

인터넷 통신에서 TCP 트래픽 지연 제어에 관한 연구

송선희^{*} · 김용수^{*} · 이성빈^{***} · 김광준^{**} · 배철수^{***} · 나상동^{*}

^{*}조선대학교 컴퓨터공학부 · ^{**}여수대학교 컴퓨터공학부 · ^{***}관동대학교 정보

통신공학과 · ^{****}한국통신프리텔

A Study on the TCP Traffic Delay Control in the Internet Communication

Sun-Hee Song^{*} · Yong-Soo Kim^{*} · Sung-Bin Lee^{***} · Gwang-Jun Kim^{**} · Chul-Soo Bae^{***} · Sang-Dong Ra^{*}

^{*}Dept of Computer Engineering, Chosun University · ^{**}Dept of Computer Engineering, Yosu

National University · ^{***}Dept of Electronic Com. Kwandong University · ^{****}Korea Telecom Freetel co.

e-mail:sdna@mail.chosun.ac.kr

ABSTRACT

본 연구에서는 인터넷통신에서 트래픽의 혼잡 제어를 억압하여 성능을 향상시키는데 중점을 둔다. 무선통신에서 미디어 액세스 제어를 제공하지 않기 때문에, ATM이나 인터넷 네트워크에 혼잡이 발생하면 쓰루풋이 낮아지는 것이 경우가 있다. 이런 효과를 입증하기 위해서 인터넷 네트워크 혼잡 발생 시 트래픽에서 TCP 쓰루풋 반응을 발생하기 때문에 링크사용 및 버퍼점유에 정보를 사용하여 혼잡을 알릴 수 있고, ACK 지연을 다양한 네트워크 노드를 통하여 트래픽 제어를 구현하며 버퍼에서 패킷 손실을 RTO를 응용해 성능을 평가하고 시뮬레이션을 응용하여 안정적인 성능 향상을 입증한다.

키워드

전송율 제어, TCP over ATM, 혼잡 제어, 트래픽 제어

1. 서론

혼잡 제어 및 복구 수행에 사용되는 알고리즘들은 TCP(Transmission Control Protocol)의 주요 구성요소에 해당한다[1,2]. 이러한 알고리즘을 통해 동적 특성들이 다양하게 발생하며, 그 중 일부에 대해서는 광범위한 연구가 진행되어 왔다[3,4,5,6]. 본 논문의 주요 관심사는 TCP 트래픽 제어를 무선 및 위성 네트워크에서 모델링하여 트래픽 성능을 분석하는 데에 있다.

네트워크 경로에서 최종 노드 간에 2개 이상의 TCP 연결이 설정되어 상호 반대 방향으로 데이터를 전송하는 트래픽 제어 패턴을 의미한다. 전송된 TCP 세그먼트는 반대 방향 연결의 ACK(acknowledgment)와 동일한 물리적 경로를 사용하고, 또 패킷과 ACK는 네트워크 스위치/라우터 뿐 아니라 최종 시스템에서도 버퍼를 함께 사용할 수 있다. 이러한 공유는 한 연결의 여러 ACK가 한꺼번에 소스로 물러들기 때문에 ACK 압축(ACK compression)이라는 효과를 발생시킨다[6,7]. ACK 압축이 발생하면 수신 처리량(throughput)에서 혼잡 노드에 에러가 나타나며, 혼잡 노드에 에러가 발생하지 않았을 때보

다 전반적인 처리량을 감소시킨다.

무선 및 위성 네트워크의 양방향 트래픽에서 일정 시간 내에 처리하는 양이 저하되는 데에는 무선 패킷 다음에 병목 링크에서 다수의 ACK가 한꺼번에 물리는 현상도 한 원인이 될 수 있다. ACK는 무선 패킷에 비해 라우터에서 처리되는 데 걸리는 시간이 적은 편이므로, 무선 네트워크를 이동할 때 무리 지어 다니는 경향이 있다. 본 연구에서는 무선 및 ATM 네트워크의 ABR 서비스처럼 전송율 제어 채널 상에서 운영되는 TCP에 초점을 두고 있다[8]. 무선 네트워크 노드에서 나타나는 트래픽 제어의 버스트 현상은 전송율이 제어되지 않는 경우보다 제어 네트워크에서 더 줄어들 것으로 예상된다. 따라서 전송율 트래픽 제어 환경에서는 위성(무선) 네트워크 노드로부터 시작되는 TCP 트래픽 제어의 효과가 별로 논의되지 않는 경향이 있다. 그러나 연결간의 바람직하지 못한 상호 작용은 최종 시스템에서 여전히 발생할 수 있으며, 노드에서는 ACK 압축과 유사한 효과를 유발한다는 사실을 본 연구를 통해 확인할 수 있다.

