

# 명시적 혼잡제어 프로토콜의 성능평가 연구

정회원 천 상 훈\*

## A Study on the Performance Evaluation of Explicit Congestion Control Protocol

Sang Hun Chun\* *Regular Member*

요 약

최근의 인터넷 혼잡제어의 효과적인 설계방법을 제공하기 위한 많은 시도는 명시적 혼잡제어의 개발이 가능토록 하였다. 명시적 혼잡제어 프로토콜은 지연과 대역폭의 값이 큰 망에서 매우 우수한 성능을 발휘할 수 있는 귀환기법에 근거한 혼잡제어 프로토콜이다. 그러나 이 기법의 성능에 대한 실험적 평가가 아직 미흡하다. 명시적 혼잡제어 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 본 논문은 단일 병목 토폴로지에서 명시적 혼잡제어 프로토콜의 동작을 고찰한다. NS2를 이용한 실험결과, 명시적 혼잡제어 프로토콜이 지연과 대역폭의 값이 큰 망에서의 문제점들을 해결하기 위해 적용될 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Explicit Congestion Control, Feedback, TCP, Router, Queue

### ABSTRACT

Many efforts to provide an effective design of congestion control for internet have recently led to the development of explicit congestion control. Explicit congestion control is a feedback-based congestion control protocol that can perform well in very high delay-bandwidth product networks. However, experimental performance evaluation is still missing. To evaluate the performance of explicit congestion control, this paper investigates the behavior of explicit congestion control in single bottleneck topology. Simulation results using NS2 show that explicit congestion control can be intended to solve the problems in high delay-bandwidth environments.

### I. 서 론

인터넷의 폭발적 성장은 기존 혼잡제어 기법들의 유효성에 관한 연구에 지대한 관심을 갖게 하였고<sup>[1]</sup>, 인터넷의 효율성을 개선하는 다양한 기법들을 설계하고 개발하기 위한 연구들이 진행되었다<sup>[2]</sup>. 이러한 연구를 바탕으로 귀환기법에 근거한 명시적 혼잡제어 기법이 개발되었다<sup>[3]</sup>.

명시적 혼잡제어 기법에서는 망 내의 장비로부터 혼잡정보를 취하여 중단 사용자 간의 트래픽 제어

에 이용한다. 명시적 혼잡제어에서 망 장비들은 혼잡정보를 중단 호스트에 귀환시켜서, 망의 트래픽 상황에 맞도록 적절히 혼잡 윈도우 크기 혹은 전송 속도를 조정할 수 있도록 한다. 몇몇 명시적 혼잡제어 프로토콜이 제안되었는데<sup>[4-6]</sup>, 이들은 형평성, 안정성, 확장성을 달성하는 혼잡제어 기반을 제공할 수 있음을 보였고 사실상 IP 망의 혼잡제어 표준으로 자리 잡았다. 그러나 명시적 혼잡제어 기법의 성능을 평가하기 위한 실험적 연구는 아직까지 다양하게 이루어지지 않았다.

\* 재능대학 정보통신과(wintari@naver.com)

논문번호 : 09037-0603, 접수일자 : 2009년 6월 3일

본 논문에서는 단일 병목링크 토폴로지 유형의 망에 명시적 혼잡제어 기법을 구현하여 실험적 연구를 수행하고, 명시적 혼잡제어 기법이 각 송신원의 혼잡 윈도우 크기를 적절히 조절할 수 있는지를 평가한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 명시적 혼잡제어 기법의 중단 시스템, 라우터, 큐의 구현방법을 제시하고, III 장에서는 4 개의 트래픽 송신원과 단일 병목링크 토폴로지로 구성되는 망에 명시적 혼잡제어 기법을 적용하여 실험을 수행한다. 마지막으로 IV 장에서 결론을 맺는다.

