 채널 효율을 증가시킬 수 있다. 이를 위한 부가적인 시그널링은 다음과 같이 몇 가지 경우를 고려할 수 있다.

먼저 버스트가 전송되기 전에 preemption이 발생한 경우, <그림 4>와 같이 중간 노드에서 upstream과 downstream 노드에 예약된 채널을 해제하기 위해^[8]에 정의된 RELEASE 메시지와 유사한 채널 해제 제어 패킷을 만들어 전송한다. Downstream 노드가 버스트 도

착 전에 채널 해제 제어 패킷을 받으면 예약된 채널을 바로 해제하고, 예약 해제된 채널은 다른 버스트가 예약하여 사용할 수 있으므로 채널 이용 효율을 증가시킬 수 있다.

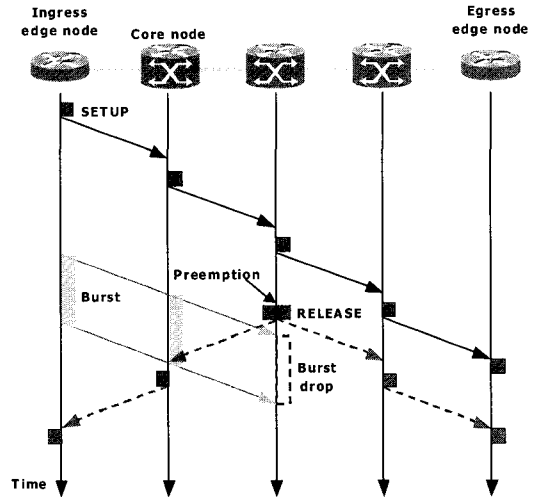


그림 4. Preemption이 발생한 버스트의 예약 채널 해제 과정

Fig. 4. Release procedure of the scheduled channel for a preempted burst.

Upstream 노드의 경우 버스트 도착 전에 예약 해제 제어 패킷을 수신하면 앞에서 설명된 downstream 노드의 경우와 같이 예약된 채널을 해제하여 채널 이용 효율을 높일 수 있다. 그리고 버스트 전송 중에 upstream 노드가 채널 해제 제어 패킷을 수신한 경우에는 즉시 버스트 전송을 중단시킨다. 그리고 이미 전송된 버스트의 앞 부분은 채널이 이미 해제된 downstream 노드에서 폐기된다. 한편, upstream 노드에서 버스트 전송 이후에 채널 해제 제어 패킷을 수신할 경우에는 채널 해제 제어 패킷을 단순히 폐기하거나 경계 노드까지 전송하여 preemption이 된 버스트의 재전송 필요를 경계 노드로 알리는데 사용될 수 있다.

IV. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 장에서는 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 성능 분석을 위해 범용 네트워크 시뮬레이터인 OPNET을 이용하여 시뮬레이터를 구현하여 이용하였다.

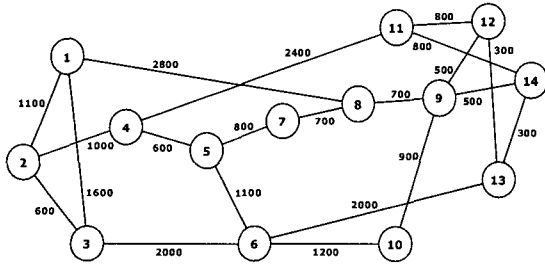


그림 5. 14개의 노드로 구성된 NSF 네트워크 모델
Fig. 5. NSF network with 14 nodes.

1. 시뮬레이션 환경

<그림 5>와 같이 14개 노드를 가지는 NSFNET 모델을 이용하여 제안된 서비스 차별화 기법의 중단간 성능을 측정하였다. 그림에서 각 노드 사이의 거리는 km로 표시하였다. 시뮬레이션 모델에서 각 노드에서 발생된 트래픽의 목적지는 uniform하게 분포한다고 가정하였으며 노드들 사이에 해당 경로를 찾기 위해 최단 경로 라우팅을 사용하였다. 각 링크는 8개의 채널로 구성되었고 그 중 1개의 채널은 제어 패킷을 전달하기 위한 제어 채널로 할당하였고 나머지 7개 채널은 데이터 버스트를 전달하기 위한 데이터 채널로 가정하였다. 또한 각 채널당 전송 속도는 10Gbps로 가정하였다.

