

論文2003-40TC-10-5

다중 홉 광 버스트 교환망에서 종단간 수율 향상을 위한 홉 단위 우선 순위 증가 기법

(Hop-by-Hop Priority Increasing Scheme for Improving End-to-end Throughput in Multi-Hop OBS Networks)

金炳喆*, 趙有濟*

(Byung-Chul Kim and You-Ze Cho)

요약

본 논문에서는 광 버스트 교환 방식에서 사용되는 제어 패킷 처리 시간 보상 기법 및 자원 예약 기법을 분류하고, 다중 홉 환경에서 대표적인 예약 방식인 OT/DR (Offset Time/Delayed Reservation) 기반 JET (Just-Enough-Time) 방식의 문제점인 path length priority effect를 분석하였다. 그리고, 이러한 문제점을 해결하면서 입력 FDL(Fiber Delay Line)을 사용하여 홉 단위로 우선 순위를 증가시켜 종단간 수율을 개선시킬 수 있는 FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 제안된 방식은 다중 홉 환경에서 path length priority effect로 인해 발생하는 기존 방식의 문제점을 개선하여 종단간 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we classified the wavelength reservation mechanisms of optical burst switching (OBS), and investigated the path length priority effect of the offset time/delayed reservation (OT/DR)-based scheme like the just-enough-time (JET) protocol. And, we showed that the fiber delay line (FDL)-based scheme can avoid the path length priority effect in multiple hop network environments. Also, we proposed a novel FDL/DR with hop-by-hop priority increasing (HPI) scheme which can improve the end-to-end throughput by increasing the priority of bursts hop-by-hop using the input FDLs at each node. The simulation results showed that the proposed FDL/DR with HPI scheme could avoid the path length priority effect and enhance the end-to-end throughput in multiple hop network environments.

Keywords : Optical Burst Switching, Wavelength Reservation, Path Length Priority Effect.

I. 서론

* 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)

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

接受日:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

최근 인터넷을 통한 정보 전달이 기하급수적으로 늘어나고 이를 이용하는 사용자의 서비스도 단순한 데이터뿐만 아니라 실시간 음성, 비디오 서비스 등으로 다양화되고 있다. 따라서, 현재의 전자적 교환기의 처리 용량의 한계를 극복하고, 미래의 다양한 서비스들을 만족시키기 위해 광 교환 기술의 중요성이 대두되고 있다.

그리고 광 소자의 제한을 고려하여 현재의 기술로 구현 가능하면서 광 회선 교환 방식의 비효율성을 개선할 수 있는 교환 방식으로 광 버스트 교환 방식 (OBS : Optical Burst Switching)에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다^[1-3].

일반적인 광 버스트 교환 방식은 단방향 자원 예약 방식을 기반으로 제어 패킷을 먼저 전달하여 광/전 변환을 통해 처리하고 여기서 얻은 정보로 미리 자원을 예약함으로써 데이터 버스트는 광/전 변환없이 광 영역에서 그대로 전달되는 중첩 구조를 가진다. 따라서, 제어 패킷이 각 노드에서 광/전 변환을 통해서 처리되고 스위치를 설정하는데 소요되는 시간을 적절히 보상해 주어야 한다. 기존에 사용되고 있는 제어 패킷의 처리 시간 보상 방법은 OT (Offset Time) 기반 기법과 FDL (Fiber Delay Line) 기반 기법으로 구분할 수 있다^[1,2]. OT 기반 기법은 송신 노드에서 종단 간 거칠 홉 수를 계산하여 종단간 요구되는 제어 패킷 처리 시간의 합을 제어 패킷과 데이터 버스트 전송 간의 시간 차인 옴셋 타임으로 보상하는 방안이고^[1,3], FDL 기반 기법은 각 노드의 입력단에서 광 지연선을 사용하여 데이터 버스트를 지연시킴으로 각 단에서 요구되는 제어 패킷 처리 시간을 보상하는 방안이다^[2]. 그리고 광 버스트 교환 방식에서 자원 예약 기법은 자원예약 시간에 따라서 IR (immediate reservation) 방식 [3]과 DR (delayed reservation) 방식 [1]으로 구분할 수 있다.

