

# TCP 프로토콜의 안정동작 모델링에 관한 연구

김본일, 이동호  
광운대학교 컴퓨터 과학과  
(bikim, dhlee)@cs.gwu.ac.kr

## A study of Modeling the stationary behavior of TCP Protocol

Bon-Il Kim, Dong-Ho Lee  
Dept. of Computer Science, Kwangwoon University

### 요 약

이 논문에서는 TCP의 최근 버전인 TCP Reno 버전의 동작을 모델링 하는 방법을 통하여 살펴본다. 이 논문에서 사용한 방법은 하나의 소스를 마코비안 모델을 사용하여 ON-OFF 형태로 구성하며 이 방법을 통하여 빠르고 정확한 TCP 성능 측정 도구를 구성하고자 한다. 결과적으로 이러한 접근은 네트워크 성능과 관련된 출력률, 지연, 패킷 손실률 등을 측정할 수 있다. 또한 이렇게 얻어진 결과는 동일한 트래픽 설정을 사용한 시뮬레이션을 통하여 유효성을 증명하여 본다.

### 1. 서 론

TCP 프로토콜은 최근의 인터넷에서 광범위하게 이용되고 있다. 신뢰성 있는 전송을 요구하는 응용인 FTP, TELNET, HTTP, E-mail 등이 바로 TCP 프로토콜을 전송계층으로 이용한다. 이러한 TCP는 1981년 인터넷 표준문서 793 (RFC793)에서 시작하여 여러 가지 성능 개선을 통하여 여러 가지 버전이 소개되었고, 현재에 이르고 있다.

최근 몇 년 동안 이러한 복잡한 TCP의 동작을 모델링 하려는 노력들이 이루어져 왔다. 그 예로 Lakshman 과 Madhow [1] 과 Kumar [2] 는 마코비안 분석을 이용하여 TCP 윈도우의 주기적인 움직임에 대한 닫힌 형식의 표현을 사용하였다. 또한 이러한 연구는 후에 여러 버전으로 이루어졌다. 더욱이 최근에는 Altman et al [3]에 의해 TCP 혼잡 윈도우의 크기의 동작에 대한 통계적인 분석을 통한 모델링이 진행되어지기도 하였다. 또 다른 연구자들은 [4][5] 실험 모델들에 기초한 실질적인 TCP에 대한 추적 관찰을 새로운 접근으로 사용하기도 하였다.

이 논문에서는 Claudio 와 Michela [6] 에 의해 제안된 새로운 방법으로 TCP 프로토콜의 핵심적인 성능을 나타내는 출력률, 큐잉 지연, 패킷 손실을 측정한다. 이 접근은 고립된 하나의 TCP 소스에 대한 마코프 체인 모델과 표준 큐잉 분석 기술들을 이용하여 상호 작용과 그 결과를 비교하여 보여주고자 한다. 이렇게 얻어진 결과는 버클리 대학의 시뮬레이터 NS2(Network Simulator II)[8]

를 통하여 증명한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 모델 구성의 방법을 기술하고, 제 3장에서는 소스에 대한 모델화를 기술하며, 제 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 증명하며 5장에서 결론과 향후 연구에 관하여 기술한다.

### 2. 모델화 방법

기본적으로 구성은 두 부분으로 나누어 보았다. 먼저 TCP 소스 부분과 네트워크 부분으로 나눌 수 있다.

첫 번째 부분은 TCP 소스를 마코비안 표현을 사용하여 TCP 소스 와 그에 작용하는 응용부분으로 구성하였는데 이것은 응용계층과 전송계층으로 서로 동작하는 모습을 보여준다. 전송 계층의 경우 TCP 프로토콜의 TCP 연결 설정과 그 안의 혼잡 회피 메카니즘이 포함되고 또한 응용계층은 애플리케이션의 동작에 의한 전송이 포함된다.

두 번째 부분은 네트워크를 큐잉 네트워크 모델로 구성 그 안에는 토폴로지, 큐잉 능력, 링크 능력들이 포함된다.

네트워크 상에서 사용되는 데이터 단위는 세그먼트로 표현하여 사용하였으며 네트워크에 입력되는 데이터는 파라미터값  $\lambda$ 을 가지는 포아송 값을 가진다고 본다.

### 3. 소스에 대한 모델화

네트워크 안으로 삽입되는 트래픽은 응용 계층의 TCP 연결과 전송계층의 TCP 프로토콜 사이의 상호 작용에

의해서 발생되어진다. 우리는 앞으로의 수행되어질 네트워크 트래픽의 효율성을 평가하기 위해서 이러한 두 계층에 대한 설명이 요구된다.

