대역폭이 큰 네트워크에서 빠른 대역폭을 확보하기 위한 TCP 혼잡 제어

김승환*, 박민우*, 임헌정* 정태명**
*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과
**성균관대학교 정보통신공학부
e-mail : *{shkim, mwpark, hjlim99}@imtl.skku.ac.kr
**tmchung@eca.skku.ac.kr

TCP Congestion Control for Fast Bandwidth Acquisition for Networks with Large Bandwidth

Seung-Hwan Kim*, Min-Woo Park*, Hun-Jung Lim*, Tai-Myoung Chung**
*Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University
**School of Information Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

TCP 에서 사용되는 혼잡제어(Congestion control)는 많은 이점이 있지만 그에 상응하는 단점이 존재한다. 가장 널리 사용되고 있는 TCP-Reno 는 혼잡이 발생되면 혼잡 윈도우(Congestion Window)크기를 절반으로 줄이고 빠른 회복(fast recovery), 빠른 재전송(fast transmit)을 수행한다. 하지만 네트워크가 고속 네트워크로 접어들면서 효율적인 측면에서 이러한 기법들을 적용하기에는 문제가 따른다. 현재 사용되고 있는 TCP 는 혼잡이 발생하면 선형적으로 점진적으로 증가 하기 때문에 많은 대역폭을 지원하는 고속 네트워크에서는 이러한 TCP 의 혼잡 제어가 오히려 비 효율적이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 혼잡 윈도우 증가율을 추가한 혼잡제어 기법인 TCP-FBA(Fast Bandwidth Acquisition)를 제안한다.

1. 서론

국내에서는 2003 년부터 해마다 평균 약 80 만 명씩 인터넷 가입자가 늘어나고 있다. 인터넷의 트래픽 또한 인터넷 가입자 수가 늘어나면서 크게 증가하고 있는 실정이다. 인터넷 트래픽이 이 전에 비해 크게 증가하면서 기존의 네트워크로는 트래픽을 원활히 수용하기가 어려워졌다. 이 문제를 해결하기 위해 다양한 형태의 네트워크 구조 가 생겨났으며, 네트워크를 구성하는 장비들도 많이 교체되고 있다.

특히 HBDP(High Bandwidth-delay product)를 제공할 수 있는 형태의 네트워크 도입이 활발히 이루어 지고 있다. 기존의 TCP 혼잡 제어는 HBDP 네트워크에 맞춰져 있지 않아서 TCP 의 혼잡 윈도우가 충분한 크기로 증가하는데 많은 시간이 소요된다. 결과적으로 TCP 의 비효율적인 메커니즘으로 인해 고속 망의 성능을 충분히 발휘 할 수 없는 현상이 발생한다. HBDP 망에서 TCP 혼잡제어로 인한 성능 저하를 피하기 위해 다양한 메커니즘들이 제안되었다. 이러한 메커니즘으로 혼잡회피구간에서 지수 함수적으로 증가 하여 빠른 대역폭을 확보하는 DCC, 기존 AIMD(Additive Increase Multiplicative Decrease)의 두 매개변수를 변화시켜 대역폭 활용의 효율을 높인 Sally Floyd 의 HighSpeed TCP, 그리고 Tom Kelly 에 의해 제안된 Scalable TCP 가 있다.[1][2][3]

본 논문에서는 큰 대역폭을 지원하는 네트워크에서 성능 저하를 유발하지 않는 향상된 TCP 혼잡 제어 방법을 제안한다. TCP-FBA 는 혼잡 윈도우의 증가율을 변화시키면서 혼잡 윈도우의 크기를 조정한다. 이를 통해 신속하게 가용 대역폭에 맞춰 혼잡 윈도우를 확대할 수 있어 큰 대역폭을 가진 네트워크에서 기존의 TCP 에 비해 높은 성능을 낼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 기존 TCP 및 큰 대역폭을 지원하는 네트워크에서 빠른 대역폭을 확보하기 위한 메커니즘들에 대해 설명하고, 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 메커니즘인 TCP-FBA 에 대해 소개한다. 4 장에서는 NS-2 를 통한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 TCP-FBA 의 성능을 보일 것이며, 마지막으로 5 장은 결론 및 향후 연구 해 나갈 방향에 대해 기술할 것이다.

