

다단 광 스위치의 셀 손실 확률

Cell Loss Probability of a Multistage Optical Switch

김 호, 전창훈*, 김성순*, 정준영*, 정제명*
 한양대학교 전자통신공학과, *한양대학교 전파공학과
 hyapl@hanmail.net

주파수 분할 다중 방식을 기초로 하는 네트워크에서는 신호의 전송 경로를 결정하는 소자로서 주파수 라우터가 많이 이용되고 있다. 그러나 하나의 주파수 라우터에 포함되는 입출력 포트의 수 N 은 그 값을 키우는데 한계가 있으므로 대용량 시스템의 구현을 위해서는 여러 개의 주파수 라우터를 다단으로 연결하여 사용해야 한다. 그림 1은 다단 구조를 통해 대용량 시스템을 구현한 일반적인 예이다.⁽¹⁾ 우리는 그림 1과 같은 다단 구조를 통해 신호를 전송했을 때, 소자 구성의 변화에 따라 일어나는 셀 손실 확률(P_{CL})의 변화와 그 특성을 알아보았다.

그림 1의 첫째 단에서, 셀이 입력포트에 도달할 확률이 ρ 이고, 각 입력포트에 도달한 셀이 주파수 라우터를 통해 M 개의 내부링크 중 특정한 한 곳으로 전송될 확률이 $1/M$ 이라면 하나의 내부링크에 l 개의 신호 셀이 전송될 확률, $P(l)$ 은 식 1과 같다. 이때 l 이 FC-FS 쌍의 수(k)보다 큰 경우 $l-k$ 개의 셀은 낙-아웃⁽²⁾되어 손실되며, 이에 따른 P_{CL} 은 식 2와 같다.

$$P(l) = \binom{M}{l} \left(\frac{\rho}{M}\right)^l \left(1 - \frac{\rho}{M}\right)^{M-l}, \quad l=0, 1, \dots, M. \quad (1)$$

$$P_{CL} = \frac{1}{\rho} \sum_{l=k+1}^M (l-k) P(l). \quad (2)$$

한편 두 번째 단의 FDM 출력 버퍼는 타임슬롯당 하나의 셀만 처리할 수 있기 때문에 그 외의 나머지 셀들은 버퍼 내의 루프 유니트에 저장된다. 그런데 이 루프 유니트의 수(B)가 유한하므로 하나의 출력포트로 계속적으로 셀들이 전송될 경우, 이 셀들을 더 이상 저장할 수 없는 경우가 생기게 되고, 결국에는 셀 손실이 발생하게 된다. 이때의 P_{CL} 을 구하기 위해서는 먼저 버퍼의 정상상태 확률 $Q_{s(b,n)}$ 을 알아야 되는데, 이 확률은 Markov chain balance 공식⁽¹⁾으로부터 직접 얻어지며, 그에 따른 P_{CL} 의 값은 식 3과 같다. 여기서 b 와 n 은 각각 셀이 저장된 루프 유니트의 수와 주파수 선택기와 연결된 첫 번째 루프 유니트에 저장된 셀의 수를 의미한다. 또한 N 은 한 타임슬롯에 전송될 수 있는 셀의 최대값을 의미한다.

$$P_{CL} = \frac{\sum_{n=2}^N \rho Q_{s(B,n)}}{\rho} = \sum_{n=2}^N Q_{s(B,n)}. \quad (3)$$

그런데 Markov chain balance 공식을 활용하기 위해서는 버퍼로 l 개의 셀이 전송될 확률 $P(l)$ 을 알아야만 하는데, 여기서의 $P(l)$ 은 앞단의 k 의 값에 따라 변하므로 식 1과는 다르게 계산된다. N 개의 주파수 스위치 중 하나를 통해 주파수 라우터로 전송되는 셀의 개수에 대한 확률, $P_i(l)$ 은 식 4와 같다. 그림 1의 N 개의 주파수 스위치에서 각각을 통해 주파수 라우터로 전송되는 셀의 개수는 서로 독립적이다. 따라서 이러한 성질을 고려하면 N 개의 주파수 스위치를 통해 주파수 라우터로 전송되는 셀의 총