최근 이러한 자원 예약 기법 및 제어 패킷 처리 기법을 기반으로 JET (Just-Enough-Time)^[1], Terabit Burst Switching^[2], JIT (Just-In-Time)^[3] 방식 등의 광 버스트 교환 기법들이 제안되어 연구되고 있다. 특히 대표적인 광 버스트 교환 기법인 JET 방식은 자원 예약 방식으로 DR 방식과 제어 패킷 처리 시간 보상 기법으로 OT 기반 기법을 사용한다. 한편, OT 기반 기법에서는 데이터 버스트가 전송되면서 옴셋 타임이 감소되어 목적지까지 남아 있는 홉 수에 따라 서로 다른 옴셋 타임을 가지게 된다. 그리고, DR 방식에서는 큰 옴셋 타임은 자원을 보다 일찍 예약하는 역할을 하여 낮은 버스트 블로킹 확률을 보장하게 된다^[5]. 따라서, JET 방식과 같은 OT/DR 기반 기법에서는 목적지까지 보다 많은 홉이 남아있는 버스트가 낮은 버스트블로킹 확률을 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 현상을 path length priority effect로 정의한다. 이러한 path length priority effect의 영향으로 데이터 버스트가 목적지까지 전송되

면서 점점 블로킹 확률이 증가하여 망 내의 자원 낭비를 초래하고 종단간 수율이 감소된다.

본 논문에서는 대표적인 OT/DR 기반의 광 버스트 교환 기법인 JET 방식에서 나타날 수 있는 path length priority effect를 고찰하고, FDL 기반 기법이 다중 홉 환경의 광 버스트 교환망에서 path length priority effect를 해결할 수 있음을 보인다. 그리고 종단간 수율의 개선을 위한 FDL/DR 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법을 제안한다. 논문의 구성은 서론에 이어 제II장에서 광 버스트 교환 기법을 고찰하고, 제III장에서 JET 방식과 같은 OT/DR 기반 방식에서 나타날 수 있는 path length priority effect를 고찰하고 FDL/DR 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법을 제안한다. 제IV장에서 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 분석하고 끝으로 제V장에서 결론을 맺는다.

II. 광 버스트 교환 기법 고찰

본 장에서는 광 버스트 교환망에서 필요한 제어 기법을 제어 패킷 처리 시간의 보상 기법과 자원 예약 기법으로 나누어 살펴보고, 기존 대표적인 광 버스트 교환 기법들을 고찰한다.

1. 제어 패킷 처리 시간 보상 기법

광 버스트 교환망의 경계 노드로 입력되는 IP 패킷들은 목적지 노드와 QoS 요구 조건에 따라서 분류되어 버스트 단위로 어셈블리되고 중간 노드에서 완전 광으로 전송된다. 광 버스트의 전송을 위해 중간 노드에서 채널 예약이 필요하며 이를 위해 버스트가 전송되기 전에 별도의 제어 채널을 이용하여 제어 패킷을 전송한다. 이때, 제어 패킷은 각 노드에서 광/전 변환을 통해서 전기적으로 변환 처리되어 채널을 예약하고 스위칭 소자를 설정한다. 따라서, 완전광으로 전송되는 버스트와 중간 노드에서 전기적으로 변환되어 처리되는 제어 패킷의 처리 시간 차이를 보상하는 기법을 필요로 한다.

일반적으로 이러한 제어 패킷의 처리 시간 및 스위칭 설정 시간을 보상하기 위한 방안은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 OT 기반 기법과 FDL 기반 기법으로 구분할 수 있다. <그림 1>에서 S와 D는 각각 송신원 및 수신원을 나타내며, δ 는 스위치에서의 제어 패킷 처리 시간 및 스위칭 소자설정 시간을 나타낸다. 우선 OT 기반 기법은 버스트가 전송되는 경로 상의 중간 노드에서의 제어 패킷 처리 시간의 합만큼의 시간을 데이터 버스트와

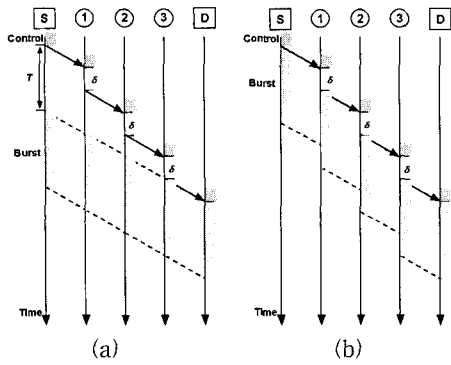


그림 1. 광 버스트 교환 방식에서 광 버스 전송의 기본 개념 (a) OT 기반 방식 (b) FDL 기반 방식

Fig. 1. Basic concept of the burst transmission in OBS. (a) OT-based scheme. (b) FDL-based scheme.

