

TCP와 UDP 프로토콜 상에서 ARF 기법에 따른 무선랜 성능 분석

김 남 기[†] · 이 민^{**} · 윤 현 수^{***}

요 약

IEEE 802.11b 무선랜은 다양한 전송률(transmission rate)을 지원하며 그 전송률은 자동 전송률 제어 알고리즘(auto rate control algorithm)에 의해 스스로 적응하여 변환된다. 따라서 자동 전송률 제어 알고리즘은 무선랜 전체 시스템 성능에 매우 큰 영향을 끼친다. 그러므로 본 논문에서는 자동 전송률 제어 알고리즘, 특히 ARF(Auto Rate Fallback) 방식의 자동 전송률 제어 알고리즘이 무선랜의 성능에 미치는 영향을 측정하고 그 결과를 분석해 본다. 분석 결과, ARF 방식의 자동 전송률 제어 알고리즘은 노드의 위치로 인한 신호 잡음에 효과적으로 잘 동작하는 모습을 보여 주었다. 하지만 ARF 방식은 여러 개의 노드가 무선채널을 얻기 위해 경쟁할 때, 신호의 충돌로 인한 패킷의 손실에 대해 적절히 대처하지 못해, 무선랜 전체 시스템 성능의 심각한 저하를 가져올 수 있었다. 그리고 TCP 프로토콜은 활성 노드 수의 증가를 제한해서 ARF에 의한 성능 저하를 막을 수 있다. 하지만 멀티미디어 데이터 전송과 같은 특정 응용프로그램은 UDP 프로토콜을 사용한다. 따라서 TCP 프로토콜은 모든 무선랜 응용프로그램을 위한 최적의 해결책이 될 수 없다.

키워드 :

Analysis of WLAN Performance Depending on ARF Scheme with TCP and UDP Protocols

Namgi Kim[†] · Min Lee^{*} · Hyunsoo Yoon^{***}

ABSTRACT

The IEEE 802.11b WLAN supports multiple transmission rates and the rate is chosen in an adaptive manner by an auto rate control algorithm. This auto rate control algorithm deeply affects the total system performance of the IEEE 802.11b WLAN. In this paper, we examine the WLAN performance with regard to the auto rate control algorithm, especially the ARF scheme. The experimental results indicate that the ARF scheme works well in the face of signal noise due to node location. However, the ARF scheme severely degrades system performance when multiple nodes contend to obtain the wireless channel and the packet is lost due to signal collision. In addition, TCP prevent the performance degradation due to ARF scheme by retaining number of active nodes. However, some applications, such as transporting multimedia data, adopt the UDP. Therefore, the TCP cannot be an optimal solution for all WLAN applications.

Key Words : Wireless LAN, IEEE 802.11b, Auto Rate Control Algorithm, ARF

1. 서 론

최근 무선랜 시장은 크게 성장했으며 무선기기의 무선통신을 위한 기술로 널리 사용되고 있다. 무선랜은 빠르게 유선 인터넷과 통합되어 왔으며 사무실이나 대학, 심지어 공공장소에까지 쓰이고 있다. 이런 추세에 따라 서로 다른 물리 주파수 대역(frequency band), 변조(modulation), 채널 코딩 방식에 기반한 다양한 무선랜 기술들이 제안되고 구현되었다. 특

히, IEEE 802.11b 표준 [1] 기반의 무선랜 기술은 오늘날 세계 시장에서 가장 널리 사용되고 있는 기술이다. 현재 IEEE 802.11b 표준 보다 나은 성능을 가지는 IEEE 802.11a [2] 와 IEEE 802.11g [3] 표준 기반 무선랜 제품도 시장에 출시되고 있기는 하지만, 이미 IEEE 802.11b 표준 기반의 무선랜 장비들이 다양한 곳에 많이 배치되어 있기 때문에 IEEE 802.11b 표준 기반 무선랜 기술은 당분간 무선 네트워크 분야에서 매우 중요한 역할을 할 것이다.

유선랜과 달리 무선랜에서의 무선 채널 상태는 시간과 공간에 따라 동적으로 변화한다. 이런 가변적인 채널 상태를 다루기 위해서 IEEE 802.11b 무선랜 표준은 여러 개의 전송률을 제공하여 무선 라디오 신호의 변화(diversity)에도 불구하고

[†] 정 회 원 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원

^{**} 비 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과

^{***} 정 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과 교수

논문접수 : 2005년 1월 6일, 심사완료 : 2005년 4월 4일

고 시스템 성능을 최대화할 수 있게 하였다. 그래서 다중 전송률(multiple transmission rate) 방식은 IEEE 802.11a, 802.11g 표준에서도 전송률 값만 바뀌어 그대로 사용된다. 무선랜에서 전송률은 무선 채널의 상태에 따라 적응적으로 선택되어야 한다. 일반적으로 IEEE 기반 무선랜 제품들은 전송률을 지난 전송에서의 결과들에 기반해서 자동적으로 변화시키는데, 이러한 자동 전송률 제어(auto rate control) 알고리즘은 무선랜 성능에 크게 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11b 표준 기반 제품들을 이용해 다양한 전송률에 따른 무선랜 성능을 측정하고 자동 전송률 제어 알고리즘의 효과를 분석한다.

