IEEE 802.11e와 802.11b 표준이 혼재하는 이종환경에서의 불공평 문제 성능 분석

임 유 진†

요 약

IEEE 802.11기반 무선 랜은 가정과 사무실 환경에서 무선 연결 서비스를 제공하는 대표적인 기술이다. 최근 들어 HDTV나 화상회의 또는 VoIP와 같은 실시간 멀티미디어 서비스들에 대한 요구가 증가함에 따라 이를 뒷받침하기 위한 QoS (Quality of Service) 지원 메커니즘인 IEEE 802.11e가 제안되었다. 본 논문에서는 IEEE 802.11e 기술이 확산되면서 발생할 수 있는 IEEE 802.11e와 IEEE 802.11b 기술의 혼재 상황에서의 불공평 문제에 대하여 다룬다.

Analysis on the Performance Unfairness Problem of the Heterogeneous Environment with IEEE 802.11b and 802.11e

Yujin Lim†

ABSTRACT

The IEEE 802.11 based wireless local area networks are candidates to lead the broadband connectivity in the home and office scenarios. Recently IEEE proposed the 802.11e as a new standard to provide appropriate Quality of Services to a plethora of emerging real-time multimedia and high demanding applications such as high definition movie and audio distribution, video-conference and voice over IP. This paper studies the IEEE 802.11e/IEEE 802.11b interactions focusing on potential unfairness problems that might appear in networks with heterogeneous wireless LAN technologies as well as in the IEEE 802.11e deployment phase.

키워드 : 무선 랜(Wireless LAN), IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, 서비스품질보장(QoS)

1. 서 론

작고, 값싸고 보다 강력한 휴대 컴퓨터의 확산은 무선 랜 시장을 급속도로 발전시키고 있다. 또한 컴퓨터가 전화, 게임기 또는 가전기기들과 인터넷 연결을 공유해서 사용해야 하는 가정환경에서의 광대역 무선 네트워킹에 대한 요구도 빠르게 증가하고 있다 [1]. 이러한 다양한 서비스를 제공해야 하는 가정의 홈 네트워크는 각 기기들의 지연시간, 지터(jitter), 대역폭, 또는 패킷 손실에 대한 다양한 요구사항을 지원해야 한다. 이를 위하여 차세대 무선 랜은 다음과 같은 조건들을 만족시켜야 한다.

1. 낮은 대역폭, 높은 대역폭, 버스트 (burst) 트래픽, 비동기 (asynchronous) 트래픽, 그리고 실시간 트래픽 등의 다양한 트래픽에 대한 지원
2. 증가하는 무선 멀티미디어 응용에 대한 충분한 대역폭 및 QoS 지원
3. 서로 다른 성능의 기기들을 효율적으로 지원하고, 사용자 만족을 최대화하기 위하여 기기들 사이의 효율적인 네트워크 공유 지원
4. 인터넷 연결을 위한 간편하고 효율적인 게이트웨이 (gateway) 지원
5. 간편한 설치를 위한 플러그 앤 플레이 (plug & play) 방식 지원

IEEE 802.11을 기반으로 한 현재의 WLAN은 위와 같은 조건들 중 일부만을 만족시킬 수 있으므로, IEEE 802.11 표준화 위원회에서는 높은 대역폭과 QoS를 지원할 수 있는 새로운 표준을 개발하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 다시 말해서 802.11g, 802.11a, 그리고 802.11n 워킹그룹은 높은 대역폭 지원을 위한 부분에, 802.11e 워킹그룹은 QoS 지원을 위한 연구에 그 초점을 맞추고 있다. 특히 802.11e 워킹그룹에서 진행되고 있는 연구는 현재의 IEEE 802.11 표준 또는 향후 표준을 대체하는 것이 아닌 확장시키는 방향으로 진행되고 있다. 기존의 많은 연구[2][3]들이 802.11e 표

† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 전임강사
논문접수 : 2004년 12월 16일, 심사완료 : 2005년 2월 14일