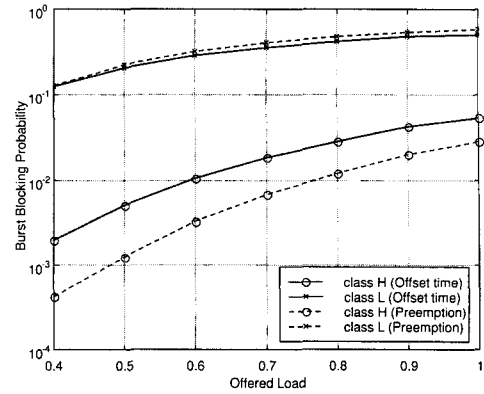
중간 노드에서 제어 패킷 처리 시간 δ 는 10 μ sec로 가정하였으며, 데이터 채널간 완전한 파장변환이 가능한 것으로 가정하였다. 각 노드에서 버스트는 포아송 분포에 따라 발생하며 버스트의 길이는 지수 분포에 의해 평균 1000 Kbits로 가정하였다. 또한 전체 발생 트래픽에서 상위 클래스 버스트 및 하위 클래스의 버스트가 차지하는 비율을 각각 30%와 70%로 구성하였다.

2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

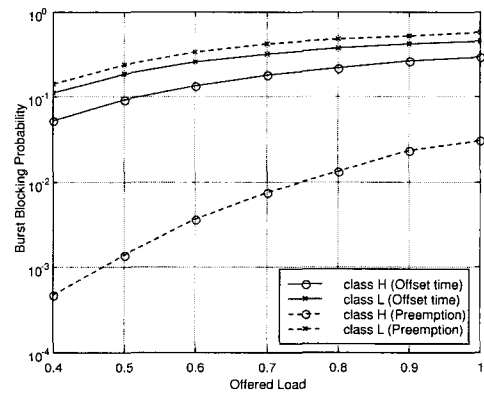
본 절에서는 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 성능을 우선 기존 옵셋 타임 기반 기법과 비교한다. 그리고 제안된 채널 분할 알고리즘과 preemption 채널 선택 알고리즘의 성능을 LRC와 LHC 알고리즘으로 구분하여 비교 분석한다.

2.1. 옵셋 타임 기반 방식과 제안된 preemption 기반 방식의 성능 비교

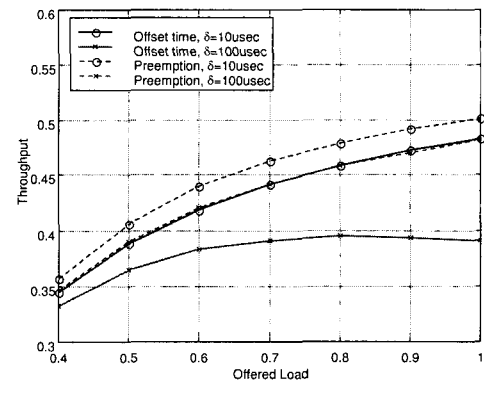
본 절에서는 우선적으로 다중 홉 환경에서의 옵셋 타임 기반 방식과 제안된 preemption 기반 방식의 서비스 차별화 성능을 비교하였다. <그림 6>은 각 방식의 버스트 블록킹 확률을 나타내고 있다. 각 노드에서 제어 패



(a)



(b)



(c)

그림 6. 서비스 차별화 기법간 성능 비교 (a) 버스트 블록킹 확률($\delta = 10 \mu$ sec) (b) 버스트 블록킹 확률($\delta = 100 \mu$ sec) (c) 중단간 수율

Fig. 6. Performance comparison between the service differentiation schemes. (a) Burst blocking probability for $\delta = 10 \mu$ sec. (b) Burst blocking probability for $\delta = 100 \mu$ sec. (c) End-to-end throughput.

킷 처리 시간 δ 를 10 μ sec로 가정한 경우 <그림 6(a)>에서와 같이 옵셋 타임 기반 방식과 제안된 preemption 기반 방식을 동일하게 서비스 클래스 간 차별화를 효과적으로 제공하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 제어 패킷 처리 시간 δ 를 100 μ sec로 가정한 경우에는 <그림 6(b)>에 나타난 바와 같이 path length priority effect에 의해 QoS 옵셋 타임의 효과가 감소하여 옵셋 타임 기반 기법은 효과적으로 서비스 차별화를 지원할 수 없게 된다. 이에 비해 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 방식은 언제나 상하위 클래스간에 효과적으로 서비스 차별화를 제공함을 알 수 있다.