2. IEEE 802.11b 표준 기반 무선랜

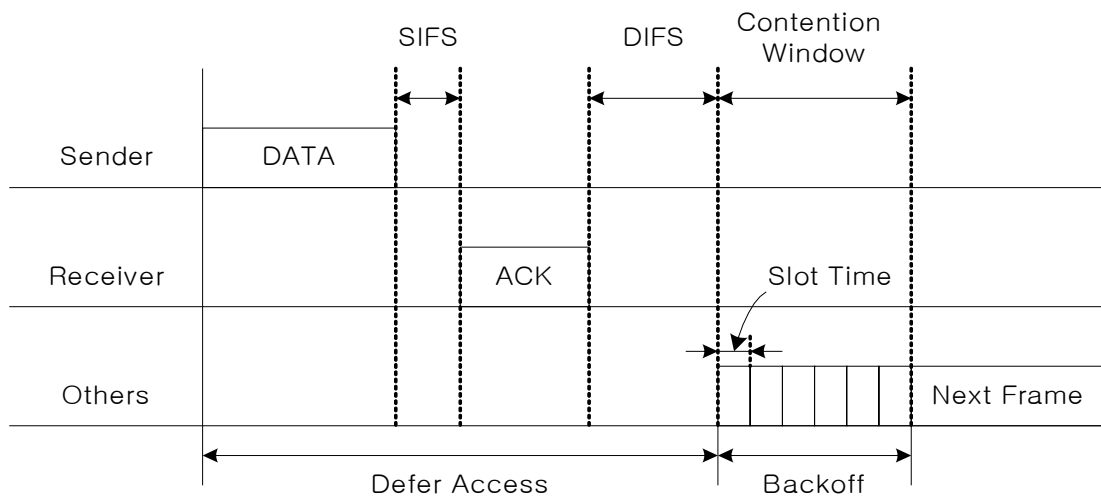
IEEE 802.11 무선랜 표준 [4]는 단일 MAC(Medium Access Control) 표준과 몇 개의 서로 다른 PHY(Physical Layer) 표준 명세(specification)들을 정의하고 있다. MAC 명세는 유선 네트워크 백본(backbone)과의 프레임링 작업(framing operation)과 상호작용, 그리고 다른 물리계층과의 상호연동(interoperation)을 다룬다. 그리고 PHY 명세는 무선 특성(radio characteristics) 및 변조, 에러 교정 코드, 물리계층 통합(convergence), 그리고 물리 신호와 관련된 문제들을 다룬다. IEEE 802.11b 표준 명세는 IEEE 802.11 무선랜 표준 명세 내에서 특정 PHY에 대한 명세에 해당한다.

IEEE 802.11 무선랜 표준에서는 MAC 프로토콜에서 공유되는 무선 매체에 대한 공정한 접근을 위해 두 개의 다른 접근 방식(access method)을 제공하는데, PCF(Point Coordination Function) 접근 방식과 DCF(Distributed Coordination Function) 접근 방식이 그것이다. PCF 접근 방식은 공유 무선 매체(media)에 대해 경쟁 없는 접근을 제공하는 반면, DCF 접근 방식은 경쟁을 기반으로 한 접근을 제공한다. PCF 접근 방식은 AP(Access Point)와 같은 포인트 조정자(point coord-

inator)의 중재를 통해 시간 제약적인 서비스를 제공하기 위해 제안되었다. 하지만 PCF 방식은 선택적인(optional) 접근 방식으로, 현재 사용되는 무선랜 장비들 대부분이 이 방식을 제공하지 않는다. 따라서 대부분의 무선랜 장비들은 IEEE 802.11 무선랜 표준에서 필수적인 MAC 접근 방식인 DCF 방식만을 제공하고 있다. 그러므로 본 논문에서도 IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 매체 접근 방식 중 DCF 접근 방식만을 고려한다.

IEEE 802.11 무선랜 표준에는 다른 주파수 대역 및 변조, 채널 코딩 방식을 채용한 다양한 PHY 명세들이 각각 다중 전송률들을 제공하고 있다. 802.11b PHY [1] 명세는 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역에서 1Mbps에서 11Mbps에 이르는 전송률을 제공한다. 그리고 802.11a PHY [2] 명세는 5 GHz U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure) 주파수 대역에서 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법을 사용해 6Mbps에서 54Mbps에 이르는 8개의 서로 다른 전송률들을 제공한다. 또 802.11g PHY [3] 명세는 OFDM 기법을 2.4 GHz ISM 대역에서 사용해서 802.11a와 같은 다중 전송률을 제공하면서도, 저 주파수 대역에서 동작하기 때문에 802.11a 보다 더 넓은 범위를 커버하는 장점을 지니고 있다.

현재, 802.11a PHY 명세나 802.11g PHY 명세에 기반한 무선랜 장비들이 소비자 시장에 제품화하여 하나씩 상용화하고 있다. 특히 802.11g PHY 기반의 장비들은 802.11b PHY 기반 제품들과 호환이 되기 때문에 앞으로 다가오는 무선랜 시장에서 가장 널리 쓰이는 제품들은 여전히 802.11b PHY 명세에 기반한 제품들이기에 IEEE 802.11b PHY 기반 표준 명세도 무선랜 시장에서 당분간 매우 중요한 역할을 할 것이다. 그리고 무선랜 시장이 IEEE 802.11g PHY 명세 기반으로 진화할 지라도 다중 전송률은 그 값과 범위만 달라질 뿐, 그 내용은 본질적으로 변화하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 802.11b 명세 기반의 무선랜 제품을 이용하여 실험을



(그림 1) IEEE 802.11 MAC DCF 방식에서의 CSMA/CA 프로토콜

수행 하였으며, 그 결과는 자동 전송률 제어 알고리즘이 크게 바뀌지 않는 한 802.11g PHY 명세 기반 무선랜 장비에서도 변함이 없을 것으로 예상된다.

