

# 다중연결 네트워크의 Self-Similarity 분석

김기완 김두용

순천향대학교 정보기술공학부

kw89@hitel.net, dooykim@sch.ac.kr

## Self-Similarity of Multi-Stage Networks

Ki-Wan Kim Doc Yong Kim

Div. of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ.

### 요 약

현재 많은 패킷 스위칭을 이용하는 네트워크로부터 발생하는 트래픽에서 burstiness 성질이 넓은 범위의 시간 축 상에 걸쳐 나타난다. 이런 트래픽 특성이 self-similar 현상을 보이고 있다는 것이 알려지고 있다. 본 논문에서는 다중연결 스위치의 self-similarity 특성을 분석하고 특히 각 스위치의 이용도와 self-similarity와의 관계를 분석한다. 그리고 본 논문의 연구 결과는 ATM 등과 같은 초고속 스위치의 설계시 사용될 수 있다.

### 1. 서 론

전통적인 텔레커뮤니케이션 네트워크의 설계와 구현 방법은 지수분포(exponential distribution)와 마코비안(Markovian) 모델에 근거해서 이루어져 왔다. 마코비안 모델은 memoryless 성질을 갖고 있으므로 네트워크를 설계할 때 다루기가 상대적으로 간편한 장점을 갖고 있으므로 기존의 많은 성능 분석 모델들은 이러한 가정 하에 제안되고 있고 이러한 가정은 많은 실제적인 분야에서 성공적으로 적용되어 왔다. 지난 20년에 걸쳐서 X.25, frame relay, ATM(Asynchronous Transfer Mode) 등과 같은 네트워크가 출현하면서 또한 전통적인 큐잉 분석 방법을 사용하여 통신망을 설계하고 분석하고 있으나 트래픽 프로세스와 관련하여 마코비안 모델에 대한 가정은 실제 패킷 스위치 네트워크로부터 발생하는 트래픽 스트림에 나타나는 burstiness 성질이 상당히 넓은 범위의 time scale 상에 존재하는 트래픽 데이터와 상당히 차이가 있다는 것이 여러 트래픽 측정 결과 나타나고 있다.

또한, 이러한 트래픽 데이터는 통계적인 성질이 타임 스케일 즉, 초, 분, 시, 날짜에 관계없이 같은 성질을 가지는 self-similar 현상을 보이고 있다는 것이 증명되고 있다[1-3].

Taqqu[4] 등은 self-similar 트래픽을 발생시키는 프로세스에 대한 연구를 진행하여 ON/OFF period가 무한대의 편차(variance)를 가질 때 이러한 ON/OFF 소스들의 superposition은 long-range dependent 혹은 self-

similar 현상을 갖는 네트워크 트래픽을 발생시킨다는 것을 보여주고 있다. 위의 연구들은 많은 실제적인 고속 네트워크에서 self-similar 트래픽이 발생하는 이유를 설명해주고 있다. 따라서, 앞으로의 브로드밴드 네트워크에서 self-similar 트래픽이 중요한 트래픽 구성요소이며 이슈가 될 것이라는 것을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 다중연결 스위치를 갖는 네트워크 환경에서 스위치의 입력포트에 self-similar 트래픽이 들어올 때 출력포트에서 트래픽의 long-range dependency가 어떻게 변화되는가를 분석하며 아울러 스위치의 이용도(utilization) 등이 self-similar 트래픽과 어떤 관계를 가지고 있는지를 분석할 것이다.

### 2. 시뮬레이션 모델

#### 1) 트래픽 모델링

Self-Similar 트래픽을 발생시키기 위하여 그림 1과 같은 ON/OFF 소스 모델을 가정하였다.

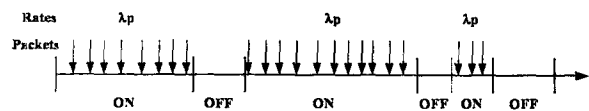


그림 1. ON/OFF 트래픽 모델

그림 1에서 ON 기간일 때 트래픽이 발생하고, OFF 기간중에는 트래픽의 발생이 없다고 가정한다. 또한 ON/OFF 기간은 Pareto 분포를 가정하고, ON 기간에서의 트래픽 발생률은 지수분포를 따른다고 가정한다. 그리고, Pareto 분포는 아래와 같은 식(1)로 나타낼 수 있다[5].

$$P[X \geq x] = x^{-\alpha} \quad \alpha > 0, x > 1 \quad (1)$$

식(1)에서  $\alpha$ 는 self-similarity 정도를 나타내는 shape 파라미터이며, Pareto 분포를 결정하는 중요한 인자이다. 만약  $1 < \alpha < 2$  이라면 Pareto 분포는 무한의 분산값과 유한한 평균값  $E(x)$ 를 갖는다. 그리고, 알파의 값이 1에 가까울수록 self-similarity 정도가 심하고 알파의 값이 2에 가까울수록 self-similarity 정도가 감소한다는 것을 나타낸다.