### 3.1 응용 계층

응용은 단지 ON/OFF의 두 가지 동작만을 가지게 되는데 이것을 Idle 상태에 대해서는 I, active 상태에 대해서는 A로 줄여서 표기한다. Idle 상태에 있을 때에는 응용은 TCP 연결 동작을 하지 않는다. 반면에 Active 상태에 있을 때에는 TCP 연결을 통해서 데이터를 보내게 된다.

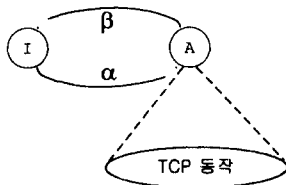


그림 3.1 응용의 ON-OFF 동작

각각의 상태에서 보내는 시간은 음의 지수분포를 가지는 임의의 변수이고, TOFF 와 TON은 상태 I와 A의 상대적인 평균 시간이다. 음의 지수분포의 파라미터들은  $\alpha = 1/TON$  과  $\beta = 1/TOFF$  이다. 이러한 동작은 두 상태 마코프 체인을 통하여 모델화 되어질 수 있다.

### 3.2 TCP 층

이 논문에서는 TCP의 여러 버전 중 최근에 가장 많이 사용되고 있는 TCP Reno 버전의 네 가지의 혼잡제어 메커니즘을 묘사하고 모델화 시킨다. 그러한 네 가지 혼잡제어 메커니즘에는 느린 시작(Slow Start), 혼잡 회피(Congestion Avoidance), 고속 재 전송(Fast Retransmit) 그리고 마지막으로 고속 회복(Fast Recovery) 알고리즘[8]을 말한다.

혼잡 제어 윈도우의 변화를 살펴보면 처음  $w$  는 1로 시작하여 느린 시작(Slow Start) 메커니즘을 사용하여 그 송신자가 매 ACK를 받을 때마다 1씩 그 값을 증가시킨다. 이러한 증가는 결과적으로 혼잡 윈도우의 크기가 매 왕복 지연 시간(Round Trip Time) 마다 두배로 증가를 하게 된다. 이러한 느린 시작(Slow Start)는 윈도우의 크기가 threshold,  $Wt$  에 이르면 끝나게 된다. ( $Wt$ 는 일반적으로  $Wt = W_M/2$  이다)

어떠한 상태에서든 만약 타임아웃 메커니즘 또는 세 개의 중복된 ACK들이 발생에 의한 세그먼트의 손실이 발

생하면 threshold의 값을 현재의 윈도우의 반으로 재 설정하고 ( $Wt = w/2$ ) 그 손실되어 승인되지 않은 그 첫 번째 세그먼트를 재 전송하고 재 시작에 들어간다.

특히 세 개의 중복된 ACK들에 의한 손실이 발생하면 해당 손실에 대한 감지를 빠르게 하고 또한 혼잡 윈도우의 급격한 크기 감소에 의한 네트워크 흐름 저하를 피하기 위하여 빠른 재 전송과 빠른 회복 기법을 사용하게 된다. 위에서 설명한 것과 같이 송신 측에서는 수신 측에서 순서없이 수신된 세그먼트에 대하여 수신측에 중복된 ACK들 보내어 어떤 세그먼트가 기대되는지를 알리게 된다.

TCP 연결 동작에 대한 마코프 체인 모델을 얻기 위해서는 먼저 다음의 사항들에 대해 설명한다  
 ① 혼잡 윈도우의 크기 ② threshold 의 변화 ③ 세그먼트 손실에 대한 감지 ④ 프로토콜의 상태

이러한 마코프 체인 모델을 이용한 TCP 연결을 묘사하기 위하여 세 가지 성분을 갖는 벡터 값으로 표현할 수 있다. 이러한 상태를 묘사한 상태  $s = (w, Wt, l)$ 는 먼저 현재의 윈도우의 크기를 나타내는  $w$  와 현재의 threshold 의 값을 나타내는  $Wt$  , 그리고 마지막으로 세그먼트의 손실여부를 표시하는 표시자  $l$  은  $l=0$  인 경우는 손실이 발생하지 않은 상태를 나타내며,  $l=1$ 인 경우는 손실이 발생하여 아직 재전송이 이루어지지 않은 상태를 나타낸다.

