IEEE 802.11 무선 랜의 성능 특성

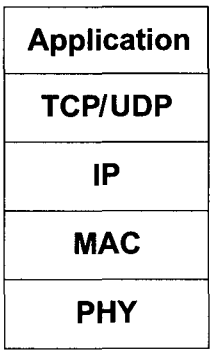
최선웅
국민대학교

요 약

오늘날 인프라 무선 랜은 많은 사용자들이 사용하는 중요한 인터넷 접속 기술이다. 따라서, IEEE 802.11 MAC의 성능 분석은 지난 몇 년간 무선 랜 연구의 중요한 테마 중의 하나였다. 본고에서는 프로토콜 계층 사이에 존재하는 상호 의존성의 중요성에 주목하며, IEEE 802.11 기반의 무선 랜이 갖는 성능 특성에 관하여 알아본다. 먼저, 무선 노드의 개수가 많아짐에 따라 무선 랜 시스템의 처리율이 감소한다는 IEEE 802.11 MAC DCF 분석 결과를 설명한다. 여기에 MAC 계층과 다른 계층 사이의 상호 작용에 주목하여, 무선 랜의 성능이 어떤 특성을 갖는지 알아본다. 물리 계층에 존재하는 무선 노드들 사이의 불평등성에 대해서 설명하고, 그로 인하여 노드들 간의 혼잡 수준이 떨어지고 경쟁 기반의 DCF 처리율이 혼잡 상태에서도 서서히 감소하게 되는 것을 설명한다. 또한, 전송 계층 프로토콜로서 TCP를 사용하는 경우의 무선 랜 성능에 관하여 알아본다. TCP는 실제로 무선 채널의 경쟁에 참여하는 노드를 2~3개 정도로 제한하는 효과가 있어서, TCP를 사용하는 무선 랜의 성능은 무선 노드의 개수에 상관없이 안정적인 것을 설명한다.

1. 서 론

캠퍼스 망, 엔터프라이즈 망, 상용 핫스팟(hotspot) 등에서 널리 사용되는 IEEE 802.11 무선 랜 [1]은 유무선 망이 통합



(그림 1) TCP/IP 프로토콜 스택

되어 가고 있는 오늘날, 인터넷의 중요한 구성요소가 되었다. 현재 IEEE 802.11 MAC 계층에서 제공하는 매체 접근 제어 표준 방안으로는 DCF (Distributed Coordination Function)와 PCF (Point Coordination Function) 두 가지 방식이 있다. DCF는 경쟁 기반의 비동기 데이터 서비스를 위한 것이고 PCF는 무경쟁의 동기 데이터 서비스를 위한 것이다. DCF는 무선 랜의 모든 참여 노드가 구현하여야 하는 기능이고, PCF는 선택 사항으로 정의 되어 있다. 현재 판매되고 있는 대부분의 무선 랜 카드들은 DCF만을 구현하고 있다. 따라서, 무선 랜의 성능을 이해하기 위한 많은 연구들은 DCF 방식에 집중하고 있다.

1970년대의 ALOHA [2]와 이더넷 [3]의 경우와 마찬가지로, 1990년대 후반 등장한 무선 랜의 특성을 이해하기 위한 많은 연구들이 진행되었다. 무선 랜에 관한 대표적인 연구들로는 IEEE 802.11 CSMA/CA의 성능 분석 [4], [5], 공평성을

제공하는 스케줄링 방법 [6], [7], 실제 동작 중인 무선 랜의 트래픽 측정 및 분석 [8], [9], [10] 등이 있다. 1980년대 CSMA/CD를 사용하는 이더넷의 성능에 관한 많은 논쟁이 있었지만 [11], 그러한 논쟁은 스위칭 기술의 개발과 더불어 자취를 감추었다. 그에 비해, 무선 랜에서는 스위치를 통하여 간섭(interference)이나 충돌(contention)을 지역화하는 것이 불가능하다. 이와 같이 유선 망과는 다른 무선 랜의 특성으로 인하여, 무선 랜의 성능은 채널 접근 시에 발생할 수 있는 프레임 간의 충돌에 크게 영향을 받게 된다.

본고에서는 오늘날 대부분의 무선 랜이 동작하는 핫스팟 환경에서의 성능에 초점을 맞춘다. 이러한 환경에서는 충돌(contention)에 기반을 둔 다중 접속 방법의 성능이 주요한 관심사가 된다. [4][5]에서는 IEEE 802.11 DCF의 성능을 모델링하고 있는데, 시스템 입력 로드(offered load)가 증가함에 따라 시스템의 MAC 처리율이 크게 저하되는 것으로 설명하고 있다. 그러나, 이 결과는 물리 계층의 채널 다양성(diversity) 또는 전송 계층 프로토콜의 동작 메커니즘을 고려하지 않고 있다.