<그림 6(c)>에서는 부하에 따른 중단간 전체 수율을 나타내고 있다. 그림에서 옵셋 타임 기반 기법은 제안된 preemption 기반 기법에 비해 저하된 수율을 보여주며, 제어 패킷 처리 시간이 증가한 경우에는 path length priority effect의 효과가 증가하여 수율의 저하가 심각해짐을 볼 수 있다. 이는 path length priority effect에 의해서 버스트가 목적지에 가까워 질수록 블로킹 확률이 증가하여 upstream 노드에서 이미 사용된 자원이 낭비될 가능성이 커지기 때문이다. 또한, 전체 트래픽에서 다수를 차지하는 하위 버스트는 이러한 path length priority effect에 의한 수율 저하에 더 큰 요소로 작용한다. 제안된 preemption 기반 기법은 preemption을 통하여 path length priority effect의 영향을 받지 않는 서비스 차별화 성능을 보여주며, upstream 노드에서 preemption에 의해 미리 하위 클래스에 속한 버스트가 제거됨으로써 path length priority effect에 의한 대역폭 낭비에 따른 수율의 저하를 개선하여 옵셋 기반 서비스 차별화 기법에 비해 우수한 수율을 보임을 알 수 있다.

2.2. 채널 분할 알고리즘의 성능 분석

<그림 7>은 제공 부하를 0.6으로 고정하고 제안된 채널 분할 알고리즘의 preemption 영역의 크기 m 을 0에서부터 7까지 조절했을 때 클래스간 서비스 차별화 정도를 보여주고 있다. <그림 7(a)>는 preemption 영역의 크기 m 에 따른 전체 버스트 블로킹 확률을 나타낸다. 그림에서와 같이 클래스간 블로킹 확률 면에서 서비스 차별화 정도를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 상위 클래스와 하위 클래스의 버스트 블로킹 확률의 차이는 m 이 증가할수록 커지며, 이러한 차이는 m 의 크기와 직접적인 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서, 제안된 채널 분할 알고리즘으로 클래스간 서비스 차별화 정도는 효율

적으로 조절할 수 있다. <그림 7(b)>는 중단간 수율을 나타내는 것으로 제안된 알고리즘이 중단간 수율면에서 클래스간 차별화된 수율을 제공함을 보여준다.

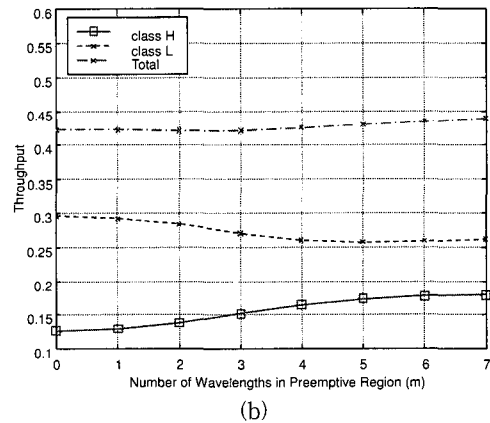
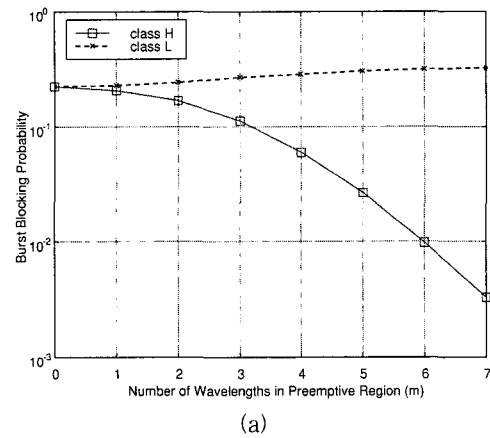


그림 7. Preemption 영역의 크기 m 에 따른 클래스별 서비스 차별화 성능 (a) 버스트 블로킹 확률 (b) 중단간 수율

Fig. 7. Service differentiation between the service classes according to the size of preemptive region m . (a) Burst blocking probability. (b) End-to-end throughput.

2.3. Preemption 채널 선택 알고리즘의 성능 분석

본 절에서는 제안된 preemption 채널 선택 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 제안된 LRC와 LHC 알고리즘을 각각 preemption 발생시 예약된 하위 클래스 버스트의 채널을 랜덤하게 선택하는 Random방식과 비교하였다. LRC 알고리즘은 기본 채널 스케줄링 알고리즘으로 LAUC-VF를 사용하는 delayed reservation 방식인

JET^[1] 방식에 적용하였고, LHC 알고리즘은 기본 채널 스케줄링 알고리즘으로 LAUC를 사용하는 immediate reservation 방식인 TBS^[2] 방식에 적용하였다. Preemption 영역의 크기 m 은 7로 설정하였으며, 이는 상위 클래스 버스트가 기본 데이터 채널 스케줄링 알고리즘으로 예약 가능한 채널을 찾을 수 없을 경우 모든 채널에서 하위 클래스 버스트를 preemption할 수 있도록 한다.