제어 패킷의 전송시간 차인 기본 읍셋 타임으로 송신원에서 할당하여 보상하는 방식이다^{1, 3)}. 즉, 송신원에서 데이터 버스트의 전송을 제어 패킷의 전송 후에 기본 읍셋 타임 T 만큼 지연시킨다. 읍셋 타임 기반 방식에서는 버스트는 송신원에서 전기적인 버퍼에서 버퍼링되므로 중간 노드에서의 제어 패킷의 처리 시간을 보상하기 위한 FDL을 필요로 하지 않는다. 반면에 FDL 기반 방식에서는 일반적으로 데이터 버스트는 제어 패킷의 전송후에 바로 전송되며, 중간 스위치에서 제어 패킷의 처리 및 스위치 설정 시간은 각 노드의 입력단의 FDL에 의해 보상된다^{2, 7)}. 즉, FDL 기반 광 버스트 교환 방식은 기존 광 패킷 교환 방식과 유사한 방식으로 제어 정보가 처리된다. 그러나, 광 패킷 교환 방식에서는 광 버스트 교환 방식에 비해 짧은 패킷이 사용되며 동일 파장을 이용하여 전송된 광 패킷 헤더를 분리하여 처리하여야 하므로 FDL 기반 광 버스트 교환 방식이 구현 면에서 용이한 장점을 가진다.

표 1. OT 기반 기법과 FDL 기반 기법의 비교
Table 1. Characteristics of the OT and FDL-based schemes.

	OT-based scheme	FDL-based scheme
Routing information requirements at source node	Yes	No
FDL requirements at core node	No	Yes
Protection/restoration Complexity	High	Low

OT 기반 기법과 FDL 기반 기법의 특성을 비교하면 <표 1>과 같다. 우선 FDL 기반 기법은 중간 노드의 입력단에 FDL을 필요로 하기 때문에 구현이 복잡해진다. 그러나, 읍셋 타임 기반 기법은 중간 노드의 구현은 간단하지만 송신원에서 기본 읍셋 타임 설정을 위해 미리 버스트가 전송될 완전한 경로 정보를 필요로 하기 때문에 운용상에 복잡성이 있다. 그리고, 보호 및 복구 알고리즘의 선택에 있어서도 기본 경로의 홉 수를 초과하지 않는 복구 경로를 선택해야 한다는 제약사항이 따른다. 만약, 복구 경로의 홉 수가 기본 경로의 홉 수를 초과할 경우에는 복구 경로 상으로 버스트가 전송되는 도중에 읍셋타임의 부족으로 인하여 제어 패킷이 완전히 처리되기 전에 버스트가 도착하여 버스트가 폐기될 수 있다.

2. 채널 예약 기법

데이터 채널과 분리되어 전송된 제어 패킷은 중간 노드에서 광/전 변환을 통해 전기적으로 처리되어 데이터 버스트의 전송을 위해 파장 채널을 예약하고 다시 전/광 변환을 통해 출력된다. 중간 노드에서 채널 예약 방식은 예약 시작 시간에 따라서 IR (Immediate Reservation) 방식과 DR (Delayed Reservation) 방식으로 구분할 수 있다.

IR 방식은 제어 패킷의 처리가 끝난 후 바로 채널을 예약하는 방식이다³⁾. 반면에 DR 방식은 제어 패킷이 처리된 뒤에 제어 패킷의 내용을 기반으로 실제 버스트가 도착할 시간을 예측하여 버스트가 전송되는 기간 동안만 채널을 예약하는 방식이다¹⁾. IR 방식은 제어 패킷이 도착되어 처리될때 현재 채널의 사용 가능 여부만으로 채널 예약 처리가 가능하기 때문에 구현이 간단하다. 그러나, 채널은 예약되어 있지만 실제 버스트의 전송이 이루어지고 있지 않은 채널을 다른 버스트가 사용할 수 없기 때문에 채널 효율이 저하되는 단점이 있다⁶⁾. 이에 비해 DR 방식은 실제 버스트 전송 기간 동안만 채널을 예약함으로써 채널 효율을 향상시킬수 있다. 그리고 DR 방식은 우선 순위가 높은 버스트에 대해 QoS 읍셋 타임을 부가적으로 할당하여 낮은 우선 순위 버스트에 비해 우선적으로 채널을 예약하도록하는 읍셋 타임 기반의 서비스 차별화를 제공할 수 있다⁵⁾. 최근 앞에서 살펴본 자원 예약 기법 및 제어 패킷 처리 기법을 기반으로 JET (Just-Enough-Time)¹⁾, Terabit Burst Switching²⁾, JIT (Just-In-Time)³⁾ 방식 등의 다양한 광 버스트 교환 기법들이 제안되어 연구되고 있다.

Ⅲ. 제안된 홉 단위 우선 순위 증가 기법

앞에서 살펴 본 대표적인 광 버스트 교환 기법인 JET 방식과 같은 OT/DR 기반 광 버스트 교환 방식에서 나타날 수 있는 문제점을 분석하고, 이를 해결하면서 중단간 수율을 개선할 수 있는 기법을 제안한다.

