

WDM 광 버스트 스위칭을 위한 버스트 스케줄링 기법의 성능 평가

차 윤 호, 소 원 호, 노 선 식, 김 영 천
전북대학교 컴퓨터공학과
전화 : 063-270-2413

Performance Evaluation of Burst Scheduling Schemes for WDM Optical Burst Switching

Yun-Ho Cha, Won-Ho So, Sun-Sik Roh, Young-Chun Kim
Dept. of Computer Engineering, Chonbuk National University
E-mail : yhcha@networks.chonbuk.ac.kr

Abstract

Optical burst switching(OBS) is a new switching paradigm to supporting bursty traffic on the Internet efficiently. OBS separates burst level and control level. To handle data burst efficiently, the scheduling schemes in optical burst switching systems must keep track of future resource availability when assigning arriving data bursts to wavelength channels. In this paper, we evaluate the performance of three scheduling schemes which are called Horizon, Single-gap and Multiple-gap, as a basic study for the future research of Optical Internet. Thus, firstly, we analyze the trade-off between the performance and the processing overhead of each scheme. In addition, the performance of OBS system which uses Multiple-gap scheduling is evaluated in detail under various network size. We use simulation for performance evaluation in terms of burst loss rate(BLR), wavelength channel utilization and the number of management data.

I. 서 론

현재 전세계 인터넷 사용자의 수는 2억 명에 도달하였으며, 버스트 특성을 갖는 인터넷 트래픽은 매 6개월마다 2배씩 증가하고 있다[1]. 이러한 트래픽 양의 급증으로 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술을 이용한 광대역의 광인터넷 구성을 위한 전송 기술과 교환 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있

다[2].

WDM 기술을 이용한 광인터넷 구성을 위한 대안으로 파장 교환(wavelength routing)을 이용하는 광회선 교환 방식과 고정 크기의 패킷을 교환하는 광패킷 교환 방식이 제시되었다. 하지만 현재의 인터넷 트래픽의 특성이 버스트한 점을 고려하면 광회선 교환 방식은 많은 상대적으로 대역폭을 낭비하는 문제점을 갖고 있다. 이에 비해 광패킷 교환 방식은 작은 단위의 패킷으로 효과적인 통계적 다중화를 이룰 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 광패킷 교환 방식도 패킷의 헤더(header) 처리시간 동안 패킷을 지연시키기 위한 FDL (Fiber Delay Line)이 요구되어 현실적으로 구현의 어려움이 있다[3].

최근 이러한 교환 방식의 장점을 최대한 이용하고 버스트한 트래픽을 그대로 수용할 수 있는 광버스트 스위칭 방식(optical burst switching; OBS)이 제시되었다[3,4]. OBS 방식은 버스트 데이터의 전송과 이에 대한 제어 패킷의 전송 채널을 분리하고 제어 패킷을 먼저 전송하여 버스트 데이터에 대한 파장 채널 예약을 수행하는 특징을 갖는다. 따라서 방대한 파장 채널을 효과적으로 다중화할 수 있으며 각 중간 노드에서 FDL을 사용하지 않고 버스트에 대한 교환을 수행할 수 있다.

이러한 OBS 노드에서 버스트에 대한 적합한 파장을 선택하는 기존에 제시된 스케줄링 기법으로 Horizon, Single-gap과 Multiple-gap 방식이 있다. 각 방식은 예약된 버스트에 대한 정보를 관리하여 새로 도착한 버스트에 적합한 파장을 할당하는데, 향후 연구에 대한 기반 연구로서 관리 데이터의 수에 따른 성능 분석이 요구된다.