본고에서는 프로토콜 계층 사이의 상호 작용에 주목한다. 현재 인터넷에서 사용되고 있는 TCP/IP 프로토콜 스택은 그림 1과 같다. 핫스팟 무선 랜의 경우에 MAC 계층은 IEEE 802.11 DCF가 된다. 물리 계층(PHY)은 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), 적외선 (IR: Infrared), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 등의 무선 통신 방식이 된다. 본고에서는 MAC 계층의 DCF가 다른 계층(특별히, 물리 계층(PHY)과 전송 계층)과의 상호 작용을 통하여 어떠한 성능 특성을 갖는지 알아본다.

실제 무선 랜 시스템에는 필연적으로 무선 노드들 사이에 AP와의 거리와 같은 물리적인 차별성이 존재하게 되고, 물리 계층의 채널 다양성(또는 다중 사용자 다양성 (multiuser diversity) [12], [13]으로 불리는)은 충돌 기반의 다중 접속 시스템의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 물리 계층의 채널 다양성이 존재하는 상황에서는 시스템 입력 로드나 무선 노드의 개수가 증가함에 따라 혼잡 경쟁 방식에 기반들 두고 있는 DCF 시스템의 처리율 (throughput)이 기존에 알려진 바와 다르게, 서서히 감소하게 되는 것을 살펴 본다. 이러한 현상은 물리 계층의 채널 다양성이 MAC 계층의 혼잡 정도를 감소시키는 역할을 수행하여 발생한다. 따라서, MAC 성능 저하를 막기 위하여 링크 계층에서 플로우 제어를 수행하는 최근에 제안들 [14], [15]의 필요성을 의심하게 한다.

시스템 처리율이 시스템 입력 로드가 증가하더라도 서서히 감소하는 것과 달리, 무선 노드 간의 MAC 계층의 처리율 공평성 (fairness)은 특정 시스템 입력 로드를 기점으로 크게 저하된다. 물리 계층의 불평등성은 MAC 계층의 처리율 분배를 지속적으로 불평등하게 만든다. 또한 처리율의 안정성도 시스템 입력 로드에 따라 크게 변화하는 것을 보인다. 낮은 시스템 입력 로드에서는 각 노드의 처리율이 거의 일정한 수준을 유지하지만, 시스템 입력 로드가 특정 임계값을 넘어서면 시간에 따라 크게 변화하게 된다. 따라서, 트래픽 제어를 통하여 시스템이 포화 상태로 진입하지 못하게 하는 것이 처리율의 공평성과 안정성 향상에 도움이 될 수 있다.

IEEE 802.11 무선 랜의 성능은 전송 계층에도 영향을 받는다. 오늘날 인터넷 트래픽의 대부분은 TCP에 의하여 전달되므로, TCP-over-WLAN의 성능을 살펴보는 것이 의미가 있다. 본고에서는 TCP를 사용하는 경우에는 무선 노드의 개수가 매우 많은 혼잡 상황에서도 무선 랜 시스템의 성능이 안정적이고 높은 처리율을 갖는 것을 보인다. ACK 패킷의 수신 여부에 따라 패킷의 전송을 결정하는 TCP의 제어 메커니즘과 모든 무선 노드에게 공평한 MAC 접근 기회를 제공하는 DCF의 메커니즘이 상호 작용하여, 무선 랜의 로드를 무선 노드의 실제 개수에 상관없이 항상 2~3 정도로 유지하게 되는 것을 마코프 사슬(Markov chain)을 사용하여 설명한다.

이후의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 IEEE 802.11 MAC DCF 방식의 동작에 대해서 기술한다. 3장에서는 IEEE 802.11 DCF의 처리율 특성에 대하여 논하고, 4장과 5장에서는 각각 물리 계층과 전송 계층이 DCF의 성능에 미치는 영향에 대하여 논한다. 마지막으로, 결과에 대한 토의로 결론을 맺는다