2.1 IEEE 802.11 MAC DCF 접근 방식

IEEE 802.11 MAC DCF 접근 방식은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 알고리즘에 기반하고 있으며 기본동작은 (그림 1)과 같다. (그림 1)에서 노드가 데이터를 보낼 준비가 되면 먼저 채널을 감지해 본다. 만일 채널이 DIFS(Distributed Inter Frame Space)시간 이상 동안 유휴(idle) 상태라면 송신 노드는 프레임 전송한다. 프레임이 정확히 받아지면, 수신자는 SIFS(Short Inter Frame Space) 시간 후에 ACK 프레임을 보낸다. 하지만 만약 채널이 점유(busy) 상태라면 노드는 채널이 유휴상태가 될 때까지 기다리고 다시 DIFS 시간만큼 기다린다. 이어서 지수 증가 경쟁 윈도우(exponential contention window)에 따라 선택된 무작위 백 오프 타이머(back off timer)를 만들게 되고 이 타이머는 채널이 유휴 상태일 동안 단조 감소하게 된다. 그리고 전송 지연된 노드는 백 오프 타이머의 시간이 영이 되면 DIFS 만큼 기다린 후에 프레임을 전송한다. 이렇게 백 오프 타이머에 의해 DCF 접근 방식은 경쟁 기반으로 노드들에게 채널을 공정하게 분배한다.

2.2 IEEE 802.11b PHY

IEEE 802.11b PHY는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 변조를 기반으로 한다. 802.11b PHY는 2.4 GHz ISM 주파수 대역에서 물리적으로 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps, 이렇게 네 개의 전송률을 제공하고 있다. 1M와 2Mbps는 각각 BPSK (Binary Phase Shift Keying)과 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 방식을 사용하며 11-bit Barker chipping sequence를 이용해 인코딩 된다. 5.5M와 11Mbps에서는 CCK(Complementary Code Keying) 방식을 사용하고 워드(word) 당 각각 4비트(bit)와 8비트씩 인코딩 한다. <표 1>은 IEEE 802.11b 무선랜의 물리적 매개변수(parameter)들을 요약하여 보여 주고 있다.

<표 1> IEEE 802.11b HR/DSSS PHY 매개변수

Parameter	Value
Slot Time	20 usec
SIFS Time	10 usec
DIFS Time	50 usec
CWmin	31 slots
CWmax	1023 slots
PLCP Preamble	144 usec (Long, default) 72 usec (Short, optional)
PLCP header	48 bits

2.3 자동 전송률 제어 알고리즘

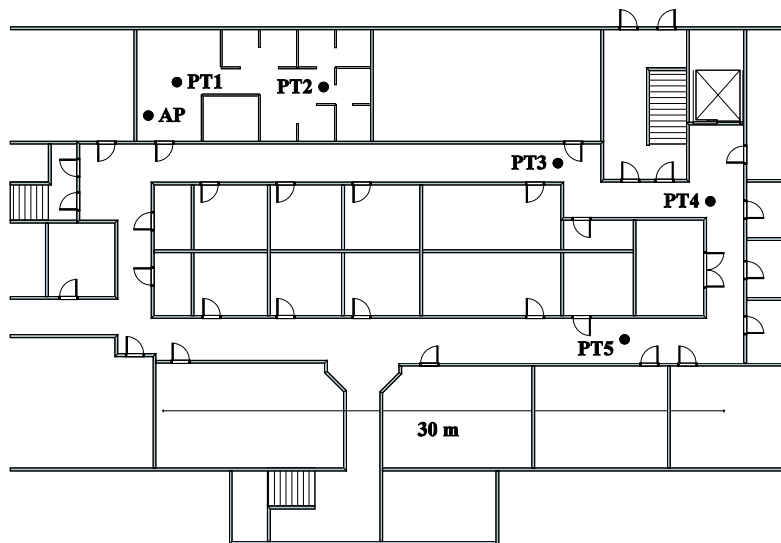
앞서 언급한 바와 같이, IEEE 802.11 무선랜 표준은 여러 개의 전송률을 지원한다. 하지만 표준에서는 어떻게 무선 채널의 상태에 따라 전송률을 변화시킬지, 즉 어떠한 자동 전송률 제어 알고리즘을 사용해야 하는지에 대해서는 명시하지 않고 있다. 따라서 현재 무선랜 연구 분야에서는 여러 가지 자동 전송률 제어 알고리즘들이 제안되고 구현되어 지고 있다 [14, 15, 16]. 하지만 대부분의 802.11b 표준 기반 제품들은 ARF(Auto Rate Fallback) 방식 [5]의 자동 전송률 제어 알고리즘을 사용하고 있다. ARF 자동 전송률 제어 방식에서는 MAC 계층에서 패킷 전송이 계속적으로 실패해서 그 결과 수신자로부터의 ACK가 연속적으로 오지 못할 때 전송률을 한 단계 낮은 값으로 떨어뜨린다. 그러다 다시 패킷 전송을 연속적으로 성공하면 전송률을 그 다음으로 높은 값으로 상승시킨다. ARF 방식은 간단하고 구현하기 쉽다. 그래서 많은 제품에서 널리 사용되고 있다. 하지만 구현의 단순성으로 인해 무선랜 성능을 크게 떨어뜨리는 결과를 가져 올 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 무선랜 제품을 이용한 실험을 통해 ARF 방식이 무선랜 성능에 미치는 영향을 분석해 본다.