ABR(이용할 수 있는 비트율) 서비스 클래스

는 지연을 허용하는 best-effort 응용을 지원하고, 무선 네트워크 가용 용량을 심분 활용할 수 있도록 소스에서 전송율을 조정하게 하는 전송율 기반 피드백 메커니즘을 적용하도록 한다. ATM 포럼에서 개발한 전송율 트래픽 제어 프레임워크에서 스위치가 정체 상태를 소스에게 알리는 다양한 옵션을 제공한다. 이 옵션에서는 무선 네트워크 스위치가 해당 스위치를 통과하는 각 연결의 최대 전송율을 계산하고, 소스가 정기적으로 전송하는 RM(resource-management) 셀의 지정된 필드에 그 정보를 수록하여 소스에게 전달한다. 각 연결의 최대 전송율은 각 스위치 내부의 배정율 알고리즘을 통해 계산된다. 상태를 유지하는 배정율을 알고리즘을 사용함으로써, TCP 연결의 왕복 지연 시차로 인해 무선 네트워크에서 발생하는 불공정성 문제를 ATM 네트워크에서는 예방할 수 있음이 발표[12] 된바 있다.

II. 트래픽 환경에서의 TCP의 동적 특성

이 장에서는 성능 분석 및 시뮬레이션의 전제가 되는 최종 시스템 및 무선 네트워크 모델링을 소개하고, 트래픽 제어 TCP 환경에서 ACK를 어떻게 발생하는가를 설명하며, 이러한 반응이 TCP의 일정 시간 내에 처리하는 양에 미치는 영향을 자세하게 정량화하여 성능을 분석한다.

2.1 최종 시스템 및 네트워크 모델

두 개의 노드 i 와 j 가 ATM 네트워크가 제공하는 ABR 서비스처럼 순서대로 전달하는 전송율 및 무선 제어 네트워크를 통해 통신하는 것을 그림 1에서 한 쌍의 단 방향 TCP 연결, 즉 i 에서 j 로 데이터를 전송하는 연결과 j 에서 i 로 전송하는 연결로 구성된다.

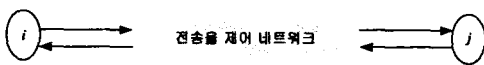


그림 1. 네트워크의 양방향 트래픽 모델

최종 시스템에 미치는 효과를 분석하는 것이 우리의 주요 관심사이므로, 노드 간의 전송율은 관찰 대상 기간 내내 안정적인 상태를 유지하며 네트워크는 각 방향마다 노드 간의 TCP 연결을 위해 고정 대역폭을 유지하고 순서에 따라 전송한다고 가정한다. 또한 섹션 3의 분석에서는 최종 노드 간의 경로에서 지연이 일정하다고 가정한다. 이는 ATM ABR 환경에서 스위치가 explicit rate-allocation을 적용할 경우 스위치의 대기열 크기가 작게 유지될 수 있으므로, 현실적인 가정이라 할 수 있다 [12]. 섹션 3의 시뮬

레이션 결과에서는 네트워크 스위치에서의 대기 지연을 검토한다.

관찰 기간 동안 네트워크의 전송율 및 연결 지연이 일정하게 유지된다면, 보다 큰 규모의 네트워크에서 노드 간 TCP 연결 페어도 이 모델을 통해 추론할 수 있다.

응용이 과중하다면, 2가지 애플리케이션이 별개의 TCP 연결을 통해 통신하지 않고 각 노드마다 양방향 TCP 연결을 통해 데이터 송수신이 모두 가능한 하나의 응용이 존재하는 경우에도 이 분석은 동일하게 잘 적용된다.

본 논문의 분석 및 시뮬레이션에서는 무손실 네트워크를 전제로 한다. TCP 연결이 정체 회피 단계에서 대부분의 시간을 소비한다고 가정하면, 패킷 손실은 연결의 동적 특성 및 그로 인한 ACK 압축을 근본적으로 변화시키지 않는다. 또한 TCP Reno에서, 느린 구동 단계를 자주 트리거할 정도로 패킷 손실이 심각한 것은 아닌 경우에 해당된다. 그러므로 처리량에 민감한 환경, 즉 충분한 기간 동안 데이터의 흐름이 안정적으로 유지될 만큼 버퍼링이 충분하므로 ACK 압축으로 인한 성능 저하가 관건인 환경에 이와 같은 분석을 적용할 수 있다.