$$E(x) = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \quad (2)$$

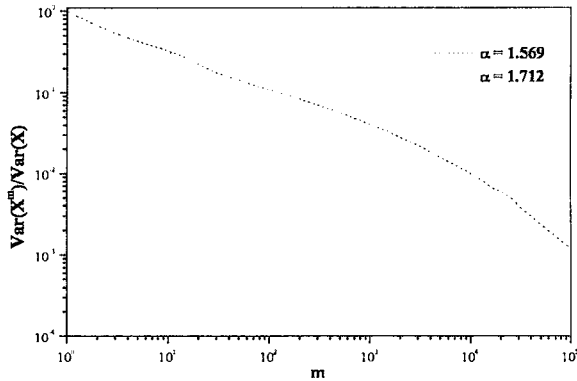


그림 2. Self-Similar 특성을 갖는 트래픽

그림 2는 시뮬레이션을 위해 각각  $\alpha=1.5$ ,  $\alpha=1.7$ ,  $\lambda p=10$ 인 파라미터를 사용하여 백만개의 트래픽을 발생시킨 후 발생시킨 트래픽에 DROZ과 LE BOUDECA가 제안한 variance-time plot 방법을 적용한 그래프를 나타낸다[6]. 그림에 나타난 바와 같이 트래픽의 랜덤한 성질에 기인하여 트래픽을 발생시 입력한 알파값 1.5와 variance-time plot 방법에 의한 알파값 1.569는 차이가 있음을 알 수 있다.

2) 스위치 모델링

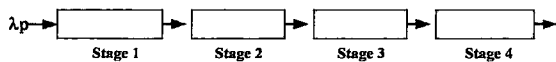


그림 3. 4개의 스위치를 갖는 네트워크 시스템

다중 스위치로 이루어진 네트워크 시스템에 대한 시뮬레이션 모델은 그림 3과 같이 4개의 단으로 연결돼 있다고 가정하고 각 단은 프로세스 시간 ptime을 가지는 하나의 스위치와 무한 버퍼로 이루어져 있다고 가정한다.

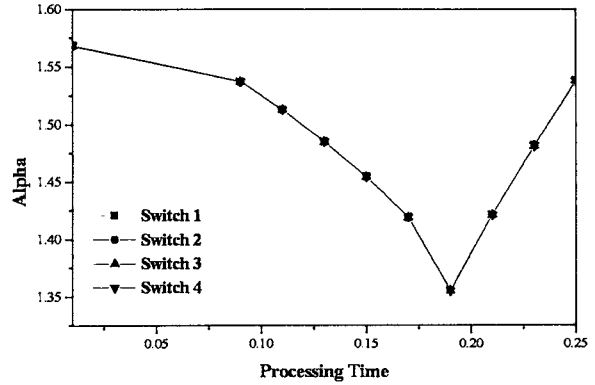


그림 4. Self-Similarity의 변화

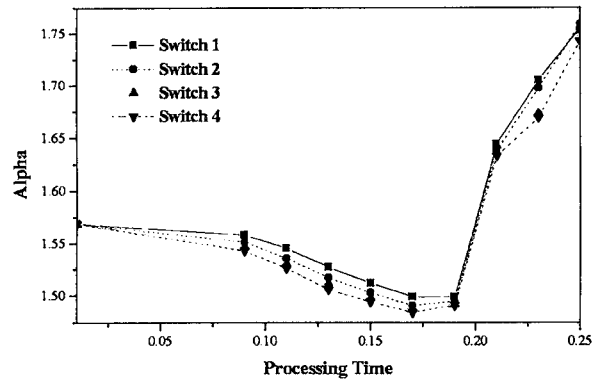


그림 5. Self-Similarity의 변화

그림 4는  $\alpha$ 를 1.5로  $\lambda p$ 는 10으로 가정하여 백만개의 트래픽을 발생시킨 그림 2의 데이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하여 얻은 그래프이다. 그림에서 각 스위치의 출력 스트림에 나타나는  $\alpha$  값, 즉 self-similarity를 variance-time plot 차트를 이용하여 구한 값을 보여주고 있다. 이때 각 스위치의 프로세스 시간 ptime은 상수 값을 사용하였다.

그림 5는 그림 4와 같은 파라미터를 사용하였으며 단지 스위치의 프로세스 시간 ptime이 지수분포를 갖는다고 가정하였다. 위의 두 그림 4와 5로부터 프로세스 시

간이 증가하면 즉 스위치의 이용도(utilization)가 커지면  $\alpha$  값이 감소하여 self-similarity가 증가한다는 것을 보여주고 있다. 그러나 ptime이 일정 시간이후에는 다시  $\alpha$  값이 증가하여 self-similarity가 감소하는 결과를 볼 수 있다.