3. 가변 전송률에 따른 무선랜 성능

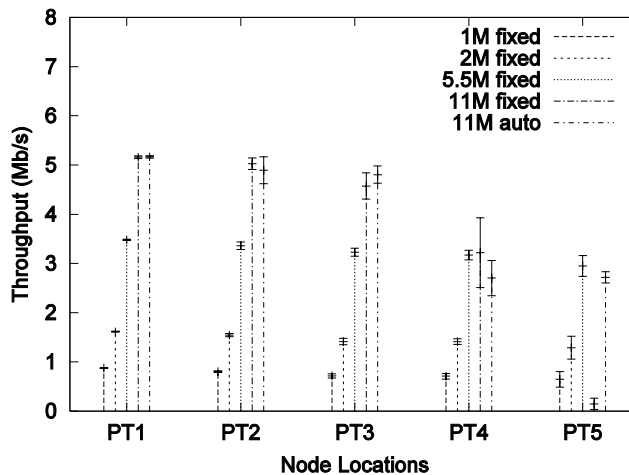
본 논문에서는 무선랜의 성능을 측정하기 위해서 IEEE 802.11b 표준 기반의 실제 무선랜 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 무선랜 장비는 Enterasys사의 RoamAbout 802.11b 제품군 [6]이다. 이 장비는 Agere사의 WLAN 칩셋 [7]을 채용하고 있으며 자동 전송률 제어 알고리즘으로는 앞서 언급한 ARF 방식을 채용하고 있다. Enterasys사의 ARF 방식은 데이터 프레임 전송을 연속적으로 두 번 이상 실패하면 전송률을 한 단계 떨어뜨리고, 데이터 프레임 전송을 연이어 다섯 번 이상 성공하면 전송률을 한 단계 올린다. 그리고 대부분의 무선랜 제품들과 마찬가지로, Enterasys사의 무선랜 카드는 오직 경쟁기반의 DCF MAC 접근방식만을 지원한다. 또 많은 무선랜 제품의 기본 설정처럼 본 실험에서는 CTS/RTS 메커니즘을 사용하지 않는다. 그리고 무선 노드로서, 4개의 노트북 컴퓨터와 15개의 iPAQ PDA들을 사용했다. 노트북 컴퓨터에는 RedHat Linux (kernel version 2.4.7-10) [8]가 설치되어 있으며, PDA에는 LinuxGPE (kernel version 0.7.2) [9]가 설치되어 있다. 실험은 건물 안에서 수행되었으며, 한 층마다 많은 사무실들과 긴 복도를 가지고 있다. 각 실험에서 무선 노드들은 무선랜 AP(Access Point)를 통해서 유선 노드들로 자료를 보내고 받는다. 이 때 전송한 패킷의 크기는 1KByte이며 각 실험은 300초 이상 지속하였다.

3.1 노드 위치에 따른 성능 평가

첫번째 실험으로 하나의 무선 노드를 이용해 서로 다른 위치에서의 무선랜의 성능을 측정해 보았다. (그림 2)는 AP와 무선 노드의 위치를 보여 준다. 무선 노드는 순차적으로 PT1에서 PT5까지 위치한다. PT1과 PT2는 AP와 같은 방에 있



(그림 2) 무선 노드와 AP의 위치



(그림 3) 노드의 위치에 따른 성능 처리량

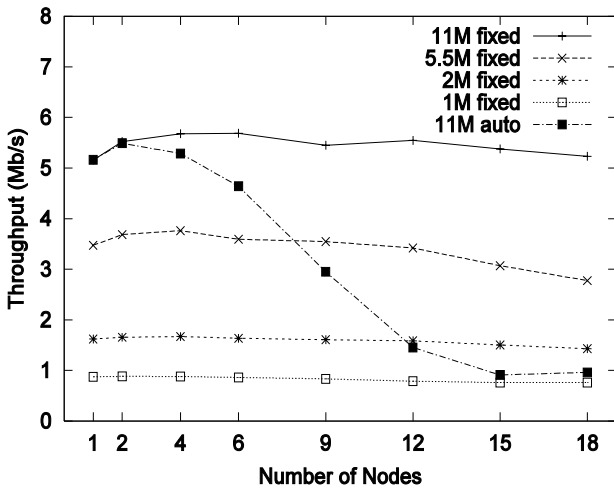
으며 PT3, PT4, PT5의 위치는 방 밖 복도에 위치해 있다. 이 실험에서 무선 노드는 CBR(Constant Bit Rate) 데이터를 UDP 프로토콜을 이용해, AP를 거쳐 유선 노드로 전송한다. 각 실험에서 생성된 트래픽은 6.5Mb/s이다. 이 실험에서는 오직 한 무선 노드만 고정된 AP로 데이터를 전송하기 때문에 신호 품질에 있어서 무선 노드의 위치에 따른 신호 잡음이 가장 중요한 요소가 된다.

