

QoS aware 네트워크에서의 TCP트래픽의 성능 분석

장상길⁰ 꺾재승 변옥환
한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅인프라개발실
(love)⁰, jskwak, ohbyeon}@kisti.re.kr

Simulation Study of TCP Behaviors under QoS Aware Networks

Sangkil Jung⁰ Jaiseung Kwak Okhwan Byeon
Supercomputing Infra Development Lab.,
Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

본 논문에서는 TCP플로우에 QoS를 적용하였을 때 나타나는 특성을 측정 및 분석하였다. 이를 위해, TCP플로우의 성능에 관한 수학적 모델을 설명하고, QoS testbed를 통한 실험을 통해 성능을 측정하였다. 이때, Cisco 라우터에서 제공하는 DiffServ 모듈을 이용하여 QoS적용시 나타나는 성능향상을 관찰함으로써, QoS의 적용이 TCP에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

1. 서 론

현재 인터넷 사용자들은 FTP, WWW 등의 데이터 서비스를 통해 정보를 공유하고 있다. 이러한 서비스는 TCP프로토콜을 이용하게 된다. TCP는 인터넷을 흐르는 80%의 트래픽 전달에 이용되고 있으며, IP 프로토콜에 의해 전달된 패킷을 서비스를 받게되는 양단시스템에서 application layer에 신뢰성있는 패킷 전달을 담당하게 된다. 이러한 신뢰성 있는 서비스는 window 매커니즘을 사용한 congestion control에 의해 수행된다. 최근 인터넷 사용자들이 급증함에 따라, 각 사용자는 서비스 품질 (Quality of Service)의 다양화를 원하게 되었으며, QoS에 대한 수요는 점차 증가할 것으로 보인다. 본 논문에서는 먼저 TCP 프로토콜에 나타나는 성능에 관한 수학적 모델을 설명하고, 그러한 모델에 의해 발생하는 성능을 평가한후, TCP가 QoS를 적용받았을 때 어떠한 성능향상을 나타내는지에 보이고자 한다. 이를 위해 본 논문은 Cisco라우터를 이용하여 testbed를 구성하고, Cisco라우터에서 제공하는 DiffServ모듈을 이용하였다. 경계 라우터에서는 트래픽에 대한 conditioning기능을 이용하여 망 내부로 유입되는 트래픽의 양을 조절하였고, 망 내부 라우터에서는 CB-WFQ 를 적용하여 EF PHB를 구현하였다.

2. TCP 성능에 대한 수학적 모델

본 섹션에서는 [1][2]에 제시된 모델을 참고하여 TCP 성능 (throughput)에 관한 수학적 모델을 설명한다. 입의의 TCP connection의 throughput(BW)은 다음과 같이 계산되어진다. 어떤 한 TCP 플로우가 steady-state한 패킷 손실율과 steady-state한 평균 수신율을 갖고, TCP 의 congestion control window는 W 패킷보다 크거나 같으면 하나의 패킷이 입의의

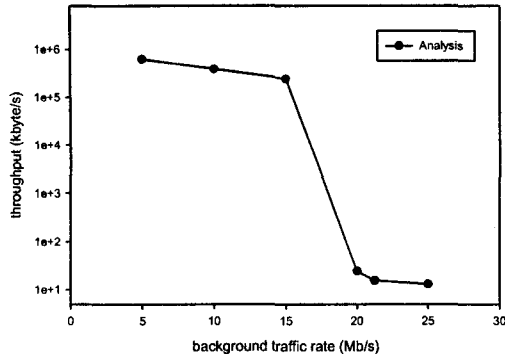
TCP connection으로부터 손실된다고 하자. steady-state모델에서 평균 패킷 손실율(p)은 non-zero이면서 non-bursty 함을 가정한다. 또한, TCP sender는 망의 혼잡으로 인해 패킷이 손실된 후에 congestion window 사이즈를 감소시킨 후에 window 사이즈가 W가 될때까지 각 RTT동안 최대 1개의 패킷을 증가시킴을 가정한다. 한 TCP connection이 보내는 패킷은 B byte로 구성되고, queuing delay를 포함한 RTT가 R 초라고 하자. 하나의 패킷이 손실되면 그 TCP connection은 W 의 window 사이즈를 갖게된다. 패킷손실시에 윈도우사이즈를 반으로 줄이고, 한 RTT동안 최대 1개의 패킷이 증가한다면, TCP sender는 하나의 패킷이 손실되고, 다음 패킷이 손실되는 시간(T)동안 최소 다음과 같은 양만큼 패킷(Pn)을 보내게 된다.

$$P_n = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + 1\right) + \dots + \left(\frac{W}{2} + \frac{W}{2}\right) \\ = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + 1\right) + \dots + W \approx \frac{3}{8}W^2$$

만약, delayed-ACK을 보내는 TCP connection의 receiver에 대해, 2개의 패킷을 받았을 때 1개의 ACK을 보낸다면, 즉, TCP sender의 window size가 천천히 증가한다고 한다면, Pn 은 다음과 같이 표현된다.

$$P_n = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + \frac{1}{2}\right) + \dots + \left(\frac{W}{2} + \frac{W}{2}\right) \\ = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + \frac{1}{2}\right) + \dots + W \approx \frac{3}{4}W^2 \quad (1)$$

이때, T 동안 손실되는 패킷손실율은 다음과 같은 등식이 성립한다.