단순화를 위해, 본 분석에서는 최종 시스템에서의 TCP 처리 시간은 짧기 때문에 무시해도 좋다고 가정한다. TCP 처리 시간이 제로가 아닐 경우의 결과에 대해서는 지연 관계상 자세히 다루지 않겠지만, [13]에서 확인할 수 있다. [13]의 분석 및 시뮬레이션 결과에 따르면, TCP 처리 시간이 0이 아니더라도 본 논문에서 분석하고 제시한 양방향 트래픽의 동적 특성은 달라지지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림 2에서 순방향 연결의 세그먼트 및 역방향 연결의 ACK는 발신 링크의 전송율 수준에서 서비스되는 IP 계층의 공통 FIFO 대기열을 공유한다. 바로 이 공통 대기열이 ACK 압축이 발생하는 데 핵심적인 역할을 한다. 즉 역방향 연결의 ACK들이 순방향 연결의 데이터 세그먼트 뒤에서 대기하면서 한꺼번에 몰리게 되고, 이는 본 논문이 다루고 있는 TCP 동적 특성을 유발하게 된다. 그러나 IP 서비스 속도가 링크의 전송율과 동일하다는 전제는, 역방향 연결의 ACK와 순방향 연결의 데이터 세그먼트가 공통의 ATM VC를 공유한다면 그렇게 중요하지 않다. IP 대기열의 서비스 속도가 높아지면 IP 계층의 대기열이 줄어들겠지만, 데이터가 대기하는 ATM 즉 적용 계층에서는 동일한 몰림 현상이 나타날 것이다.

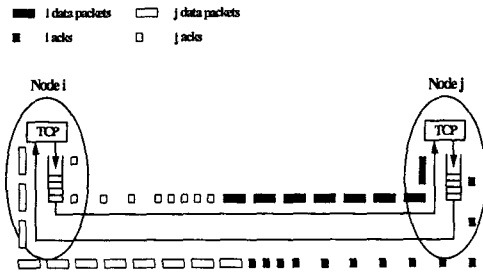


그림 2. 양방향 트래픽 구성의 트래픽 패턴

2-2 새로운 TCP 트래픽 제어

TCP는 TCP 발신자만이 ACK 정보를 통해 네트워크 혼잡 여부를 알 수 있다는 것을 기본 전제로 하며, TCP는 오직 ACK 정보만을 근거로 엔드 투 엔드(end-to-end) 흐름 제어를 사용하는 것이다. 그러나 라우터나 ATM 스위치와 같이 새로 등장한 네트워크 요소들은 혼잡 초기에 이를 감지할 수 있는 보다 발전된 메커니즘을 갖게 된다.

고속 TCP 제안은 TCP 트래픽 제어 시 ACK를 지연시키는 방법이다. TCP 발신자나 수신자의 구현을 전혀 변경하지 않으며, 단지 정해진 중간 노드에서 ACK를 지연시킴으로써 중간 노드(예: 라우터)로 하여금 TCP 푸프 상에서 몇 가지 명시적 제어를 실행하게 한다. 고속 TCP는 ICMP(internet control message protocol) 소스 억제 메시지[1] 및 ECN(explicit congestion notification)[2]와 같은 다른 기법으로 TCP 발신자 구현을 수정하지 않고 ACK 지연 방식을 사용함으로써, TCP 트래픽의 형태에 간접적으로 영향을 미친다.

따라서 고속 TCP는 그 수가 더 많은 최종 사용자의 TCP 구현을 전혀 변경할 필요 없이 예지 라우터의 소프트웨어만 업그레이드하는 방식으로, 보다 쉽게 네트워크가 형성 될 수 있다.

2-3 TCP 트래픽 제어 구현

RTO에 제공된 라우터 모델은 중앙 처리 모드에서 모든 입력 IP 패킷에 대해 대기열을 가지게 되며, 라우터를 개조하여 고속 TCP를 구현하기 위해 먼저 데이터 패킷용과 ACK 패킷용으로 서로 다른 대기열 양들을 연구했다. 두 번째로는 타이머를 사용하여 대기 중인 ACK의 배포시간을 제어하게 했고, 마지막으로 타이머의 수명은 IP 데이터 패킷 버퍼의 점유 상태에 따라 동적으로 조정하였다.

III. 시뮬레이션 및 성능 분석

RTOr 모델에서 통신 네트워크를 기반으로 시뮬레이션 했으며, 이 모델은 새로운 트래픽 탑재량 같은 것이나 알고리즘을 개발하는 수단을 제공하며, 이를 네트워크 환경에 적용한다. RTOr C에서 통신 네트워크 프로토콜 기반 합수를 300개가 넘게 사용하여 프로토콜 및 알고리즘을 입력하고 디버깅하여 에디터를 활용한다.

고속 TCP는 패킷 손실을 효과적으로 예방할 수 있으므로, 대개의 경우 고속 TCP가 없을 때 보다 처리량이 대폭 증가한다.