1. OT/DR 기반 방식의 Path Length Priority Effect

대표적인 광 버스트 교환 기법인 JET 방식은 자원 예약 방식으로 DR 방식과 제어 패킷 처리 시간 보상 기법으로 OT 기반 기법을 사용한다. 한편, OT 기반 기법에서는 데이터 버스트가 전송되면서 홉셋 타임이 감소되어 목적지까지 남아 있는 홉 수에 따라 서로 다른 홉셋 타임을 가지게 된다. 그리고, DR 방식에서는 큰 홉셋 타임은 자원을 보다 일찍 예약하는 역할을 하여 낮은 버스트 블록킹 확률을 보장하게 된다^[5]. 따라서, JET 방식과 같은 OT/DR 기반 방식에서는 목적지까지 남아 있는 홉 수에 따라 버스트 블록킹 확률이 달라지는 path length priority effect가 발생한다.

<그림 2>는 OT/DR 기반 방식에서 나타날 수 있는 path length priority effect의 예를 보여주고 있다. 각 경계 노드에서 생성된 버스트 A와 B는 목적지까지 같은 홉 수를 거치고 같은 클래스에 속한다고 가정할 경우, 기본 홉셋 타임은 똑같이 할당된다. 그리고, 두 버스트가 특정 코어 노드에서 같은 링크에 대한 채널 예약을 할 경우 두 버스트 간에 경쟁이 발생한다. 이 경우 버스트 A는 여러 홉을 거쳤기 때문에 홉셋 타임이 상당히 줄어들었고, 버스트 B는 거처간 홉 수가 적기 때문에 비교적 큰 홉셋 타임을 가지고 경쟁을 하게 된다. 따

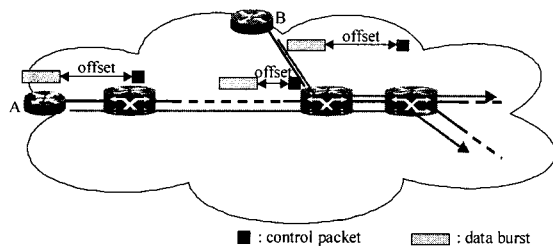


그림 2. OT 기반 방식의 다중 홉 환경에서 발생하는 path length priority effect

Fig. 2. Different residual offset times according to the number of remaining hops in the OT-based scheme.

라서, 같은 홉셋 타임을 가지고 출발했다더라도 다중 홉 환경에서는 홉셋 타임이 줄어들기 때문에 목적지까지 갈수록 경쟁에서 불리해진다.

또한, 홉을 거칠수록 홉셋 타임이 줄어들어 목적지에 가까워질수록 블록킹될 확률이 상대적으로 증가하기 때문에 이로 인해 거처온 앞 단의 노드에서 사용한 대역폭이 낭비되는 문제가 있다. 즉, 여러 홉을 거처온 버스트의 경우 거처온 앞 단의 망 자원을 이미 사용하였기 때문에 보다 블록킹 확률을 줄여주는 것이 전체 망 자원의 효율성 면에서 바람직하지만, 버스트가 노드를 거쳐 갈수록 블록킹될 확률이 증가하는 역차별화 문제가 발생한다. 따라서, OT/DR 기반의 JET 방식은 거처가는 홉 수 증가에 따른 역차별화로 인하여 망 전체 대역폭 사용면에서 비효율적이며, 이로 인해 전체 수율도 낮아지는 단점이 있다. 그리고, QoS 홉셋 타임을 사용한 홉셋타임 기반의 서비스 차별화 기법의 적용시 path length priority effect에 의한 차별화 성능의 저하도 발생할 수 있다.

2. FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법

앞에서 살펴 본 path length priority effect의 영향으로 OT/DR 기반의 JET 방식은 홉을 거처서 목적지에 가까울수록 남아있는 홉셋 타임이 줄어들기 때문에 블록킹 확률은 목적지에 가까울수록 커지고 거처온 노드들에서 사용된 대역폭이 낭비될 확률은 점점 증가하여 중단간 수율의 저하를 초래는 문제점이 있다. 그러나, FDL 기반 방식으로 제어 패킷의 처리 시간을 보상하게 되면 각 노드에서 홉셋 타임은 항상 동일하게 유지할 수 있고 중단간 대역폭의 낭비를 줄일 수 있다.