[그림 1]. 수학적 모델에 의한 TCP의 throughput

$$p = \frac{1}{1+P_n} = \frac{1}{1+\frac{3}{8}W^2} \leq \frac{4}{3W^2} \quad (2)$$

등식 (2)로부터

$$W \leq \sqrt{\frac{4}{3p}} \quad (3)$$

이때, 인의 TCP receiver에서의 T 동안 받는 TCP throughput(BW)은 다음과 같다.

$$BW = \frac{P_n B}{T} \quad (4)$$

여기서, (1)는 처음 윈도우 사이즈가 $W/2$ 부터 시작하여 $W/2$ 만큼의 RTT동안 계산된 것을 의미하게 되며, 이로부터 T 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T = \frac{W}{2} R \quad (5)$$

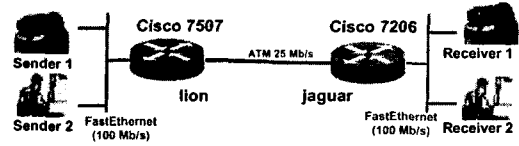
등식 (4) 에 (1)과 (5)를 대입하면,

$$BW = \frac{3WB}{4R} \quad (6)$$

다시 (6)에 (3)을 대입하면 최종적으로 TCP connection의 throughput(BW)의 upper bound를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$BW \leq \frac{1.5\sqrt{\frac{1}{3}} B}{R\sqrt{p}} \approx \frac{0.866 B}{R\sqrt{p}} \quad (7)$$

이식을 이용하여 [그림 1]과 같은 결과를 얻었다. 성능측정시, B 의 값으로는 1000byte를 할당하였으며 R 값과 p 값은 ping을 이용하여 testbed에서 측정하였다. 여기서, 데이터는 백그라운드 트래픽을 5Mb/s부터 시작하여 5Mb/s씩 증가시키면서 측정된 것이다. 5Mb/s, 10Mb/s, 15Mb/s 점에서 throughput이 이상하게 큰 것은 이 점에서는 망의 혼잡상태가 없기 때문에 패킷손실율이 0를 갖기 때문이다. 여기서는 수신율을 얻기 위하여 0대신 아주 작은 값이라고 생각되는 10^{-6} 값을 할당하였다.



[그림 2]. QoS testbed 구성도

3. QoS 적용시의 TCP 성능평가를 위한 QoS testbed 구성 및 실험 설계

TCP의 성능평가를 위해 본 논문은 [그림1]과 같이 testbed를 구성하였다. TCP트래픽을 송수신을 위한 2개의 시스템이 각 라우터에 접속해 있게 된다. 각 라우터는 Cisco라우터를 이용하였으며, DiffServ모듈을 이용하였다. 라우터에서의 DiffServ모듈 설정은 다음과 같다.

Classifying 과 DSCP 마킹		
access-list 100 permit ip host 203.230.7.204	class-map match-all EF	
any (lion router)	match access-group 100	
access-list 101 permit ip host any	policy-map SETDSCP	
203.230.7.204	class EF	
(jaguar router)	set ip dscp 46	
트래픽 dropping (CAR)		
rate-limit input access-group 100 10000000 10000 10000	conform-action	
transmit exceed-action drop		
PHB 설정		
class-map match-all PREMIUM	policy-map PHB	
match ip dscp 46	class PREMIUM	
	priority 5000	

송수신을 위한 단말의 실험 파라미터는 [테이블 1] 에 나타나 있다. Background 트래픽은 Mgen을 이용하여 UDP 트래픽을 지속적으로 발생시켰다.

4. 실험결과 분석

① TCP throughput

[그림 3]은 testbed 상에서 ftp를 이용하여 추출된 데이터를 바탕으로 만들어진 TCP트래픽의 throughput 그래프이다. QoS를 적용받는 TCP트래픽과 QoS를 적용받지 못하는 TCP트래픽의 수신율은 QoS에 대한 각각의 트래픽 특성을 보이고 있다. 각 트래픽은 망의 혼잡이 적은 즉, 백그라운드 트래픽이 15Mb/s까지는 비슷한 수신율을 보이고 있으나, 망의 혼잡이 증가하는 시점인 20Mb/s이후로는 현격한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. Analysis한 것과 실제 라우터에서 동작해서 얻은 데이터를 비교하기 위하여 [그림 1]에서 얻었던 그래프중 손실율이 0이기 때문에 이상치를 보였던 5Mb/s에서 15Mb/s까지의 데이터를 제거한 부분을 함께 도시하였다. 이를 보면 analysis한 것이 실제 값과 거의 일치함을 알 수 있다.

