
TCP의 다중 시간 간격에서 선택적 기울기 제어를 이용한 혼잡 제어

김광준* · 강기웅* · 임세정*

The Congestion Control using Selective Slope Control under Multiple Time Scale of TCP

Gwang-jun Kim* · Ki-woong Kang* · Se-jung Lim*

요약

본 논문에서는 MTS(Multiple Time Scale) 트래픽 제어 프레임워크를 TCP(Transfer Control Protocol) 기반의 신뢰할 수 있는 전송 및 윈도우 기반 혼잡제어로 확대 적용한다. 이 작업은 TCP의 대역폭 소비 반응의 적극성을 LTS 네트워크 상태의 함수 형태, 즉 RTT(Round-Trip Delay Time)가 결정한 피드백 루프의 한계를 넘어서는 정보의 형태를 조정하는 LTS(Large Time Scale) 모듈과 TCP를 연계시키는 방법으로 수행된다. 혼잡 제어 성능 평가 방식은 자기 유사성 네트워크 트래픽의 물리적 모델링으로부터 얻은 시뮬레이션 기반 하에서 결과를 나타낸다. 자기 유사 버스트 환경 하에서 RTT가 450ms일 때 소스 트래픽이 초과되지 않는 경우에 TCP-SSC(Selective Slope Control)의 성능 이득은 각각 α 가 1.05일 45%정도 높아지는 반면에 α 가 1.95일 때는 20%정도의 성능 이득을 얻을 수 있다. 그러므로 비율 기반 피드백 혼잡 제어에 TCP-MTS를 적용함으로써 TCP-SSC 처리 이득의 성능이 약 2배정도의 개선이 이루어짐을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we extend the multiple time scale control framework to window-based congestion control, in particular, TCP. This is performed by interfacing TCP with a large time scale control module which adjusts the aggressiveness of bandwidth consumption behavior exhibited by TCP as a function of "large time scale" network state. i.e., conformation that exceeds the horizon of the feedback loop as determined by RTT. Performance evaluation of multiple time scale TCP is facilitated by a simulation bench-mark environment which is based on physical modeling of self-similar traffic. If source traffic is not extended exceeding, when RTT is 450ms, in self similar burst environment, performance gain of TCP-SSC is up to 45% for $\alpha=1.05$. However, its is acquired only 20% performance gain for $\alpha=1.95$ relatively. Therefore we showed that by TCP-MTS at large time scale into a rate-based feedback congestion control, we are able to improve two times performance significantly.

키워드

Multiple Time Scale, Round-Trip Time Dealy, Time Self-Similar Traffic, Selective Slope Control

1. 서론

자기유사성 트래픽을 제어한다는 것은 트래픽 흐름의 관리 문제를 의미하며, 네트워크 성능을 최적화하기

위해 자기유사성 및 장거리 종속(LRD : long range dependence)과 관련된 속성을 활용하게 될 것이다. LRD는 그 정의대로라면 시간 차이가 클 경우 상당한 상관 구조가 존재함을 의미한다는 것이며, 이는 트래픽

* 전남대학교 컴퓨터공학과
심사완료일자 : 2007. 02. 27

접수일자 : 2007. 01. 22

제어 용도로 활용 가능하고, 현재 어떤 트래픽 제어 알고리즘에서도 다루지 못하는 정보이다. 버퍼 용량 및 프로토콜 스택 또는 네트워크 구성의 세부 사항과 상관 없이 연결 지속 기간 또는 전송되는 객체 크기가 대형이라면, 집합 트래픽의 LRD 및 자기유사성은 네트워크의 다중화 지점에서 존재함을 입증할 수 있다[1][2][3]. 긴 시간간격 트래픽 특성이 제공하는 정보를 어떻게 효과적으로 활용하여 성능을 향상시킬 것인가는 결코 간단한 문제가 아니다.

본 논문에서는 MTS(Multiple time scale) 트래픽 제어 프레임워크를 TCP 기반의 신뢰할 수 있는 전송 및 윈도우 기반 혼잡제어로 확대 적용한다. 이 작업은 TCP의 대역폭 소비 반응의 적극성을 LTS(large time scale) 네트워크 상태의 함수 형태, 즉 RTT(round-trip time)가 결정한 피드백 루프의 한계를 넘어서는 정보의 형태로 조정하는 LTS 모듈과 TCP를 연계시키는 방법으로 수행된다.

트래픽 제어의 3가지 차원, 즉 추적 능력, 연결 지속 기간, 공정성이 성능에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 추적 능력이란 피드백 제어가 라우터의 다른 흐름과의 상호 작용을 통해 시스템 상태를 추적하는 능력을 의미한다. Per-flow 입출력 반응을 사용하여 LTS 상관 구조를 온라인으로 평가할 때 이는 중요한 요인이 된다. TCP-MTS는 연결 지속 기간이 길 때 가장 큰 성능 이득을 제공한다. 네트워크 측정 결과, 대부분의 연결이 단명하지만, 소수의 장기 연결에 의해 트래픽 대부분이 발생하는 것으로 밝혀졌기 때문에 Amdal의 법칙에 의거하여 장수 연결을 효과적으로 관리하는 것은 시스템 성능 측면에서 중요하다. TCP-MTS의 대역폭 공유 반응이 TCP의 반응과 유사하고, 잘 알려진 TCP의 공정성 속성에는 긍정적, 부정적 영향을 전혀 미치지 않는다는 것을 입증한다.