(그림 3)은 노드 위치에 따른 종합 처리량(Aggregate Throughput) 결과를 보여 주고 있다. 그림에서 막대 그래프는 PT1에서 PT5까지의 각 위치에서 전송률에 따른 성능 처리량을 나타낸다. 그리고 에러 그래프는 관측된 처리량의 표준편차를 나타낸다. (그림 3)의 결과에서 알 수 있듯이 높은 고정 전송률들은 가까운 위치에서 좋은 성능과 작은 편차를 보인다. 하지만 AP와 무선 노드와의 거리가 멀어질수록 높은 전송률들은 신호 잡음으로 인해 처리량이 낮아지고 그 편차 또한 점점 커짐을 알 수 있다. 한편, 낮은 전송률들은 상대적으로 신호 잡음에 대해 강해 모든 위치에서 안정된 성능을 보여 준다. 하지만 낮은 전송률들은 가까운 거리에서 신호 품

질이 좋을 때 성능 처리량을 최대화하지 못하고 단점을 보여 주고 있다. 이에 반해 11M 자동 전송률은 고정된 전송률들과 비교해서 상대적으로 좋은 성능을 보인다. 11M 자동 전송률은 모든 장소에서 높은 처리량을 보고 그 편차 또한 낮다. 이것은 ARF 방식이 신호 잡음으로 인한 패킷 손실에 대해 적절히 잘 동작하기 때문이다. 따라서 한 노드가 무선랜을 이용해 데이터를 보내려 할 때, 경쟁이 없고 위치에 따른 신호잡음이 신호 품질에서 가장 중요한 요소가 된다면, ARF 방식을 채용하는 11M 자동 전송률은 어느 위치에서든 만족할 만한 성능을 낸다고 판단할 수 있다.

3.2 노드 수에 따른 성능 평가

이 실험에서는 무선랜 환경에서 무선 채널을 획득하고자 하는 노드가 여러 개 존재하여 노드 간에 경쟁이 있을 때의 성능을 평가하였다. 따라서 본 실험에서는 여러 개의 무선 노드가 CBR 데이터를 AP를 통해 유선 노드로 동시에 전송한다. 무선 노드들은 같은 장소에 놓여있고 무선 채널을 얻기 위해 서로 경쟁하게 된다. 그리고 이 때 전송하는 총 트래픽



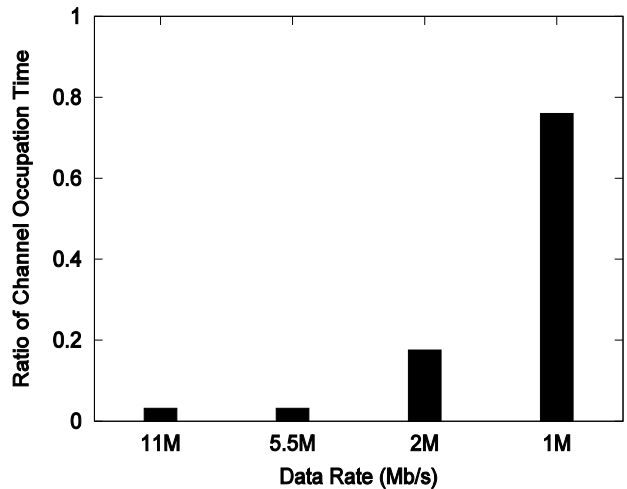
(그림 4) 무선 노드간 경쟁 상태에 따른 성능 처리량

량은 6.5Mb/s이며 노드 수는 점차적으로 증가한다.

(그림 4)은 경쟁 노드 수에 따라 각 전송률이 보여 준 무선랜 시스템의 총 성능 처리량을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 고정 전송률들은 무선 노드의 수에 의해서 거의 영향을 받지 않으며, 경쟁하는 노드의 수와 성과는 큰 연관이 없음을 알 수 있었다. 하지만 11M 자동 전송률의 경우, 노드의 수가 증가함에 따라 시스템 처리량이 심각하게 저하됨을 알 수 있었다. 특히 무선 노드가 15 이상이 되면 11M 자동 전송률의 처리량은 고정 1M 전송률의 처리량과 거의 같아짐을 알 수 있었다.

이 현상을 분석하기 위해 본 연구에서는 무선 채널 상에서 전송되는 실제 무선 데이터 프레임 포획(capture)하여 분석해 보았다. 무선 데이터 프레임 포획을 위해서는 Airopeek tool [10]을 사용하였다. 그리고 모아진 데이터 프레임 정보를 이용해 자동 전송률을 사용할 경우 각 전송률이 무선 채널을 점유하는 상태를 살펴 보았다. (그림 5)은 18 개의 무선 노드가 서로 전송을 위해 경쟁하고 있고 모두 11M 자동 전송률을 사용할 때, 각 전송률의 채널의 점유도를 시간 비율로 나타낸 것이다. 이 결과를 살펴 보면 AP에서 무선 노드까지의 거리가 가까우면서도 불구하고, 가장 낮은 전송률인 1M가 가장 많은 시간 동안 채널을 점유하며 그 다음으로 낮은 전송률인 5.5M가 그 두 번째를 차지함을 알 수 있었다. 따라서 긴 시간 동안 채널을 차지하고 있는 낮은 전송률들 때문에 11M 자동 전송률의 성능이 심각하게 저하된다는 것을 유추할 수 있었다.

분석 결과에 따르면 무선 구간 거리에 대해서 적응적으로 잘 동작하는 ARF 자동 전송률 방식이 경쟁하는 노드가 많은 경우에는 잘 동작하지 않음을 알 수 있었다. 이는 노드들이 802.11 DCF MAC 프로토콜에 따라 무선 채널을 얻고자 경쟁할 때 노드의 수가 증가할 수록 패킷이 충돌(collision)로 인해 손실되는 패킷이 증가하는데, 이러한 패킷 손실은 ARF 방식에서 신호 품질이 좋음에도 불구하고 전송률을 떨어뜨리는 오동작을 야기시키기 때문이다. 게다가 이러한 패킷 손실은 일시적인 통신 장애로 인해 떨어진 전송률을 빠르게 회복



(그림 5) 무선 노드가 18개 일 때 11M 자동 전송률에 따른 채널 점유도

시키는 데도 걸림돌이 된다. 따라서 노드 간 경쟁이 심할 때 그리고 그 결과 신호 충돌로 인한 패킷 손실이 자주 일어나게 될 경우, ARF 자동 전송률 방식에 기반한 전송률 제어 알고리즘은 심각한 문제점을 안고 있음을 알 수 있다.

