

IEEE 802.11 무선랜에서 TCP 업로딩의 성능 향상

류지호, 최낙중, 석용호, 권태경, 최양희
서울대학교

{jhryu, fomula, yhseok, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr

Improving TCP Uploading Throughput in IEEE 802.11 Wireless LANs

Jiho Ryu, Nakjung Choi, Yongho Seok, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi
Seoul National University

요약

최근 유비쿼터스 네트워크를 지원하기 위한 다양한 무선 네트워킹 기술이 등장하였고, 그 중 무선랜은 쉬운 설치와 값싼 비용으로 인하여 가장 성공적인 기술로 알려져 있다. 그러나 점차 사용자가 늘어남에 따라 더 많은 사용자, 더 나은 서비스를 제공하기 위한 효율적인 AP 배치와 무선랜의 성능 향상 기법이 중요해지고 있다. 특히나 기존의 응용 프로그램 대부분이 TCP 기반으로 동작한다는 점을 감안하면, 무선랜에서 TCP 연결의 성능 향상은 가장 중요한 이슈 중에 하나로 부각되고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 기반 무선랜에서 TCP 성능 향상에 대한 기존 연구의 문제점을 지적하고, 최적의 네트워크 성능을 달성하기 위한 알고리즘을 제시한다. 또한 실험을 통하여 제안된 알고리즘이 기존의 IEEE 802.11 DCF 보다 우수한 성능을 보임을 증명한다.

제 1 장 서론

무선랜의 사용 인구는 꾸준히 증가하고 있지만, 하나의 AP가 서비스 할 수 있는 사용자의 수는 제한되어 있다. 따라서 더 많은 사용자에게 보다 나은 서비스를 제공하기 위하여 효율적인 AP 배치 및 무선랜의 성능을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다 [1-8]. 대부분의 기존 연구에서는 경쟁 기반으로 동작하는 IEEE 802.11 DCF를 사용할 경우, AP로 향하는 업로드 트래픽과 무선 단말로 향하는 다운로드 트래픽 사이의 불평등(unfairness) 문제를 지적하고 있다. 단순히 무선 네트워크에 존재하는 무선 단말의 숫자만을 고려했을 경우, N개의 업링크 무선 단말과 하나의 AP가 존재하기 때문에 이런 현상이 발생할 수 있다. 그러나 전송 계층 프로토콜로 널리 사용되고 있는 TCP 기반의 트래픽인 경우는 상황이 다르다. TCP 플로우 컨트롤은 슬로우 스타트(slow start)와 혼잡 회피(congestion avoidance), 두 단계로 구성된다. TCP 연결이 시작되면, 송신 측은 DATA에 대한 ACK을 받을 때 마다 자신의 혼잡 윈도우(congestion window) 크기를 하나씩 늘리고, 수신 측은 수신 가능 윈도우(advertisement window)와 자신의 혼잡 윈도우 중 더 작은 것을 선택한다. 혼잡 윈도우 크기가 슬로우 스타트 임계값(slow start threshold)을 넘으면, 하나의 ACK을 받을 때마다 크기가 '1/혼잡 윈도우' 만큼 늘어난다. 이런 윈도우 기반 혼잡 제어 방식과 슬로우 스타트 임계값 제약 때문에 기존 연구에서 제시한 분석 모델이 TCP 기반 환경에서는 적합하지 않다는 문제점이 발생하게 된다. 본 논문은 IEEE 802.11 기반 무선랜 환경에서 업로딩 TCP 모델에 대한 기존 연구의 문제점을 지적하고, 수정된 모델에서 네트워크 성능을 향상하기 위한 방안을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 무선랜 환경에서 TCP 기반 트래픽 모델링의 문제점에 지적하고, 수정된 모델에서 최적의 네트워크 성능을 달성하기 위한 알고리즘을 제안한다. 3 장에서는 해당 알고리

즘을 위한 최적의 경쟁 노드 개수를 구하고, 이 결과를 이용한 알고리즘의 성능 평가 결과를 제시한다. 마지막으로 4 장에서 본 논문을 마무리 짓는다.