본 논문은 OBS를 이용한 광인터넷망을 위한 기반 연구로서 각 스케줄링 기법을 성능 분석한다. 먼저 입

력 부하에 따른 적합한 관리 데이터의 수, 채널 이용률과 버스트 손실률을 분석하고 망 크기에 적합한 관리 데이터를 결정한다. 또한 망의 크기를 다양화할 때 각 기법에 대한 성능을 비교하고 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 광버스트 스위칭과 버스트 스케줄링 기법에 대해 기술하고, 3장에서는 각 기법에 대한 시뮬레이션을 수행하고 결과를 통하여 성능평가 및 분석을 수행한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 광버스트 스위칭 노드의 운용

2.1 광버스트 스위칭

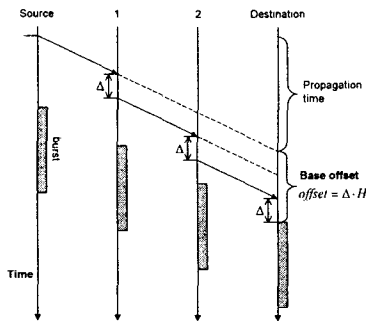


그림 1. One-way 예약 프로토콜.

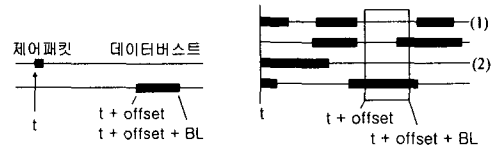
OBS의 특징은 근원지와 목적지 노드간에 버스트에 대한 채널 예약을 위하여 그림 1과 같은 one-way 예약 프로토콜을 사용한다. 또한 중간노드에서 버스트를 지연시키지 않고 출력 링크로 cut-through 방식으로 버스트를 전송한다. 따라서 채널 할당을 위한 제어 패킷을 먼저 전송하고 적절한 offset 시간 후에 제어 패킷에 대응되는 버스트를 전송해야 한다. 이때 중간 노드에서 제어 패킷의 프로세싱 시간을 Δ 라고 하고, 근원지와 목적지 사이의 홉 수를 H 라고 하면, offset 시간은 $offset \geq \Delta \cdot H$ 을 만족해야 한다. 일반적으로 OBS에서 제어 패킷은 경로 배정을 위한 정보, offset 시간 그리고 버스트의 길이 정보 등을 포함한다.

중간 노드에 도착하는 버스트에 적합한 파장 채널을 할당하기 위해서는 이러한 제어 패킷의 정보를 이용하여 새로운 버스트가 할당될 때마다 출력링크의 파장 채널에 대한 예약 정보를 관리해야 한다. 특히 OBS 방식은 one-way 예약 프로토콜을 기반으로 하기 때문에 예약된 데이터를 효율적으로 관리해야하며 이에 적합한 버스트 스케줄링 기법이 요구된다.

2.2 스케줄링 기법

그림 2(a)와 같이 제어패킷이 t 에 도착하고 offset 시간 후인 $t + offset$ 에 버스트가 도착할 때, OBS 노드

는 버스트 길이 BL 를 고려하여 채널을 할당해야 한다. 이때 도착하는 버스트가 사용할 수 있는 파장 채널은 그림 2(b)의 사각형 영역내에 있는 빈 공간의 채널 중 하나가 될 것이다. 그림 2(b)처럼 각 OBS 노드는 제어 패킷이 도착하는 시간 t 와 가장 최근에 예약된 버스트사이의 모든 데이터 정보를 관리 할 수 있다. 하지만 고속으로 제어 패킷을 처리하기 위해서는 가능한 적은 수의 데이터를 관리해야 하고 반면에, 효율적인 채널 할당을 위해서는 많은 정보를 관리해야 한다.



(a) (b)
그림 2. 버스트 스케줄링.

따라서 기존에 제시된 스케줄링 기법으로 Horizon, Single-gap 그리고 Multiple-gap 방식을 관리 데이터 관점에서 분류할 수 있다. 먼저 Horizon 기법은 스케줄링을 위하여 각 파장 채널 당 1개의 데이터를 사용하는데, 이것은 가장 최근에 예약된 버스트가 끝나는 시간이며 horizon이라고 정의한다. 따라서 그림 2(b)에서 (2)번 채널의 horizon 값만이 $t + offset$ 보다 작기 때문에 이 방식에서는 (2)번 채널을 버스트에 할당할 수 있고, 관리 데이터는 (2)번 채널의 horizon값을 $t + offset + BL$ 로 설정함으로써 갱신된다.

