

제4회 정보통신표준화 우수논문집

우수상

멀티미디어 데이터 전송을 위한
우선 순위 기반 802.11e EDCA 알고리즘 제안 및 성능평가
Priority based 802.11e EDCA Algorithm and Performance Evaluation
for Multimedia Data Transfer

유윤식, 허재두 / 한국전자통신연구원 센서네트워킹응용연구팀

Yoon-Sik Yoo, Jae-Doo Huh /
Sensor Networking Application Research Team, ETRI

I. 서론 / II. IEEE 802.11 MAC 관련 연구 / III. 멀티미디어 전송을 위한 MAC 표준 기술
IV. 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘 및 플랫폼 / V. 우선 순위 기반 EDCA 성능 분석 / VI. 결론

멀티미디어 데이터 전송을 위한 우선 순위 기반 802.11e EDCA 알고리즘 제안 및 성능평가

Priority based 802.11e EDCA Algorithm and Performance Evaluation for Multimedia Data Transfer

유윤식, 허재두 / 한국전자통신연구원 센서네트워킹응용연구팀
Yoon-Sik Yoo, Jae-Doo Huh / Sensor Networking Application Research Team, ETRI

요약

기존 802.11 MAC의 DCF는 전송 프레임을 차별화하지 않으며 채널 접근 권한을 획득하기 위해 경쟁하는 모든 스테이션에 동등한 확률적 기회를 부여한다. 이러한 채널 접근 방식은 차별화된 우선 순위의 프레임에 가지고 있는 스테이션에게는 멀티미디어 트래픽을 전송하는 경우에 모든 데이터 트래픽이 전송 큐에 도착하는 순서대로 서비스가 제공되는 Best Effort 방식으로 처리되므로 QoS 지원 기능을 제공하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 멀티미디어 트래픽을 전송하는데 있어서 적합한 우선 순위 기반의 매체 접근 방식인 IEEE 802.11e EDCA MAC 알고리즘을 제안하고 그 성능을 평가한다. 제안하는 우선 순위 기반 EDCA 메커니즘은 멀티미디어 트래픽을 전송하는 경우에 QoS 지원을 위해서 기존의 DCF에 우선 순위를 가지는 프레임에 대해서 AC별로 차별화된 매체 접근을 허용하였다.

본 논문에서 제안하는 우선 순위 기반 802.11e EDCA MAC 알고리즘은 TOS 필드를 확인하여 멀티미디어 데이터를 구분하고, 멀티미디어 데이터 전송에 적합한 Video 및 Voice 패킷에 우선 순위를 정하고, 동시에 도착한 Video 패킷인 경우에는 우선 순위가 높은 Video 패킷을 먼저 전송하는 효율적인 메커니즘이다. 기존 AP와 STA이 802.11 MAC의 기본적인 매체 접근 방식인 DCF 기능이 구현되어 제공되고 있기 때문에 성능을 비교하기 위해서 EDCA를 적용한 QAP와 DCF가 구현된 nonQSTA으로 구성을 하여 실험한 결과, 멀티미디어 데이터를 전송할 때에 제안한 우선 순위 기반 EDCA MAC 알고리즘이 DCF MAC 보다는 19.8%가 효율적임을 확인하였다.

I. 서론

최근 무선통신 분야에서는 다양한 형태의 멀티미디어 데이터에 대한 수요의 증가에 따라 고속의 데이터 전송속도 및 증가된 영역에 대한 요구가 빠른 속도로 증가하고 있다. 무선 통신 서비스 업체에서는 최근 무선 LAN 기술을 이용하여 핫스팟 영역에서 고속의 무선 인터넷 서비

스를 제공하고 있으며 홈네트워크 시스템에서도 무선 LAN 기술을 xDSL 혹은 케이블 모뎀과 같은 고속의 유선 인터넷 액세스 시스템과 연동할 수 있는 핵심기술의 하나로 평가받고 있다.

IEEE 802.11e는 기존의 IEEE 802.11 MAC 계층에 멀티미디어 데이터 및 QoS(Quality of Service)를 요구하는 서비스를 제공하기 위한 프로토콜이다. 이 서비스를 제공

하기 위해 리소스 예약 프로토콜(Resource Reservation Protocol)과 우선 순위 큐잉(Prioritized Queuing) 알고리즘을 기반으로 하고 있으며, 이를 제공하기 위해서는 상위 네트워크 계층과의 협상이 필요하다[1],[2]. 본 논문에서 제안하는 IEEE 802.11e 기반의 QoS 지원 메커니즘을 이용하여 우선 순위 기반의 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) MAC(Media Access Control) 알고리즘 시뮬레이션과 FPGA(Field-Programmable Gate Array)로 구현한 EDCA 플랫폼에서 성능을 측정하여 분석 및 비교한다.