3-1. 무선 링크를 사용한 IP 네트워크



그림 3.1 시뮬레이션 모델

그림 3.1과 같이 2대의 워크스테이션 간에 2대의 라우터와 1개의 위성 링크를 통해 하나의 TCP 연결을 설정한 네트워크 구성이다. TCP 소스가 데이터 패킷을 전송하고 TCP 수신지가 ACK로 응답하는 단 방향 데이터 전송만을 살펴보면 모든 링크는 대역폭이 동일하고 양방향으로 전달 지연이 발생하는 대칭적 링크가 발생됨을 가정한다. 위성 링크는 30 Mbps로 구성하고, 전달 지연은 MEO(Medium Earth Orbit) 환경처럼 130ms로 설정한다. 워크스테이션과 인근 라우터 간의 지상 링크는 위성 링크의 5배 속도인 150 Mbps 와 전달 지연을 1 ms로 설정하여 위성 링크의 BER(bit error rate)은 1E-6이다.

그림 3.2는 TCP 소스에서 수신된 TCP 세그먼트의 ACK 개수를 나타낸 것으로 시간 $t = 25 \text{ sec}$ 일 때, 고속 TCP를 사용하는 시스템은 최대 10.8×10^6 바이트까지 TCP 세그먼트를 전송할 수 있다. 고속 TCP가 없으면 상기 지수는 3.5×10^6 바이트에 불과하므로 고속 TCP를 사용할 경우 크게 향상된 것을 나타내었다.

*고속-TCP를 사용한 경우 포워드 버퍼 점유 (비트) ($x1e+06$)

*고속-TCP를 사용하지 않은 경우 포워드 버퍼 점유 (비트) ($x1e+06$)

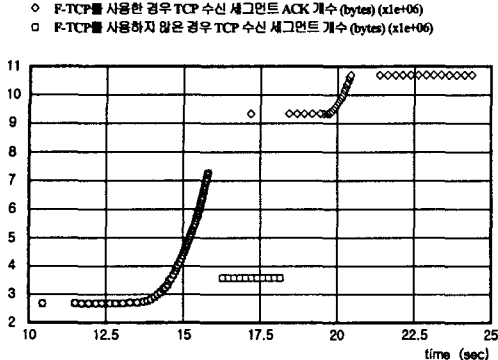


그림 3.2 소스에서 TCP 수신 세그먼트 ACK 개수

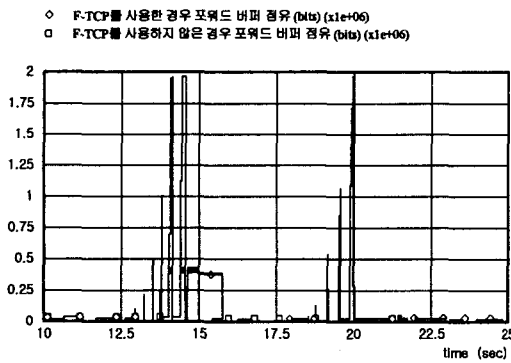


그림 3.3 Router 1의 포워드 버퍼 점유

그림 3.3에서 TCP 소스가 손상된 세그먼트를 성공적으로 재전송하더라도, TCP 수신기는 전체 버스트를 총괄하는 단일 ACK를 생성할 것이다. TCP 소스가 이 ACK를 수신하면, 전송 윈도우를 한 단계 크게 확장시키고 고속 대형 버스트를 생성함으로써, 라우터 1의 포워드 버퍼는 오버플로우가 된다. 위 그림과 같이 18 ~ 20 초는 오버 사이즈 된 단일 ACK를 지연시키는 것은 별 도움이 되지 않으므로, 고속 TCP는 큰 역할을 할 수 없다는 것도 알 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 라우터와 같은 네트워크 요소에서 혼잡이 발생하려고 할 때 ACK를 지연시키는 새로운 TCP 트래픽 제어 방식을 연구하였으며, RTO_r 모델을 사용하여 그 성능을 평가했다.

그 결과, 제안된 알고리즘은 TCP 연결의 처리량을 향상시키고 TCP 트래픽을 평활 화시킬 수 있음을 입증하였다. 시뮬레이션 에서 RTO_r을 사용함으로써, 다양한 네트워크 환경에서 작

업 내역 및 알고리즘의 성능을 파악할 수 있었다.

참고문헌

- [1] W.R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, Addison-Wesley, Reading, MA, Nov 1994.
- [2] S. Floyd, TCP and Explicit Congestion Notification, ACM Computer Communication Review, Vol. 24, 1994 Oct.
- [3] P. Narvaez, K.Y. Siu, An Acknowledgement Bucket Scheme for Regulating TCP Flow over ATM, Globecom'97, Nov. 1997.
- [4] Zhang, L, and Clark, D, Oscillating Behavior of Network Traffic : A case Study Simulation, Internetworking Research and Experience, Vol.1, 1999, pp.101-112.
- [5] Riedi, R, and Willinger, W.2000, Toward an Improved Understanding of network traffic dynamics. in Self Similar Network Traffic and Performance Evaluation, W. Willinger. Eds., Wiley-Interscience. New York, 507-530.