3.3 TCP 프로토콜 상에서의 성능 평가

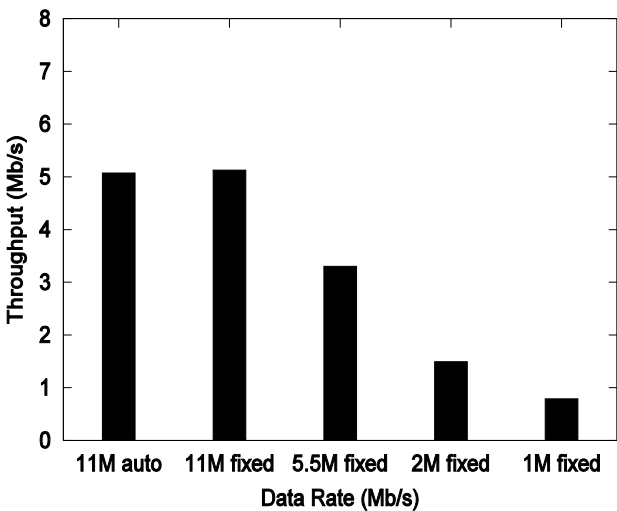
세 번째 실험에서는 노드 간 경쟁이 있는 상태에서 TCP 프로토콜 상에서의 무선랜 성능을 평가하고 분석해 보았다. 본 실험을 위해 유선 노드들은 AP를 통해 18 개의 무선 노드로 TCP 데이터를 전송했다. TCP는 쌍방향 프로토콜이므로 무선 노드들은 TCP ACK 패킷을 유선 노드들에게 전송하기 위해서 무선 채널을 얻으려 경쟁하게 된다. 그리고 나머지 실험 설정들은 앞서 보여준 UDP 프로토콜을 이용한 성능 실험과 동일하게 설정 하였다.

(그림 6)는 18 개의 무선 노드가 서로 경쟁할 때 다른 전송률들에 대한 TCP 성능 처리량 결과를 보여 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 고정된 전송률들의 처리량은 이전 UDP 프로토콜을 이용한 실험의 결과와 비슷하였다. 하지만 11M 자동 전송률의 처리량은 이전 결과와 사뭇 다르게 나타났다. 즉, 11M 자동 전송률의 성능이 이전 UDP 프로토콜 상에서의 실험에서처럼 크게 저하되지 않고 11M 고정 전송률과 거의 같게 나온 것이다. 이는 18 개의 무선 노드가 채널을 얻기 위해 경쟁하고 있음에도 불구하고 TCP 프로토콜 상에서는 경쟁 노드의 개수에 관계없이 성능이 저하되지 않는다는 것을 의미한다.

이 현상을 분석하기 위해 다시 Airopeek tool을 이용해 무선 프레임을 포획하고 그 데이터를 분석해 보았다. 분석에서는 무선 프레임 중에서 동시에 TCP ACK 패킷을 보내기 위해 경쟁을 기반으로 채널을 얻으려고 하는 활성 노드(active node)의 수를 계산해 보았다. 즉, 활성 노드란 채널을 얻기 위해 경쟁에 참여하는 실질적인 노드의 수가 된다. 그래서 무선 프레임 트레이스(trace)에서 AP가 TCP DATA 패킷을 무선 노드로 전송했는데 아직 TCP ACK 패킷을 보내지

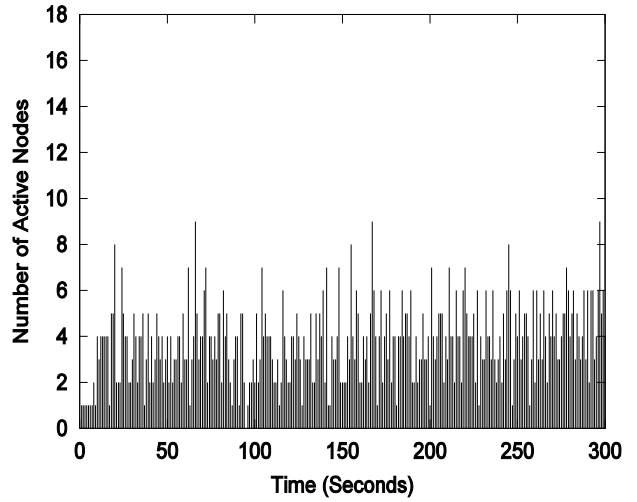
많은 무선 노드를 활성 노드라 보고 그 수를 분석해 보았다. 물론 TCP 프로토콜은 가환적(commutative) ACK 방식을 채용하고 있기 때문에 이 값은 엄밀하게 따지자면 정확한 활성 노드 숫자보다 아주 조금 클 수 있다. 하지만 ARF 방식에 대한 TCP 프로토콜의 영향을 설명하기 위해서는 전혀 문제가 되지 않는다. (그림 7)은 18 개의 무선 노드들이 11M 자동 전송률을 사용할 때 초당 활성 노드들의 수를 보여 준다. 그 결과 활성 노드의 평균수는 3.64 이고, 이것은 실제 무선 노드 수보다 무척 작은 값이다. 더구나 가환적 TCP ACK 방식의 특성을 고려하면 실제 활성 노드의 수는 이보다 더 작아지게 된다. 따라서 이를 통해 우리는 무선랜 상에서 TCP 프로토콜을 사용하면 노드간 채널 경쟁으로 인한 패킷 충돌 손실이 줄어 들어서 11M 자동 전송률의 성능이 저하되지 않았음을 유추할 수 있다.