Single-gap 기법은 각 채널의 horizon과 horizon 전의 빈 파장 채널 공간(gap)에 대한 시간 데이터들을 관리한다. 따라서 3개의 데이터가 요구되며, 그림 2(b)의 경우에는 (1)번과 (2)번 채널에 버스트를 예약할 수 있다. 이 방식은 파장 채널의 이용률을 증가시키기 위하여 각 채널의 horizon보다는 gap에 우선 순위를 두어 파장 채널을 예약한다. 따라서 사용할 수 있는 gap을 가지는 파장 채널이 2개 이상 존재하면, 예약될 버스트의 길이 BL 를 고려하여 gap과 크기가 가장 비슷한 파장 채널을 선택한다. 만일 사용할 수 있는 gap이 없다면 각 채널의 horizon을 고려한다.

마지막으로 Multiple-gap 기법은 스케줄링을 위한 관리 데이터 수에 제한을 두지 않는 방식이다. 따라서 한 파장 채널에 예약된 모든 버스트들이 만들어 내는 빈 파장 채널 공간에 대한 시간 데이터를 갖게 된다. 이때 평균적으로 각 파장 채널이 g 개의 gap을 관리한다면, 각 채널당 $2 \times g + 1$ 개의 관리 데이터를 운용해야 한다. 이 기법의 성능을 최대로 하기 위하여 여러 개의 예약 가능한 파장 채널이 존재하면, 이용률이 가장 좋은 파장 채널을 선택하며 이를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

III. 성능 분석

기존에 제시된 Horizon, Single-gap과 Multiple-gap 기법에 대하여 관리 데이터 수에 따른 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 시뮬레이션 환경을 고려하여 단일 OBS노드를 성능 분석하였다.

- . 버스트 입력 : 포아송 분포
- . 버스트 길이 : BL 을 평균으로 하는 지수 분포
- . 링크 당 파장수 : k
- . 버스트 길이에 대한 프로세싱 시간 비율 : c

여기서 c 값은 중간노드에서 제어 패킷을 처리하는데 필요한 시간을 버스트 전송 시간 단위로 정량화시킨 값이다. 또한 다양한 망의 크기에 따른 트래픽을 단일 노드로 분석하기 위하여 H_{max} 를 정의하였다. 이것은 근원지와 목적지 노드사이에 설정될 수 있는 최대 홉 수로 가정하였으며, 발생하는 트래픽은 모두 같은 확률로 단일 노드에 도착하는 것으로 가정하여 각 버스트에 대한 offset 시간을 결정하였다.

성능 분석 요소로는 버스트 손실률, 파장 채널 이용률 그리고 관리 데이터의 수를 사용하였으며, 입력부하와 망의 크기 H_{max} 관점에서 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 입력 부하에 따른 분석

시뮬레이션을 수행하기 위하여 $k=8$, $H_{max}=20$, $c=1.0$ 그리고 $BL=40\mu s$ (100Kbits의 데이터 버스트가 2.5Gbps의 파장 채널로 전송되는 시간)인 기본적인 성능 파라미터를 사용한다.

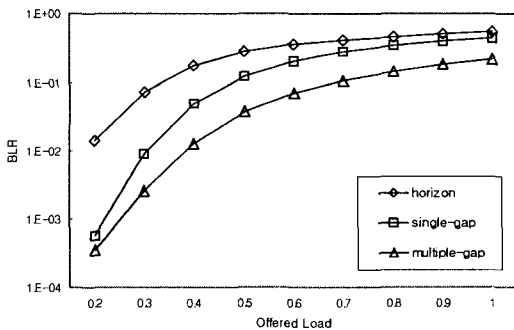


그림 3. 스케줄링 기법에 따른 버스트 손실률.

그림 3는 입력 부하에 따른 Horizon, Single-gap 그리고 Multiple-gap 기법의 버스트 손실률 (BLR)을 나타낸다. Horizon 기법이 가장 낮은 성능을 보이고 있으며, Single-gap 기법은 입력부하가 낮을 때(0.3이하)는 Multiple-gap의 성능과 유사한 결과를 보이지만 입력 부하가 증가될수록 급격하게 성능이 감소되어

Horizon의 성능에 근접함을 알 수 있다. 이것은 입력 부하가 증가될 때 파장 채널에 예약이 되는 데이터가 증가되는데, Horizon과 Single-gap 방식은 관리 데이터의 수를 각각 1과 3으로 제한하기 때문이다. 따라서 관리할 수 없는 채널 정보로 인하여 많은 버스트의 손실이 발생한다.