준 자체에 대한 성능 평가 및 802.11b와의 성능 비교에 초점이 맞추어 왔으며, 반면 두 가지 표준이 혼재하는 상황에서 발생할 수 있는 여러 가지 성능상의 이슈에 대해서는 아직까지 다루고 있지 않다. 본 논문은 IEEE 802.11b 기술이 이미 널리 사용되고 있는 상황에서 QoS 지원을 위한 새로운 표준인 IEEE 802.11e가 새롭게 사용되기 시작하면서 발생할 수 있는 두 기술의 혼재 환경(이후 이종 환경이라 지칭함)에서의 성능 및 불공평 문제에 초점을 맞춘다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.11b와 802.11e 기술을 설명하고, 3장에서는 두 기술이 혼재하는 이종환경에서 발생할 수 있는 문제점을 지적한다. 4장에서는 다양한 환경에서의 문제점을 실험 결과를 통해 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.11 개요

IEEE 802.11 [4][5]은 무선 랜 지원을 위한 물리계층(PHY)과 MAC계층을 정의한 표준이며, AP(Access Point)와 노트북이나 PDA와 같은 무선 스테이션의 두 가지 서로 다른 타입의 노드를 가진다. IEEE 802.11b 물리계층은 11 Mbps의 대역폭을 지원하기 위한 IEEE 802.11 물리 계층의 확장이다.

2.1 동작 모드

이들 표준은 Infrastructure 모드와 애드혹 모드의 두 가지 동작 모드를 지원한다

Infrastructure 모드는 BSS(Basic Service Set)와 ESS (Extended Service Set)로 구성되며, BSS는 하나의 AP와 해당 AP의 통신영역 내에 있는 스테이션들로 이루어진다. BSS내의 스테이션들은 AP를 통해서 통신한다. ESS는 하나 이상의 BSS가 모여 하나의 네트워크를 구성한 것이다.

애드혹 모드에서 각각의 스테이션들은 IBSS(Independent Basic Service Set)를 구성하여 AP와 같은 하부구조의 도움 없이도 다른 스테이션들과 직접 통신한다. 대부분의 무선랜이 infrastructure 모드를 사용한다 하더라도 애드혹 모드 또한 위급상황이나 전쟁 시에 신속하고 빠르게 네트워크 서비스를 제공할 수 있는 기술이다.

2.2 MAC 계층

IEEE 802.11 MAC 계층은 매체접근을 위한 두 가지 프로토콜, DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 정의한다. DCF는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 비동기 전송을 지원하며, PCF는 폴링을 기반으로 동기 전송 서비스를 제공한다. PCF는 infrastructure 모드에서만 동작한다.

2.2.1 DCF 모드

소스는 패킷을 전송하기 전에 전송채널을 센싱하여 링크가 적어도 DIFS(DCF Inter Frame Space)동안 사용 중이 아닐 때, RTS(Request To Send) 패킷을 전송하여 데이터 전송을 요청한다. 이를 수신한 목적지 스테이션은 SIFS(Short Inter Frame Space) 시간 이후에 CTS(Clear To Send) 패킷으로 응답한다. RTS 또는 CTS 패킷을 수신한 모든 스테이션들은 데이터 패킷 전송을 위해 요구되는 시간만큼 NAV (Network Allocation Vector)를 설정하여 이 기간 동안 패킷 전송을 연기한다. CTS를 수신한 소스는 SIFS를 기다린 후에 데이터 패킷 전송을 시작한다. 해당 데이터 패킷을 수신한 목적지 스테이션은 또한 SIFS를 기다린 후에 ACK 패킷을 소스에게 전송한다. 전송 오류나 패킷 손실로 인하여 데이터 패킷 전송이 실패한 경우에는 [0, CW(Contention Window)] 사이의 랜덤시간 동안 기다린 후 다시 전송을 시도한다 (백오프 시간, backoff time). 다시 말해서 DIFS동안 링크가 사용되지 않으면, 링크가 여전히 사용되지 않는 동안 매 시간슬롯마다 백오프 시간을 하나씩 감소시키며 백오프 시간이 0이 되면 패킷 재전송을 시작한다.