제 2 장 본문

제 1 절. 문제 정의

IEEE 802.11 DCF를 사용하는 무선랜 환경에서 최적의 성능을 이끌어 낼 수 있는 무선 단말의 수는 1 개가 아니다. 무선 단말의 수가 1 개 이상이 되면 채널을 차지하기 위한 경쟁으로 전체 네트워크 성능이 떨어지는 것으로 생각할 수 있지만, 경쟁 회피를 위한 백오프 타임(backoff time)이 존재하기 때문에 1 개의 무선 단말로는 최적의 성능을 달성할 수 없다. 즉, 여러 무선 단말이 경쟁함으로써 백오프로 인해 발생하는 손실을 줄이고, 채널 활용을 극대화 시킬 수 있다. 그러나 너무 많은 무선 단말이 경쟁을 하게 되는 경우는 충돌로 인한 성능 감소가 발생할 수 있기 때문에 경쟁에 참여하는 무선 단말을 적절한 수로 유지하는 것이 중요하다.

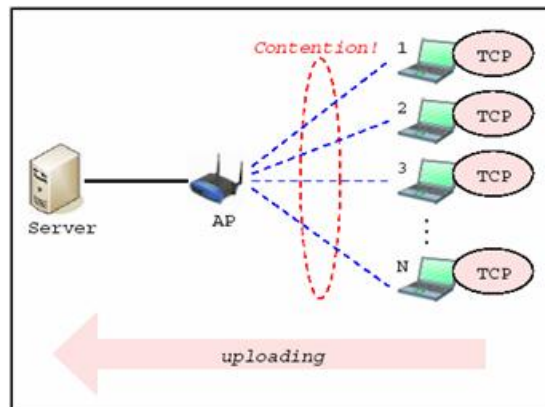


그림 1. TCP 업로딩 모델링

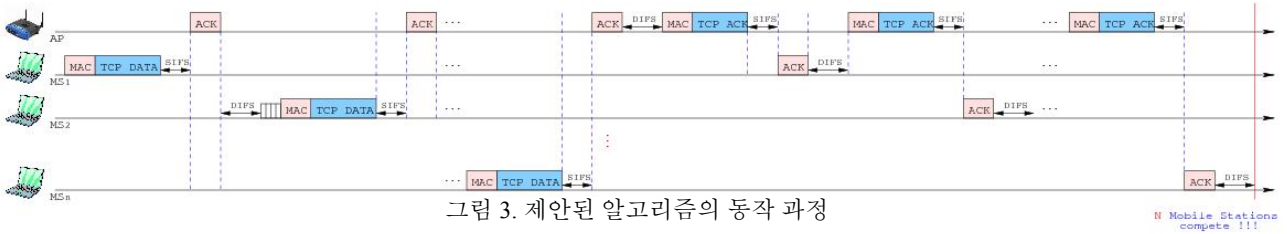


그림 3. 제안된 알고리즘의 동작 과정

그러나 TCP 기반 트래픽의 경우, 적절한 수의 무선 단말을 배치하더라도 최적의 네트워크 성능을 보이지 않음을 발견하였다. 이 현상은 앞서도 언급하였듯이 TCP 플로우 제어 방식이 윈도우 기반으로 동작하기 때문에 발생하는 문제이다. 즉, TCP 혼잡 윈도우가 슬로우 스타트 임계값보다 커지게 되면, 하나의 ACK을 받을 때 마다 '1/혼잡 윈도우' 만큼 커지게 되고, 결국 혼잡 윈도우가 하나 증가하기 위해서는 혼잡 윈도우 크기만큼의 ACK을 받아야 한다. 따라서 일반적으로 하나의 ACK을 받은 경우에만 혼잡 윈도우가 하나 증가하게 되어 하나의 패킷을 더 보낼 수 있다. 그림 1 과 같은 TCP 업로딩 모델링에서 업링크를 사용하는 N 개의 무선 단말(TCP DATA)과 다운링크를 사용하는 하나의 AP(TCP ACK)가 존재한다고 가정하자. 기존 802.11 DCF 방식에서는 각 단말이 동일한 확률로 채널 접근이 가능하기 때문에 업링크와 다운링크 채널 사용 비율이 N:1 이 될 것이다. 즉, 업링크 TCP 데이터 패킷에 비하여 다운링크 TCP ACK 패킷의 비율이 너무 작아 혼잡 윈도우가 늘어 나는데 문제가 발생할 수 있다는 것이다. 그리고 어느 정도 시간이 경과하여 TCP 혼잡 윈도우가 슬로우 스타트 임계값보다 큰 네트워크 상황에서는 ACK을 받은 무선 단말만이 무선 채널을 차지하려는 경쟁에 참여하게 되고, 이는 결국 전체적으로 채널을 차지하기 위해 경쟁하는 무선 단말의 수가 줄어 들게 되어 최종적으로 전체 네트워크 성능이 늘어나지 않게 되는 원인이 된다. 그림 2 는 TCP 업로딩 모델에서 실제 무선 채널 획득을 위하여 경쟁에 참여하는 무선 단말(effective mobile terminal)의 비율을 보여 준다. 전체 무선 단말의 수와는 무관하게 평균적으로 2 개(AP + ACK을 받은 무선 단말)인 경우가 절반에 가까운 비율을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며 [8], 이를 통해 전체 네트워크 성능이 최적이지 않음을 알 수 있다.