한편, 많은 홉을 거처온 버스트의 경우 이미 상위 노드에서 대역폭을 사용한 버스트이므로 이러한 버스트의 블록킹될 확률을 줄여주면 다중 홉 환경에서 중단간 대역폭 낭비를 줄여 전체 수율 면에서 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 제안된 홉 단위 우선 순위 증가 기법은 버스트가 홉을 거칠수록 경쟁에서 좀 더 유리하도록 우선 순위를 증가시키도록 한다.

<그림 3>에 나타난 것처럼 제안된 FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법은 각 노드의 입력단에서 FDL을 사용하여 제어 패킷이 처리되는 시간 δ 에 부가적으로 ΔT 만큼을 증가시켜 많은 홉을 거처 전송된 버스트의 블록킹 확률이 감소될 수 있도록 한다. 즉, i 번째 노드에서의 홉셋 타임은 다음 식과 같이 거처간

홉 수가 많아질수록 증가한다.

$$T_i = T_{i-1} + \Delta T \quad (1)$$

즉, 각 홉을 거치면서 누적된 홉셋 타임은 홉셋 타임 기반 서비스 차별화 기법에서 사용되는 QoS 홉셋 타임의 역할을 한다. 따라서, 버스트가 다중 홉을 거쳐 전송되면서 홉 단위로 우선 순위가 증가하여 많은 홉을 거친 버스트일수록 블록킹 확률을 감소시킴으로써 상위 노드에서 사용된 대역폭의 낭비를 줄여 종단간 수율을 증가시킨다.

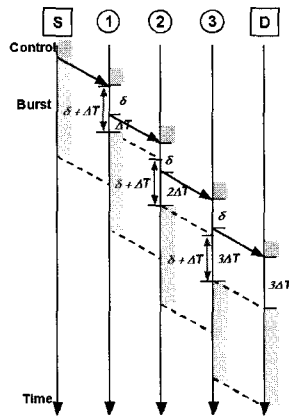


그림 3. 제안된 FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법의 동작
Fig. 3. Basic concept of the proposed FDL/DR with HPI scheme.

그러나, 각 노드에서 부가되는 홉셋 타임 ΔT 는 종단간 버스트 전송 지연을 증가 시키므로 종단간 버스트 지연 요구 사항을 고려하여 제한되어야 한다. 그리고, 다중 서비스 클래스를 지원하기 위해서 QoS 홉셋 타임을 송신원에서 사용할 경우 서비스 클래스 간의 역전 현상이 발생하지 않도록 ΔT 를 설정하여야 한다.

IV. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 다중 홉 환경에서 OT/DR 기반 JET 방식의 path length priority effect를 분석하고, FDL/DR의 경우 이러한 문제점을 해결할 수 있음을 보인다. 그리고, 제안된 FDL/DR 방식 기반 홉 단위 우선 순위 증가 기법의 성능을 기존 JET 방식과 비교한다. 본 장에서 편의상 제안된 FDL/DR 방식 기반

홉 단위 우선 순위 증가 기법을 FDL/DR with HPI (Hop-by-hop Priority Increasing) 방식으로 표현한다.

1. 시뮬레이션 환경

다중 홉 환경에서의 광 버스트 교환 기법의 종단간 성능 및 path length priority effect를 분석하기위해서 <그림 4>와 같은 링형 망 환경을 고려하였다. 링형 망 환경에서 모든 버스트는 동일하게 5홉을 거쳐 목적지에 도달하고, 각 링크에서는 목적지까지 남아있는 홉이 서로 다른 버스트 간에 경쟁이 발생한다. 각 링크는 4개의 파장을 가정하였고 그 중 1개의 파장은 제어 패킷을 전달하기 위한 제어 채널로 할당하였고 나머지 3개의 파장은 데이터 버스트를 전달하기 위한 데이터 채널로 가정하였다. 또한 각 채널당 전송 속도는 10 Gbps로 가정하였다.

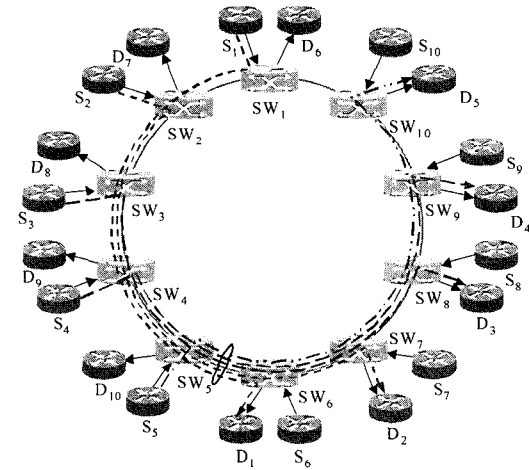


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 모델
Fig. 4. Network configuration for simulation.