## II. 명시적 혼잡제어 기법 구현

명시적 혼잡제어 기법은 망 내에서 혼잡을 피하기 위해 직접적이고 명시적인 라우터에서의 귀환정보를 이용한다. 명시적 혼잡제어 기법은 어떠한 수송계층 프로토콜에도 적용될 수 있는 혼잡제어 기법으로 지연과 대역폭이 매우 큰 망에서 특히 성능이 우수함을 보인다. 일반적으로 지연과 대역폭이 큰 망에서 다발적인 패킷 손실이 발생하면 TCP의 성능은 급격히 하강하며 큐 관리 시스템도 불안정해진다. 하지만 유사한 상황에서도 명시적 혼잡제어 기법은 귀환정보에 근거하여 훨씬 능률적으로 안정성과 공평성을 달성한다<sup>7)</sup>.

본 논문에서는 명시적 혼잡제어 기법의 중단 시스템을 명시적 혼잡제어를 사용하는 TCP 송신기 및 수신기로 구현한다. 망의 라우터는 각 패킷의 헤더에 귀환 값을 기입하는데, 귀환 값이 양이면 송신기는 데이터의 전송속도를 증가시키게 되고, 음이면 감소시킨다. 이러한 패킷이 수신기에 도착하면 TCP의 ACK 패킷 역할을 수행하는 귀환 패킷의 헤더에 실려서 송신기로 보낸다. 이 귀환 값을 수신한 송신기는 혼잡 윈도우의 크기를 증가시키거나 감소시켜서 송신 속도를 조절한다. 수신기는 ACK 패킷의 헤더에 귀환 값을 복사한다. 지연 ACK 패킷의 경우 수신기는 도착 패킷들의 귀환 값의 합을 계산하여 ACK 패킷에 복사한다. 패킷 손실을 나타내는 중복 ACK를 수신하는 경우 혼잡 윈도우 크기를 절반으로 줄이고 신속 재전송 및 신속 복구 기법을 작동시킨다.

명시적 혼잡제어 라우터에는 명시적 혼잡제어 기법 및 TCP 트래픽 플로우에 대한 큐를 갖도록 구현한다. 명시적 혼잡제어 기법에는 드롭-테일 큐를 사용하고 TCP 트래픽은 RED(Random Early Discard) 큐를 사용한다. 이들 큐는 가중치 부여 라운드 로빈

방식으로 처리하고, 각 큐는 그것이 받는 서비스 정도를 결정하는 가중치를 갖도록 한다. 큐에 입력되는 모든 패킷은 패킷의 종류에 따라서 표식을 부여한다. 즉 명시적 혼잡제어 기법, TCP 패킷에 대한 표식을 부여하여 적절한 큐에 입력되도록 한다.

명시적 혼잡제어 큐는 모든 패킷 헤더에 귀환 값을 입력하여 송신기에 전달하도록 구현한다. 이 값은 송신 데이터 패킷의 속도를 조절하기 위해 사용된다.

## III. 모의실험

모의실험은 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 사용하여 수행하였다. 모의실험에는 하나의 병목링크 상에서 동작하는 4개의 명시적 혼잡제어 트래픽 송신원을 갖는 간단한 덤벨 토폴로지를 사용한다. 병목링크는 양쪽방향으로 명시적 혼잡제어 라우터를 갖는 양방향 링크로 구현하였다. 4개의 송신원에는 FTP 송신원이 사용된다. 각 명시적 혼잡제어 송신원은 1 초 단위의 트래픽 발생 시간차를 두었다. 명시적 혼잡제어 큐를 갖는 병목링크는 40Mbps의 대역폭과 20ms의 지연을 갖도록 설정하였다. 송신원을 병목링크에 연결하는 측면링크도 명시적 혼잡제어 큐를 사용하였다.

그림 1은 실험에 사용된 망 모델을 나타낸다. 송신원 S0, S1, S2, S3에는 파일전송 어플리케이션(FTP, File Transfer Protocol)를 실행시켰다. 송신원 S0은 0초에, 송신원 S1는 1초에, 송신원 S2는 2초에, 송신원 S3은 3초에 데이터의 전송을 시작하였고 실험은 약 5초 동안 수행하였다.