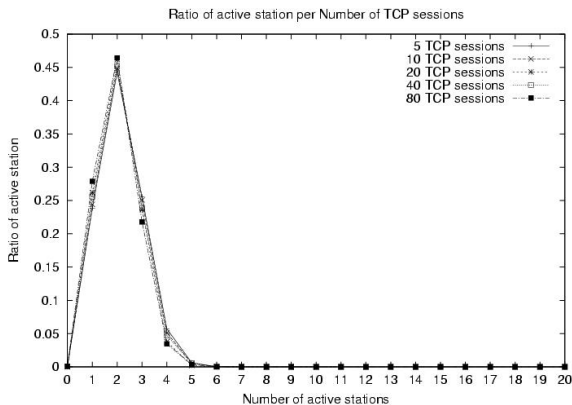


그림 2. IEEE 802.11 DCF 상에서 경쟁 무선 노드 비율

제 2 절. 알고리즘

TCP 업로딩 모델에서 전체 네트워크 성능을 향상시키기 위해서는 채널을 차지하기 위하여 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수를 적절히 늘리는 방법을 고안해야 한다. 본 저자들이 제안하는 기법은 AP 에서 TCP ACK 패킷에 대한 우선 순위를 부여하여 더 빨리 TCP 송신 측에게 도착하도록 한다. 이 때 전송하는 TCP ACK 패킷의 개수를 통하여 무선 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수를 조절할 수 있다. AP 에서 TCP ACK 패킷에 대하여 다른 정책을 부여하기 위해서 TCP ACK 패킷을 따로 관리해야 한다. 이를 위해서 실제 구현 시에는 TCP ACK 패킷만을 저장하는 큐를 생각할 수도 있다. 이런 방법을 통하여 TCP ACK 패킷을 따로 관리하면서 전송할 때 사용할 수 있는 방법에는 다음과 같다.

먼저 802.11e 에서 사용하는 TXOP 를 적용할 수 있다. 즉, TCP ACK 패킷은 언제나 AP 큐에 쌓여 있을 것이므로 AP 가 TCP ACK 전송을 위한 채널을 획득한 경우, TCP ACK 을 TXOP 기간 동안 원하는 개수만큼 보낼 수 있다. TCP ACK 을 여러 무선 단말이 받기 때문에 채널을 획득하기 위하여 경쟁하는 무선 단말의 수를 늘릴 수가 있다.

다른 방법으로 802.11n 에서 채택이 유력시되는 프레임 통합(frame aggregation)을 사용할 수 있다. 즉, TXOP 만큼 동안 보낼 여러 개의 TCP ACK 패킷을 데이터 링크 계층에서 하나로 패킷으로 만들어서 보내는 것이다. 이 방식은 전송하는 패킷 사이의 SIFS 시간이나 MAC 헤더 등의 부가적인 오버헤드를 피할 수 있기 때문에 TXOP 를 활용하는 방법보다 더 좋은 성능을 낼 수 있다. 그러나 통합된 프레임이 충돌이나 채널 에러로 인해 손실된다면 여러 개의 TCP 플로우가 성능 감소를 겪게 되므로 상황을 악화시킬 수도 있는 단점이 있다.