II. TCP MTS에서 TCP 구현

2.1 MTS 혼잡 제어 프레임워크

MTS 혼잡제어의 프레임워크는 $n \geq 1$ 에 대해서 n -레벨 시간 혼잡제어를 허용하며, n 분리된 시간 규모에서 추출된 정보들은 가장 낮은 시간 규모, 즉 $n=1$ 에서의 피드백 혼잡제어의 출력 반응을 조절하는데 사용된

다[4][5][6]. MTSC의 궁극적인 목표는 피드백 혼잡제어만으로 구성된 혼잡제어보다 성능을 개선시키는 것이다. 따라서 $n > 1$ 이더라도 LTS 모듈이 비활성화되면, 혼잡제어는 원래의 피드백 혼잡 제어 수준으로 떨어지게 된다.

피드백 혼잡제어의 트래픽 제어 반응을 조절하는데 LTS 상관 구조를 적용하는 방안을 두 가지로 구분하여 적용시킨다. 첫 번째 방법은 선택적 기울기 제어(SSC; selective slope control)로서, 예측된 LTS 네트워크 상태를 기준으로 선형 증가/지수 감소 혼잡제어의 선형 증가 단계에서 선형 증가 곡선의 기울기를 조정하는 것이다. 만약 네트워크 경쟁이 낮은 편이라면 기울기가 증가하고, 네트워크 경쟁이 높으면 그 반대가 되는 것으로서 그림 1과 같다.

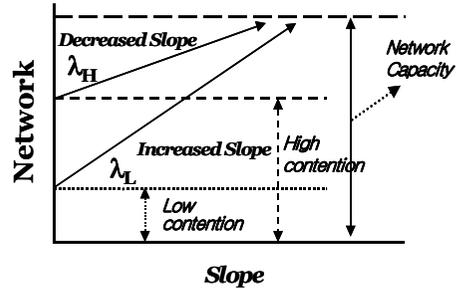


그림 1. 고 경쟁 및 저 경쟁의 선형증가에서의 선택적 기울기 조정

Fig. 1 Selective slope adjustment during linear increase phase for high and low contention.

SSC는 TCP 성능 평가에 의해 생긴 것으로서 안정성 요건 때문에 발생한 TCP 혼잡제어의 보존성 또는 비대칭성으로 인해, 지연-대역폭 곱이 큰 네트워크에서 특히 중요한 대역폭의 비효율적인 이용 결과를 초래하고 있다. SSC는 지속적인 네트워크 상태를 통해 기울기를 변경함으로써, 불안정성을 유발하지 않고서도 피드백 혼잡제어의 대역폭을 점유하는 적극적인 동작을 조절할 수 있다. RTT 또는 피드백 루프를 차수 크기 이상으로 초과하는 LTS에서도 기울기는 안정적으로 유지된다[7][8][9].

시간 규모 차이가 크기 때문에 피드백 혼잡제어는 수렴하기 위한 충분한 시간을 가지고 있으며, 기울기의 변화는 안정 상태에서 변화가 없는 것과 유사한

시스템에서 발생한 것으로 인식한다. 그러므로 비율을 토대로 한 피드백 혼잡 제어 컨텍스트에서 SSC의 효과로 인해 MTS TCP 기본 구현 방안으로 적용한다.

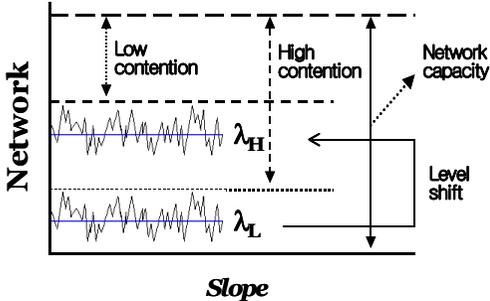


그림 2. 고 경합 및 저 경합간의 선택적 “DC” 레벨 조정
 Fig. 2 Selective “DC” level adjustment between high and low contention.

피드백 트래픽 제어에서 LTS 상관 구조를 활용하는 두 번째 방법은 선택적 레벨 제어(SLC; selective level control)방법으로서 LTS 네트워크 상태 함수 형태로 출력 전송율을 부가적으로 조정한다. 즉 네트워크 경쟁이 낮은 편이면 “DC” 레벨을 높이고, 경쟁이 높아지면 그 반대로 한다. 이 방법은 그림 2와 같이 SLC는 혼잡 제어를 위한 일반적인 방식이다 [10][11]. 예를 들면, 재전송이 불가능할 때 적용 패킷 레벨의 순방향 오류 정정이 적용된 실시간 멀티미디어 트래픽 제어에서 MPEG1 프레임의 적시의 도착 및 디코딩을 지원하기 위해 SLC를 성공적으로 사용하고 있다.

