

수직적 핸드오프시의 TCP 성능 분석

김윤모⁰, 강문수, 모정훈
한국정보통신대학교 무선 인터넷 및 네트워크 연구실
{yummeo⁰, kkamo, jhmo}@icu.ac.kr

Performance Analysis of TCP in Vertical Handoff

Yunmo Kim⁰, Moonsoo Kang, Jeonghoon Mo
School of Engineering, Information and Communications University(ICU)

요 약

본 연구에서는 차세대 인터넷 환경의 주요 특징 중 하나인 이기종 네트워크가 혼재되어 있는 상황에서 핸드오프가 일어나는 경우 여러 TCP 버전들(Newreno, Sack, Westwood, Vegas)이 겪게 되는 성능 변화를 분석하였다. 큰 대역폭의 네트워크와 작은 대역폭의 네트워크를 구성하여 실험해 본 결과 하루 계층의 핸드오프 지연이 없는 이상적인 상황에서도 대부분의 TCP들이 성능 저하를 겪었다. TCP 버전들 중 Vegas가 대역폭이 커지는 경우와 작아지는 경우 모두에서 가장 좋은 성능을 보였다.

1. 서 론

무선인터넷에 대한 수요가 증가하고 있다. 현재 국내에서는 CDMA, WLAN으로 대표되는 무선 통신 기술들이 PSDN과 사용자 사이의 연결을 위해 사용되고 있으나, 가까운 미래에는 IEEE802.16, IEEE802.20, 블루투스 등 보다 다양한 기술들이 무선 액세스망을 구성하여 사용자의 선택의 폭을 넓혀 줄 것이다. 이에 따라 차세대 인터넷 환경에서는 사용자가 다양한 지점에서 인터넷에 접속하게 될 것이고, 사용자의 이동성, 신호의 수신 범위 및 수신 상태 혹은 네트워크의 부하 정도에 따라 더 좋은 서비스를 제공하는 네트워크로의 자유로운 이동이 이루어질 것으로 보인다. 이런 서로 다른 무선 기술을 사용하는 네트워크 사이의 이동을 수직적 핸드오프라고 부른다.

차세대 인터넷 환경에서 발생할 수 있는 문제점 중의 하나는 수직적 핸드오프로 인해 채널 환경이 급격히 변화하게 되는 경우 전송 계층 프로토콜에 발생할 수 있는 영향이다. 현재 인터넷에서 널리 사용되는 전송 계층 프로토콜에는 UDP와 TCP가 있는데, UDP는 채널 환경에 관계 없이 데이터를 전송하지만, 현재 인터넷 트래픽의 대부분을 차지하는 TCP는 대역폭, 지연시간 등의 채널 환경 변수에 의존적으로 동작하기 때문에 급격한 채널 환경의 변화는 TCP의 성능에 큰 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 테스트베드를 이용하여 수직적 핸드오프 과정 중 발생하는 TCP의 성능 변화를 분석한다. 리눅스 커널 2.6에 구현되어 있는 다양한 TCP들을 분석한다.

2. 관련 연구

TCP는 무시할 만한 전송 매체 에러를 특징으로 하는 무선 네트워크 환경에서 탄생하였다. 따라서 패킷이 손실되는 경우 혼잡(congestion)에 의한 것으로 판단하여 전송 속도를 패킷이 손실되는 속도에 맞춰 낮추게 된다. 하지만 무선 환경에서는 패킷 손실이 매체의 에러에 의해서 발생할 수 있기 때문에, 이에 의한 경우 전통적인 TCP는 혼잡과 매체 손실을 구분하지 못하고 불필요하게 전송 속도를 낮춘다. 이를 해결하기 위해 I-TCP, M-TCP, Snoop-TCP 등의 방법들이 고안되었다[1][2][3]. 하지만, 이 방법들은 단말이 고정되어 있는 경우를 가정한 것들이고, 단말의 이동성을 고려하는 경우 또 다른 문제가 발생한다. 단말이 이동함에 따라 새 네트워크로의 핸드오프가 일어나고 이 때 지연시간이 발생하게 된다. 이 시간 동안 통신이 이뤄지지 않기 때문에 TCP에서는 타임아웃이 발생하고, 혼잡 윈도우(congestion window)는 1로 줄어들게 된다. 핸드오프가 완료된 이후에 혼잡 윈도우가 낮은 값에서 시작하기 때문에 전송 속도를 가용 대역폭까지 끌어 올리기 위해서는 시간이 걸린다. 타임아웃을 없애고, 핸드오프 이후 전송속도를 이전과 같은 속도로 유지시키기 위한 해결책으로 Freeze-TCP가 고안되었고 [4], 이 방법을 수직적 핸드오프에 적용하는 방법 [5]도 제시되었다.

