

비동기 광 패킷 스위치에 사용된 광 루프 버퍼의 패킷 손실률 특성

Packet Loss Probability Characteristics of Optical Loop Buffers in an Asynchronous Optical Packet Switch

정준영, 홍지현, 장창수, 정제명

한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

jjy2001@hanyang.ac.kr

광 패킷 스위치에서 동일한 파장을 갖는 두 개 이상의 패킷이 동일한 시간에 동일한 목적지로 향하는 경우 부득이하게 충돌이 발생한다. 이러한 패킷 간 충돌 문제의 해결은 광 패킷 스위치 연구의 주요 이슈이며, 이에 대한 하나의 해결책으로 광 버퍼에 관한 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 광 버퍼는 지연선(delay lines)으로 구성되며, 진행형 지연선 광 버퍼와 루프형 광 버퍼의 두 종류로 나뉜다. IP 트래픽에서처럼 길이가 가변적인 패킷들이 비동기적으로 입력되는 광 패킷 스위치에 대해 지금까지는 진행형 지연선 광 버퍼가 활용되는 경우에 대한 연구⁽¹⁾가 주를 이루고 있다. 이는 루프형 광 버퍼의 경우, 길이가 고정된 루프를 이용하여 길이가 가변적인 패킷을 저장 및 제어하기가 용이하지 않기 때문이다. 광 버퍼가 출력 버퍼로 사용되는 경우, 각 저장 유닛(지연선, 루프)은 패킷 간 충돌을 피하기 위해, 각 출력 포트마다 병렬로 연결되어야 한다. 이때 사용된 광 버퍼가 진행형 지연선 광 버퍼인 경우, 광 버퍼가 포화되어도 저장 유닛 중 활용하지 못하는 유닛이 발생하는 등, 그 활용률에 문제가 있다. 이러한 이유로 진행형 지연선 광 출력 버퍼가 사용되는 패킷 스위치 구조에서는 어느 정도의 패킷 손실률 값을 보장받기 위해 필요한 저장 유닛의 수가 크게 증가하며, 이에 따라 전체 스위치의 규모도 크게 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 루프형 광 출력 버퍼를 활용하여 저장 유닛의 활용률을 증가시킴으로써 전체 스위치의 규모를 줄이는 방안을 제시한다. 이는 최근 S. Rangarajan 등에 의해 제안된 광 압축 방식을 활용하여 길이가 가변적인 패킷을 스위칭하기 전에 길이가 고정적인 패킷으로 변환⁽²⁾시킨 후, 스위칭 및 저장 기능을 수행함으로써 가능하다. 이때 스위치의 출력 포트에는 광 패킷 확장기를 위치시켜 압축된 패킷을 원래 길이의 패킷으로 환원해야 한다. 본 논문에서는 광 패킷 압축기/확장기와 루프형 광 출력 버퍼를 활용한 광 패킷 스위치를 구성하고, 루프 길이(D)에 따른 패킷 손실률 특성 변화를 해석하여 기존의 진행형 지연선 광 출력 버퍼를 활용한 광 패킷 스위치의 특성과 비교해 보았다.

그림 1은 루프형 광 출력 버퍼를 활용하는 $N \times N$ 광 패킷 스위치의 구성도이다. 입력 포트에 들어오는 패킷은 입력 버퍼를 거친 후, 광 패킷 압축기에서 일정한 길이(D)로 압축된다. 이때 입력 버퍼는 연이어 입력되는 두 패킷이 압축 과정 중에 충돌을 일으키는 것을 방지하기 위해 필요하며, 본 논문의 시스템 해석에서는 이상적인 경우를 가정하여 입력 버퍼에서의 패킷 손실을 무시하였다. 압축된 패킷은 시스템 내의 $N \times NB$ 공간 스위치를 통해 전송하고자 하는 출력 포트의 B 개의 병렬 지연선 루프 중 하나로 전송되게 되며, 이전까지 저장되어 있던 패킷들의 저장 상태에 따라 루프 내에서 D 의 정수배만큼의 시간 동안 지연된 후, 광 패킷 확장기를 거쳐 원래 길이의 패킷으로 환원되어 출력된다.