본 논문은 1장에서 멀티미디어 데이터 처리를 위한 무선 LAN 기술에 대하여 알아보고, 2장에서는 802.11 MAC 관련 연구를 살펴본다. 3장에서는 멀티미디어 전송을 위한 MAC 표준 기술을 파악하고, 4장에서는 제안하는 알고리즘 및 제안한 알고리즘이 구현된 플랫폼의 기능에 대해서 알아보고, 5장에서는 제안한 알고리즘 성능에 대한 분석을 한다. 마지막으로 6장에서는 결론과 향후 연구 및 표준 추진 계획에 대하여 기술한다.

II. IEEE 802.11 MAC 관련 연구

서론에서 언급하였듯이 멀티미디어 데이터를 전송할 경우에는 QoS 보장이 가장 큰 문제점이다. 현재 이러한 문제를 해결하기 위한 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

그 대표적인 접근 방법들 중 하나가 서로 다른

우선순위를 가진 프레임에 대한 채널접근을 차별화시키거나 채널을 한번 소유했을 때 그 시간을 오래 점유하게 하는 것이다. [9]에서는 채널 접근을 차별화하기 위해서 802.11 표준의 Backoff 알고리즘을 수정하여 한번 채널을 성공적으로 소유한 스테이션의 CW(Contention Window) 값을 작게 설정하여 다른 스테이션들이 전송하기 전에 채널을 여러번 연속적으로 점유 함으로써 채널의 전송 비율을 높이는 방식을 제안하고 있다. Backoff 알고리즘에 관련된 다양한 논문들의 내용은 다음과 같다.

Bianchi[3],[4]는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)/BEB(Binary Exponential Backoff) DCF(Distributed Coordination Function)의 형태를 근사적으로 모델링하기 위해서 Markov Chain을 제안하여 패킷 전송 확률을 계산하여 Saturation Throughput을 도출하였다. Cali[5],[6]는 DCF에서 CW로부터 Persistence Factor P를 유도해서 Renewal Theory를 이용하여 Capacity를 도출하는 DCF의 P-Persistent Variant를 분석했다. Tay[7]는 패킷 충돌 확률을 계산하여 충돌 확률 관점에서 최대 Throughput을 도출했다.

[10]에서는 [9]에서처럼 Backoff 방식을 수정한 것은 아니지만, 채널을 한번 소유했을 때 그 시간을 오래 갖고 있게 하는 원리는 비슷하다. 성공적으로 ACK(Acknowledgment)를 받으면 다음 번 경쟁없이 다시 CTS(Clear to Send)를 보내 데이터를 반대 측으로 보내는 형태로 채널의 전송시간을 늘려주고 있다. 하지만,

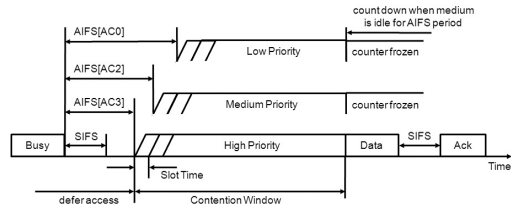
이러한 방법은 TCP(Transmission Control Protocol)를 사용할 때에는 적합하지만, 상위 계층에서 UDP(User Datagram Protocol)를 사용할 때는 실효성이 떨어지는 단점이 있다. [11]에서는 DCF에 적용된 EIED(Exponential Increase Exponential Decrease) Backoff 알고리즘을 분석하였다. [12]에서는 전송율과 전력을 이용하여 MAC에서 링크 적응기법을 제안했다. [8]에서는 시뮬레이션으로 DCF와 EDCA를 비교하여 EDCA가 서로 다른 우선 순위 트래픽이 차별화된 채널접근을 한다는 것을 보여주었다.

기존의 DCF 연구에서는 멀티미디어 트래픽의 종류를 구분하지 않은 알고리즘이기 때문에 멀티미디어 트래픽을 전송할 경우에 우선 순위를 지원하지 못하는 문제점이 있었다. 따라서, 기존의 문제점을 해결 하기 위해서 본 논문에서는 멀티미디어 트래픽 전송을 위한 우선 순위 기반의 EDCA 알고리즘을 제안하고, 성능을 분석한다.