평가에 사용된 측정치는 송신원 S0, S1, S2, S3의 혼잡 윈도우 크기를 시간간격에 대비하여 나타내었고, 병목링크의 대역폭 활용도를 시간에 따라 나타내었다. 혼잡 윈도우 크기를 측정하여 명시적 혼잡제어 기법이 각 송신원의 트래픽 전송률을 효

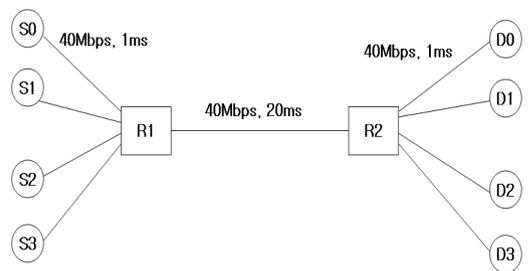
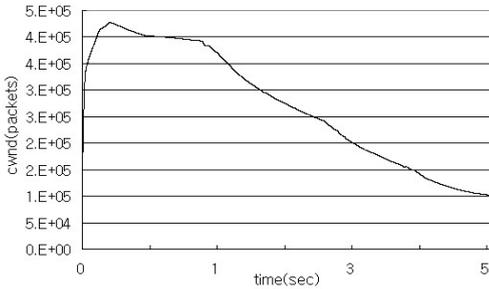
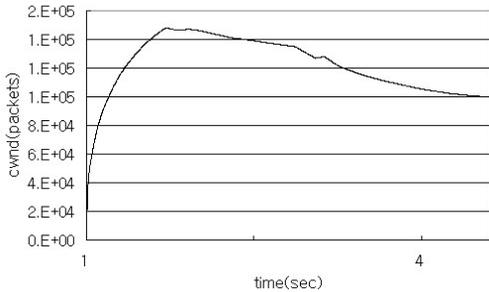


그림 1. 실험에 사용된 망 모델

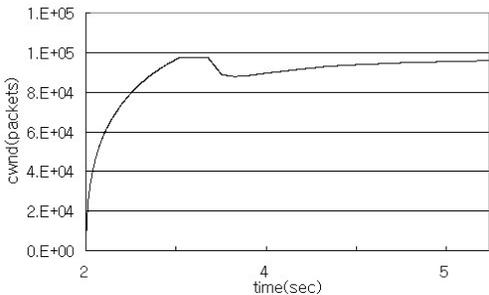
과적으로 균등히 분배할 수 있는지 관측하고, 병목 링크의 대역폭 활용도를 관찰하여 링크 대역폭이 최적으로 이용되는지 살펴본다.



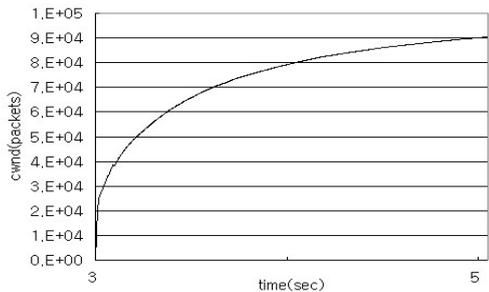
(a) 송신원 S0의 혼잡 윈도우 크기



(b) 송신원 S1의 혼잡 윈도우 크기



(c) 송신원 S2의 혼잡 윈도우 크기



(d) 송신원 S3의 혼잡 윈도우 크기

그림 2. 송신원 S0, S1, S2, S3의 혼잡 윈도우 크기

그림 2는 송신원 S0, S1, S2, S3의 혼잡 윈도우 크기를 나타낸다. 그림 2(a)로부터 송신원 S0는 1초 부근까지는 혼잡 윈도우의 크기가 최대 값을 유지하다가 직선적으로 감소하기 시작함을 보인다. 그림 2(b)로부터 약 1초에 송신원 S1이 데이터를 전송하기 시작하고, 그림 2(a)에서 S0의 혼잡 윈도우 크기는 이를 반영하여 약 1초 부근부터 감소하기 시작함을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 2(c)로부터 약 2초에는 송신원 S2가 데이터를 송신하기 시작하고, 그림 2(d)로부터 약 3초에는 송신원 S3이 데이터를 송신하기 시작하여, 송신원 S0는 이러한 상황을 반영하여 혼잡 윈도우 크기가 감소됨을 알 수 있다. 또한 그림 2로부터 5초 이후에 송신원 S0, S1, S2, S3의 혼잡 윈도우 크기는 4개의 송신원에 균등히 배분되어짐을 알 수 있다.