본 연구의 초점은 핸드오프 시 지연시간에 의한 영향이 아닌, 채널 속성의 차이에 의한 성능 변화 분석에 있다.

3. 테스트베드를 이용한 실험 및 토론

3.1 시스템 구성

다른 특성을 가진 네트워크로의 핸드오프 시 TCP가 받게 되는 영향을 실험하기 위해 그림 1의 시스템을 구성하

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

였다. 핸드오프를 지원하기 위한 프로토콜 스택으로 헬싱키 대학에서 개발된 Mobile IP 소프트웨어를 설치하였다 [6]. IEEE802.11b와 IEEE802.11g 무선랜 표준으로 두 무선 네트워크를 구성하였는데, 대역폭의 급격한 변화 상황을 실험하기 위해 IEEE802.11b는 2Mbps, IEEE 802.11g는 54Mbps의 전송속도를 설정하였다.

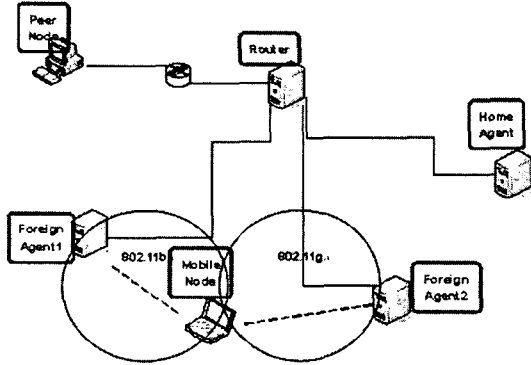


그림 1. 테스트베드 구성

실험한 TCP 버전들은 Newreno, Sack, Westwood, Vegas이다.

3.2 결과 및 토의

그림 2는 newreno를 사용하여 802.11b에서 802.11g로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 번호의 변화를 보여주는 그래프이다. Newreno는 Reno를 실험적인 검증에 따라 향상시킨 프로토콜으로, 한 윈도우내에서 발생하는 복수개의 세그먼트 손실에 견고하다. 그림 2에서 X로 표기된 선은 패킷이 송신된 시간과 시퀀스 번호를 보여준다. R은 재전송을 의미하고 두 개의 선 중 노란색(위)은 송신자가 알려주는 수신 윈도우의 크기를, 녹색(아래)은 수신자가 패킷을 수신되는 시간과 시퀀스 번호를 보여준다. 빗금은 수신단에서 패킷 순서바꿈이 발생하였음을 의미한다.

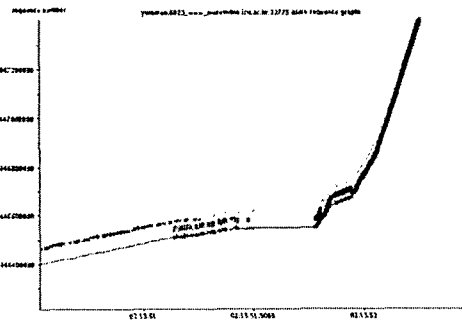


그림 2. 802.11g 네트워크로 이동 시 Newreno의 타임 시퀀스 그래프

대역폭이 작은 네트워크에서 큰 네트워크로 이동 시, 새 네트워크로 전송된 패킷의 속도가 이전네트워크에 머물러 있는 패킷의 속도보다 더 빨라 패킷의 순서가 연속적으로 바뀌게 되어 반복적인 재전송(R로 표시)이 발생하

였다. 이로 인해 혼잡윈도우가 1로 줄어들고 일시적으로 전송이 불가능한 상태가 발생하였다.

그림 3은 Sack을 사용하여 802.11b에서 802.11g로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 그래프이다.

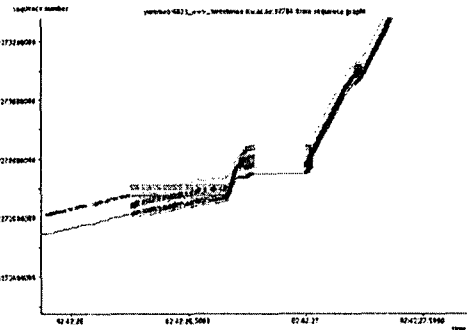


그림 3. 802.11g 네트워크로 이동 시 Sack의 타임 시퀀스 그래프

Sack은 전통적인 TCP에 선택적 응답을 구현한 프로토콜이다. 패킷의 순서바꿈에 견고한 특성을 가지지만, 그림 3과 같이 패킷의 순서바꿈이 빈번해지는 경우, 선택적 응답(S로 표시)에 의한 재전송이 연속해서 발생하여 전송속도가 줄어들고, 일시적으로 전송이 지연되는 상황이 발생하였다.