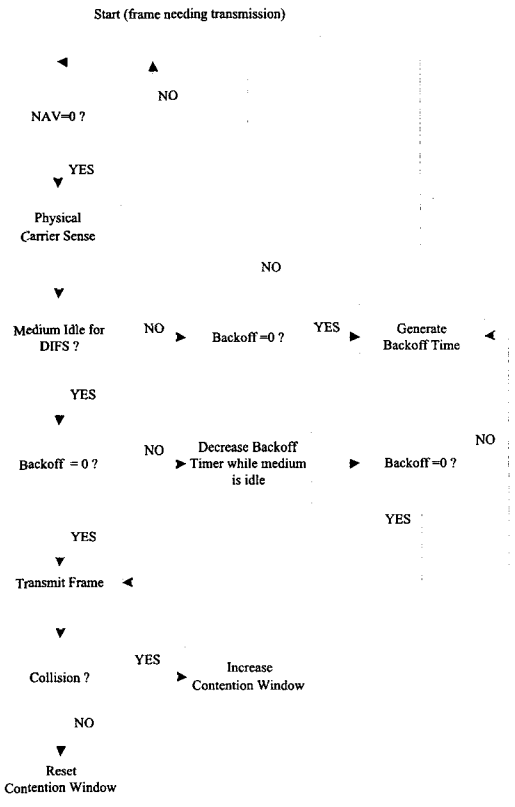
II. IEEE 802.11 MAC DCF 동작

DCF는 IEEE 802.11의 가장 기본적인 매체 접근 제어 방안으로 CSMA/CA 방식으로 동작한다. 무선 랜의 모든 참여 노

드는 이 기능을 지원하여야 한다. 그림 2는 DCF를 사용하는 노드의 동작 흐름도이다. 각 DCF 노드는 전송할 데이터가 있으면 NAV(Network Allocation Vector)와 물리 Carrier Sense를 이용하여 매체가 Idle한지를 확인한다. 매체가 DIFS 기간 동안 Idle 할 경우 즉시 프레임을 전송한다. 그러나 그렇지 않을 경우 백오프(Backoff)를 수행하여야 한다.

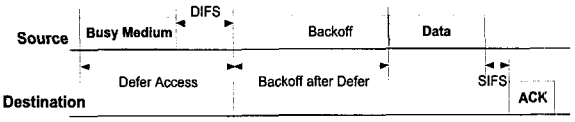
그림 3은 DCF를 사용하는 무선 노드 사이의 데이터 전송 과정을 보이고 있다. DCF에 따라 동작하는 각 무선 노드는 전송할 데이터가 있으면 무선 채널에 대한 Carrier Sensing을 수행하여 채널이 idle 상태인지 busy 상태인지를 확인한다. 무선 채널이 busy 상태에서 idle 상태로 전이하면, DIFS 시간 동안 기다린 후 백오프 시간 값을 무선 채널이 idle한 시간만큼 줄여나간다. 백오프 시간 값이 0이 되는 순간 데이터 프레임을 전송한다.

IEEE 802.11에서는 물리적으로 충돌 여부를 감지할 수 없다. 그래서 데이터 프레임에 대한 ACK을 통하여 충돌 여부



(그림 2) DCF 동작 흐름도

를 확인한다. 데이터 프레임을 성공적으로 수신한 무선 노드는 SIFS 시간 이후 데이터 프레임을 송신한 무선 노드에게 ACK 프레임을 전송한다. ACK 프레임을 성공적으로 수신하면 송신자 무선 노드는 데이터의 전송이 성공했다고 판단한다. ACK 프레임을 수신하지 못할 경우 충돌 또는 채널 오류로 판단하고 데이터 프레임에 대한 재전송을 시도하게 된다.



(그림 3) IEEE 802.11 DCF 데이터 전송 과정

백오프 시간 값은 [0, CW]의 범위에서 임의로 결정된다. CW는 CWmin 값과 CWmax 사이에서 변하는 값이다. 처음으로 전송을 시도하는 데이터 프레임의 경우에는 CW의 값이 CWmin 값과 같다. 그러나, 성공적으로 ACK을 수신하지 못하여 데이터 프레임을 재전송하는 경우에는 CW의 값을 두 배로 늘려서 백오프 시간 값을 결정한다. CW의 값을 크게 함으로써, 데이터 전송률을 낮추고 그에 따라 프레임의 충돌 확률을 낮출 수 있는 효과가 있다.

III. IEEE 802.11 MAC 성능

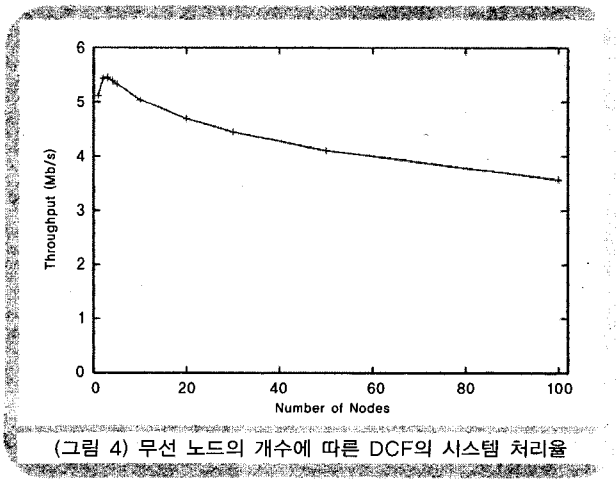
IEEE 802.11 MAC 성능을 알아보기 위하여, 노드간의 경쟁이 없이 하나의 무선 노드만이 데이터를 전송하는 경우에 대해 먼저 설명한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 하나의 데이터 프레임을 전송하기 위해서는 실제 데이터 전송 이외에 DIFS 시간, 백오프 시간, SIFS 시간, ACK 프레임 전송과 같은 여러 부가적인 시간이 필요하다. 즉, 하나의 데이터 프레임을 전송하는 데에는 DIFS + TBO + T(D) + SIFS + T(A)의 시간이 걸린다. TBO, T(D), T(A)는 각각 백오프 시간, 데이터 프레임 전송 시간, ACK 프레임 전송 시간을 의미한다. 본고에서는 DIFS는 50?s, SIFS는 10?s를 가정한다. 데이터 프레임을 전송하기 위해서는 물리 계층 헤더와 MAC 계층의 헤더를 포함하여야 한다. 따라서, T(D) = T(PHYH) + (MACH