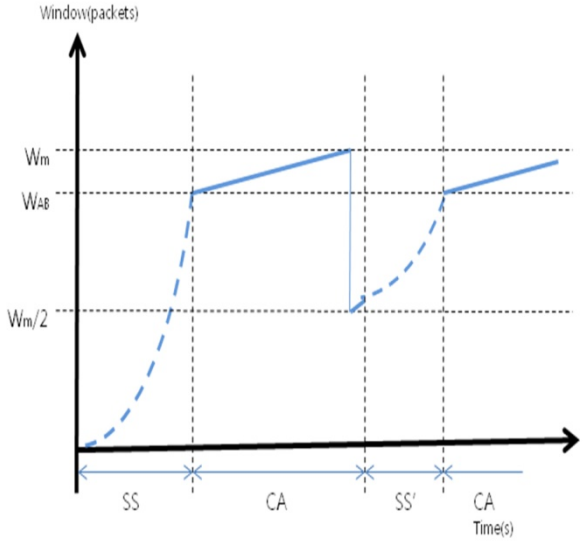
2. 관련연구

2.1 DCC

TCP 에서 사용되는 혼잡 제어 방법은 신속한 대역폭을 확보 할 수 없으므로 광 대역 네트워크에는 적합하지 않기 때문에 DCC 가 제안되었다. 큰 대역폭을 사용할 수 있는 광 대역 네트워크에서 TCP 의 혼잡

제어는 선형증가를 하기 때문에 할당된 대역폭을 모두 사용하기 위해서는 오랜 시간이 걸린다. 따라서 이러한 점을 개선하기 위해 신속한 대역폭 확보가 필요하다.

DCC 는 HBDP 네트워크 특성을 이용해 버퍼 크기 예측을 한다. 혼잡 회피 구간에서 기존 TCP 처럼 선형적으로 증가하는 것이 아니라 슬로우 스타트로 증가하여 빠르게 대역폭을 확보 한다. 지수 증가가 빠른 대역폭을 확보 할 수는 있지만 해당 구간에서 많은 패킷 손실이 발생 할 수가 있다. 따라서 DCC 는 RTT(Round Trip Time)을 사용하여 구간의 증가 방법을 다음과 같이 교체한다. 패킷이 수신되었을 때 미리 정해놓은 시간보다 RTT 가 크다면 지수 증가 구간을 선형증가 구간으로 전환한다. 이 후 모든 패킷의 RTT 를 확인하여 선형증가 구간을 유지 할 것인지, 지수 증가 구간으로 전환 할 것인지 판단한다. 따라서 DCC 는 혼잡이 발생되었을 때 혼잡 윈도우 크기를 지수 증가를 하면 많은 패킷이 손실되어서 더 비효율적이기 때문에 앞서 언급했던 기준이 만족할 때까지 선형 증가를 하다가 지수 증가로 바뀌어 혼잡 윈도우 크기를 증가한다.



[그림 1] 윈도우 크기 변화 예

[그림 1]을 보면 확인 할 수 있듯이 DCC 는 SS'이라는 구간을 두어 증가 방법을 조절한다.

하지만 DCC 는 예측에 의한 방법이므로 버퍼크기의 예측이 잘못된 경우 지수증가 구간에 의해 많은 패킷이 손실되는 문제점이 있다. 지수증가 구간이 빠르게 대역폭을 확보하는 방법이 장점이지만 그에 따른 패킷 손실률이 높다는 단점이 있으므로 이러한 문제점 역시 DCC 의 문제점이 된다.