마지막으로 제안하는 방법은 그림 3 에서 보여 주듯이, AP 에서 TCP ACK 패킷에 우선 순위를 부여하는 것이다. TCP ACK 패킷에 우선 순위를 부여하는 방법은 채널 경쟁을 할 때 TCP ACK 패킷인 경우는 백오프 카운터로 0 을 선택하는 것이다. 일반적으로 항상 모든 단말이 보낼 패킷을 가지고 있는 상황이라고 가정한다면, 어떤 무선 단말이 성공적으로 데이터 패킷을 전송한 직후에 자신의 백오프 카운터가 0 인 다른 단말이 존재할 가능성은 매우 낮다. 만약 백오프 카운터가 0 인 다른 단말이 존재한다면 이전 전송 단계에서 충돌이 발생했어야 하는 상황이기 때문이다. 따라서 이전 전송 후 채널을 획득하기 위하여 경쟁을 시작할 때, AP 가 백오프 카운터로 0 을 선택한다면 높은 확률로 패킷을 성공적으로 전송할 수 있다. 물론 이 때 새롭게 패킷을 전송하는 무선 단말도 없어야 한다. 그리고 하나의 무선 단말이 TCP ACK 을 받아서 혼잡 윈도우가 하나 증가한 상황이라면, 이 단말은 이제 데이터 패킷을 하나 더 보낼 수 있기 때문에 AP 와 충돌을 일으킬 수도 있지만 충돌 확률은 최대 1/32 로 그리 크지 않기 때문에 큰 영향을 주지는 않는다.

위에서 제시한 방법들을 사용하면 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말들의 숫자를 원하는 만큼 증가시킬 수가 있을 것이다. 그러나 이미 언급하였듯이 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수가 적정 수치를 넘어서게 되면 충돌이 너무 많이 발생하여 전체 네트워크 상황을 악화 시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 최적의 경쟁 노드 개수를 먼저 알아야 한다. 다음 장은 본 저자들이 제안한 방법의 실험 결과를 제시한다.

제 3 장 성능 평가

제 1 절. 실험 환경

TCP 업로딩 모델을 실험하기 위하여 하나의 AP 와 하나의 유선 단말을 연결하고, 그 유선 단말 뒤에 업로딩 할 서버에 해당하는 유선 단말들을 위치시켰다. 즉, 무선 단말 수만큼의 업로딩 서버에 해당하는 유선 단말들이 존재하고, 유·무선 단말 한 쌍이 하나의 TCP 연결을 생성하게 된다. 무선 단말은 서버로 동작하는 유선 단말로 FTP 트래픽을 생성하게 된다. 실험은 TCP 플로우 수에 따라서 전체 네트워크 성능이 어떻게 달라지는지를 알아본다. 모의 실험 시간은 100 초이고, 20 초부터 100 초 사이의 굿풋(goodput)을 측정하였다. 실험에서는 RTS/CTS 는 사용하지 않았고, 802.11b 환경에서 진행하였다. TCP 패킷의 길이는 1024 바이트이며 유선 링크는 모두 100(Mbps), 5(ms)로 설정하였다. TCP 업로딩 성능 향상을 위해 사용한 알고리즘은 앞에서 제시한 AP 에서 TCP ACK 패킷에 우선 순위를 주는 방식으로, AP 가 TCP ACK 패킷에 대하여 백오프 카운터로 0 을 선택하는 방식이다.