<그림 8(a)>와 <그림 9(a)>는 부하에 따른 각 클래스의 버스트 블록킹 확률을 나타내고 있으며, <그림 8(b)>와 <그림 9(b)>는 채널 선택 알고리즘의 각 클래

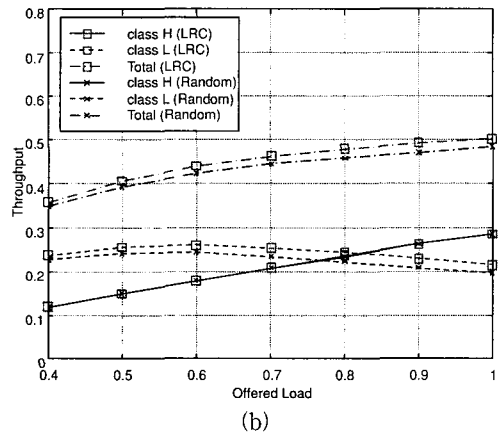
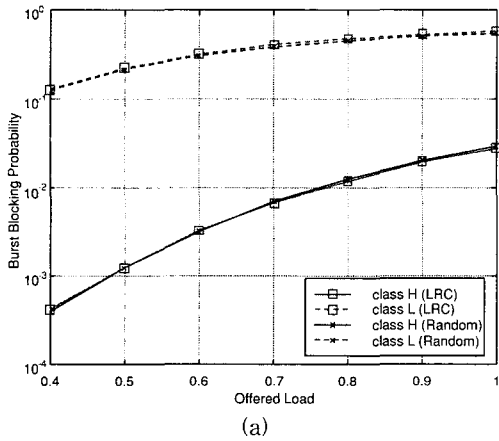


그림 8. JET 방식에서 preemption 채널 선택 알고리즘의 성능 비교 (a) 버스트 블록킹 확률 (b) 종단간 수율

Fig. 8. Performance comparison of the preemption channel selection algorithms for JET. (a) Burst blocking probability. (b) End-to-end throughput.

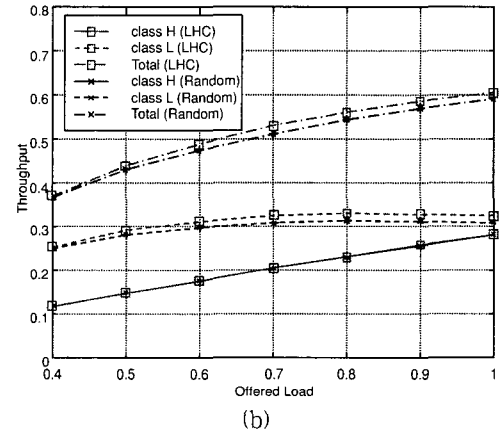
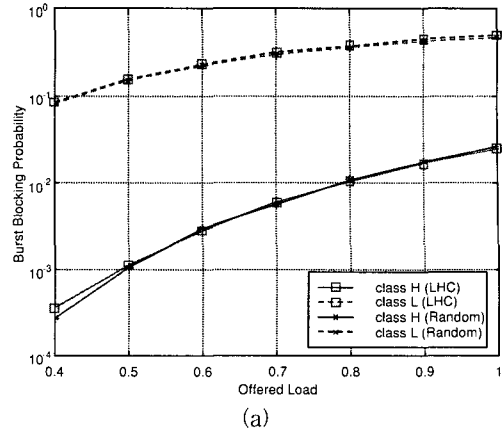


그림 9. TBS에서 preemption 채널 선택 알고리즘의 성능 비교 (a) 버스트 블록킹 확률 (b) 종단간 수율
Fig. 9. Performance comparison of the preemption channel selection algorithms for TBS. (a) Burst blocking probability. (b) End-to-end throughput.

스의 종단간 수율을 보여주고 있다. 제안된 LRC와 LHC 알고리즘을 각각 Random 방식과 비교했을 경우, 버스트 블록킹 확률은 비슷하지만 상위 클래스 버스트 수율의 감소 없이 하위 클래스 버스트의 종단간 수율이 향상됨을 알 수 있다. 이는 Random 방식에서는 버스트 크기와 무관하게 채널을 선택하지만, 제안된 LRC와 LHC 알고리즘은 가장 짧은 크기의 하위 버스트를 preemption하여 하위 클래스의 수율 감소를 최소화할 수 있기 때문이다.