2.2.2 PCF 모드

AP는 PC(Point Coordinator)로써 자신의 전송범위 내의 모든 스테이션들에 대한 폴링 리스트를 관리한다. 각 스테이션들은 라운드 로빈(round-robin) 방식으로 하나씩 폴링된다. 폴링된 스테이션은 SIFS 이후 패킷 전송을 시작한다. IEEE 802.11b PCF는 DCF 모드와 함께 동작된다. PC에 의해 매체접근이 관리되는 기간을 CFP(Contention-Free Period)라고 하며 이 동안 DCF로 동작하는 스테이션들은 링크 접근이 금지된다. 그러나 IEEE 802.11 제품의 인증을 담당하는 Wi-Fi Alliance [6]는 상호운용시험에서 PCF 모드를 배제하였다.

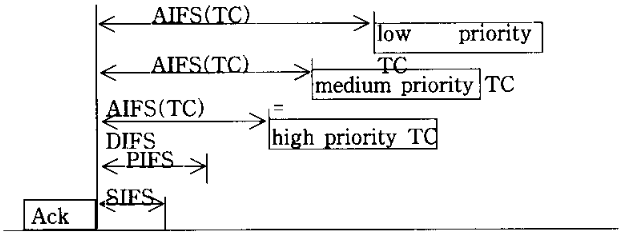
2.3 IEEE 802.11e

오늘날의 홈 멀티미디어 네트워크를 지원하기 위하여 IEEE 802.11 위원회 (그룹 e)는 현 표준의 QoS 확장판을 제안하였다. 이렇게 제안된 IEEE 802.11e 표준은 802.11e를 지원하는 AP와 스테이션들로 구성된 QBSS(QoS-supporting Basic Service Set)를 기반으로 동작하며, 기존의 DCF와 PCF를 확장한 EDCF(Enhanced Distributed Coordination function)와 HCF(Hybrid Coordination Function)의 두 가지 동작 모드를 가진다.

2.3.1 EDCF 모드

EDCF 모드는 트래픽 타입에 따른 AC(Access Category)를 기반으로 서로 다른 CW(Contention Window) 사용을 통한 QoS(Quality of Service)를 지원한다. Best-effort, video probe, video, voice 등의 8가지 트래픽 클래스 즉, AC에 따라 정해지는 최소, 최대 CW [CW_{min}, CW_{max}]는 랜덤 백오프 시간을 결정한다. 높은 우선순위를 가진 클래스 일수록 더 작은 CW를 가진다. 앞서 설명한 DIFS 대신 AC에 따라 서로 다른 값을 가지는 AIFS(Arbitration Inter Frame Space)를 사용한다. (그림 1)에서 보는 바와 같이 높은 우선순위를

가진 클래스 일수록 더 작은 AIFS 값을 가진다.



(그림 1) 트래픽 클래스에 따른 IFS

일단 한 스테이션이 전송 채널 접근 권한을 가지게 되면 하나 이상의 패킷(최대 TxOpLimit, Transmission opportunity Limit까지 허용)을 연속해서 전송할 수 있게 함으로써 링크 사용률을 높여 성능 향상을 꾀한다 (Packet Burst 메커니즘). 한 스테이션이 연속된 패킷을 전송하는 동안 다른 스테이션의 패킷 전송을 금하기 위하여 packet burst 메커니즘은 일반적으로 사용되는 IFS(Inter Frame Space)보다 더 작은 IFS 값을 사용한다.