+ Data)/R(D)이다. 본고에서는 T(PHYH)는 192?s, MACH는 224bits, R(D)는 11Mb/s로 가정한다. ACK 프레임을 전송하기 위해서도 물리 계층 헤더를 포함하여야 한다. 따라서, T(A)=T(PHYH)+ACK/R(B)이다. 본고에서는 ACK을 112bits, R(B)는 2Mb/s로 가정한다. 경쟁 없이 한 무선 노드가 1KB 크기의 데이터 프레임을 전송한다고 하면, 백오프 시간 값을 고려하여 이론적으로 기대되는 전송률은 약 5.136 Mb/s가 된다.

IEEE 802.11 MAC 표준이 발표된 이래로 DCF 모델링 및 성능 분석은 활발하게 연구되어 왔다. [4]에서는 포화 상태에서의 시스템 처리율을 달성 가능한 시스템의 평형 상태 성능 척도로 간주하고, 이를 분석하였다. 각 무선 노드의 백오프 과정을 이산 마코프 사슬 (discrete Markov chain) 모델링을 통하여 단순화하였다. 분석을 통하여 DCF의 성능은 무선 노드의 개수와 CWmin 값에 크게 영향을 받는 것을 보였다.

모델링의 결과는 시스템이 혼잡해 질수록 (시스템 입력 로드나 노드의 개수가 증가함에 따라) 시스템의 MAC 처리율이 크게 저하되는 것을 보인다. 그 이유는 전송되는 프레임들 사이의 충돌이 많아져서 무선 채널 자원의 낭비가 심해지기 때문이다. 그림 4에서 결과를 확인할 수 있다.

부가적으로 무선 노드의 개수가 2개 또는 5개인 경우의 전송률이 무선 노드의 개수가 1개일 때의 이론적인 전송률 5.136Mb/s보다 높은 것을 볼 수가 있다. 무선 노드의 개수가 증가하면 충돌이 늘어남에도 불구하고, 백오프 시간 값을 여러 노드가 동시에 줄이게 됨으로써 전체적으로 볼 때 무선 채널의 활용도를 높이기 때문에 가능하다.

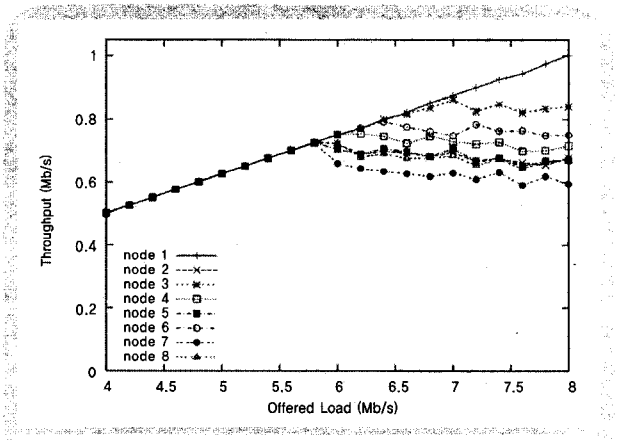


(그림 4) 무선 노드의 개수에 따른 DCF의 시스템 처리율

IV. 물리 계층의 영향

앞서 설명한 DCF 성능 모델링은 모든 무선 노드가 동일한 조건에 있다는 것을 가정하고 있다. 그러나, 실제 무선 랜이 동작하는 환경은 각 무선 노드가 처한 환경이 동일하지 않다. 각 무선 노드는 AP와의 거리 및 위치에 따라 서로 다른 전파 특성을 가지게 된다. 기본적으로 AP와 가까운 무선 노드는 강한 전파를 수신하게 되고, 멀리 떨어진 무선 노드는 약한 전파를 수신하게 된다. 일반적으로 전파의 세기는 송신자와 수신자 사이 거리의 α(2~4) 제곱에 반비례하는 것으로 설명된다.

무선 채널을 통하여 전달된 신호를 해석하기 위해서는 수신한 시그널의 세기와 잡음의 비율이 중요하다. SIR (signal-to-interference ratio) 값에 따라 수신한 프레임을 해독할 수 있는지 여부가 결정된다. 따라서, 동시에 여러 무선 노드가 프레임을 전송하여 충돌이 발생하는 경우라 하더라도, SIR 값이 충분히 크다면 강한 신호의 프레임을 성공적으로 수신할 수 있다. 이것을 캡쳐 효과 (capture effect)라고 한다. 이와 같은, 물리 계층의 채널의 다양성(physical layer diversity)은 다수 사용자 다양성(Multi-user diversity) [12], [13]과 유사한 형태로서, 혼잡도가 높은 상황에서 DCF의 성능 저하를 줄이는 역할을 한다.