그림 4는 Westwood를 사용하여 802.11b에서 802.11g로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 그래프이다.

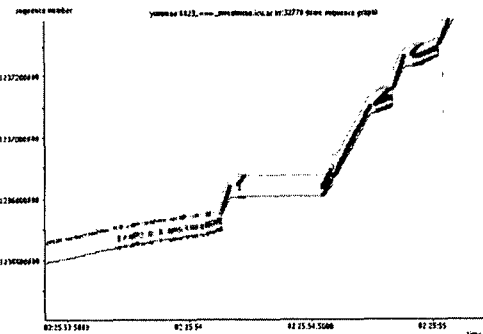


그림 4. 802.11g 네트워크로 이동 시 Westwood의 타임 시퀀스 그래프

Westwood는 긴 지연시간을 특징으로 하는 유/무선 환경 모두에 적용될 수 있는 방법으로 응답패킷의 수신 속도에 따라 대역폭을 측정하고 이에 따라 혼잡윈도우와 ssthresh를 변화시킨다. 무선환경에서 비교적 좋은 성능을 보인다고 알려져 있지만, 그림 4에서 보이는 바와 같이 대역폭이 큰 네트워크로 핸드오프시 빈번한 재전송과 일시적인 전송 지연을 피할 수 없었다.

그림 5는 Vegas를 사용하여 802.11b에서 802.11g로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 그래프이다. 전통적인 TCP는 우선 될 수 있는 한 계속 패킷을 보내보고 손실이 일어났을 때 비로서 전송 속도를 낮추는 반응적인 프로토콜이지만, Vegas는 실제 손실이 일어나기 이전에 혼잡 상황을 예측하는 프로토콜이다. 이 예측은 지연시간을 기반으로 하여 이뤄지는데 혼잡윈도우와 RTT의 비에 따라

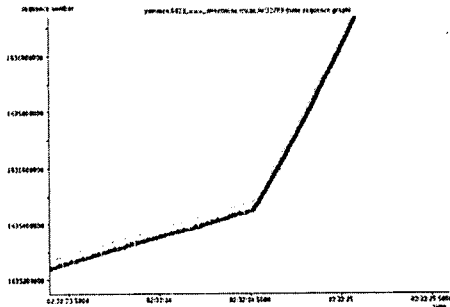


그림 5. 802.11g 네트워크로 이동 시 Vegas의 타임 시퀀스 그래프

전송 속도를 낮추거나 올리거나 혹은 유지한다. 그림 5에서 보면 Vegas가 다른 TCP 버전들과는 달리 패킷 순서 바뀔 등의 성능 저하 요인이 발생하지 않았음을 알 수 있다. Vegas가 좋은 성능을 보이는 이유에는 다음의 두 가지 가능성이 있다.

첫째는, Vegas가 지연시간에 기반한다는 점이다. 두 네트워크 사이의 지연시간의 차이가 크지 않은 경우 Vegas가 핸드오프 시 받게 되는 영향은 그리 크지 않을 것이다. Ping을 통해 두 종단 노드 사이의 지연시간을 측정해본 결과 802.11g를 이용한 경우 2.5ms, 802.11b를 이용한 경우 3.5ms에서 4ms정도가 소요되었다. 여기에는 큐잉에 의한 지연시간이 포함되지 않았기 때문에 TCP를 사용하는 경우 이와 차이가 있겠지만, 지연시간의 급격한 변화는 없으리라 예상된다. 둘째는, Vegas를 사용할 경우, 혼잡원도우가 다른 TCP버전들 보다 작은 값에서 작은 변동폭을 가지기 때문에, BS역할을 하는 FA의 버퍼에 적은 수의 패킷이 유지된다는 점이다. 이로 인해 핸드오프 시 패킷의 순서 바뀔 가능성이 줄어들게 된다.

그림 6은 Newreno를 사용하여 802.11g에서 802.11b로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 그래프이다.