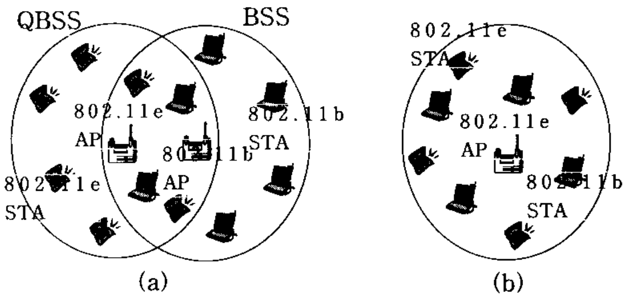
2.3.2 HCF 모드

HCF 모드는 EDCF 모드와 함께 동작하며, AP는 HC (Hybrid Coordinator)로써 DIFS나 AIFS보다 짧은 PIFS(Point Inter Frame Space)을 사용하여 전송채널을 획득한다. HCF는 EDCF 모드의 스테이션들과 함께 동작하는 CP(Contention Period)뿐만 아니라 CFP(Contention Free Period)에서도 동작 가능하다. CP동안 각 스테이션은 EDCF 모드에 따라 패킷 전송을 위한 전송채널 획득을 위하여 서로 경쟁하거나, 또는 HC로부터 QoS CF-Poll 패킷을 수신하여 채널을 획득할 수 있다. CFP동안 HC는 CF-Poll 패킷에 전송 시작 시간과 최대 전송 시간을 적어 해당 스테이션으로 전송함으로써 패킷 전송을 가능하게 한다.

3. 이종 환경에서 발생할 수 있는 문제점

IEEE 802.11e 표준은 트래픽 타입에 따라 서로 다른 CW와 IFS를 사용함으로써 QoS를 지원할 수 있도록 하였다. 최근의 실험 결과는 802.11e가 지연시간, 처리량, 지터, 그리고 패킷 손실 측면에서 802.11b보다 나은 성능을 가짐을 보이고 있다 [7][8]. 그러나 이러한 실험들은 전송 범위 내의 AP와 스테이션들이 모두 802.11e를 지원하는 동종 환경에서 이루어진 것이다. 본 논문에서는 802.11b를 지원하는 스테이션과 802.11e를 지원하는 스테이션이 같은 전송 범위 내에서 혼재하는 이종환경에서 발생할 수 있는 문제점을 다룬다.

초기에 IEEE 802.11e 제품이 사용되기 시작하면 다음과 같은 두 가지 시나리오를 고려해 볼 수 있다: a) 802.11e AP를 기반으로 동작하는 QBSS와 802.11b AP를 기반으로 동작하는 BSS가 근접한 전송 범위에 있을 경우(그림 2 (a)), b) 802.11e AP의 전송 범위 내에 802.11e 스테이션뿐만 아니라 802.11b 스테이션이 혼재하는 경우 (그림 2 (b)).



(그림 2) IEEE 802.11e의 배치 시나리오

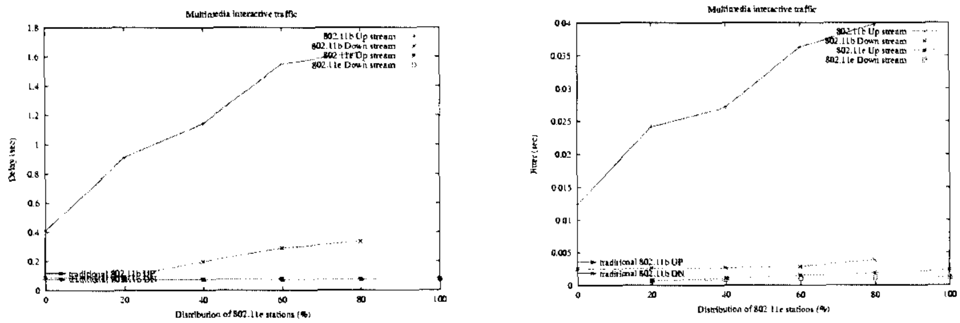
이종 환경 하에서 802.11e AP는 802.11b 스테이션 또는 802.11e 스테이션과 통신한다. AP에서 스테이션으로의 전송은 스테이션 타입에 상관없이 AP에 의하여 (IEEE 802.11e를 기반으로) 트래픽 타입에 따라 전송이 이루어 질 것이다. 반대로 스테이션에서 AP로의 전송은 802.11b 스테이션이 사용하는 CW와 IFS는 <표 1>에서와 같이 802.11e 스테이션이 사용하는 그것과 다르기 때문에 트래픽 타입이 같다 하더라도 스테이션 타입에 따라 전송채널 획득 확률이 달라지는 불공평 문제가 발생할 수 있다. 802.11e 스테이션이 전송하는 트래픽은 트래픽 타입에 상관없이 (best-effort 트래픽 일지라도) 802.11b 스테이션이 전송하는 트래픽에 비하여 높은 우선 순위를 가지게 된다. 다시 말해서 802.11b 스테이션이 전송하는 멀티미디어 트래픽이 802.11e 스테이션이 전송하는 best-effort 트래픽에 비하여 낮은 우선순위를 가지게 되며 이로 인하여 성능 저하가 발생할 수 있다.