3. TCP-FBA

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 TCP-FBA 의 기법에 대해서 소개한다.

3.1 동작과정

동작과정은 <표 1>과 같다. TCP-FBA 는 크게 세가지 상태로 혼잡 제어를 수행한다. 상태는 슬로우 스타트, 변형된 혼잡 회피, 그리고 빠른 복구 혼잡 회피 세 상태로 정의된다.

3.1.1 슬로우 스타트

슬로우 스타트는 본 논문에서는 두 경우에 사용된다. 세션이 시작되는 경우, 타이머가 만료되었을 경우에 혼잡 윈도우 크기를 증가하는 방법으로 사용이 된다. 기존의 TCP 와 동일하게 지수 증가를 통해 신속하게 혼잡 윈도우 크기를 증가 시키는 단계이다. 슬로우 스타트는 혼잡 윈도우의 크기가 임계값에 도달할 때까지 지속되며, 임계 값에 도달하면 변형된 혼잡 회피 상태로 전환된다.

<표 1> TCP-FBA 의 동작과정

초기화	1	n=0
	2	dupack=0
	3	duthresh=3
	4	rp= ∞
	5	cwnd=1
	6	slope=1
	7	isFirst=True
중복응답 수신	8	if (++dupack==1)
	9	start timer
	10	else if (dupack==duthresh)
	11	if(isFirst)
	12	rp=cwnd/2
	13	slope=log(exp(n-1))*2^N
	14	isFirst=False
	15	else
	16	slope/=2
	17	if (slope < 1)
	18	slope=1
	19	cwnd/=2
	20	dupack=0
	21	else
	22	send new packet
긍정응답 수신	23	if(!isFirst)
	24	cwnd*=2
	25	else
	26	cwnd+=slope
	27	dupack=0
	28	stop_init timer
	29	
타이머만기	30	if (timer expire)
	31	variable initialization
	32	n++

3.1.2 변형된 혼잡 회피 상태

변형된 혼잡 회피는 혼잡 윈도우의 크기가 임계 값을 넘어선 상태를 의미하며 이때 혼잡 윈도우는 상수 증가(additive increasement)를 한다.

혼잡 윈도우의 크기를 조절하기 위한 상수 값은 혼잡 윈도우 증가율이라고 부르며 그 값은 지속적으로

증감한다. 혼잡 윈도우 증가율의 초기 값은 세션의 초기 슬로우 스타트 시에 형성된다. 초기 슬로우 스타트 시에는 혼잡 윈도우 증가율의 값이 1 로 설정이 되고 SS 구간에서 지수 증가(exponential increasement)를 하다가 혼잡 윈도우의 크기가 임계 값이 되면 변형된 혼잡 회피 상태가 되어 혼잡 윈도우 증가율이 매 혼잡이 발생하여 혼잡회피구간에 접어 들 때마다 변경된다.

처음으로 발생한 혼잡을 처리하는 과정으로 혼잡이 발생 되는 순간 빠른 대역폭 복구를 위해 복구 지점(Recovery point)을 결정한다. 이 복구 지점은 혼잡에 대해 안전한 지점으로 혼잡이 발생한 순간 혼잡 윈도우 크기의 1/2 배한 값을 가진다. 따라서 이 상황에서는 혼잡 윈도우 크기를 상수증가 하기 위해 혼잡 윈도우 증가율을 구해야 하는데 혼잡 윈도우 증가율은 다음과 같은 수식 (1)을 통해 구해진다.

$$slope = \frac{d}{dn} 2^{n-1} \cdot \ln 2 \quad (1)$$

이 식에서 n 은 응답을 받은 횟수를 뜻한다. 응답이 왔을 경우에 혼잡 윈도우의 크기가 늘어날 수 있기 때문에 다른 패킷을 더 보낼 수 있게 된다.

식(1)을 통해서 산출된 혼잡 윈도우 증가율로 혼잡 윈도우 크기가 증가하다가 혼잡이 다시 발생되면 빠른 복구 혼잡 회피 상태로 접어 들게 된다.