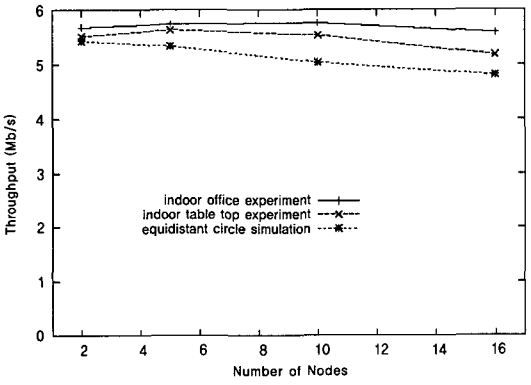


(그림 5) 위치에 따른 무선 노드 별 처리율의 지속적인 불평등

(그림 5)는 15m x 5m 크기의 사무실 환경에서 실제 실험을 하여 측정한 결과이다. 8 대의 무선 노드들이 각각 취하는

처리율을 보여 주고 있다. 여러 번의 실험에 걸쳐서 채널의 우열이 계속 유지되고, 그것이 각 무선 노드의 처리율에 그대로 반영되어 지속적인 불평등을 볼 수 있다. 물리 계층의 채널 다양성이 시간에 관계없이 계속 유지되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 처리율에서의 우열은 사무실 환경에서의 전파 전달 메커니즘에 의하여 결정되기 때문에 노드의 위치에 따라 좌우된다. 밀폐된 공간에서 시그널의 세기의 분포가 변한다는 것은 잘 알려져 있고 [16], [17], [18], 지속성, 민감성, 높은 변화율과 같은 특성은 무선 라디오 전파의 카오스적인 특성 [19]을 사용하여 이론적으로 설명 가능하다.

일반적으로, 다수 사용자 다양성은 무선 노드가 움직이거나 시간에 따라서 변화하는 무선 채널의 특성에 따라 발생한다. 그리고, 시스템 처리율을 최대화하기 위해서는 특정 순간에 최대의 채널 상태를 갖는 사용자를 서비스하면 된다. 인프라 무선 랜 환경에서는 대부분의 사용자들이 자주 움직이지 않고, 물리 계층의 채널 다양성이 위치에 따른 영향을 지속적으로 보이게 된다. 다시 말해서, 유리한 사용자는 계속해서 유리하고, 불리한 위치에 있는 사용자는 계속해서 불리한 대우를 받게 된다.

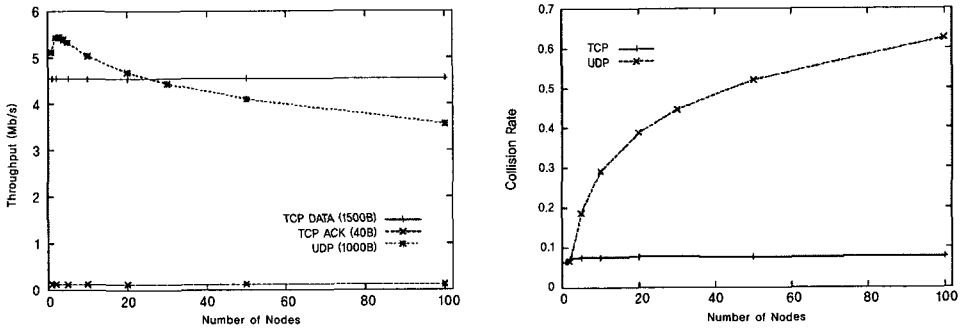


(그림 6) 사무실 환경, 테이블 환경, 시뮬레이션에서 얻은 802.11 DCF의 포화 상태 시스템 처리율 비교

(그림 6)은 앞의 사무실 환경에서 실험한 결과, 2mx1m 크기의 테이블 환경에서 실험한 결과, 시뮬레이션에서 얻은 IEEE 802.11 DCF의 포화 상태 시스템 처리율을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과에 비하여 실험 결과에서 전반적으로 시스템 처리율이 향상된 것을 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과가 4.816~5.432 Mb/s 정도였던 데 비하여, 실험 결과는 5.7~5.876 Mb/s 임을 볼 수 있다. 10개와 16개의 노드의 경우에서 사무실 환경과 시뮬레이션 결과 사이에 1Mb/s (20%) 정도의 성능 차이를 볼 수 있다. 이러한 결과는 물리 계층의 다양성이 미치는 영향을 보여 주고 있다. 오직 하나의 무선 노드가 시스템에 존재할 경우에는 시뮬레이션 결과와 실험 결과 모두 5.1~5.2Mb/s 사이의 유사한 결과를 관찰할 수 있다.