2.2 전송 제어 프로토콜에서 MTS에 관한 구조

TCP-MTS의 구조는 TCP의 특별한 특징인 피드백 제어 및 선택적 기율기 제어(SSC)를 구현하는 LTS 모듈로 이루어진다. LTS 모듈은 다시 LTS 상관 구조를 온라인상에서 추출되는 명시적 예측 모듈, TCP로 전달되는 기율기의 최종 단계를 결정하는 적극성 스케줄, 적극성 스케줄이 사용된 기율기 값의 범위를 조정하는 메타컨트롤이라는 3가지 요소로 구성된다.

SSC는 기반 피드백 제어에서 측정 가능한 입출력 동작은 전송된 TCP 세그먼트 개수, 수신 ACK의 개

수 등을 기반으로 연산을 수행 한다. LTS 모듈은 수신자 쪽에서만 증가시킬 수 있으며, 발신자 쪽은 변함 없다. TCP-MT의 전체적인 구조는 그림 3과 같이 SSC 모듈의 LTS T_L 에서 추출된 정보를 사용하여 피드백 루프 $T_L \gg T_S$ 의 시간 규모 T_S 에서의 TCP의 대역폭 점유 동작을 조절한다.

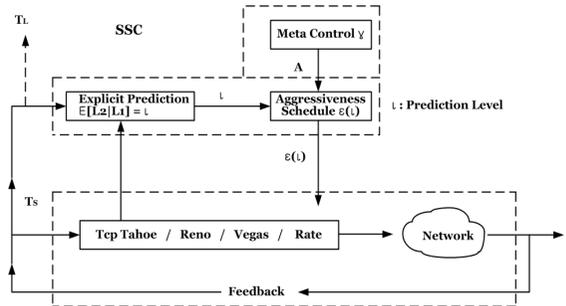


그림 2. TCP-MTS의 구조
 Fig. 3 Structure of TCP-MTS

III. 자기유사성 버스트 트래픽에서 혼잡제어

3.1 전송 제어 프로토콜 스택

자기유사성 트래픽 조건에서 전송 프로토콜의 변화가 미치는 영향을 효과적으로 평가할 수 있는 프레임워크를 구현하는 것은 결코 간단한 문제가 아니다. 기존의 대기열 중심의 자기유사성 성능 평가 방식에서는 분석 소스 모델 또는 트래픽 추적기록으로부터 자기유사성 입력이 대기열에 추가되고 그 결과 발생하는 대기열의 동작을 관찰한 후 분석한다. 시뮬레이션 기반 평가 방식은 네트워크 상태와는 관계없이 입력이 이루어지는 개방-루프 대기열 시스템으로 구성된 분석적 프레임워크와 상당히 유사하다. 바로 이런 이유 때문에 분석 검증을 위해 시뮬레이션을 자주 사용하고 있으며 이는 버퍼 용량에 제한이 없는 점근식 경우에만 성공적이었다. 이러한 설정은 혼잡제어 성능 평가를 위해 일반화시키는 어렵다. 추적기록 형태 또는 분석 소스 모델로부터 얻어진 모든 자기유사성 네트워크 트래픽은 바로 그 프로토콜에 의해 생성되었으며 혼잡제어는 그 반응 자체가 네트워크 상태 함수가 되어 폐쇄 루프 시스템을 유발하는 피드백 제어인 경우가 대부분이다.

자기 유사성 버스트 현상의 인과 관계를 애플리케이션 계층으로 넘기고, 이 애플리케이션 계층은 비중이 크고 길게 늘어진 객체 크기의 분포를 보유한 파일 시스템 및 WWW 서버의 실험적 결과를 통해 지원된다. Willinger 등의 on/off 모델, Likhanov 등의 소스 모델, M/G/∞ 기반의 입력 모델은 소스의 반응이 다른 소스의 반응 및 네트워크 상태와 관계가 없을 경우에 대해서 heavy-tailed 트래픽 소스가 왜 자기유사성 및 LRD를 갖는가에 대한 이론적 토대를 제공한다.