제 2 절. 실험 결과

본 실험에 앞서 우리는 패킷 길이에 따라서 최적의 전체 네트워크 성능을 달성할 수 있는 무선 단말의 수를 구하였다. 그림 4 는 [2]의 기존 분석을 바탕으로 패킷 길이에 따른 최적 단말의 수를 구한 것이다. RTS/CTS 를 사용했을 경우에는 약 7 개 정도의 무선 단말이 경쟁할 때 가장 좋은 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 그 외에 RTS/CTS 를 사용하지 않는 경우에는 패킷 길이에 따라 그 결과가 차이를 보이고 있다. 이는 RTS/CTS 를 사용하지 않는 경우, packet 길이가 길어질수록 충돌에 따른 낭비되는 시간이 점점 커지기 때문에 최적의 성능을 보이는 단말의 수도 점차 줄어든다는 것을 알 수 있다. 실험에서 사용한 패킷 길이가 1024 바이트일 때를 보면, 약 4 개의 무선 단말이 경쟁할 때 가장 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5 는 TCP 연결 개수를 1 부터 40 까지 늘리면서 기존의 IEEE 802.11 DCF 를 사용했을 때의 전체 네트워크 굿풋과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용했을 때의 전체 네트워크 굿풋을 비교한 것이다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 굿풋이 정점을 나타내는 지점은 전체 세션의 수가 3 개인 지점임을 알 수 있다. IEEE 802.11 DCF 에서서는 거의 굿풋이 일정한 것에 비하여 제안된 메커니즘에서 굿풋이 향상된 지점이 생기는 것은 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수가 최적인 경우라고 예측할 수 있다. 실제로 1024 바이트 크기의 패킷을 사용하는 경우, 최적의 성능을 보이는 무선 단말의 수

는 4 개 인데, AP 도 채널 경쟁에 참여한다는 것을 고려하면 TCP 연결이 3 개인 경우에 최대값을 보이는 것은 이전 분석 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있다.