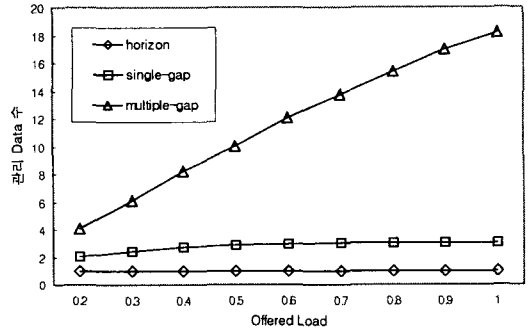


그림 4. 스케줄링 기법에 따른 관리 데이터 수.

그림 4는 입력부하에 따라서 관리해야될 데이터의 수를 각 스케줄링 기법별로 보여주고 있다. Horizon 방식은 입력부하에 관계없이 항상 채널 당 1개의 데이터를 관리하며, Single-gap은 평균적으로 3개 이하의 데이터를 관리한다. 하지만 Multiple-gap 기법은 입력 부하가 증가함에 따라서 관리 데이터 수가 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 입력부하가 높아질수록 도착하는 버스트의 수가 증가되어, 가장 최근에 할당된 버스트와 현재 시간사이에 많은 예약된 버스트 데이터를 관리해야 하기 때문이다.

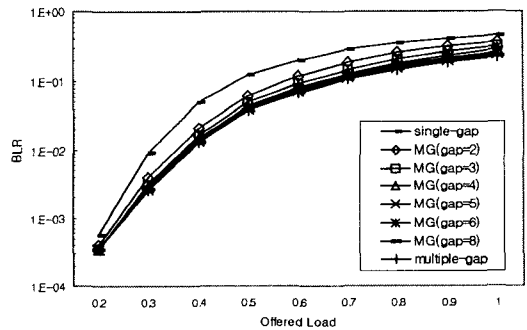


그림 5. 관리 gap 수에 따른 버스트 손실률.

일반적으로 Multiple-gap 스케줄링을 사용하여 성능을 향상시키기 위하여 관리 데이터의 수를 제한 없이 증가시키는 것은 상대적으로 많은 프로세싱 오버헤드를 요구한다. 따라서 H_{max} 을 고려하여 관리할 수 있는 적합한 gap 수의 결정은 중요한 성능분석의 요소가 된다.

이를 위해서 그림 5에 Single-gap과 gap 수를 증가시키면서 분석한 Multiple-gap 기법의 BLR 성능을 보였다. 적합한 gap 수를 결정하기 위하여 채널 이용률을 고려하였으며, 관리 데이터의 수를 제한하지 않은 경우의 채널 이용률에 대하여 95%로 근접하는 gap 수의 성능을 적절한 값으로 결정하였다. 따라서 결정된 값은 gap 수가 4인 경우로 제한이 없는 방식의 BLR에 근접함을 알 수 있다.

4.2 망의 크기에 따른 분석

입력부하를 0.8로 고정시키고, H_{max} 값을 변화시켜 망의 크기의 변화에 따른 각 기법의 성능을 분석하였다.

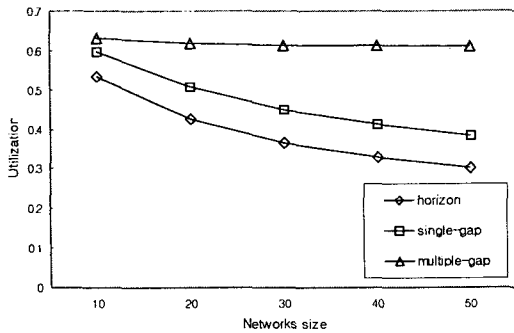


그림 6. 망의 크기에 따른 채널 이용률.