1. IEEE 802.11e MAC 프로토콜

기존의 IEEE 802.11은 세계적으로 가장 많이 보급된 매체 접근 방법 중의 하나이다. 하지만 IEEE 802.11은 모든 스테이션들이 같은 파라미터와 동일한 접근 방법을 사용하기 때문에 QoS를 보장하는데 어려움이 있다. 멀티미디어 스트리밍과 같은 서비스의 성장과 함께 QoS 보장에 대한 요구가 증가 하고 있으며, QoS 보장을 위해 새롭게 제안된 IEEE 802.11e 매체 접근 제

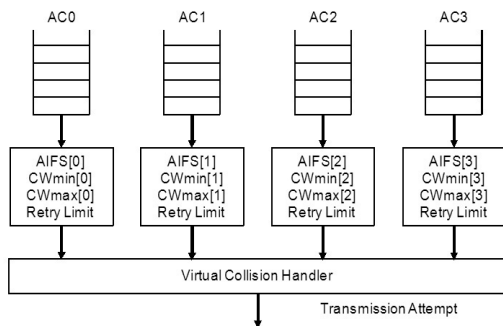
어 프로토콜은 기존의 IEEE 802.11 매체 접근 제어 프로토콜을 확장하여 HCF(Hybrid Coordination Function)를 새롭게 정의하였다. HCF는 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)와 HCCA(HCF Controlled Channel Access) 모델의 두 가지 방법을 제안하고 있다. EDCA 모델은 경쟁 기반 매체 접근 방법이며, HCCA 모델은 HC(Hybrid Coordinator)의 통제 아래 동작하는 폴링 기반 매체 접근 방법이다.



(그림 2-1) IEEE 802.11e EDCA MAC 구조

EDCA 모델은 우선순위에 기반한 차별화된 서비스를 제공하기 위해 설계 되었으며, 기존 802.11의 DCF(Distributed Coordination Function) 모델과 그 구성이 매우 유사하다. EDCA 모델에서는 QoS지원을 위해 AC(Access Category)의 개념을 정의 하고 있는데 각각의 AC는 사전에 결정된 경쟁 파라미터와 DIFS(Distributed Interframe Space)를 대체하는 AIFS[AC] (Arbitration Interframe Space), 그리고 AC별로 차별화된 CWmin[AC]과 CWmax[AC]의 속성을 가지고 있다[2]. (그림 2-1)은 내부에서 우선순위를 결정하기 위한 QoS 파라미터와 가상 스테이션처럼 인식되는 4개의 전송큐를 가지는 STA(Station)의 구조를

보여준다. 만약 한 스테이션 안에 위치한 복수개의 병렬화된 AC의 백오프 카운터 값들이 같은 시간에 0에 도달하게 되면, STA안에 위치한 스케줄러가 가상 충돌(Virtual Collision)을 방지하도록 한다. (그림 2-2)는 EDCA 모드의 매체 접속 방법을 보여준다. 각각의 프레임들은 AC에서 정의되어진 우선순위에 따라 AIFS[AC]의 크기가 다르게 되며, 최상위 우선순위를 갖는 프레임은 DIFS와 같은 IFS(Interframe Space)를 가지고 우선순위가 낮을수록 더 긴 IFS를 가지게 되어, 결과적으로 우선순위가 높은 프레임이 매체에 접근할 확률이 커지게 된다. 경쟁 윈도우의 크기는 각 우선 순위에 따라 다른 CWmin[AC]과 CWmax[AC]를 가지게 되는데, 높은 우선순위의 프레임일수록 작은 CWmin[AC]와 CWmax[AC]를 가진다. 이로 인해 높은 우선순위의 프레임은 충돌이 발생해도 매체접속까지의 대기시간을 줄일 수 있게 되어, 전송큐의 데이터가 전송 권한(Transmission Opportunity)을 획득하는데 유리해지게 된다.



(그림 2-2) IEEE 802.11e EDCA 구조에서 매체 접근 제어 방식

2. IEEE 802.11e 기반 멀티미디어 전송 프로토콜

최근 IEEE 802.11e EDCA 모델의 매체 접근 제어 기능을 이용하여 전송하는 데이터의 중요도에 따라 효율적으로 멀티미디어 영상을 전송시키고 영상의 품질을 높이기 위한 많은 연구가 진행되었다[14],[15]. 기존의 연구에서 음성, 영상 그리고 데이터의 종류에 따라 중요도를 다르게 적용하여 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 매체 접근 제어 방식을 적용시키고, 전송 중에 손실되는 프레임을 성공적으로 전송한 프레임을 이용해 재구성하여 사용자 입장에서의 서비스 품질을 높이기 위한 연구가 진행 되었다[16]. 그리고 H.264와 같은 영상 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 매체 접근 제어 방식이 이용하여 서비스의 품질을 향상시키기 위한 기법들이 제안 되었다[17]. 하지만 기존의 연구들은 전송할 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 AC별로 분류하여 데이터를 전송시키고 사용자 입장에서의 서비스 품질을 높이기 위한 접근을 시도하였지만, 네트워크 상태에 적응적으로 전송율 조절을 하지 못하여 현재의 네트워크가 허용할 수 있는 범위를 넘어서는 데이터 전송을 시도할 수 있으며, 결과적으로 전송큐의 오버플로우 또는 데이터의 손실을 발생 시켜 전송하는 영상의 품질을 저하 시킬수 있다는 문제를 가진다.