루프형 광 출력 버퍼를 활용하는 $N \times N$ 광 패킷 스위치의 해석을 위해 다음과 같이 가정하였다. 먼저 전체 시스템은 대칭적이라고 가정하였다. 이는 전체 시스템과 특정 출력 포트의 패킷 손실률 특성이 동일하여 특정 출력 포트에 대한 해석으로 전체 시스템에 대한 해석을 대신할 수 있음을 의미한다. 그리고 입력 패킷의 길이는 지수 분포에 따르고, 그 평균값으로 정규화(normalize)했을 때, 패킷 길이의 최대값이 L_{max} 로 제한된다고 가정하였다. 또한 임의의 출력 포트에 들어오는 패킷은 Poisson 트래픽을 따른다고 가정하였다. 임의의 시점에 광 출력 버퍼의 패킷 저장 상태를 $S(a, b)$ 라 하자. 여기서 a 는 패킷을 저장하고 있는 루프 수이고, b 는 광 패킷 확장기로부터 출력중인 패킷이 완전히 출력될 때까지, 다음 출력 순서의 패킷이 루프에서 대기하는데 필요한 회전 수이다. 이와 같은 가정과 정의에 대해 기존 FRONTIERNET⁽³⁾의 해석 방법을 차용하면, 안정 상태(steady-state)에서의 저장 상태를 구할 수 있고, 이에 따라 패킷 손실률 특성을 구할 수 있다.

그림 2는 임의의 출력 포트에서의 입력 부하(ρ)가 0.8, 0.6, 0.4이고, 광 패킷 길이의 최대값(L_{max})이 4이며, 광 버퍼의 저장 유닛 수가 루프형(B_L)과 진행형(B_T)에 대해 각각 10과 24인 광 패킷 스위치에서 D (루프형 광 버퍼: 루프 길이, 진행형 광 버퍼: 지연선의 기본 길이)에 따른 패킷 손실률 특성의 변화를 해석한 결과이다. 이를 통해 루프형의 경우, D 가 감소함에 따라 패킷 손실률이 낮아지고, 진행형의 경우 대체로 D 가 증가함에 따라 패킷 손실률이 낮아지는 경향을 보임을 알 수 있다. 여기서 루프형의 경우, D 가 감소하는 것은 광 패킷 압축기의 압축률이 증가함을 의미하므로 압축 정도에 따른 제한이 존재하며, 진행형의 경우, D 가 증가하는 것은 지연선 길이가 증가하는 것을 의미하므로 시스템의 물리적 크기를 고려했을 때, 이 또한 하나의 제약이 될 것이다. 한편 루프형의 경우, 연이어 입력되는 패킷 사이의 동기가 어긋나서 추가적으로 발생하는 지연이 손실의 한 원인이 되므로, 이를 보상하는 패킷 간격 조절기를 삽입하면 패킷 손실률 특성을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

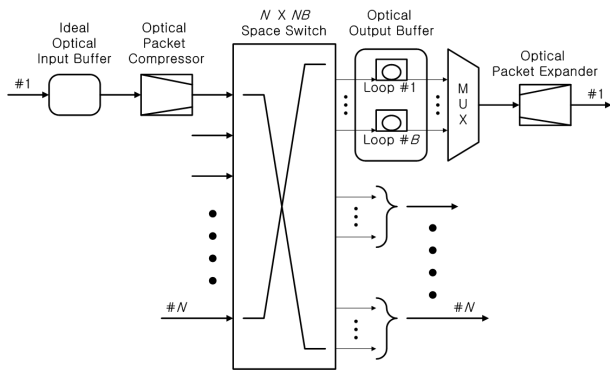


그림 1. 루프형 광 출력 버퍼를 활용한 $N \times N$ 광 패킷 스위치 구성도.

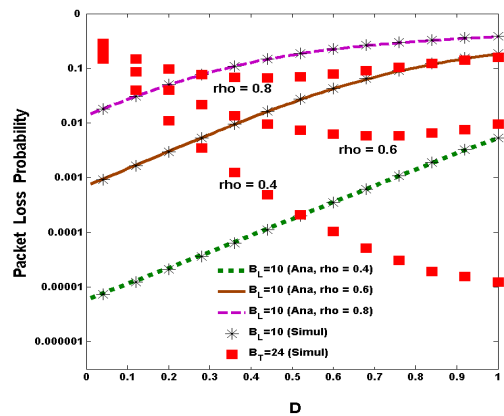


그림 2. 광 패킷 스위치의 패킷 손실률 특성.

참고문헌

1. F. Callegati, "Optical Buffers for Variable Length Packets," *IEEE Commun. Lett.*, 4, 292-294 (2000).
2. S. Rangarajan *et al.*, "All-Optical Packet Compression of Variable Length Packets from 40 to 1500 B Using a Gated Fiber Loop," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 18, 322-324 (2006).
3. K. Sasayama *et al.*, "FRONTIERNET: Frequency-Routing-Type Time-Division Interconnection Network," *J. Lightwave Technol.*, 15, 417-429 (1997).