응용계층 모델은 폐쇄 루프 네트워크 시스템의 피드백 혼잡제어로부터 발생하는 중속성 문제를 규명할 수 있다. 이 모델에 따르면 집합 트래픽 자기유사성은 TCP/UDP/IP 프로토콜 스택이 증가하는 네트워크 클라이언트/서버 시스템의 근본적인 속성으로서 여기에서 액세스되는 객체의 크기는 비중이 크고 길게 늘어난다. 특히 Pareto 분포의 매개변수 α 가 과악한 파일 크기 분포의 비중이 크고 길게 늘어진 경우 측정값 및 그 결과 다중화된 트래픽 스트림의 Hurst 매개변수 간에 선형 관계가 존재하며 이러한 관계를 그림 4에서 확인할 수 있다. 이러한 관계는 병목 라우터의 상호 연결 결합에서 발생한 중속성이 포함되며 병목 라우터는 전송 계층 피드백 혼잡제어의 반응에 영향을 미치고 특정한 트래픽 및 성능 평가에 영향을 준다. 이렇게 야기된 자기유사성 네트워크 트래픽은 트래픽 특징 관점에서 보면 전송 계층 프로토콜, 즉 TCP Tahoe, Reno, Vegas, UDP 흐름 제어의 세부 사항에 별 영향을 주지 않는다. 다만, 제어 활동 및 자원 구성상에서 발생한 네트워크 트래픽의 속성에 영향을 미쳐 자기유사성 버스트 현상을 크게 감소시킬 수 있다. 따라서 응용계층에서 tail index 매개변수 α 를 제어함으로써 링크 계층에서 자기유사성을 유발시키고 전송 프로토콜의 영향은 프로토콜 스택에 포함시킨다. 더 나아가 α 와 함께 응용계층의 접근 패턴을 고정시킴으로써 2개의 서로 다른 전송 프로토콜 즉 해당 프로토콜을 변경하여 생성된 프로토콜을 동일한 네트워크 조건에서 네트워크 트래픽의 자기유사성 버스트 현상 발생 속성을 평가할 수 있는 성능을 비교 평가할 수 있다.

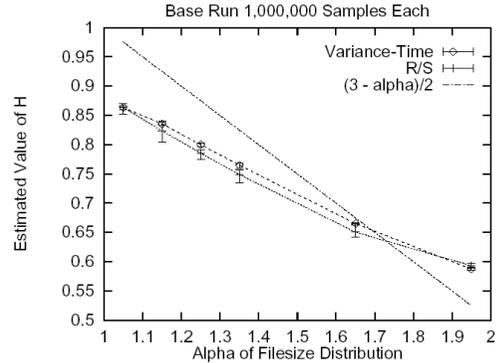


그림 4. TCP를 통한 파일 전송에서 1.05~1.95 범위에서 변경되는 tail index α 에 대한 Hurst 매개변수 측정값

Fig. 4 Hurst Parameter estimates for tail index α varying from 1.05 to 1.95 when file transport is mediated by TCP

3.2 트래픽 비중이 긴 분포의 샘플링

성능 평가 프레임워크의 핵심 요소는 트래픽 비중이 크고 길게 늘어진 분포를 샘플링하여 시스템의 나머지 부분을 운영할 응용 계층에서의 파일 크기를 생성하는 것이다. 트래픽 비중이 크고 길게 늘어진 분포를 따르는 임의의 변수가 최고의 변화폭을 나타내는데 실제적으로는 트래픽 비중이 크고 길게 늘어진 분포는 무시할 수 없는 개연성을 갖는 매우 큰 값을 발생시킴으로써 분포의 샘플링은 작은 값을 대량으로 양산하지만 일부 샘플은 매우 큰 값을 갖는다. 당연히 트래픽 비중이 길게 늘어진 속성은 샘플 평균값이 모평균값에 수렴하는 확률을 낮추고 tail 인덱스가 1에 접근하면 그 값을 늘림으로써 샘플링에 영향을 미친다. 샘플 크기 m 을 유지하면서 Pareto 분포확률 변수 Z 의 샘플 평균값 \bar{Z}_m 은 모평균값 $ak/(\alpha-1)$ 와 크게 달라질 수 있으며 그보다 낮은 값인 경우도 많다. 절대 추정오차 $|\bar{Z}_m - E(Z)|$ 는 $m^{(1/\alpha)-1}$ 처럼 근사적으로 반응하고 $\alpha \approx 1$ 일 경우에는 트래픽 비중이 길게 늘어진 분포의 샘플링에 주의해야 한다.

샘플링 변이 및 오류는 네트워크 계층의 평균 트래픽 강도에 영향을 미치고 이는 패킷 손실을 평균값 지연과 같은 성능을 나타내는 측정값에 영향을 미친다.

다는 측면에서 파급 효과를 가진다. LRD가 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 tail 인덱스 α 를 변경시키면서 링크 계층에서의 동일한 평균 트래픽 강도를 생성함으로써 측정된 성능 차이는 버스트 현상에 의한 것이고 샘플링 변화 때문이 아니다. 모평균값 $\alpha k(\alpha - 1)$ 을 갖는 Pareto 분포에서 동일한 프로토콜의 성능을 $\alpha_1 = 1.05$, $\alpha_2 = 1.95$ 인 트래픽 조건에서 각각 비교한다면 한 쌍의 k_1, k_2 대한 $\alpha_1 k_1 / (\alpha_1 - 1) = \alpha_2 k_2 / (\alpha_2 - 1)$ 을 얻어 버스트 현상 구조가 달라지더라도 모평균 값이 변화되지 않는다. 지수, Gaussian과 같은 light-tailed 분포에서는 이 방법이 잘 적용된다. 그러나 비중이 크고 길게 늘어진 분포에서는 큰 샘플 크기에서도 각 분포의 샘플 평균값은 크게 다를 수 있는데 이는 트래픽 강도에 직접적인 영향을 미치고 성능 결과를 확정할 수 없게 한다. 샘플 경로 정규화의 형태가 한 가지 방법이 될 수 있으며 여기에서 α_1, α_2 를 고정시킨 상태에서 k_1, k_2 값을 변경시킴으로써 측정된 트래픽 강도가 $\alpha = \alpha_1, \alpha_2$ 인 경우에도 불변하는 상태를 얻을 수 있다. k_1, k_2 는 Hurst 매개변수에서 파악한 것처럼 기반 트래픽의 버스트 현상은 분석 모델에서의 $H = (3 - \alpha) / 2$ 속성에 영향을 미치지 않고, 트래픽 강도를 정규화 함으로써 비교 가능하고 동시에 트래픽의 LRD 속성을 변함없이 유지할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 네트워크 시뮬레이션 환경 설정