본 실험을 통해 TCP 프로토콜은 그 메커니즘 내에 이미 전송률 제어 알고리즘을 채용하고 있어서 노드간 경쟁의 정도를 감소시킬 수 있었다. 즉, TCP ACK 패킷은 TCP DATA 패킷을 성공적으로 전송해야만 생성될 수 있고, TCP DATA 패킷 또한 성공적으로 TCP ACK 패킷을 전송해야만 다시 보내어 질 수 있다. 그러므로 무선 노드는 AP로부터 TCP DATA 패킷을 받기 이전에는 채널 경쟁에 참여할 수가 없다. 그리고 AP 역시 무선 노드가 TCP ACK 패킷을 AP로 보내주기 이전에는 다음 TCP DATA 패킷을 보낼 수가 없다. 따라서 IEEE 802.11 무선랜에서 경쟁 기반의 DCF 접근 방법이 공정하게 모든 노드들에게 무선 채널을 분배하는 이상, AP가 연속적으로 서로 다른 무선 노드에서 TCP DATA 패킷을 우선적으로 전송하여 활성 노드가 증가되는 일은 발생하지 않는다. 그러므로 트래픽이 TCP에 의해서 제어될 때는 경쟁하는 노드의 수는 실제 노드의 수보다 작게 유지되는 것이다.



(그림 6) 18 개의 무선 노드 상에서 TCP 성능 처리량

이 실험은 AP쪽에서 무선 노드에서 TCP DATA 패킷을 보내고 무선 노드는 TCP ACK 패킷을 보내는 환경에서 수



(그림 7) 18개의 무선 노드와 TCP 프로토콜 상에서 활성 노드의 수

행 되어 졌다. 반대로 무선 노드들이 AP에게 TCP DATA 패킷을 보내도 AP 뒤에 있는 유선 노드들이 AP를 통해 무선 노드들에게 TCP ACK 패킷을 보내는 실험도 수행하였는데 그 결과도 이 실험과 유사하였다. 이것은 TCP 프로토콜이 TCP DATA 패킷을 AP를 통해서 유선 노드로 보내려는 무선 노드들의 경쟁을 같은 이유로 제어하기 때문이다.

4. 결론 및 토의

IEEE 802.11 무선랜 표준은 환경에 따라 전송률을 선택해서 사용할 수 있도록 규정하고 있고 모든 자동 전송률 제어 알고리즘은 현재의 무선 채널 상태를 기반으로 최적의 전송률을 선택하려고 노력한다. 현재 IEEE 802.11b 무선랜 장비들에서 가장 널리 쓰이는 자동 전송률 제어 알고리즘은 ARF 방식이다. ARF 방식은 이전 프레임 전송의 성공과 실패에 기반해서 전송률을 변화시킨다. 이 메커니즘은 채널의 상태가 노드의 위치에 따른 신호 잡음에 의해서 좌우되고 소수의 무선 노드가 존재할 때 좋은 성능을 보여 줌을 본 연구에서 실험을 통해 밝혀 냈다. 하지만 많은 노드가 채널 경쟁을 하며 데이터를 보내고, 어느 정도 이상의 패킷들이 신호 충돌에 의해 손실되는 환경에서는 ARF 방식이 제대로 동작하지 않음도 본 연구를 통해서 알 수 있었다. 충돌로 인한 패킷 손실은 ARF 방식이 전송률을 부정확하게 제어하도록 만들고 최적의 전송률로 복귀하는 시간을 지연시키게 된다. 이것은 ARF 자동 전송률 제어 방식이 신호 잡음과 신호 충돌을 구분하지 못하기 때문에 발생하는 문제이다.

노드간 채널 경쟁 상황에서 ARF 방식의 부적절한 전송률 제어는 TCP 같은 프로토콜에 의해 완화될 수 있다. TCP는 TCP ACK 패킷에 기반한 전송률 제어 메커니즘을 가지기 때문에 확률적으로 공정한 DCF 매체 접근 방법을 사용하는 무선랜 환경에서는 실제로 경쟁하는 노드들의 수를 감소시키게 된다. 하지만 TCP 프로토콜은 모든 무선랜 응용프로그램

에서 사용될 수 없다. VoIP(Voice over IP)이나 멀티미디어 데이터와 같은 실시간 데이터들은 모두 TCP 대신 UDP 프로토콜을 사용한다. 따라서 TCP 프로토콜은 모든 무선랜 응용 프로그램에 대해 최적의 해결책이 될 수 없다.