〈표 1〉 트래픽 타입에 따른 DCF/EDCF 파라미터 값

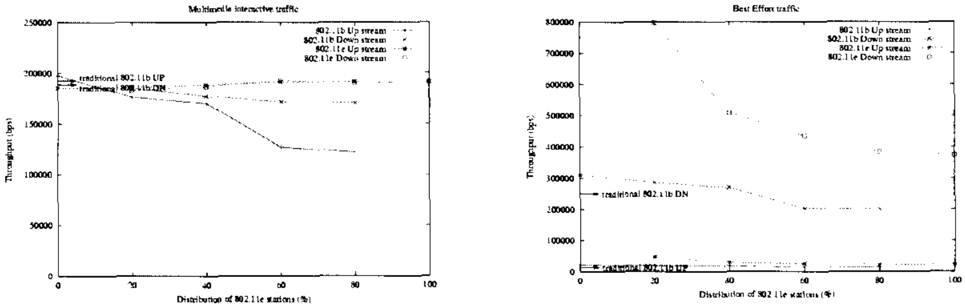
	AC 3 (Voice)	AC 2 (Video)	AC 1 (Video Probe)	AC 0 (Best Effort)	IEEE 802.11b
AIFS [slots]	1	1	1	2	2
*CW*min [slots]	3	7	15	15	31
*CW*mox [slots]	7	15	1023	1023	1023

4. 성능 평가

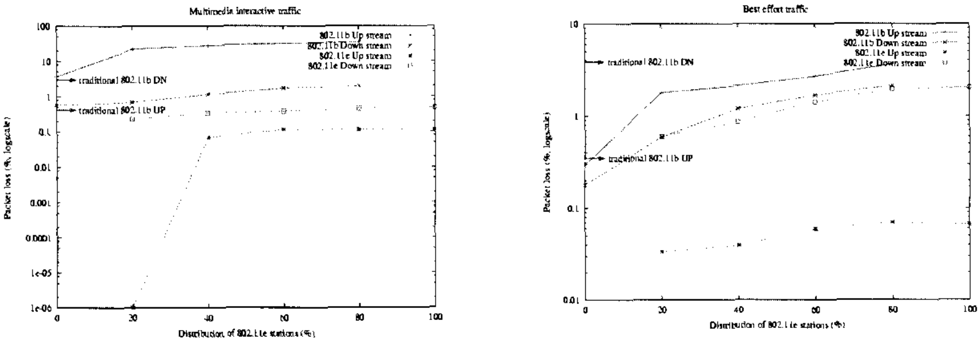
본 논문에서는 802.11b와 802.11e가 혼재된 이종 환경에서의 성능 평가를 위하여 ns-2(Network Simulator)를 사용하였다 [9]. 실험은 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 밴드에서 동작하면서 11Mbps의 대역폭을 가지는 IEEE 802.11b 물리계층에서 수행되었으며 실제 대역폭은 약 8Mbps정도이다. 라디오 전파모델로는 실내환경에서의 음영모델(shadow model)을 채택하였고, 두 가지 타입의 트래픽 즉, CBR과 FTP 트래픽이 각기 멀티미디어 트래픽과 best-effort 트래픽으로서 사용되었다. 멀티미디어 트래픽은 각 방향으로 200Kbps CBR로 생성되며, 네트워크 트래픽은 25%



(그림 3) 멀티미디어 트래픽에 대한 스테이션 비율에 따른 종단간 지연시간



(그림 4) 스테이션 비율에 따른 처리량



(a) (b)