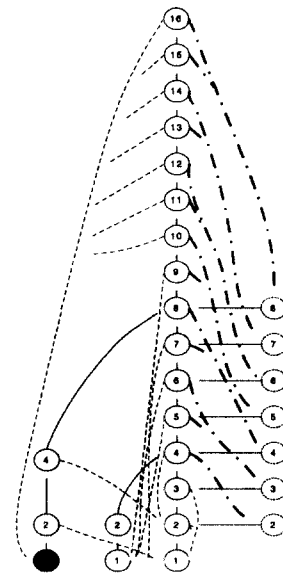


그림 3.2  $W_M=16$  일 때 TCP 동작에 대한 마코프 체인

### 3.3 복합 모델

응용 계층과 전송 계층들에 의해 구성되는 계층적인 모델에서, 상태 공간 S 에서의 마코비안 모델을 얻을 수 있다.

$$S = I U (w, Wt, l)$$

상태  $s \in S$  는 Idle 의 I 과 Active A 를 함께 포함한다. 또한 TCP 동작의 상태는 앞에서 설명한 w, Wt, l 등을 사용하여 그 상태의 동작을 표현한다.

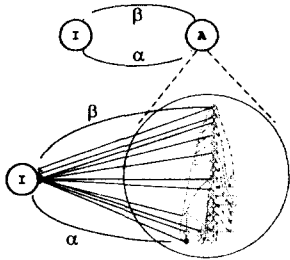


그림 3.3 두 계층에 대한 복합 모델

TCP 연결 동작에서 혼잡 윈도우는 초기 1의 세그먼트로 시작하여 최대값  $W_M$  까지 값이 증가하게 되며 threshold 값의 경우는 최대값의 반인  $W_t = W_M/2$  이 되게 된다. ( $W_M = 16$   $W_t = 8$ )

### 4 시뮬레이션 및 분석

시뮬레이션은 버클리 대학의 시뮬레이터 NS2 (Network Simulator II)[7]를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

먼저 입력되는 하나의 병목 노드에 60개의 TCP 소스와 그 소스의 ON-OFF 구간은 100-50을 사용하였다. TCP의 세그먼트 크기는 모델에서 사용한 1500bytes 로 하였으며, TCP 혼잡 윈도우의 최대값은  $W_M = 16$  으로 동일하게 사용하였다. 또한 노드는 150Mbps 링크 대역폭과 큐는 100개로 설정하며 드롭 태일 버리기 방법을 사용하였다.

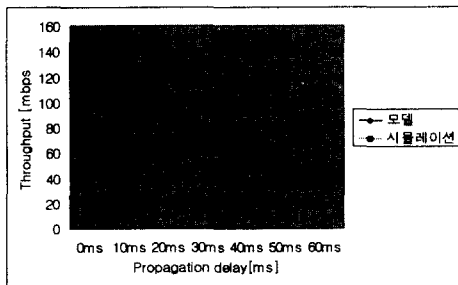


그림 4.1 모델과 시뮬레이션 비교

모델과 동일한 조건을 사용한 시뮬레이션은 위의 그림과 같이 전송지연의 변화에 따라 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 모델에 의한 분석이 유효성을 지님을 나타낸다고 볼 수 있다.

### 5 결론 및 향후과제

새로운 성능 측정 방법을 사용하여 얻어진 TCP의 성능 값들은 실제 환경과 유사한 시뮬레이션을 사용하여 증명할 수 있었다. 이후 지금의 버전외에 좀더 개선된 TCP 버전이나 또는 네트워크에 대한 더 많은 요소들이 참고되어 더욱 실제에 가까운 방법으로 모델화도 시도될 수 있을 것이다.

### 6 참고 문헌

- [1] T.V. Lakshman and U. Madhow. The Performance of TCP/IP for Networks with High Bandwidth-Delay Products and Random Loss. IEEE/ACM Transactions on Networking, 3(3):336-350, June 1997.
- [2] A. Kumar. Comparative Performance Analysis of Versions of TCP in a Local Network with a Lossy Link. IEEE/ACM Transactions on Networking, 6(4):485-498, August 1998.
- [3] E. Altman, F. Boccara, J.C. Bolot, F. Nain, P. Brown, D. Collange, and C. Fenzy. Analysis of the TCP/IP Flow Control Mechanism in March 2000. High-Speed Wide-Area Networks. In 34th IEEE Conference on Decision and Control, pages 368-373, New Orleans, Louisiana, USA, December 1995.
- [4] V. Paxson. Empirically-Derived Analytic Models of Wide-Area TCP Connections. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2(4):316-336, August 1994.
- [5] V. Paxson and S. Floyd. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling. ACM Computer Communications Review, 24(4):257-268, October 1994.
- [6] C. Casetti and M. Meo. A New Approach to Model the Stationary Behavior of TCP Connections. In Proceedings of IEEE INFOCOM'2000, Tel Aviv, Israel, March 2000.
- [7] ns-2, network simulator (ver.2). LBL, URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [8] W.R. Stevens. TCP/IP Illustrated, vol. 1. Addison Wesley, Reading, MA, USA, 1994.