본 논문에서의 시뮬레이션 환경 설정은 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 기반으로 하는 시뮬레이션 환경을 적용하였다. ns는 TCP, 라우팅 프로토콜, 멀티캐스트 프로토콜, RTP(Real Time Protocol), SRM(Scalable Reliable Multicast) 등 다양한 인터넷 프로토콜에 대한 시뮬레이션을 수행하기에 적절한 네트워크 시뮬레이션 도구로서 ns-2 툴 환경에서 공유된 병목 링크에서 몇 개의 동시 연결의 중복된 병목 네트워크 환경을 모델링하기 위해 ns를 수정함으로써 구현하였다.

수많은 UDP 기반의 비신뢰성 전송 프로토콜처럼 전송률 기반 확장 TCP인 TCP Rate가 기존 프로토콜에 추가됨으로서 TCP-MT는 ns에서 SSC를 다양한 버전의 TCP와 결합하여 구현하였다.

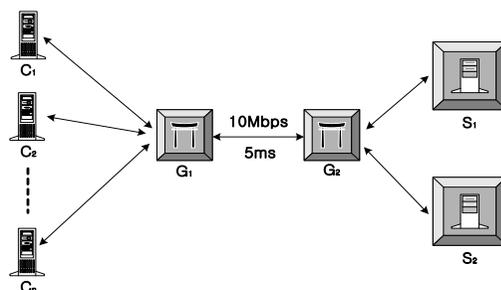


그림 5. 병목 링크 G_1, G_2 가 있는 left-to-right 트래픽 흐름의 네트워크 구성

Fig. 5 Network configuration with bottleneck link G_1, G_2 of traffic from left to right

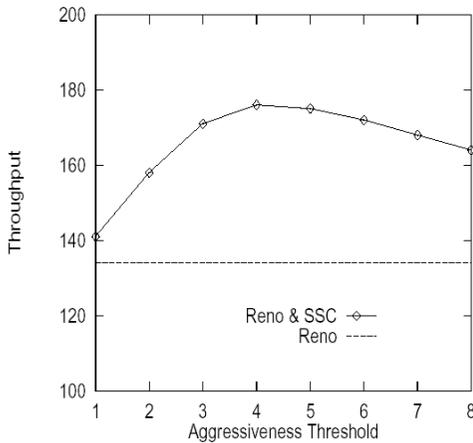
그림 5은 서버 2대, 클라이언트 n 개, 즉 $n \geq 33$ 의 네트워크 배치 구조에서 게이트웨이 G_1 과 G_2 를 병목 링크가 되도록 연결하였다. 링크 대역폭은 10Mbps로 설정하였으며 각 링크의 대기 시간은 5ms이다. 최대 세그먼트 크기는 1kB로 고정되어서 일부 클라이언트, 즉 32개의 연결은 다른 연결의 백그라운드 트래픽 역할을 하며 트래픽 비중이 길게 늘어진 크기의 파일들을 병목 링크를 통해 서버로 양방향 전송하였다. 연속 전송 사이의 지수 시간에는 유향 상태를 유지하면서 성능을 측정하기 위한 연결은 항상 전송할 데이터가 있는 무한 소스이며 신뢰 처리율을 최대화하기 위해 다양한 버전의 TCP 및 해당 MTS를 확장한 TCP-MTS를 실행하였다.

본 논문에서는 백그라운드 트래픽 흐름은 그대로 유지하고 TCP-MT 연결의 개수를 늘린 후 그 결과 발생하는 대역폭 공유 반응을 연구하고자 한다. 대역폭, 버퍼 크기, 평균 파일 요청 크기, 기타 시스템 매개변수를 어떻게 지정하더라도 클라이언트 수 또는 연속파일 전송 간의 평균 유향 시간을 조정함으로써 경쟁 레벨을 생성할 수 있다. 대역폭을 감안한 기본 성능 평가 설정의 일반적인 구성에서 처음 32개의 연결이 백그라운드 트래픽 역할을 하면서 클라이언트에서 서버파일을 전송한다. 여기에서 파일 크기는 파라