(그림 5) 스테이션 비율에 따른 패킷 손실

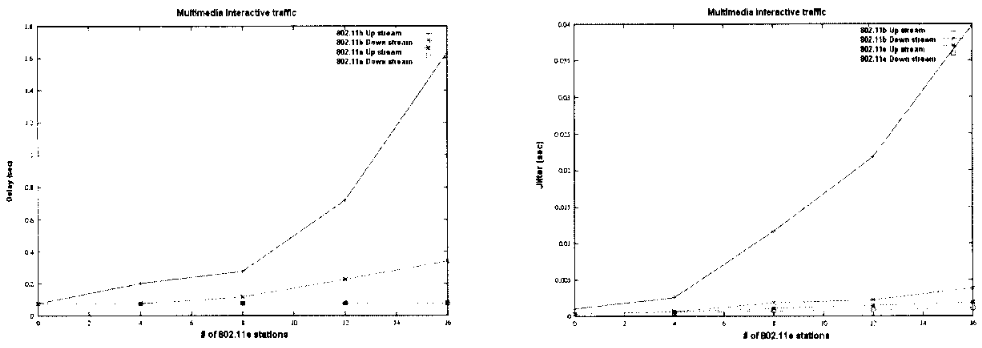
의 멀티미디어 트래픽과 75%의 best-effort 트래픽으로 구성된다. 전체 시뮬레이션 시간은 100초이다.

실험 환경은 유선 네트워크 부분과 무선 네트워크 부분으로 구성된다. 무선 네트워크는 하나의 802.11e AP와 하나 이상의 802.11b 또는 802.11e 스테이션이 동작하는 환경이고 각 스테이션의 위치는 15m X 15m 범위 내에서 무작위로 선택되었다. AP는 유선 네트워크와 연결되어 있으며 본 실험에서는 유선 네트워크 상의 원거리 서버와 AP사이의 종단간 지연시간을 70ms로 가정하였다. 이는 한 패킷의 미국 대륙 횡단 지연시간을 기준으로 한 것이다.

4.1 실험 결과

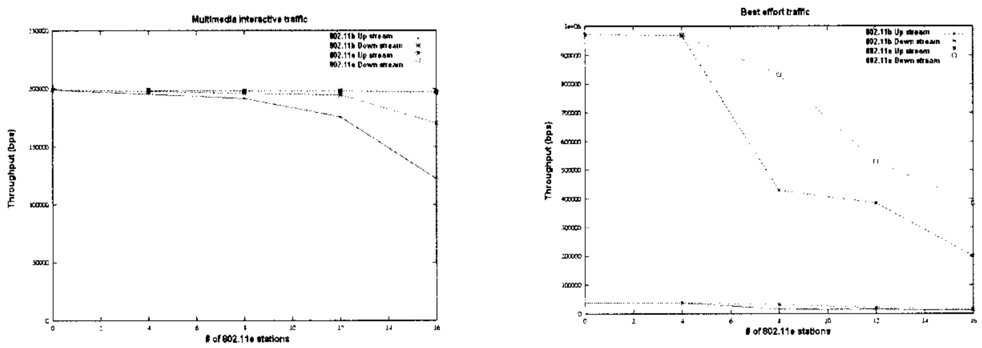
본 실험에서는 802.11b와 802.11e 스테이션의 비율이나 802.11e 스테이션의 수가 변화하는 환경에서 종단간 지연시간, 지터, 처리량, 그리고 패킷 손실 측면에서의 802.11b 스테이션의 성능을 측정하였다. 멀티미디어 트래픽에 대하여 종단간 지연시간은 송신자의 응용에서부터 수신자의 응용까지 전달되는데 소요되는 시간을 말하며, 지터는 패킷 도착 시간 간격의 평균값을 의미한다. 처리량은 전체 전송된 데이터 량을 시뮬레이션 시간으로 나눈 값이고, 패킷 손실은 응용이 전송한 패킷 수에 대한 손실 패킷의 비율이다. 일반적으로 종단간 지연시간과 패킷 손실은 큐(queue) 길이에 영향을 받으며 본 실험에서는 50 패킷 길이의 큐를 채택하였다.