중간 노드에서 제어 패킷 처리 시간 δ 는 $10\mu\text{sec}$ 로 가정하였으며, 데이터 채널간 완전한 파장변환이 가능한 것으로 가정하였다. 각 노드에서 버스트는 on/off 모델을 사용하여 발생시켰다. 이때 버스트의 길이는 평균 100 Kbits인 지수분포를 가정하였고, 버스트 도착 간격의 평균치를 조절하여 제공 부하를 조절하였다. 그리고, 제안된 FDL/DR with HPI 방식에서 사용되는 ΔT 는 $5\mu\text{sec}$ 로 설정하였다.

2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

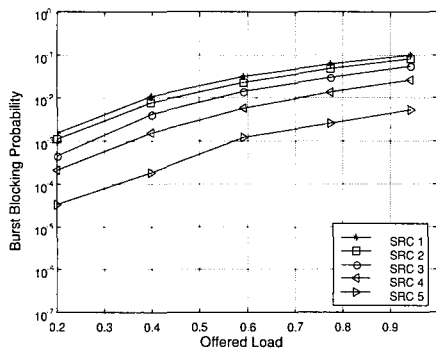
2.1. Path Length Priority Effect

본절에서는 다중 홉 환경에서의 발생할 수 있는 path

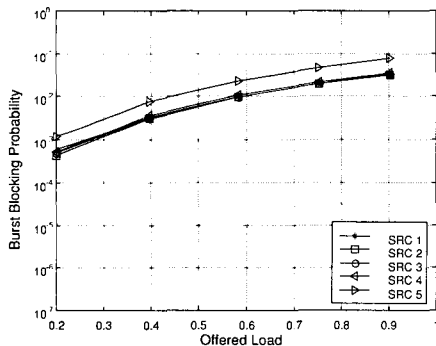
length priority effect를 고찰하기 위해서 송신원 $S_1 \sim S_5$ 에서 발생된 버스트들의 SW_5 에서의 블록킹 확률을 비교하였다.

<그림 5(a)>는 OT/DR 기반의 JET 방식의 버스트 블록킹 확률을 보여주고 있다. 그림에서 송신원 $S_1 \sim S_5$ 에서 발생된 버스트는 각각 서로 다른 우선 순위를 가지는 것과 같이 블록킹 확률이 차별화됨을 알 수 있다. 이는 각 송신원에서 동일한 기본 옵셋 타임을 할당하였지만 송신원에 따라 각 버스트가 서로 다른 홉 수를 거쳐 SW_5 에 도착하고 목적지까지 남아 있는 홉 수에 따라 서로 다른 옵셋 타임이 남아있기 때문이다. 따라서, 앞에서 설명된 path length priority effect가 JET 방식에서 나타남을 알 수 있다.

<그림 5(b)>는 FDL/DR 기반 방식의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 모든 버스트는 목적지까지 남아있는



(a)



(b)

그림 5. SW_5 에서 버스트 블록킹 확률의 비교 (a) JET 방식 (b) FDL/DR 기반 방식

Fig. 5. Comparison of the burst blocking probabilities at SW_5 . (a) JET scheme. (b) FDL/DR-based scheme.

홉 수에 관계없이 거의 동일한 블록킹 확률을 보임으로써 OT/DR 기반 방식에서 나타날 수 있는 path length priority effect가 발생하지 않음을 알 수 있다. 그리고, S_5 에서 생성된 버스트는 다소 큰 블록킹 확률을 보임을 알 수 있다. 이는 S_5 에서 발생된 버스트는 $S_1 \sim S_4$ 에서 발생된 모든 버스트와 SW_5 에서 채널을 예약하기 위해서 경쟁하지만, $S_1 \sim S_4$ 에서 발생된 버스트 간에는 이전 노드에서 이미 경쟁을 거쳐 배치되어 SW_5 에 도착하기 때문에 서로 경쟁을 하지 않기 때문이다.

2.2. 종단간 성능 비교

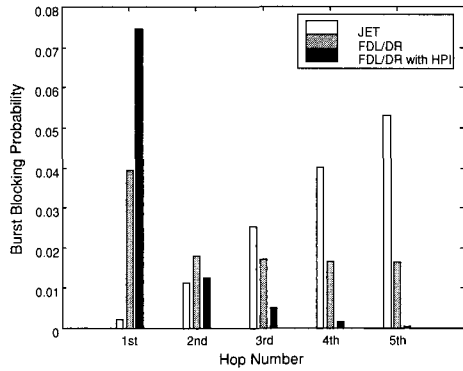
본 절에서는 제안된 FDL/DR with HPI 방식과 기존 방식과의 종단간 성능을 각 홉에서의 버스트 블록킹 확률과 종단간 수율 면에서 비교분석하였다.