3.1.3 빠른 복구 혼잡 회피 상태

처음이 아닌 다른 모든 경우에 혼잡을 처리하는 과정으로 혼잡이 발생하면 혼잡 윈도우 크기를 반으로 줄이는데 바뀐 혼잡 윈도우 크기부터 복구 지점까지는 혼잡에 안전하다. 따라서 복구 지점에 도달 할 때까지는 혼잡이 발생하기 전의 혼잡 윈도우 증가율을 그대로 사용한다. 혼잡 윈도우 크기가 복구 지점에 도달하면 수식 (2)를 이용해 혼잡 윈도우 증가율을 다시 계산하여 적용한다.

$$slope^{+} = \frac{slope}{2} \quad (2)$$

$slope^{+}$는 복구 지점에 도달하였을 때 적용되는 혼잡 윈도우 증가율이고, $slope$는 복구 지점에 도달하기 전의 혼잡 윈도우 증가율이다.

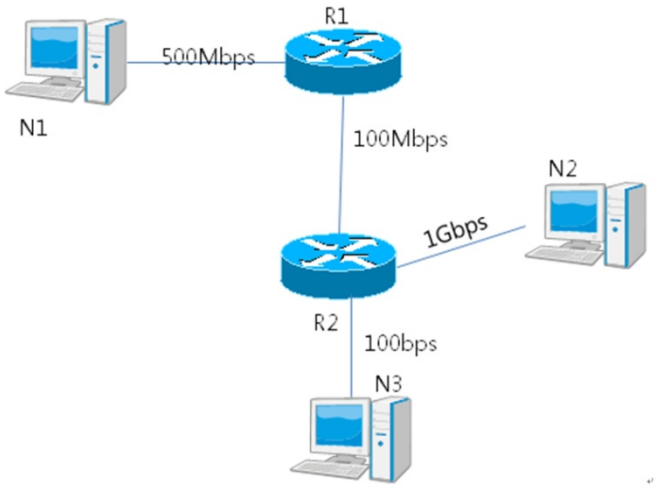
이후의 발생하는 혼잡은 모두 빠른 복구 혼잡 회피 상태에 접어들어 처리가 된다.

3.1.4 타이머 만료

타이머가 만료가 되었을 경우에 TCP-FBA 는 모든 것을 세션이 시작할 때와 같은 조건으로 바뀐다. 바뀌어진 조건으로 혼잡 윈도우 크기도 다시 증가를 하며 모든 값들이 다시 재 설정된다.