(그림 3)에서 5는 노드 분포에 따른 성능을 보이고 있다. 다시 말해서 20개의 노드 중에서 802.11e 노드의 비율을 변화시켜가면서 실험하였다. (그림 3)은 멀티미디어 트래픽에 대한 종단간 지연시간과 지터를 보이고 있다. 실선은 전형적인 802.11b AP와 802.11b 스테이션만으로 구성되었을 때의 측정 값이다. 802.11e 스테이션의 비율이 높아질수록 802.11b 스테이션은 좀더 긴 지연시간과 지터를 가지며 특히 스테이션에서 AP 방향 트래픽에서 더욱 두드러진다. 이



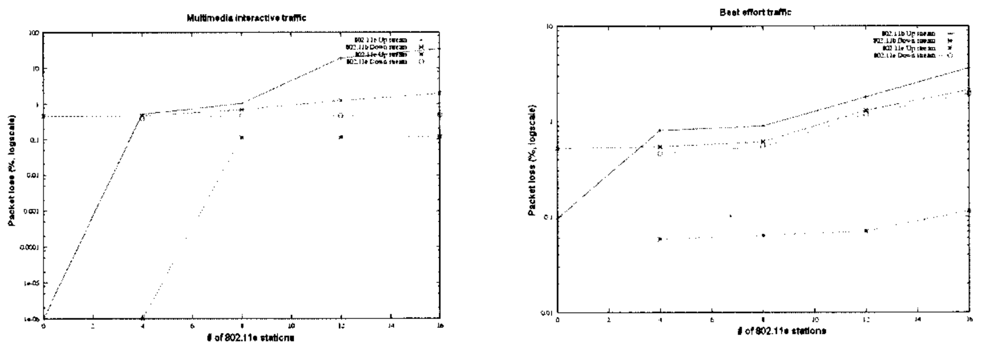
(a) (b)

(그림 6) 802.11e 스테이션 증가에 따른 종단간 지연



(a) (b)

(그림 7) 802.11e 스테이션 증가에 따른 처리량



(a) (b)

(그림 8) 802.11e 스테이션 증가에 따른 패킷 손실

는 좀더 많은 802.11e 스테이션이 있을수록 802.11b 스테이션이 전송 채널을 획득할 수 있는 확률이 낮아지기 때문이다. AP에서 스테이션 방향 트래픽에 대해서는 802.11e AP가 802.11e 프로토콜을 기반으로 트래픽을 처리하기 때문에 비록 수신 스테이션이 802.11b라 할지라도 스테이션에서 AP 방향 트래픽에 비해 나은 성능을 보인다. 802.11e 스테이션은 양 방향 트래픽에서 모두 좋은 성능을 보인다.

(그림 4)는 멀티미디어 트래픽과 best-effort 트래픽에서의 성능 즉 처리량을 보이고 있다. 멀티미디어 트래픽에 대해서는 (그림 4) (a)에서 보는 바와 같이 802.11e 스테이션이 증가할수록 802.11b 스테이션의 성능이 낮아진다. (그림 4) (b)의 best-effort 트래픽을 위해서 FTP가 사용되었으며 그림에서 스테이션에서 AP 방향으로의 두 개의 트래픽은 성공적인 FTP 패킷 수신에 대한 확인 패킷(acknowledgement)을 의미한다. 결과적으로 best-effort 트래픽에서 또한 802.11e 스테이션의 비율이 증가할수록 802.11b 스테이션의 성능이 낮아짐을 확인할 수 있다.

전체 전송 패킷에 대한 손실 패킷의 비율은 (그림 5)에서 보이고 있다. 세로축 맨 밑의 le-06은 0값을 나타낼 수 없는 로그의 특성으로 인한 값이다. 전체적으로 AP에서 스테이션 방향 트래픽은 반대방향 트래픽에 비하여 더 많은 패킷 손실을 보이며, 이는 AP가 자신의 버퍼에 각 스테이션에 대한

많은 패킷을 유지하기 때문이다. 대부분의 패킷 손실은 버퍼 오버플로(overflow)에 의한 것이며 이는 802.11b 스테이션은 전송 채널 획득 확률이 낮기 때문에 상대적으로 패킷이 버퍼에 머무르고 있는 확률이 높아지기 때문이다.

