

## 비동기 광 패킷 스위치에 사용된 2단 광 출력 버퍼의 패킷 손실 특성

### Packet Loss Characteristics of 2-Stage Optical Output Buffers Used in an Asynchronous Optical Packet Switch

정준영, 장창수, 양희환, 정문수, 정제명

한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

jjy2001@hanyang.ac.kr

IP 패킷처럼 길이가 가변적인 패킷들이 비동기적으로 입력되는 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 해결책 중 하나인 광 버퍼에 대해 다양한 연구<sup>(1, 2)</sup>가 수행되고 있다. 일반적으로 광 버퍼는 서로 다른 길이의 광섬유 지연선(Fiber Delay Line, FDL)들을 조합하여 구성하며, 동시에 입력되는 2개 이상의 패킷들에게 각기 서로 다른 길이의 FDL을 할당하여 충돌이 발생하지 않게 한다.  $B$ 개의 FDL로 구성된 광 버퍼에서 각 FDL의 길이는  $0, D, \dots, (B-1)D$ 이며, FDL의 기본 길이,  $D$ 에 따라 광 버퍼의 패킷 손실 특성이 다르게 나타난다<sup>(1, 2)</sup>. 광 패킷 스위치의 출력 포트마다 전용의 광 버퍼가 사용되는 광 출력 버퍼<sup>(1)</sup>에서, 버퍼를 구성하는 각각의 FDL들은 패킷 사이의 충돌을 피하기 위해 각 출력 포트에 모두 병렬로 연결되어야 한다. 광 패킷 스위치의 패킷 손실률은 광 버퍼의 FDL 수가 증가할수록 감소하므로, 패킷 손실률을 원하는 수준 이하로 유지하기 위해서는 충분한 수의 FDL로 구성된 광 출력 버퍼가 필요하며, 이는 전체 패킷 스위치의 규모를 크게 증가시킨다. 이에 최근 T. Zhang 등<sup>(2)</sup>은 광 출력 버퍼 대신 광 공유 버퍼를 활용하는 경우, 광 패킷 스위치의 규모를 줄이는 동시에 패킷 손실 특성을 향상시킬 수 있음을 보였다. T. Zhang 등<sup>(2)</sup>이 해석한  $B_S$ 개의 FDL로 구성된 광 공유 버퍼를 활용한  $N \times N$  광 패킷 스위치는  $N \times (N+B_S)$  공간 스위치와  $B_S \times N$  공간 스위치 사이에 광 공유 버퍼를 위치시킨 2단 구조를 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 2단 구조를 광 출력 버퍼에 응용시킨 2단 광 출력 버퍼를 활용한 광 패킷 스위치 구조를 제시하고 이에 대한 패킷 손실 특성을 시뮬레이션을 통해 광 공유 버퍼의 특성과 비교해 보았다.

그림 1은 2단 광 출력 버퍼를 활용한  $N \times N$  광 패킷 스위치의 구성도이다. 그림에서 알 수 있듯이 사용된 2단 광 출력 버퍼는 FDL의 기본 길이가  $D$ 인  $B_1$ 개의 FDL과 기본 길이가  $B_1 D$ 인  $B_2$ 개의 FDL을  $B_1 \times B_2$  공간 스위치로 연결한 구조를 하고 있다. 이 2단 광 출력 버퍼의 최대 패킷 지연 시간은  $(B_1 B_2 - 1)D$ 이다. 광 패킷 스위치의 입력 포트에 패킷이 입력될 때, 그 관찰 패킷의 목적지에 위치한 광 출력 버퍼에 저장된 모든 패킷을 출력하는 데 걸리는 시간을  $t$ 라 하자. 만약  $t$ 가  $(B_1 B_2 - 1)D$ 보다 크다면, 관찰 패킷은 손실된다. 그러나  $t$ 가  $(B_1 B_2 - 1)D$ 보다 작다면, 관찰 패킷은  $\lceil t/D \rceil D = n_i D$  시간 이상 광 출력 버퍼에 저장되어 있어야 한다. 여기서  $\lceil x \rceil$ 는  $x$ 의 올림이다. 이때, 정수  $n_i$ 를  $B_1$ 로 나눈 몫과 나머지를 각각  $i$ 와  $j$ 라 했을 때, 관찰 패킷은 1번째 FDL단의 길이가  $iD$ 인  $(i+1)$ 번째 FDL과 2번째 FDL단의 길이가  $jB_1 D$ 인  $(j+1)$ 번째 FDL을 거쳐 출력되게 된다. 단, 이상은 관찰 패킷보다 먼저 해당 광 출

력 버퍼에 저장된 패킷들이 1번째 FDL단의  $(i+1)$ 번째 FDL을 통과하고 있지 않다는 가정 하에서 성립된다. 만약 그러하지 못한 경우에는  $n_i$ 를 1씩 증가시키면서 경유할 FDL들이 결정될 때까지 앞의 과정을 반복하여야 하며, 1번째 단의 모든 FDL에 이전 패킷들이 통과 중이라면, 광 버퍼가 포화되어 있지 않다 하더라도 관찰 패킷은 손실된다. 동시에 하나의 출력 포트에 집중될 수 있는 패킷 수는 입력 포트 수로 제한되므로,  $B_1$ 이  $N$  이상이면 이러한 종류의 손실은 막을 수 있다. 따라서 본 논문에서는  $B_1$ 이  $N$ 과 동일한 경우를 가정하였다.