또한, 사무실 환경의 실험에서 얻은 시스템 처리율이 테이블 환경에서 보다 높은 것을 볼 수 있다. 테이블 환경에서는 AP와 무선 노드 사이의 거리가 모두 비슷한 반면에, 사무실 환경에서는 AP와 무선 노드 사이의 거리가 다양하다. 즉, 물리 계층의 차별성이 보다 심하게 된다. 이와 같이 물리 계층의 차별성이 심할수록 전체 시스템의 성능이 높아지는 것을 볼 수 있다.

DCF는 이와 같은 물리 계층의 채널 다양성을 두 가지 방식으로 이용한다. 첫째, 두 개의 프레임을 동시에 수신하면 일반적으로 충돌이 발생하여 두 프레임 모두 성공적으로 수신



(a) (b)

(그림 7) (a) TCP-over-WLAN 처리율 vs. UDP 처리율 (b) 충돌율

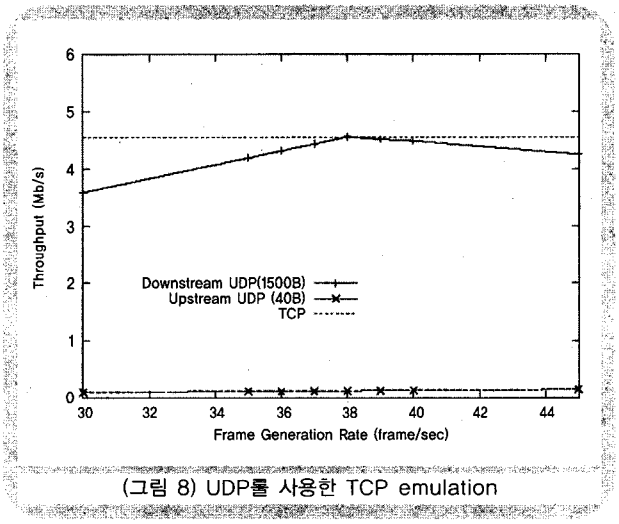
할 수 없지만, 만일 두 프레임의 전파의 세기가 차이가 크게 난다면 더 큰 세기로 수신한 프레임을 성공적으로 디코딩할 수 있다. 둘째, 전파의 세기가 약한 노드는 전송이 성공적으로 이루어지지 않았기 때문에, 지수적인 백오프 과정을 경험하게 된다. 이와 같은 혼잡 제어 방식은 전파의 세기가 강한 노드의 우선권을 더욱 강화하는 기능을 하게 된다. 이와 같은 DCF의 불평등성을 강화하는 특성으로 인하여, 시스템 입력 로드가 증가하여 프레임의 충돌율이 증가함에 따라 전파의 세기가 강한 노드의 처리율은 더욱 증가하게 된다. 이와 같이 강한 시그널을 같은 노드를 더욱 빈번하게 서비스하는 DCF가 다수의 사용자 다양성을 이용하는 스케줄링의 원칙 [20]에 비추어 볼 때, 시스템 전체의 처리율은 증가시킬 수 있다.

V. 전송 계층의 영향

전송 계층이 MAC 성능에 미치는 영향을 알아본다. 현재 인터넷에서 대부분의 트래픽 전송을 담당하는 TCP를 WLAN에서 사용하는 경우의 성능을 알아 본다.

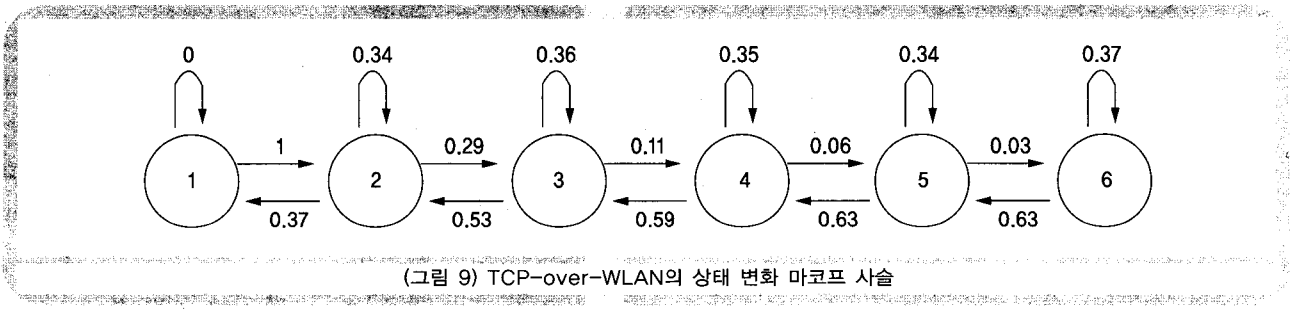
그림 7(a)는 무선 노드의 개수에 따른 TCP 처리율을 보여준다. TCP MSS는 1500 bytes이다. 무선 노드의 개수가 1부터 100까지 변하지만, TCP-over-WLAN의 성능은 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. UDP (즉, DCF)의 처리율은 앞서 설명한 바와 같이 노드의 개수가 증가함에 따라 급격히 감소하는 것과 확연히 비교된다. (그림 7(b))는 MAC 프레임의 충돌율을 보여 준다. TCP 데이터 패킷과 TCP ACK 패킷이 DCF MAC 계층에서 겪는 충돌율은 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 이와 같이 TCP의 처리율이 일정한 것은 DCF MAC 프레임의 충돌율이 일정한 것에서 기인하는 것을 알 수 있다.