② TCP delay

TCP 프로토콜을 이용한 FTP의 전송시 발생하는 delay를 [그림 4]는 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 15Mb/s까지는 QoS를 적용받는 TCP트래픽과 QoS를 적용받지 못하는

[테이블 1] 송수신 단말의 실험 파라미터

	Background traffic	Weight (bandwidth) allocated to EF PHB	File size
TCP flows	5Mb/s ~ 25Mb/s UDP	10 Mb/s	554241 byte

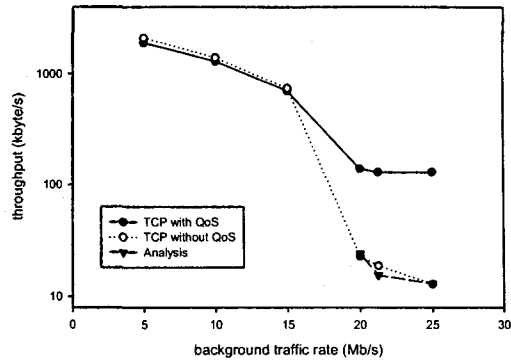
TCP트래픽이 0에 가까운 delay를 보이고 있으나, 20Mb/s부터는 현격한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 20Mb/s를 넘어서면서 패킷의 손실이 유발되었고, 이로 인한 retransmission 요구 및 retransmission으로 인하여 전송지연시간에 차이를 보이는 것이다. QoS를 적용받지 못하는 TCP트래픽의 경우는 이러한 retransmission이 지속적으로 증가하지만 QoS를 적용받는 TCP트래픽은 망 혼잡이 발생하더라도 패킷 손실양이 적기 때문에 retransmission의 양이 적음을 알 수 있다. QoS를 적용받는 TCP트래픽의 경우는 전송시간을 5초 이내에 보장받을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

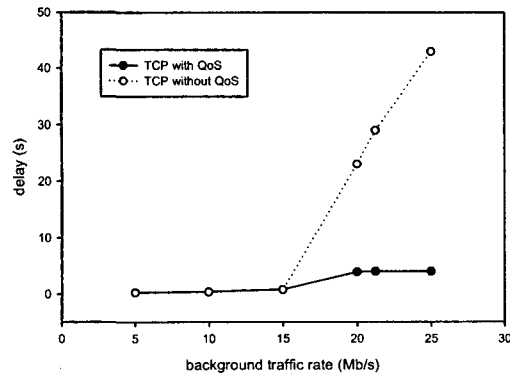
현재 인터넷상에서 신뢰성 있는 패킷전송을 위해 주로 쓰이고 있는 TCP 프로토콜은, window 매카니즘을 사용한 congestion control에 의해 사용자에게 서비스를 제공하게 된다. 최근 TCP 프로토콜을 이용한 서비스 이용자들은 고품질의 서비스를 요구하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 TCP에 QoS가 적용되었을 때 나타나는 TCP의 성능을 측정하고자, TCP 프로토콜에 나타나는 성능에 관한 수학적 모델을 설명하고, 그러한 모델에 의해 발생하는 성능을 평가한후, TCP가 QoS를 적용받았을 때 어떠한 성능향상을 나타내는지에 보이고자 하였다. 이를 위해 본 논문은 Cisco라우터를 이용하여 testbed를 구성하고, Cisco라우터에서 제공하는 CAR기능과 CBQ에 의한 DiffServ모듈을 이용해 QoS를 TCP 트래픽에 적용하였다. Mgen을 이용하여 UDP background트래픽이 발생시킨 상태에서 QoS를 적용하였을때와 적용하지 않았을 때 나타나는 TCP throughput을 측정하였다. TCP throughput의 경우 망의 혼잡이 증가하는 시점에서 QoS를 적용받았을 때 현격한 성능향상을 얻을 수 있음을 보였다. 또한 TCP delay에 있어서도 QoS를 적용받았을 때 패킷의 손실이 차단되고, 패킷 손실로 인한 retransmission 요구 및 retransmission이 줄어들어 전송지연시간이 현격히 줄어들음을 보였다.

참고문헌

[1]"Modeling TCP behavior in a differentiated services network", Yeom, I.; Reddy, A.L.N., IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume: 9 Issue: 1, Feb 2001, Page(s): 31-46



[그림 3]. 실험에 의한 TCP의 throughput



[그림 4]. 실험에 의한 TCP의 delay

[2] "Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet", Sally Floyd and Kevin Fall, IEEE/ACM transaction on Networking, May 3, 1999

[3] Yeom, I. and Narasimha Reddy, A.L., "Realizing throughput guarantees in a differentiated services network", ICMCS99.

[4] Seddigh N, Nandy B and Piedad P, "Bandwidth Assurance Issues for TCP flows in a Differentiated Services Network", Globecom 99, Rio De Janeiro, December 1999.