광 공유 버퍼에 관한 이전 논문<sup>(2)</sup>에 사용된 시스템 파라미터들과 가정들을 참고하여 다음과 같은 광 패킷 스위치에 대해 시뮬레이션을 하였다. 먼저  $8 \times 8$  광 패킷 스위치에 입력되는 패킷의 트래픽 부하 (load,  $\rho$ )가 0.8인 경우를 가정하였다. 이때, 그 평균이 1인 입력 패킷 길이의 확률 분포는 상수(F)인 경우, 균일 분포(U)인 경우, 지수 분포(E)인 경우의 3가지로 나누어 각각 시뮬레이션을 수행하였다. 이전 논문에서는 임의의 출력 포트에 들어오는 패킷이 Poisson 트래픽을 따른다고 가정하였지만 이 가정은 앞에서 언급한 동시에 하나의 출력 포트에 집중될 수 있는 패킷 수가 입력 포트 수로 제한된다는 사실에 부합하지 못하므로 제외한다. 대신  $\rho$ 의 확률로 입력된 패킷이 각 출력 포트에 전송될 확률이 동일하다고 가정하였다. 비교 대상인 두 광 버퍼의 FDL 수,  $B_s, B_1, B_2$ 는 각각 80, 8, 13이다. 여기서  $B_2$ 는  $l \times m$  공간 스위치에 사용되는 광 게이트의 수가  $lm$ 이라는 가정 하에 두 광 패킷 스위치에 사용되는 광 게이트의 수가 같아지도록 그 값을 결정한 것이다. 그림 2는 이러한 조건 하에서 시뮬레이션을 통해  $D$ 에 따른 패킷 손실 특성의 변화를 살펴 본 결과로 우리가 제안한 2단 광 출력 버퍼가 상대적으로 더 우수한 특성을 보이고 있다. 또한 모든 결과에서  $D$ 가 0.25일 때 최적의 결과를 보이고 있다. 한편,  $D$ 가 0.5 이하인 경우 패킷 길이의 확률 분포에 따라 패킷 손실 특성이 다르게 나타나지만, 0.6 이상에서는 광 버퍼 별로 거의 동일한 특성을 보이고 있다.

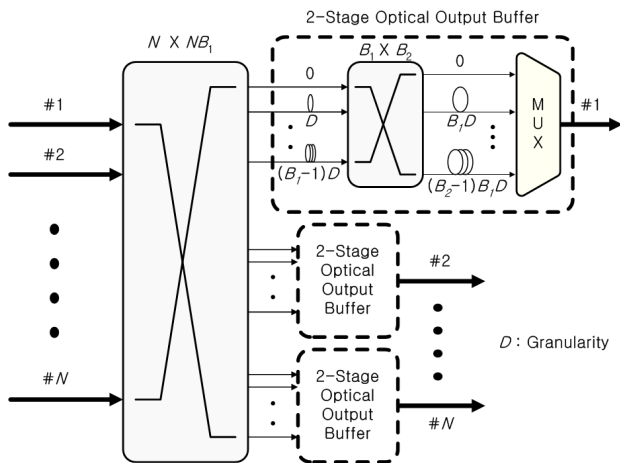


그림 1. 2단 광 출력 버퍼를 활용한  $N \times N$  광 패킷 스위치의 구성도.

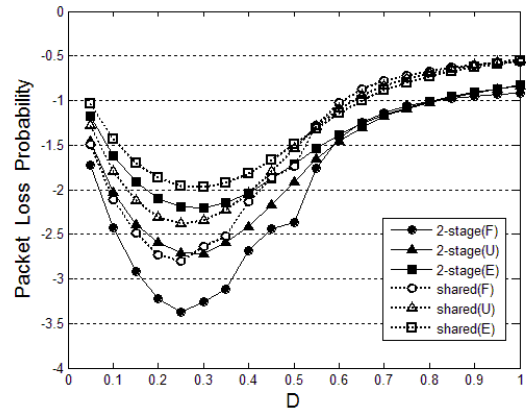


그림 2. 다양한 패킷 형식에 따른 2단 광 출력 버퍼와 광 공유 버퍼의 패킷 손실률.

참고문헌

1. F. Callegati, "Optical Buffers for Variable Length Packets," *IEEE Commun. Lett.*, 4, 292-294 (2000).
2. T. Zhang *et al.*, "Shared Fiber Delay Line Buffers in Asynchronous Optical Packet Switches," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 24, 118-127 (2006).