(그림 6)에서 8은 앞서 실험에서처럼 고정된 20개의 노드 중에서 802.11e 스테이션의 비율을 변화시키는 것이 아니라 실제 802.11e 스테이션의 수가 증가하는 경우를 나타낸다. 처음에는 4개의 802.11b 스테이션으로 시작하여 이에 802.11e 스테이션을 최대 16개까지 더하는 환경이다. (그림 6)은 802.11e 스테이션의 수가 증가할수록 802.11b 스테이션의 종단간 지연시간과 지터가 나빠지는 결과를 보이며 이는 (그림 3)과 비슷한 결과이다.

(그림 7)은 802.11e 스테이션 증가에 따른 802.11b 스테이션이 경험하는 처리량 손실을 보이고 있다. 802.11b 스테이션의 성능 저하 정도는 (그림 4)에서 보인 것보다는 적으며, 이는 (그림 4)에 비하여 전체 트래픽 부하가 작기 때문이다. (그림 8)은 패킷 손실 정도를 보인다. 이 또한 802.11e 스테이션이 증가할수록 즉 트래픽 부하가 증가할수록 802.11b 스테이션이 경험하는 패킷 손실이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재 WLAN 구축을 위해 가장 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11b 표준과 이 표준에 덧붙여 QoS 지원을 제공하기 위한 IEEE 802.11e 표준 사이의 성능과 불공평 문제를 분석하였다. 새로운 프로토콜(802.11e)이 사용되더라도 상당 기간 기존의 프로토콜(802.11b)이 같이 존재하게 될 것이며, 이 경우 발생할 수 있는 성능 상의 불공평 문제를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 실험은 일정한 트래픽 부하가 주어지는 환경에서 802.11e 스테이션의 비율을 변화시켜가면서 진행되었다. 결과적으로 802.11b 스테이션에서 AP 방향 트래픽은 802.11e 스테이션의 어떠한 트래픽보다도 전송채널 획득 확률이 낮음을 확인하였고 이로 인하여 802.11b 스테이션이 상대적으로 불공평한 대우를 받고 있음을 알 수 있었다.

향후 과제로는 AP를 기반으로 한 infrastructure 모드 네트워크뿐만 아니라 애드혹 모드 네트워크 환경에서의 불공평 문제를 분석할 것이다. 또한 이렇게 분석된 불공평 문제를 해결하기 위하여 802.11b 스테이션에게 공평한 기회를 줄 수 있는 폴링 메커니즘 즉 HCM(Hybrid Control Mode)를 고안 중에 있다. HCM은 불공평 문제 해결뿐만 아니라 더 나아가 802.11b 스테이션들에 대해서도 어느 정도의 QoS 지원을 가능하게 해주는 메커니즘이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] B. McFarland, G. Chesson, C. Temme, and T. Meng, "The 5-UP protocol for unified multiservice wireless networks", IEEE Communication Magazine, Vol.39, No.11, pp74-80, 2001.

[2] Y. Ge and J. Hou, "An Analytical Model for Service Differentiation in IEEE 802.11", IEEE WCNC, Vol.1, pp. 130-138, 2002.

[3] Y. Ge and J. Hou, "An Analytical Model for Service Differentiation in IEEE 802.11", IEEE ICC, Vol.2, pp. 1157-1162, 2003.

[4] IEEE 802.11 working group, http://grouper.ieee.org/groups/802/11/.

[5] IEEE standard 802.11, "Wireless LAN media access control (MAC) and physical layer (PHY) specification", 1999.

[6] WiFi Alliance, http://www.weca.net/.

[7] D. Qiao and S. Choi, "Goodput enhancement of IEEE 802.11a wireless LAN via link adaptation", The IEEE International Conference on Communications (ICC), Vol. 7, pp.1995-2000, June, 2001.

[8] S. Mangold, S. Choi, P. May, and G. Hiertz, "IEEE 802.11e-fair resource sharing between overlapping basic service sets", The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Vol.1, pp.166-171, Sep., 2002.

[9] The Network Simulator, ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/

임 유 진

e-mail : yujin@suwon.ac.kr

1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)

1997년 숙명여자대학교 전자계산학과(석사)

2000년 숙명여자대학교 전자계산학과(박사)

2000년~2001년 서울대학교 컴퓨터공학과 Post-Doc

2001년~2002년 서울시립대학교 기계정보공학과 연구교수

2002년~2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc

2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원

2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등