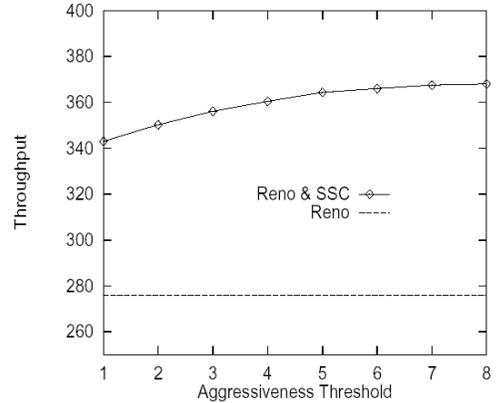
메타 종류 $\alpha=1.05, 1.35, 1.65, 1.95$ 인 Pareto 분포를 통해 얻을 수 있으며 또, α 와 병목 링크 G_1, G_2 에서 측정된 집합 트래픽의 Hurst 매개변수 H 간에는 선형 관계가 존재한다. α 가 1에 가까워지면 H 도 1에 가까워지고, α 가 2에 가까워지면 H 는 $1/2$ 에 가까워진다. 실행이 1만초 동안 지속되며 시뮬레이션 시간에서 10ms 간격으로 추적기록을 수집했다. 따라서 단일 수행 시 1백만 개의 데이터 포인트가 생성되고 이는 위에서 설명한 샘플 경로 정규화 방식 외에도 트래픽 비중이 크고 길게 늘어진 샘플링의 가변성을 어느 정도 상쇄시켰다.

4.2 SSC의 단일모드 처리율 곡선

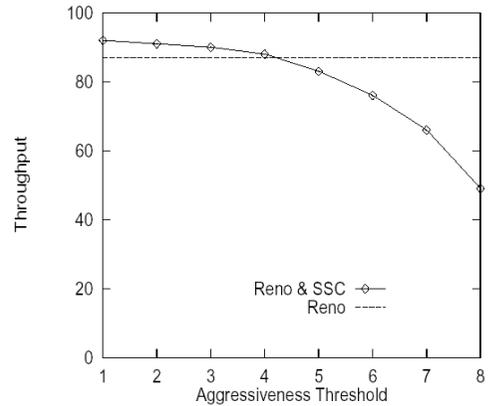
기율기 제어의 형태로 적극성을 선택적으로 적용함으로써 얻게 된 증분 이득을 측정한다. 먼저 이득 발생 가능성이 가장 높은 경우는 $\hat{L}_2 = 1$ 이 되고 2번째로 높은 경우인 $\hat{L}_2 = 2$ 등에 각각 적용한다. 궁극적으로 적극성 비용이 그 이득을 초과하여, 선택성 엄격함이 완화될수록 처리율을 순간소시키는 단계에 도달하는 것으로서 임계값 스케줄을 사용한다. $\hat{L}_2 \leq \theta$ 인 경우에 대해 이 현상을 입증할 수 있도록 적극적인 조치가 수행되며 θ 는 적극성 임계값을 나타낸다.



(a) TCP Reno 백그라운드 트래픽 5Mbps의 처리율



(b) TCP Reno 백그라운드 트래픽 2.5Mbps의 처리율



(c) TCP Reno 백그라운드 트래픽 7.5Mbps의 처리율
 그림 6. TCP Reno. 3가지 레벨의 백그라운드 트래픽, 5Mbps(a), 2.5Mbps(b), 7.5Mbps(c)의 적극성 임계값 함수 형태의 처리율 곡선

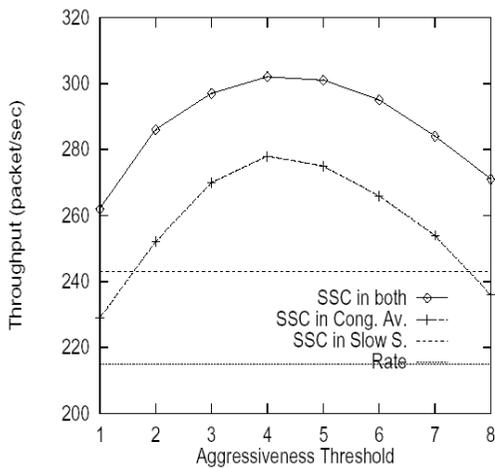
Fig. 6 TCP Reno. shape of throughput curve as a function of aggressiveness threshold for three levels of background traffic 5Mbps(a), 2.5Mbps(b), and 7.5Mbps(c)

그림 6(a)는 $\alpha=1.05$ 트래픽에서 θ 값에 대해 $1 \leq \theta \leq 8$ 범위의 적극성 임계값에 대해 곡선 대비 처리율을 나타내고 있다. 이 곡선은 단일 모드이므로 $\theta = 4$ 일 때 정상 점을 유지하며 $\theta = 8$ 인 모든 경우에 대해 적극성이 적용되므로 선택적이지 않다. 단일 모드 처리율 곡선이 대표적인 형태이지만 네트워크 구성에 따라서 단조 증가 또는 감소와 같은 2가지 다른 형태도 가능하다. 곡선 모양은 가용 자원에