4. 성능분석

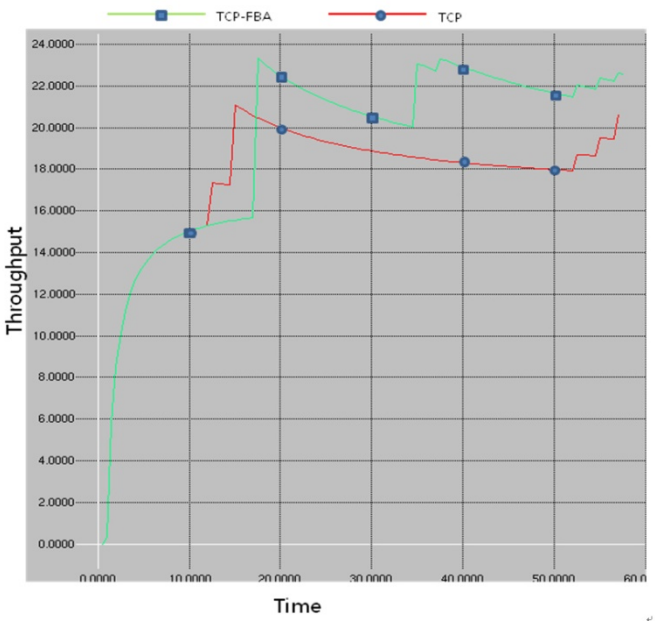
4.1 시뮬레이션 환경



[그림 2] 시뮬레이션 토폴로지

시뮬레이션은 NS-2 를 이용하였다. 이때의 토폴로지는 [그림 2] 와 같이 구성을 하였다. 이 네트워크에는 5 개의 노드로 구성되어져 있고, 각 패킷의 송신은 N1 이 송신하고, N2 와 N3 가 각각 수신을 한다. 이 때에 각 노드 사이의 대역폭은 500Mbps, 100Mbps, 10Mbps, 100Mbps 로 구성하였고, 각 세그먼트의 크기는 1500bytes 로 설정하였다. N2 로 전송하는 데이터는 0.1 초에 전송을 시작하여 55 초에 전송을 종료하고, N3 으로 전송하는 데이터는 1.5 초에 전송을 시작하여 56.5 초에 전송을 종료한다.

4.2 시뮬레이션 결과



[그림 3] TCP-FBA 과 TCP 의 처리량비교

시뮬레이션의 결과는 [그림 3]과 같다.이 그래프는 네트워크 전체에 걸쳐 처리된 것을 보여주는 것이며 그래프의 X 축은 시간, Y 축은 처리량을 나타낸다. 이 그래프를 확인해 보면 패킷의 처리량 측면에서 같은 시간대비 더 나은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이런 성능차이는 TCP 의 경우 혼잡이 발생할 때마다 증가하는 값이 적어 완만한 폭을 가지고 처리량이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. TCP-FBA 의 경우 제한적으로 슬로우 스타트를 하지 않으며 혼잡이 발생하였을 때 혼잡 윈도우 증가율을 조정함으로써 보다 높은 증가율로 빠른 대역폭을 확보했다.

시뮬레이션 결과를 통해서 TCP-FBA 가 보다 높은 성능을 띄는 것을 확인할 수 있다.

5. 결과 및 향후 연구계획

본 논문에서는 대역폭이 큰 네트워크에서 기존의 TCP 혼잡 제어 방식이 사용함으로써 발생하는 문제에 대한 해결 방안으로 TCP-FBA 을 제안하였다. 이는 기존의 TCP 의 혼잡 제어에서 혼잡 발생 이 후에 증가율이 너무 낮은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 혼잡 윈도우 증가율을 이용함으로써 보다 빠른 대역폭을 확보할 수 있었다. 하지만 TCP-FBA 는 너무 급격한 증가율로 인해 대역폭을 빠르게는 확보 할 수 있으나 혼잡이 기존의 TCP 에 비해 자주 발생하는 것을 NS-2 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 TCP-FBA 의 최적화를 위해 혼잡 윈도우 증가율에 관한 연구와 타이머를 추가함으로써 보다 효율성있고 안정된 혼잡처리를 위한 연구를 수행 할 것이다.

참고문헌

[1] Taejoon Park, Jaeyong Lee, Byungchul Kim, "Enhanced TCP Congestion Control Mechanism for Networks with Large Bandwidth Delay Product", Mar. 2006

[2] S. Floyd, "RFC 3742: Limited Slow-Start for TCP with Large Congesion Windows", Mar. 2004

[3] T. Kelly, "Scalable TCP: Improving Performance in HighSpeed Wide Area Networks," ACM SIGCOMM, vol. 33, issue 2, pp. 83-91, Apr. 2003

[4] K.-C. Leung, O. K. Li and D. Yang, "An Overview of Packet Reordering in Transmission Control Protocol(TCP): Problems, Solutions, and Challenges," IEEE TRANSATIONS ON PARALLELAND DISTRIBUTED SYSTEMS, vol. 18, no. 4, Apr. 2007

[5] M. Allman, V. Paxson, and W.Stevens, "RFC 2581: TCP Congestion Control," Apr. 1999.

[6] The network simulator ns-2. http://www.isi.edu/nsnam/ns