<그림 6(a)>는 버스트가 송신원에서 목적지까지 전달되면서 겪게 되는 각 홉에서의 버스트 블록킹 확률을 나타내고 있다. 이때 각 링크에 인가되는 부하는 0.8로 조정하였다. JET 방식의 경우 path length priority effect에 의해서 각 홉을 거쳐 목적지에 가까워지면서 버스트 블록킹 확률이 점차 증가됨을 볼 수 있다. 그러나, FDL/DR 방식에서는 각 홉에서 거의 동일한 버스트 블록킹 확률을 보여준다. 즉, FDL/DR 방식의 경우 path length priority effect를 해결할 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 종단간 수율 향상을 위해서 제안된 FDL/DR with HPI 방식의 경우 홉을 거치면서 FDL을 사용하여 옵셋 타임을 증가시켜 우선 순위를 높여줌으로써 버스트 블록킹 확률이 감소됨을 알 수 있다. 그리고, 제안된 FDL/DR with HPI 방식의 경우 다른 방식과 비교할 때 새롭게 망으로 입력되는 버스트가 첫 번째 홉에서 블록킹 되어 망 내의 부하량을 조절하는 수락 제어의 성질을 지님을 알 수 있다.

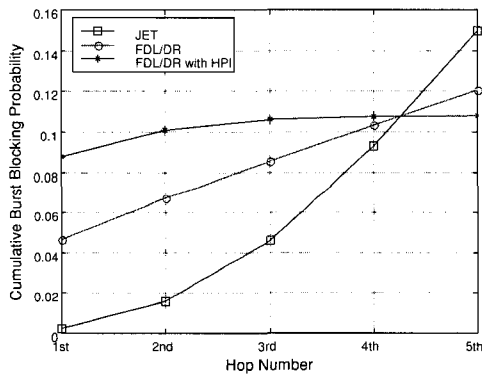
<그림 6(b)>에서는 각 송신원에서 발생된 버스트가 각 홉을 거치면서 겪는 누적 블록킹 확률을 보여주고 있다. 제안된 FDL/DR with HPI 방식이 다른 방식들에 비해 첫 홉에서의 버스트 블록킹 확률은 크지만 종단간 전송 중에 겪는 전체 블록킹 확률은 최소화됨을 알 수 있다. 따라서, <그림 6(a)>와 <그림 6(b)>의 결과로부터 제안된 FDL/DR with HPI 방식은 상위 노드에서 사용된 자원이 하위 노드에서 낭비되는 확률이 줄어들어 종단간 수율이 향상될 것을 예상할 수 있다.

<그림 6(c)>에서는 각 링크에 인가된 부하 변화에 따른 종단간 수율을 보여주고 있다. JET 방식의 경우 목

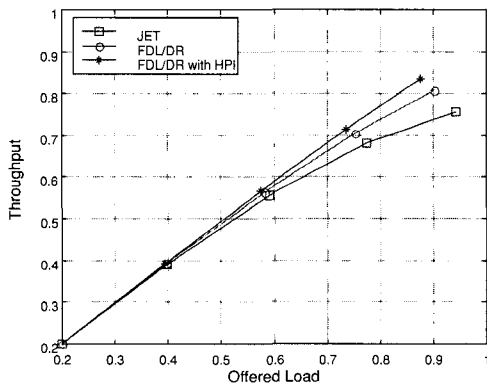
적지까지 전송되는 과정의 각 홉에서 버스트 블록킹 확률이 증가함으로 인해 상위 노드의 자원 낭비가 가장



(a)



(b)



(c)

그림 6. 종단간 성능 비교 (a) 각 홉에서의 버스트 블록킹 확률 (b) 누적 버스트 블록킹 확률 (c) 수율
Fig. 6. Comparison of the end-to-end performance. (a) Burst blocking probability at each hop. (b) Cumulative burst blocking probability. (c) Throughput.

크기 때문에 가장 낮은 종단간 수율을 보임을 알 수 있다. 이에 비해 제안된 FDL/DR with HPI 방식의 경우 대역폭 낭비를 줄여 종단간 수율의 향상을 보임을 알 수 있다. 즉, 링크에 인가된 부하가 0.8인 경우 FDL/DR with HPI 방식은 JET 방식에 비해 거의 10%의 성능 향상을 보여 준다. 그리고 각 링크에 인가된 부하가 커질수록 성능 향상의 폭이 증가함을 알 수 있다.