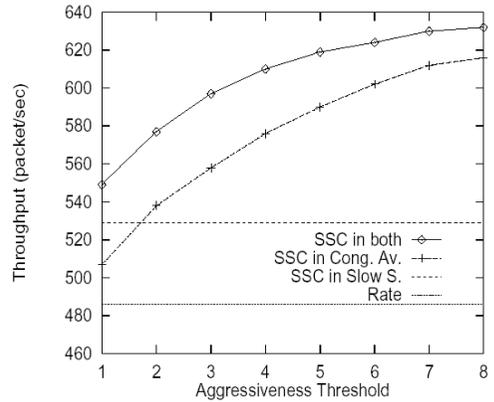
대한 적극성 크기의 상대적 수준에 따라 결정되었다. 자원이 풍부하다면 적극성은 최소한의 지장을 받고 단조 증가 처리를 곡선이 된다. 이와 반대로 자원이 부족하다면 적극성이 가장 심하게 줄어들어 단조 감소 처리를 곡선이 되는 것으로서 그림 6(b)와 (c)에서 각각 나타내었다.

4.3 SSC의 임계값에 의한 처리율 곡선

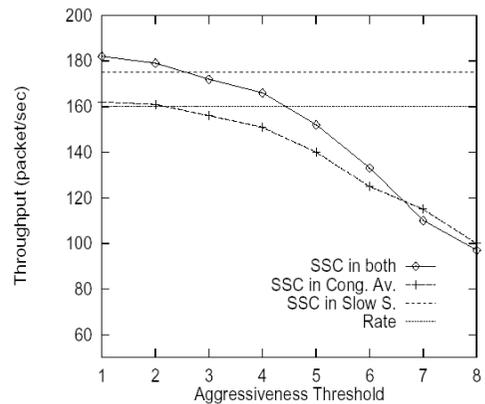
네트워크 구성이 단일 모드 처리율 곡선을 지향하면 최고 처리율을 찾는 작업은 더 복잡하다. 즉 적극성을 무조건 적용하지도 배제하지도 않는 것이 최상의 방법으로서 네트워크 구성이 하나의 정적 처리율 상태에서 다른 상태로 전이하는 비정적인 상황에서도 SSC의 적응성은 도움이 된다. 그림 7은 TCP Rate 백그라운드 트래픽 5Mbps, 2.5Mbps, 7.5Mbps의 처리율 대비 적극성 임계값 함수 형태의 처리율 곡선을 나타낸 것으로서 TCP Reno가 TCP Rate로 바뀐 것만이 다를 뿐이다. 처리율 곡선의 굴곡 뿐 아니라 성능까지 증가하는데 이는 부분적으로 TCP Rate의 우수한 추적 능력 때문이다. 이 추적 능력은 SSC로 하여금 LTS 상관 구조를 보다 효과적으로 추출할 수 있게 하며, 그림 7은 SSC를 Slow-Start, 혼잡 회피, 그리고 Slow-Start와 혼잡 회피 두 단계 모두에 적용한 경우에 대한 한계 효과를 나타낸다.



(a) TCP Rate 백그라운드 트래픽 5Mbps의 처리율



(b) TCP Rate 백그라운드 트래픽 2.5Mbps의 처리율



(c) TCP Rate 백그라운드 트래픽 7.5Mbps의 처리율
 그림 7. TCP Rate. 3가지 레벨의 백그라운드 트래픽, 5Mbps(a), 2.5Mbps(b), 7.5Mbps(c)의 적극성 임계값 함수 형태의 처리율 곡선

Fig. 7 TCP Rate. shape of throughput curve as a function of aggressiveness threshold for three levels of background traffic 5Mbps(a), 2.5Mbps(b), and 7.5Mbps(c)

V. 결론

컴퓨터 네트워크에서 사용되는 메시지 교환에 관한 규칙을 정의 하는 프로토콜들의 모음을 의미하는 전송 제어 프로토콜을 트랜스포트 계층 프로토콜 상에서 다중시간 간격으로 혼잡제어를 연구하였다.

TCP에 대한 TCP-MTS의 종속성은 TCP의 접속 단위마다 출력 반응을 사용하여 LTS의 네트워크 경

합을 측정하는 SSC 때문으로서 오버헤드 관점에서는 네트워크에 검증 패킷을 전송하여 상태를 측정하거나 그렇지 않으면 네트워크 협력을 가정하는 별도의 상태 측정 모듈을 만드는 것보다 더 효율적이다.

다중 시간간격 TCP의 가장 중요한 속성은 피드백 루프와 관련된 왕복시간이 늘어나면 피드백이 전달하는 상태 정보가 노후 됨으로서 TCP가 취한 사후 혼잡 제어 조치의 효과가 떨어지는데 이와 같은 현상은 지연-대역폭의 곱은 지연 또는 대역폭과 비례하여 증가되었다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 제시된 TCP-MTS는 피드백 루프의 시간간격을 조정하여 명시적 예측을 실행함으로써 불확실성 문제를 해소했으며, 정확한 조치가 이루어지게 함으로써 사후 제어의 단점을 개선할 수 있었다. 또한 피드백 루프에 TCP Reno의 각각에 대해 제안한 선택적 기율기 제어를 결합한 경우 RTT를 증가시키면 비례하여 성능 이득도 점차적으로 증가되는 것을 시뮬레이션 결과로부터 얻을 수 있다.