그림 6는 망의 크기에 따른 채널 이용률을 나타낸다. 이때 Horizon과 Single-gap 스케줄링 기법은 망의 크기가 커질수록 채널의 이용률이 급격하게 감소하는 특징을 보인다. 이것은 망의 크기가 증가하면 제어 패킷과 버스트 데이터간의 offset이 증가되고 그 사이에 할당될 수 있는 버스트의 증가를 의미하기 때문이다. 따라서 관리해야될 데이터가 증가하는 것이며, Multiple-gap 기법을 제외한 나머지 기법은 망의 확장에 부적합한 것으로 판단된다.

그림 7은 망의 크기에 따른 적합한 관리 데이터의 수를 나타내고 있다. 입력부하를 고려할 때와 같이 망이 커질수록 Multiple-gap 기법을 사용하는 경우에는 관리 데이터 수가 선형적으로 증가하며, Horizon과 Single-gap 방식은 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 또한 Multiple-gap 기법에서 적절한 관리 데이터의 수를 결정하기 위하여 각 망의 크기를 고려하였다. 관리 데이터의 수에 제한이 없는 경우의 채널 이용률을 100%로 할 때, 90%와 95%에 근접하는 성능을 보이는 관리 데이터를 결정할 수 있었다. 따라서 그림에서 알 수 있듯이 Multiple-gap 기법은 예약된 모든 버스트 데이터를 절반 정도만 관리하더라도 만족할만한 결과를 얻을 수 있다.

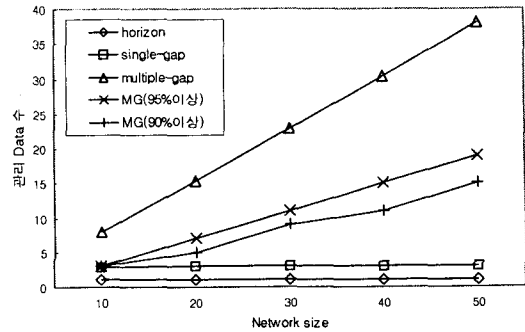


그림 7. 네트워크 크기에 따른 관리 데이터 수.

IV. 결론

본 논문은 OBS를 이용한 광인터넷망에 관한 기반 연구로 광 버스트 스위칭 노드의 출력 링크에서 데이터 버스트를 파장 채널에 할당하는 스케줄링 기법을 분석하였다. 이를 위하여 관리 데이터 수에 따라 분류된 Horizon, Single-gap 그리고 Multiple-gap 기법을 스케줄링 기법으로 채택하였으며, 시뮬레이션을 수행하여 성능평가를 수행하였다. 시뮬레이션의 결과에 의하면, 입력부하가 높아질수록 관리 데이터 수에 제한을 둔 Horizon과 Single-gap 기법의 성능은 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이에 반하여 Multiple-gap 기법은 관리 데이터 수의 제한이 없기 때문에 상대적으로 좋은 성능을 얻을 수 있었으며, 입력 부하와 망 크기를 고려하여 적합한 데이터의 수도 결정할 수 있었다. 따라서 OBS를 이용하여 대용량의 버스트한 트래픽을 효과적으로 파장 채널에 수용하기 위해서는 망의 크기를 고려한 관리 데이터의 수를 갖는 Multiple-gap 스케줄링 기법이 가장 효율적인 것으로 판단된다.

향후 연구로는 적합한 관리 데이터를 이용하는 Multiple-gap 기법을 이용하여 FDL 을 사용하는 광버퍼링과 deflection을 이용한 버스트 충돌 해결 기법에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] J. S. Turner, "Terabit Burst Switching," *Journal of High Speed Networks*, 1999.
- [2] H. M. Chaskar, S. Verma, R. Ravikanth, "A framework to support IP over WDM using optical burst switching," *proceedings of Optical Network Workshop*, Jan. 2000.
- [3] C. Qiao, M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet," *in a special issue of J. High Speed Networks (JHSN) on WDM Networks*, Vol. 8, No. 1, pp. 69-84.
- [4] C. Qiao, M. Yoo, "A New OBS Protocol for Supporting QoS," *in SPIE Proc. of Conf. All-optical Networking*, Vol. 3531, pp. 396-405, Nov. 1998.