그리고 <그림 8>과 <그림 9>에서 TBS 방식과 JET 방식을 비교했을 때 TBS 방식이 동일한 버스트 블록킹 확률을 가지면서도 높은 수율을 보임을 알 수 있다. 이

는 TBS 방식의 경우 제어 패킷 처리 시간 보상 방법으로 FDL (Fiber Delay Line)을 사용하여 각 노드를 거치면서 읍셋 타임의 크기가 일정하게 유지되기 때문에 path length priority effect에 따른 수율의 저하를 막을 수 있기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 OBS 망에서 preemption 채널 선택 알고리즘과 채널 분할 알고리즘을 이용한 preemption 기반 서비스 차별화 기법을 제안하였다. 제안된 preemption 채널 선택 알고리즘은 preemption이 되는 버스트의 크기를 최소화하여 채널 효율을 증가시키며, 제안된 채널 분할 알고리즘은 클래스간 서비스 차별화 정도를 조절할 수 있다. 또한 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 적용 시에 채널 효율의 향상을 위해 필요한 부가적 시그널링에 관하여 고찰하였다.

시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법의 채널 분할 알고리즘을 통해 중단간 수율과 버스트 블로킹 확률이 효과적으로 차별화됨을 알 수 있었다. 그리고, preemption 채널 선택 알고리즘으로 제안된 LRC 및 LHC 알고리즘을 통해 중단간 수율이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 제안된 preemption 기반 서비스 차별화 기법은 읍셋 타임 기반 서비스 차별화 방식에서 나타나는 path length priority effect에 따른 문제점을 개선하여 효과적인 서비스 차별화를 제공하고 중단간 수율을 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] C. Qiao, and M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS) A New Paradigm for an Optical Internet," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, Jan. 1999.
- [2] J. S. Turner, "Terabit Burst Switching," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 3-16, Jan. 1999.
- [3] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit, "QoS performance in IP over WDM networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.18, no. 10, pp. 2062 -2071, Oct. 2000.
- [4] M. Yoo and C. Qiao, "Supporting Multiple Classes of Services in IP over WDM Networks," in *Proc. of IEEE GLOBECOM'99*, pp. 1023-1027, Dec. 1999.
- [5] Y. Chen, M. Hamdi, D. Tsang, and C. Qiao, "Proportional QoS over OBS Networks," in *Proc. of IEEE GLOBECOM'01*, pp. 1510-1514, Nov. 2001.
- [6] C. Loi, W. Liao, and D. Yang, "Service Differentiation in Optical Burst Switched Networks," in *Proc. of IEEE GLOBECOM'02*, pp. 2313-2317, Nov. 2002.
- [7] B. C. Kim, Y. Z. Cho, J. H. Lee, Y. S. Choi, and D. Montgomery, "Performance of Optical Burst Switching Techniques in Multi-Hop Networks," in *Proc. of IEEE GLOBECOM'02*, pp. 2772-2776, Nov. 2002.
- [8] V. Vokkarane, J. P. Jue, and S. Sitarman, "Burst Segmentation: An Approach for Reducing Packet Loss in Optical Burst Switched Networks," in *Proc. of IEEE ICC'02*, pp. 2673-2677, Apr. 2002.
- [9] J. Y. Wei, J. L. Pastor, R. S. Ramamurthy, and Y. Tsai, "Just-In-Time Optical Burst Switching for Multi-wavelength Networks," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 18, no. 12, pp. 2019-2037, Dec. 2000.
- [10] Y. Xiong, M. Vandenhouste, and H. C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst Switched WDM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 10, pp. 1838-1851, Oct. 2000.

저 자 소 개



金炳喆(正會員)

1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 2002년 3월~2003년 2월 : NIST 객원연구원. <주관심분야 : 차세대 인터넷 프로토콜, 광 인터넷>



金俊燁(正會員)

1997년 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2003년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 7월~현재 : 삼성전자 무선사업부. <주관심분야 : 광 인터넷, 차세대 이동통신망>



趙有濟(正會員)

1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1989년 3월~현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수. 1992년 8월~1994년 1월 : Univ. of Toronto 객원교수. 2002년 3월~2003년 2월 : NIST 객원연구원. <주관심분야 : 광 인터넷, 차세대 이동통신망, 차세대 인터넷 프로토콜>