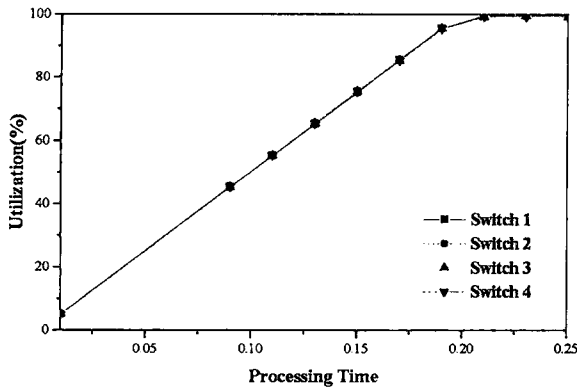


그림 6. 이용도(Utilization)의 변화

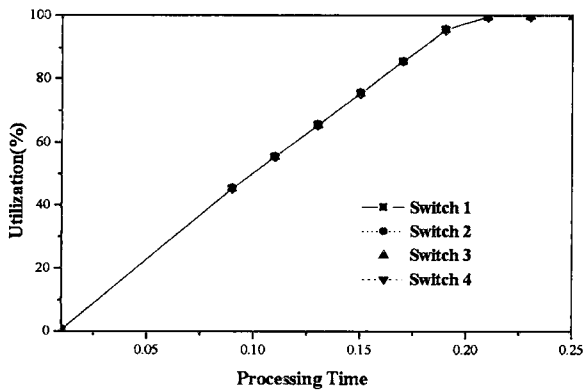


그림 7. 이용도(Utilization)의 변화

그림 6과 7은  $\alpha$ 를 1.5로  $\lambda p$ 는 10으로 가정하여 백만 개의 트래픽을 발생시킨 그림 2의 데이터를 사용하여 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 6은 프로세스 시간 ptime이 지수분포를 가질때의 이용도를 나타내고, 그림 7은 프로세스 시간이 상수일때의 이용도를 나타낸다. 그림 4와 7, 그림 5와 6을 비교해보면 각 단에서 스위치의 이용율이 90% 이하일 때 알파값이 감소하다 스위치의 이용율이 90%이상에서 알파값이 급격히 증가하여 self-similarity가 감소하는 결과를 볼 수 있다. 또한 각 스위치의 이용도는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

각 스위치에서의 프로세스 시간을 증가시키면 알파값이 감소하다가 일정 시간 이후에는 다시 알파값이 증가하여 self-similarity가 감소되는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상이 각 단에서 스위치의 이용도가 어느 한계 이상으로 높아지면서 self-similarity 정도가 불안정해지는 것에 기인한 것인지는 앞으로 더욱 연구가 필요한 부분이다. 이와 같은 다중 스위치로 이루어진 네트워크의 트래픽 분석 모델은 더 나아가 CP(Complete Partitioning)과 CS(Complete Sharing) 계획과 같은 다양한 ATM 스위치에 대한 모델링을 위해 사용될 수 있다. 또한, 상호 연결된 각 ATM 스위치에서의 출력 스트림에 대한 셀 손실률과 큐잉 지연, 그리고 버퍼관리 방법 등에 대하여 앞으로 더욱 깊이 있는 연구가 필요할 것이다.

### 4. 참고문헌

- [1] W. Willinger, M. S. Taqqu, W. E. Leland, and D. V. Wilson, "Self-similarity in High-speed Packet Traffic: Analysis and Modeling of Ethernet Traffic Measurements," *Statistical Science*, 10: 67-85, 1995
- [2] V. Paxson and S. Floyd, "Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling," *Proc. of the ACM Sigcomm '94*, London, UK, p. 257-268, 1994.
- [3] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson, "On the Self-similar Nature of Ethernet Traffic," *Proc. of the ACM Sigcomm'93*, San Francisco, CA p. 203-213, 1993.
- [4] J. Beran, R. Sherman, M. S. Taqqu, and W. Willinger, "Long-Range Dependent in Variable-bit-rate Video Traffic," *IEEE Transactions on Comm.* 43: 1566-1579, 1995.
- [5] T. Le-Ngoc, S.N. Subramanian, "A Pareto-modulated Poisson process (PMPP) model for loan-range dependent traffic," *Computer Comm.*, p.123-132, 2000.
- [6] Droz, P, Le Boudec, A High-speed Self-similar ATM Traffic Generator Including Traffic Parameter Technical Report RZ2854
- [7] Mutlu Arpacı, John A. Copeland. "Buffer Management for Shared-Memory ATM Switches," *IEEE Comm., Surveys & Tutorials*, p.2-10, 2000.