충돌율이 일정한 이유에 대해서는 설명하기에 앞서, 우선 TCP가 달성하는 처리율이 무선 랜의 성능을 충분히 활용하는 결과인지 살펴 보도록 한다. UDP 플로우를 사용하여 데이터가 AP에서 무선 노드 쪽으로 전달되는 TCP 플로우를 흉내 낸다. AP는 1500 byte의 데이터 프레임을 λ pps(packet/sec)의 속도로 전송하고, 무선 노드는 TCP ACK 패킷에 대응되는 40 byte의 프레임을 AP와 동일한 속도로 전송한다. DCF에 의하여 제한되는 처리율을 TCP가 어느 정도까지 달성할 수 있는지 살펴 본다.



(그림 8) UDP를 사용한 TCP emulation

(그림 8)은 TCP-over-WLAN의 처리율과 UDP를 사용한 TCP emulation의 결과를 비교한 그림이다. 프레임 생성율 λ를 변화시키면서 UDP의 처리율을 그리고, 같은 환경에서 TCP-over-WLAN이 달성하는 처리율을 보여준다. UDP의 처리율은 프레임 생성율, λ가 증가함에 따라 증가하다가, 38



(그림 9) TCP-over-WLAN의 상태 변화 마코프 사슬

frames/sec를 정점으로 감소하고 있다. 우리가 주목하는 TCP-over-WLAN은 DCF가 달성하는 최고 처리율과 동일한 처리율을 보이는 것을 볼 수 있다. TCP가 무선 랜의 성능을 최대한으로 활용하는 것을 알 수 있다.

이제 무선 노드의 개수가 1부터 100까지 변하는 동안에도 TCP-over-WLAN의 충돌율이 일정하게 유지되는 이유에 대해서 알아 보도록 한다. AP가 무선 채널 경쟁에서 승리하여 TCP 데이터 패킷을 전송하면, 해당 무선 노드는 TCP ACK 패킷을 전송하기 위하여 활동적인(active) 상태가 된다. 그리고, 무선 노드가 TCP ACK 패킷을 전송한 후 더 이상 전송한 프레임이 없으면 비활동적인(inactive) 상태가 된다. 이와 같은 TCP-over-WLAN의 동작을 기술하기 위하여 마코프 사슬을 이용한다. 마코프 사슬의 상태(state)는 어느 순간에 AP를 포함하여 MAC 계층에서 전송할 프레임이 있는 무선 노드의 개수로 정의한다. MAC 계층에서 전송할 프레임이 있다는 의미는 상위 계층으로부터 받은 하나 이상의 프레임을 아직 상대 노드에게 성공적으로 전송하지 못한 상황을 의미한다. 따라서, 마코프 사슬의 상태는 어느 순간에 무선 채널을 획득하기 위하여 경쟁에 참여하는 실제로 활동적인(active) 무선 노드의 개수와 같다.

그림 9는 20개의 무선 노드를 사용한 시뮬레이션을 통하여 얻은 TCP-over-WLAN의 마코프 사슬을 보여준다. 상태 3 이상에서 상태가 낮은 쪽으로 이동하려는 확률이 매우 높은 것을 볼 수 있다. 이것은 DCF를 사용하는 경우에는 AP인지 무선 노드 인지에 대한 구분 없이 모든 노드들이 동일한 전송 기회를 얻는 성질에 기인한다. AP는 하나인데 비하여, 상태가 높아질수록 AP와 경쟁하는 무선 노드의 개수는 증가하게 된다. 모든 노드들이 전송 기회를 얻을 확률이 동일하기 때문에, 상태가 높을수록 AP가 전송을 하여 상태가 증가할 확률은 작아지고 무선 노드들 중의 하나가 전송을 하게 되어 상태가 낮아질 확률이 커지게 된다. 이와 같은 힘에 의하여 마코프 사슬은 작은 상태에 머무를 확률이 매우 높다. 상태의 평균값을 계산하면 약 2.2가 된다. 평균값에 표준 편차의 두 배를 더한 범위에는 모든 자료의 95%가 속할 것이다. 이 값 역시 대략 4 정도이고, 최대값은 7 이하였다.

이것은 100개의 무선 노드가 존재하는 상황에서도 실제로는 2개 내지 3개 정도의 무선 노드가 존재하는 정도로 혼잡하다는 의미이다. 즉, TCP-over-WLAN의 MAC 처리율과 충돌율은 실제 무선 노드의 개수에 상관없이 항상 2개 내지 3개의 무선 노드가 있는 상황의 DCF 처리율과 충돌율에 근접한 특성을 보이게 된다.