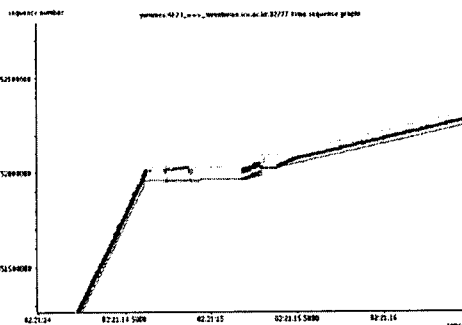


그림 6. 802.11b 네트워크로 이동 시 Newreno의 타임 시퀀스 그래프

큰 대역폭의 네트워크에서 작은 대역폭의 네트워크로 이동 시 길어진 RTT에 의한 의심스러운 타임아웃이 발생할 수 있다. 하지만 실험 결과 의심스러운 타임아웃과 패킷 순서 바뀔 등이 같이 발생한 것처럼 보인다. 패킷 순서 바뀔은 큐잉 지연시간에 의한 것으로 생각된다. 현재 두 네트워크의 FA 모두 테스트하고 있는 트래픽 이외에 다른

트래픽은 없으므로, 새 네트워크의 FA는 버퍼가 비어있는 상태이고, 따라서 적은 큐잉 지연시간을 가진다. 두 네트워크의 트래픽 로드가 비슷한 경우 핸드오프 시 이런 현상이 발생할 수 있을 것이다. Sack, Westwood는 이와 비슷한 결과를 보이므로 그래프를 생략한다.

그림 7은 Vegas를 사용하여 802.11b에서 802.11g로 핸드오프하는 경우의 패킷 시퀀스 그래프이다. 다른 TCP 버전들 보다 적은 수의 패킷 순서바뀔이 일어났다.

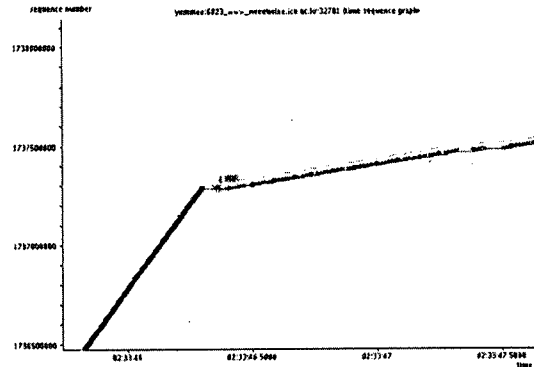


그림 7. 802.11b 네트워크로 이동 시 Vegas의 타임 시퀀스 그래프

4. 결론

본 연구에서는 이기종 무선 네트워크를 실험할 수 있는 테스트베드를 구축하여 기존의 여러 TCP 버전들의 성능 변화를 측정해 보았다. 하부 계층의 핸드오프 지연이 없는 상황을 가정하고 테스트해 본 경우, 이 이상적인 상황에서 대부분의 TCP들에게 문제점이 발생하는 것을 확인하였다. 대역폭이 큰 네트워크로의 이동 시 패킷의 순서바뀔이 일어나 전송속도를 낮추게 되고 불필요한 재전송이 발생 하였다. 대역폭이 작은 네트워크로의 이동 시에도 약간의 패킷 순서바뀔과 의심스러운 타임아웃이 발생하였다. 작은 대역폭에서 큰 대역폭으로 이동하는 경우가 이 반대의 경우보다 성능 감소가 심했다. Vegas가 실험한 핸드오프 환경에서 가장 좋은 성능을 보였는데, 이의 원인으로서는 Vegas가 BS의 버퍼를 적게 유지할 것이라는 점과 핸드오프 전후의 지연시간 차이가 급격하지 않아서 새 네트워크에서 재빨리 적응해 나갈 수 있다는 점을 추측해 볼 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] A. Barke, B. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," in *Proc. IEEE ICDCS*, pp. 136-143, 1995.
- [2] K. Brown, S. Singh, "M-TCP : TCP for mobile cellular networks," *ACM Computer Comm. Review (CCR)*, 1997.
- [3] Hari Balakrishnan, Srinivasan Seshan, and Randy H. Katz, *Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks. ACM Wireless Networks*, 1995.
- [4] T. Goff, J. Moronski, D. S. Phatak, V. Gupta, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments," in *Proc. IEEE INFOCOM*, 2000.
- [5] Sung-Eun Kim, and John A. Copeland, "TCP for Seamless Vertical Handoff in Hybrid Mobile Data Networks," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 661-665, 2003.
- [6] Dynamics Mobile IP, <http://dynamics.sourceforge.net>