IEEE 802.11b 무선랜에서의 가변적 전송률에 따른 성능 이상(abnormality) 현상은 최근 몇 논문들에서 언급되기 시작했다 [11, 12]. M. Heusse et al. [11] 은 여러 전송률에 따른 성능 이상 현상 (anomalies) 을 관측하고 논문에서 언급하였다. 그들은 몇몇의 무선 노드들이 다른 무선 노드들보다 낮은 전송률을 사용하면 전체 무선랜 시스템의 성능이 상당히 떨어진다라는 것을 발견하고 이를 지적하였다. 하지만 그들은 단지 시스템 성능과 혼합된 전송률 사이의 관계만을 언급하였을 뿐 자동 전송률 제어 알고리즘이나 TCP 프로토콜의 효과 등을 고려하지는 않았다. [12]에서 저자들은 자동 전송률 제어 알고리즘이 시스템 성능을 떨어뜨릴 수 있다고 적고 있으며 멀티미디어 프로그램에서는 이러한 자동 전송률 제어 알고리즘을 사용해서는 안 된다는 지적을 하였다. 하지만 그들 역시 왜 ARF 방식과 같은 자동 전송률 제어 알고리즘이 전체 무선랜 시스템 성능을 떨어뜨리는지에 대해 심도 있게 연구하지 않았으며 그 이유도 밝혀 내지 못했다.

2003년 새롭게 제안된 SNR 기반 자동 전송률 제어 알고리즘 [13]은 이 ARF 방식에 대한 성능이상(abnormality)을 풀 수 있을지 모른다. SNR 방식의 자동 전송률 제어 알고리즘은 받은 패킷의 SNR 값에 기반해서 적응적으로 전송률을 바꾼다. 이 방법은 신호 잡음과 신호 충돌을 구분함으로써 경쟁하는 노드가 있는 무선랜 시스템 상에서의 성능 저하를 막을 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 SNR 기반의 전송률 제어 알고리즘은 아직 현실적으로 실용화되지 못하고 있다. 게다가 정확한 SNR 값을 얻는 방법이나 전송률과 SNR 값과의 실제적인 대칭 관계, 그리고 무선랜 트래픽의 상하 비대칭성과 같은 문제들을 먼저 풀어야 하는 어려움을 가지고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.11b 무선랜에서 가변적인 전송률에 따른 무선랜의 전체 성능을 평가해보고 이를 분석해 보았다. 특히, 실제 무선랜 환경에서 자동 전송률 제어 알고리즘의 효과를 평가해 보았고 왜 ARF 방식이 경쟁 노드가 있는 무선랜의 성능을 저하시키는지 그 원인을 밝혔다. 마지막으로 TCP 프로토콜과 자동 전송률 제어 알고리즘 간의 상관 관계도 밝혔다. 앞으로는 IEEE 802.11a와 802.11g와 같은 또 다른 무선랜 표준에서 제안되고 있는 전송률 제어 알고리즘들에 대해 연구해 볼 계획이다. 그리고 UDP 프로토콜을 사용하는 응용 프로그램에서도 경쟁 노드가 있는 무선랜의 성능을 저하시키지 않는 새로운 자동 전송 제어 알고리즘에 대해 연구해 볼 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.11b-1999, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band," Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, Sep., 1999.
- [2] IEEE Std 802.11a-1999, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer Extension in the 5GHz Band," Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, Sep., 1999.
- [3] IEEE Std 802.11g-2003, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band," Amendment to IEEE 802.11 Std, Jun., 2003.
- [4] IEEE Std 802.11, "Wireless LAN MEdium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," ANSI/IEEE 802.11 Std, Aug., 1999.
- [5] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II : A High-Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band," Bell Labs Technical Journal, pp.118-133, Summer, 1997.
- [6] <http://www.enterasys.com/>
- [7] <http://www.agere.com/>
- [8] <http://www.redhat.com/>
- [9] <http://www.handhelds.org/>
- [10] <http://www.wildpackets.com/>
- [11] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," In proceedings of IEEE INFOCOM'03, Mar., 2003.
- [12] P. Berthou, T. Gayraud, O. Alphand, C. Prudhommeaux, M. Diaz, "A Multimedia Architecture for 802.11b Networks," In proceedings of IEEE WCNC'03, Mar., 2003.
- [13] J. P. Pavon and S. Choi, "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement," In proceedings of IEEE ICC'03, May, 2003.
- [14] D. Qiao, S. Choi and K. G. Shin, "Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE 802.11a Wireless LANs," IEEE Transaction on Mobile Computing, Vol.1, No.4, pp.278-292, Oct./Dec., 2002.
- [15] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," In proceedings of ACM MOBICOM'01, pp.236-251, Jul., 2001.
- [16] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal and E. Knightly, "Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks," In proceedings of ACM MOIBCOM'02, Sep., 2002.

[1] IEEE Std 802.11b-1999, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)



김 남 기

e-mail : ngkim@camars.kaist.ac.kr
1997년 서강대학교 컴퓨터학과 학사.
2000년 한국과학기술원 전자전산학과 석사
2005년 한국과학기술원 전자전산학과 박사

2005년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원
관심분야: 컴퓨터 네트워크, 인터넷, 이동 통신, Adhoc망



윤 현 수

e-mail : hyoon@camars.kaist.ac.kr
1979년 서울대학교 전자공학과 학사
1981년 한국과학기술원 전산학과 석사
1981년~1984년 삼성전자 연구원
1988년 오하이오 주립대학 전산학 박사
1988년~1989년 AT&T Bell Labs. 연구원

1989년~현재 한국과학기술원 전산학과 교수
관심분야: Adhoc망, 암호학, 상호연결 네트워크, 병렬 컴퓨터



이 민

e-mail : mlee@camars.kaist.ac.kr
2004년 연세대학교 컴퓨터과학과 학사
2005년~현재 한국과학기술원 전산학과 재학

관심분야: 네트워크, 운영체제, 컴퓨터 아키텍처, 인공지능