수에 대한 확률, $P_N(l)$ 을 수치 해석적인 방법을 통해 구할 수 있다.

$$P_1(l) = \binom{M}{l} \left(\frac{\rho}{M}\right)^l \left(1 - \frac{\rho}{M}\right)^{M-l}, \quad 0 \leq l < k, \quad (4)$$

$$= \sum_{l=k}^M \binom{M}{l} \left(\frac{\rho}{M}\right)^l \left(1 - \frac{\rho}{M}\right)^{M-l}, \quad l = k.$$

결국, 주파수 라우터를 통해 특정한 출력포트에 l 개의 셀이 전송될 확률, $P(l)$ 은 다음과 같다.

$$P(l) = \sum_{x=l}^M P_N(x) \binom{x}{l} \left(\frac{1}{N}\right)^l \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{x-l}. \quad (5)$$

그림 2와 3은 이와 같은 방법으로 $M=16, N=9$ 인 스위칭 네트워크에 대해 P_{CL} 을 구한 결과이다. 그림 2는 ρ, k 를 고정시키고, B 를 변화시키면서 P_{CL} 을 알아본 것이다. $k=M=16$ 의 경우 P_{CL} 은 B 의 증가에 따라 비례적으로 감소하지만, $k \neq M$ 인 경우 B 의 증가에 따라 감소하던 P_{CL} 이, B 가 어느 정도 커지면 더 이상 감소하지 않는다. 이것은 B 가 충분히 클 때에는 주파수 스위치에서의 널-아웃에 의한 P_{CL} 이 더 우세함을 의미한다. 한편 그림 3은 ρ, B 를 고정시키고, k 를 변화시키면서 P_{CL} 을 알아본 것이다. 각각의 경우 P_{CL} 은 k 의 증가에 따라 비례적으로 감소하지만 k 가 일정한 값 이상이 되면 P_{CL} 이 거의 일정해진다. 즉 ρ, B 가 고정되면 그에 따른 최적의 k 값이 결정되는 것이다. k 와 B 값은 그 시스템을 구성하는 소자 수와 밀접한 관계가 있으므로, 이 결과를 통해 적절한 값을 결정하는 것은 매우 중요하다.

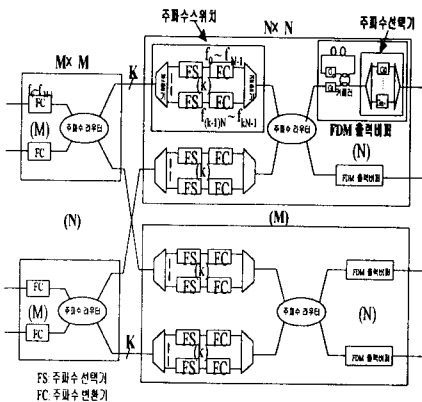


그림 1. 2단 $MN \times MN$ 구조

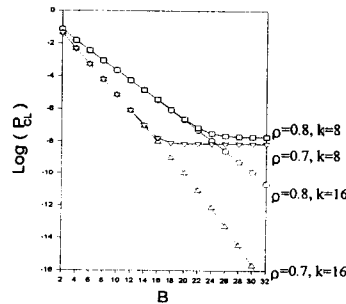


그림 2. 셀 손실 확률
[ρ, B : 고정, k : 가변]

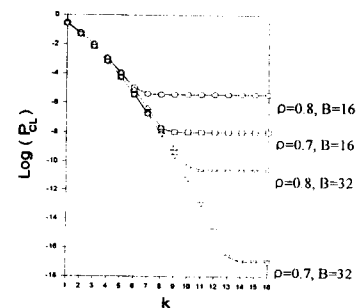


그림 3. 셀 손실 확률
[ρ, k : 고정, B : 가변]

본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

1. Koji Sasayama, Yoshiaki Yamada, Keishi Habara, and Ken-ich Yukimatsu, "FRONTIERNET: Frequency-Routing-Type Time-Division Interconnection Network", *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp. 417-429, March 1997
2. Yu-shuan Yeh, Michael G. Hluchyj, and Anthony S. Acampora, "The Knockout Switch: A Simple, Modular Architecture for High-Performance Packet Switching", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, pp. 1274-1283, Oct., 1987