VI. 결 론

본고에서는 IEEE 802.11 무선 랜의 성능 특성에 대하여 알아 보았다. 모든 노드들이 동일한 환경에 있다는 가정하에서는 무선 노드의 개수가 증가함에 따라 시스템의 처리율이 급격히 감소하는 것을 보였다. 그리고, 물리 계층에 존재하는 채널 다양성과 그러한 물리적 불평등성이 MAC 계층의 특성에 어떠한 영향을 미치는 지에 대하여 고찰하였다. 물리 계층의 채널 다양성으로 인하여 DCF 시스템의 처리율은 시스템 입력 로드가 증가하거나 경쟁 노드의 개수가 증가하더라도 서서히 감소하는 반면에, 노드 간 처리율의 공평성은 특정 시스템 입력 로드를 넘어서는 순간 크게 훼손되는 것을 보였다.

마지막으로 TCP-over-WLAN의 성능을 알아 보았다. 마코프 사슬을 사용한 분석을 통해 TCP를 사용하는 경우에 실제 무선 노드의 개수에 상관없이 항상 2내지 3개의 무선 노드가 있는 상황의 안정적인 처리율을 보이는 것을 설명하였다. 본고에서 고찰한 물리 계층 채널 다양성과 TCP-over-WLAN의 성능 특성은 향후 무선 랜 연구의 기초로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.11 part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, Aug. 1999.

[2] N. Abramson. The Aloha system-another alternative for computer communications. In Proc. Fall Joint Comput. Conf. AFIPS Conf., pages 281-285, 1970.

[3] R. Metcalfe and D. Boggs. Ethernet: distributed

packet switching for local computer networks. Communications of the ACM, 19(7):395-404, 1976.

[4] G. Bianchi. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(3):535-547, 2000.

[5] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori. IEEE 802.11 protocol: Design and performance evaluation of an adaptive backoff mechanism. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(9):1774-1786, 2000.

[6] S. Lu, T. Nandagopal, and V. Bharghavan. A wireless fair service algorithm for packet cellular networks. In Proc. ACM MobiCom '98, pages 10-20, 1998.

[7] N. Vaidya, P. Bahl, and S. Gupta. Distributed fair scheduling in a wireless LAN. In Proc. ACM MobiCom '00, pages 167-178, 2000.

[8] A. Balachandran, G. Voelker, P. Bahl, and P. Rangan. Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN. In Proc. ACM SIGMETRICS '02, pages 195-205, 2002.

[9] D. Kotz and K. Essien. Analysis of a campus-wide wireless network. In Proc. ACM MobiCom '02, pages 107-118, 2002.

[10] D. Tang and M. Baker. Analysis of a local-area wireless network. In Proc. ACM MobiCom '00, pages 1-10, 2000.

[11] D. Boggs, J. Mogul, and C. Kent. Measured capacity of an Ethernet: myths and reality. In Proc. ACM SIGCOMM '88, pages 222-234, 1988.

[12] R. Knopp and P. Humblet. Information capacity and power control in single-cell multiuser communications. In Proc. ICC '95, 1995.

[13] D. Tse. Optimal power allocation over parallel Gaussian channels. In Proc. International Symposium on Information Theory, 1997.

[14] H. Kim and J. Hou. Improving protocol capacity with model-based frame scheduling in IEEE 802.11-operated WLANs. In Proc. ACM MobiCom '03, pages 190-204, 2003.

[15] C. Yuen and P. Marbach. Service differentiation in random access networks. Technical Report CSRG-472, Computer System Research Group, University of Toronto, Jul. 2003.

[16] I. Cuinas and M. Sanchez. Measuring, modeling, and characterizing of indoor radio channel at 5.8GHz. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 50(2):526-535, 2001.

[17] S. Kjesbu and T. Brunsvik. Radiowave propagation in industrial environments. In 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, volume 4, pages 2425-2430, 2000.

[18] R. Tingley and K. Pahlavan. Space-time measurement of indoor radio propagation. IEEE Trans. Instrum. Meas., 50(1):22-31, 2001.

[19] S. Sridhar, D. Hogenboom, and B. Willemsen. Microwave experiments on chaotic billiards. J. Stat. Phys., 68(239), 1992.

[20] M. Grossglauser and D. Tse. Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks. In Proc. IEEE INFOCOM '01, pages 1360-1369, 2001.

약 력

1998년 서울대학교 전산과학과 학사
2000년 서울대학교 전산과학과 석사
2005년 서울대학교 전기, 컴퓨터 공학부 박사
2005년 ~ 2007년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
2007년 ~ 현재 국민대학교 전자공학부 전임강사
관심분야 : 무선 네트워크, 네트워크 자원관리, 시스템 성능 평가

최 선 웅