2.3. 제안된 FDL/DR with HPI 방식에서 DT 설정에 따른 성능

본 절에서는 제안된 FDL/DR with HPI 방식의 각 홉에서 부가되는 추가 지연 ΔT 에 따른 성능을 분석한다. <그림 7>은 각 링크에 인가되는 부하를 0.8로 조정하고 평균 버스트 길이 L 과 ΔT 의 크기를 변화시킬 경우 FDL/DR with HPI 방식의 종단간 수율을 보여주고 있다. 그림에서 제안된 방식을 사용할 경우 종단간 수율은 ΔT 의 값을 증가 시킬수록 개선되지만, 개선 정도는 ΔT 와 평균 버스트길이 L 의 비에 비례함을 알 수 있다. 즉, $\Delta T = 0.5L$ 정도만 되면 종단간 수율이 급격히 향상되고, $\Delta T = L$ 정도가 되면 수율의 개선이 최대화됨을 알 수 있다. 그러나, ΔT 는 종단간 버스트 전송 지연 및 구현의 복잡성을 증가시킬 수 있다. 따라서, ΔT 의 설정시 수율을 증가시키면서 종단간 버스트 지연 요구 사항을 만족하도록 평균 버스트 길이 내에서 적당히 제한되어야 한다. 그리고 다중 서비스 클래스를

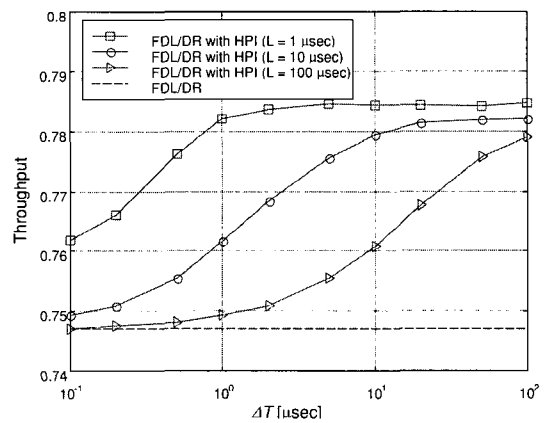


그림 7. FDL/DR with HPI 방식의 추가 지연 ΔT 의 설정에 따른 종단간 수율
Fig. 7. The effect of the extra delay ΔT on the FDL/DR with HPI scheme.

지원하기 위해서 QoS 옵션 타임을 송신원에서 사용할 경우 부가적으로 서비스 클래스 간의 역전 현상이 발생하지 않도록 누적된 ΔT 의 크기가 QoS 옵션 타임을 초과하지 않도록 제한하여야 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 광 버스트 교환방식에서 사용되는 제어 패킷 처리 시간 보상 기법 및 자원 예약 기법을 분류하고, 다중 홉 환경에서 대표적인 예약 방식인 OT/DR 기반 JET 방식의 문제점인 path length priority effect를 분석하였다. 그리고 이러한 문제점을 해결하면서 입력 FDL을 사용하여 홉 단위로 우선 순위를 증가시켜 종단간 수율을 개선시킬 수 있는 FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다.

시뮬레이션을 통한 분석 결과 JET 방식의 경우 path length priority effect의 영향으로 데이터 버스트가 목적지까지 전송되면서 점점 블록킹 확률이 증가하여 망 내의 자원 낭비를 초래하고 종단간 수율이 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 제안된 FDL/DR 방식 기반의 홉 단위 우선 순위 증가 기법은 path length priority effect를 해결하면서 기존 방식과 비교하였을 때 종단간 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, 1999.

- [2] J. S. Turner, "Terabit Burst Switching," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 3-16, 1999.
- [3] J. Y. Wei, J. L. Pastor, R. S. Ramamurthy, and Y. Tsai, "Just-In-Time Optical Burst Switching for Multi-wavelength Networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 18, no. 12, pp. 2019-2037, Dec. 2000.
- [4] I. Baldine, G. N. Rouskas, H. G. Perros, and D. Stevenson, "JumpStart: A Just-in-Time Signaling Architecture for WDM Burst-Switched Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 2, pp. 82-89, Feb. 2002.
- [5] 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.
- [6] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath, and S. Bodamer, "Evaluation of Reservation Mechanisms for Optical Burst Switching," *International Journal of Electronics and Communications*, vol. 55, no. 1, Jan. 2001.
- [7] Y. Xiong, M. Vandenhoute, 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 객

원연구원. <주관심분야 : 차세대 인터넷 프로토콜, 광 인터넷>



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 : 경

북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수. 1992년 8월~1994년 1월 : Univ. of Toronto 객원교수. 2002년 3월~2003년 2월 : NIST 객원연구원. <주관심분야 : 광 인터넷, 차세대 이동통신망, 차세대 인터넷 프로토콜>