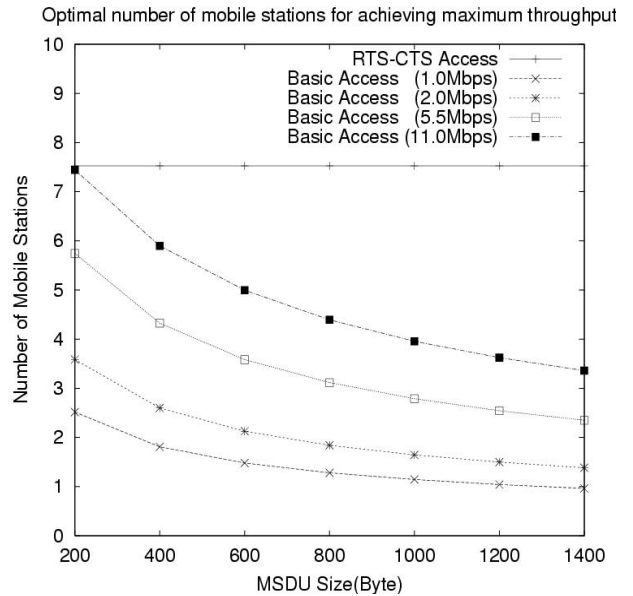


그림 4. 패킷 길이에 따른 최적 단말의 수

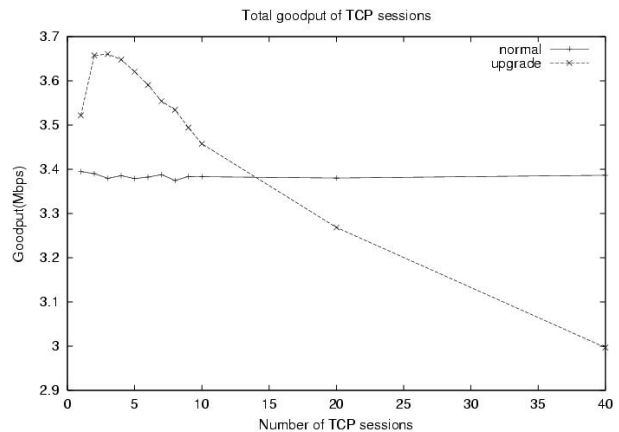


그림 5. TCP 연결 수에 따른 굿풋

그림 6 는 TCP 연결의 수가 10 개, 20 개, 40 개일 때 실제 무선 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 비율을 나타낸다. 이 그래프로부터 실제 경쟁 단말의 수가 전체 TCP 연결의 수와 같은 경우가 절반 가량을 알 수 있다. 이것은 앞의 결과와는 상당히 대조적인데, IEEE 802.11 DCF 상에서 실제 경쟁에 참여하는 무선 단말의 개수가 2 였던 경우가 주류였던 것에 반해, TCP ACK 패킷에 우선 순위를 줌으로써 경쟁에 참여하는 단말의 수를 효과적으로 늘릴 수 있는 것이다. 그러나 이 경우, 무선 채널을 차지하려고 경쟁하는 단말의 수가 너무 많기 때문에 추가적인 충돌로 인한 패킷 손실이 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 TCP 연결이 10 보다 큰 경우에는 굿풋이 많이 증가하지 않을 뿐 아니라 무선 단말의 수가 늘어날수록 오히려 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 TCP ACK 패킷이 항상 우선 순위를 갖기 때문에 발생하는 다른 문제로 지적할 수 있다.

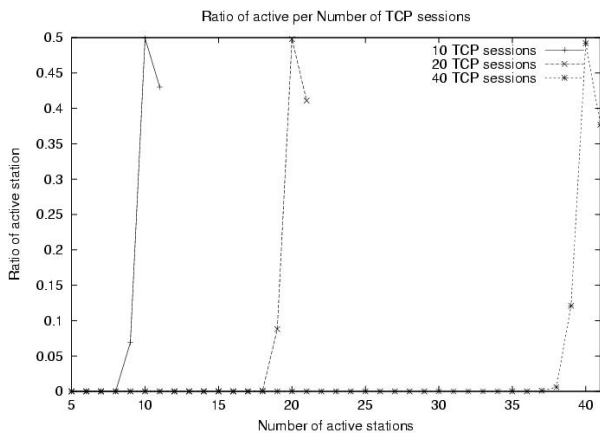


그림 6. 제안된 알고리즘 상에서 경쟁 무선 노드 비율

제 4 장 결론

앞에서 우리는 TCP 업로딩 모델에서 성능 (goodput) 향상을 위한 방법에 대해서 알아 보았다. TCP 의 경우, IEEE 802.11 무선랜 환경에서는 윈도우 기반 플로우 제어 알고리즘을 사용하기 때문에 전체 네트워크가 어느 정도의 시간이 지난 후에는 일정 수준 이상의 성능을 보이지 못하는 단점이 있다. 따라서 이런 무선랜 환경에서 TCP 업로딩의 성능을 향상시키기 위하여 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수를 늘릴 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 그러나 이것은 최적화된 알고리즘은 아니기 때문에 채널 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수가 일정 수준 이상으로 많아지면 네트워크 상황이 악화되는 문제는 해결하지 못하였다. 이는 언제나 TCP ACK 패킷에게 우선 순위를 주기 때문에 발생한 문제로 이를 해결하기 위하여, 현재 경쟁에 참여하는 적정 수준의 무선 단말의 수를 조절하는 알고리즘으로 개발 중에 있다.

참고 문헌

- [1] IEEE Computer Society. 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June 1997.
- [2] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Co-ordination Function," In the IEEE Journal on Selected Area in Communications V18, N3, 2000.
- [3] S. Pilosof, R. Ramjee, D. Raz, Y. Shavitt, P. Sinha, Understanding TCP fairness over wireless LAN, in: Proc. of IEEE INFOCOM 2003, April 2003.
- [4] Sung Won Kim, Byung-Seo Kim and Yuguang Fang, "Downlink and Uplink Resource Allocation in IEEE 802.11 Wireless LANs," In the IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 54, NO. 1, JANUARY 2005.
- [5] Hyogon Kim, Sangmin Shin and Inhye Kang, "On boosting TCP upload over wireless links," Feb. 7, 2005.

[6] D.J. Leith and P. Clifford, "Using the 802.11e EDCF to Achieve TCP Upload Fairness over WLAN Links," In the 3rd International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt'05), Riva del Garda, Trentino, Italy, April 3-7, 2005.

[7] Sunwoong Choi, Kihong Park, Chong-kwon Kim, "On the Performance Characteristics of WLANs: Revisited," ACM Sigmetrics, June 2005.

[8] Sunwoong Choi, Kihong Park, Chong-kwon Kim, "Performance Impact of Inter-Layer Dependence in Infrastructure WLANs," accepted to IEEE Transactions on Mobile Computing.