SRD 트래픽의 버스트 현상이 두드러져 대기열 반응을 결정지을 수 있는 지점에서 자원이 초과 확장되지 않는 한 자기유사성 버스트 현상은 RTT가 450ms에 대해 $\alpha = 1.95$ 트래픽인 경우 성능 이득이 20%정도이고, $\alpha=1.05$ 백그라운드 트래픽에 대한 성능이득은 45% 정도 획득함으로써 $\alpha=1.95$ 인 성능 이득보다 2배 이상 성능 이득의 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. C. Gilbert, W. Willinger, and A. Feldmann, "Scaling analysis of conservative cascades. with application to network traffic", *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 45, No. 3, pp.971-991, 1999.
- [2] L. Brakmo and L. Peterson, "TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global internet", *IEEE J. Select Areas Commun*, Vol. 13, No. 8, pp.1465-1480, 1995.
- [3] M. Garret and W. Willinger, "Analysis modeling and generation of self-similar VBR video traffic In Proc", *ACM SIGCOMM '94*, pp.269-280, 1994.
- [4] A. Adas and A. Mukherjee, "On resource management and QoS guarantees for long dependent traffic", In Proc. IEEE INFOCOM '95, pp.779-787, 1995.
- [5] R.addie, M. Zukerman, and T. Neame. Fractal, "traffic: measurements, modelling and performance evaluation", In Proc. IEEE INFOCOM '95, pp.977-984, 1995.
- [6] M. F. Arlitt and C. L. Williamson, "Web server workload characterization: The search for invariants", In Processings of SIGMETRICS '96, pp.126-137, May 1996.
- [7] P. Barford and M. Crovella, "Generating representative workloads for network and server performance evaluation", In Proc. ACM SIGMETRICS '98, pp.151-160, 1998.
- [8] Jan Beran, "Statistics for Long-Memory Processes Monographs on Statistics and Applied Probability Chapman and Hall", New York, NY, 1994.
- [9] S. Chen and K. Park, "An architecture or noncooperative QoS provision in many-switch systems", In Proc. IEEE INFOCOM '99, pp.864-872, 1999.
- [10] D. R. Cox, "Long-rang dependence: a review. In H. A. David and H. T. David, editors, *Statistics: An Appraisal*, Iowa State Univ. Press.", pp.55-74, 1984.
- [11] M. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in world wide web traffic: Evidence and possible causes", In Proceedings of the ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, May 1996.
- [12] M. Crovella and L. Lipsky, "Long-lasting transient conditions in simulations with heavy-tailed workloads", In Proc. 1997 Winter Simulation Conference, 1997.
- [13] N. Duffield and W. Whitt, "Network design and control using on-off and multi-level source traffic models with heavy-tailed distributions", In K. Park and W. Willinge, editors, *To appear in Self-similar Network Traffic and Performance Evaluation*. wiley Interscience, 1999.
- [14] N. G. Duffield and N. O'Connel, "Large deviations and overflow probabilities for the

general single server queue, with applications", Technical Report DIAS -STP-93-30, DIAS Technical Report, 1993.

- [15] A. Erramilli, O. Narayan, and W. Willinger, "Experimental queueing analysis with long-range dependence packet traffic", IEEE /ACM trans. Networking, Vol. 4, pp.209-223, 1996.
- [16] A. Feldmann, A. C. Gibert, and W. Willinger, "Data networks as cascades: Investigating the multifractal nature of Internet WAN traffic", In Proc. ACM SIGCOMM '98, pp.42-55, 1998.



임세정(Se-jung Lim)

현재 : 전남대학교 컴퓨터공학과 재학 중

※ 관심분야 : ATM망, 실시간 데이터통신, 컴퓨터 네트워크, TCP/IP 혼잡제어, 생체정보 및 의료정보, 무선 인터넷, 이동 통신 등

저자 소개



김광준(Gwang-jun Kim)

1993년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

1995년 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2000년 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2000년~2001년 Dept.of Electrical & Computer Eng. Univ. of California Irvine Postdoc.

2003년~2006년 2월 여수대학교 컴퓨터공학과 조교수

2006년 3월~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 조교수

※ 관심분야 : ATM망, 무선 인터넷 통신, 컴퓨터 네트워크, 실시간 통신 프로그래밍, 생체정보 및 의료정보, 영상처리 및 통신, 프로그래밍 언어(Visual C++, Java), 이동 통신 등



강기웅(Ki-woong Kang)

2005년 여수대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

현재 : 전남대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

※ 관심분야 : ATM망, 실시간 데이터통신, 컴퓨터 네트워크, TCP/IP 혼잡제어, 생체정보 및 의료정보, 무선 인터넷, 이동 통신 등