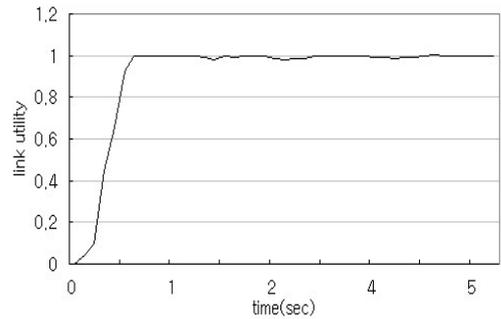


그림 3. 병목링크의 링크 활용도

그림 3은 라우터 R1과 라우터 R2 간의 병목링크의 링크활용도를 나타낸다. 그림으로부터 약 0.5초 부근까지는 과도기 구간으로서 링크 활용도가 직선적으로 1을 향해서 증가함을 알 수 있다. 약 0.5초 이후에는 정상적으로 링크활용도가 1에 접근하여 사용됨을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 4개의 송신원과 2개의 라우터로 구성되는 단일 병목링크 토폴로지 유형의 망에 명시적 혼잡제어 기법을 구현하여 실험적 연구를 수행하였고, 명시적 혼잡제어 기법이 각 송신원의 혼잡 윈도우 크기를 적절히 조정할 수 있는지를 실험하였다. 각 송신원의 혼잡 윈도우 크기가 네트워크 상황에 맞추어 변화함을 관측하기 위하여 각 송신원의 데이터 전송시점에 약 1초씩 차이를 두었다. 명시적 혼잡제어 기법의 성능 평가를 위해서 각 송

신원의 시간에 따른 혼잡 윈도우 크기의 변화와 병목링크의 링크 활용도를 살펴보았다. 성능의 측정을 위해서 NS-2.31 시뮬레이터를 사용하였다<sup>8)</sup>. 실험결과 혼잡 윈도우 크기의 변화를 통해 명시적 혼잡제어 기법이 각 송신원의 트래픽 전송률을 효과적으로 균등히 분배할 수 있음을 관측하였고, 병목링크의 대역폭 활용도를 관찰하여 링크 대역폭이 최적으로 이용됨을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 덤벨 모형의 간단한 네트워크 모형에서 실험을 진행하였으나, 명시적 혼잡제어 기법의 정확한 성능평가를 위해서는 향후 좀 더 복잡한 네트워크 모형을 포함하는 실험이 필요하리라 여겨진다.

### 참 고 문 헌

[1] S. Floyd, "High-speed TCP for Large Congestion Windows," IETF RFC 3649, Dec. 2003.

[2] GENI. [Online]. Available: <http://www.geni.net/>.

[3] S. Bhandarkar, S. Jain, and A. L. N. Reddy, "Improving TCP Performance in High Bandwidth High RTT Links Using Layered Congestion Control," in Proc. PFLDnet, Feb. 2005.

[4] L. Xu, K. Harfoush, and I. Rhee, "Binary Increase Congestion Control (BIC) for Fast, Long Distance Networks," in Proc. IEEE INFOCOM, Mar. 2004, pp. 2514-2524.

[5] D. Katabi, M. Handley, and C. Rohrs, "Congestion Control for High Bandwidth Delay Product Networks," in Proc. ACM SIGCOMM, Aug. 2002, pp. 89-102.

[6] A. Falk, Y. Pryadkin, and D. Katabi, "Specification for the Explicit Control Protocol (XCP)," IETF Internet Draft, Jul. 2007.

[7] S. Kunniyur and R. Srikant, "Stable, Scalable, Fair Congestion Control and AQM Schemes that Achieve High Utilization in the Internet," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. 48, no. 11, pp. 2024-2029, Nov. 2003.

[8] "The Network Simulator-ns-2," URL <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

천 상 훈 (Sang Hun Chun)

정회원



1990년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업

1992년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사

2000년 2월 인하대학교 전자공학과 공학박사

2000년 3월~현재 재능대학 정  
보통신과 부교수

<주관심분야> 혼잡제어, 트래픽 제어, 컴퓨터 네트워크, 유비쿼터스