III. 멀티미디어 전송을 위한 MAC 표준 기술

미국 전기전자학회(IEEE)에서 1997년부터

현재까지 승인된 무선 LAN 표준은 추가문서 (Amendment)를 포함하여 10여 개에 이르고 있다. 2006년부터 현재까지의 표준화 동향 추세는 2003년부터 시작된 802.11n을 중심으로 (그림 3-1)과 같이 11개의 TG(Task Group)와 3개의 SG(Study Group)로 구성되어 있다.

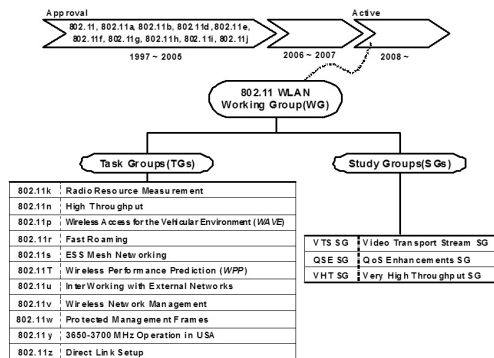
현재 활동 중인 11개의 TG들과 3개의 SG들은 기존 표준과의 호환성을 가지면서 고속의 PHY 계층과 이를 지원하는 QoS MAC 계층을 기반으로 추가적인 표준화 작업이 이루어지고 있다. 특히, 2005년도 말에 승인된 802.11e는 무선 LAN에서 QoS를 지원하는 표준으로 우선 순위 기반의 QoS 방법을 사용하는 EDCA 기능과 파라미터화된 QoS 방법을 사용하는 HCCA(HCF (Hybrid Coordinator Function) Controlled Channel Access) 기능을 정의하고 있다.

추가적인 기능들로 일부 경쟁 구간을 제거하여 전송효율을 높이는 CFB(Contention Free Bursting), BA(Block Acknowledgments), DLS(Direct Link Setup), 그리고 기존 802.11의 전원 절약 방법을 개선한 APSD(Automatic Power Save Delivery) 등의 기능이 있다. 이러한 802.11e는 최근 활발히 활동 중인 TG와 SG에 많은 참고가 되고 있어 향후 MAC 계층 기술 발전에 중요한 표준으로 인식되고 있다.

1. 비디오 전송 기술

대용량 고속전송 물리계층의 발전으로 최근

pre-802.11n 제품에서는 최대 200Mbps 이상의 속도를 가지는 제품들이 출현하고 있다. 이러한 802.11n의 고속 PHY 계층과 이를 지원하기 위한 MAC 계층은 데이터 전송속도를 효율적으로 높이기 위한 방법을 정의하고 있다. 그러나, 비디오 전송을 주된 목적으로 802.11을 사용하면 우선순위에 대한 제한된 정의, 내부 계층간의 정보공유 부재, 부족한 QoS 파라미터, 그리고 영상 콘텐츠에 특화된 전송 방법 부재 등 다양한 문제점을 가지게 된다. 이러한 문제점들은 802.11e에서 정의하는 EDCA, HCCA, CFB, BA와 DLS 기능을 이용하면 서비스 품질의 증가는 가져올 수 있으나, HD급 또는 Blu-Ray급의 고화질 비디오를 전송하기 위해서는 비디오 전송에 최적화된 802.11e MAC을 개발할 필요가 있게 된다. 이러한 필요성은 2005년 말부터 IEEE 802.11 표준회의에서 지속적으로 언급되어 2007년 5월 회의에서 VTS(Video Transport Stream) SG로 첫 미팅이 이루어졌다.



(그림 3-1) IEEE 802.11 WG의 TG와 SG

VTS SG는 802.1 AVB(AV Bridging Task

Group)와 협력을 진행 중이며, 주로 다음과 같은 내용이 주요 의제로 논의되고 있다.

- 효과적인 전송 스트림을 위한 802.11e 개선
- QoS 관리 메커니즘
- 매체 접근의 최적화
- 802.11에 효과적인 Forward Error Correction 기술
- 간섭 완화를 위한 Resiliency 메커니즘
- 재전송, 패킷 드롭을 위한 Heuristics
- 채널 동적 추정 및 적응 기술

2. 직접 링크 설정 기술

802.11e에서 이미 정의된 DLS는 BSS(Basic Service Set) 안에서 STA(Station) 간의 직접 통신을 지원하는 기능이다. 이러한 경우에 802.11e AP(Access Point)는 DLS 기능을 처리해야 한다. 그러나, 기존 AP의 경우에는 DLS 기능이 없기 때문에 802.11e STA와 기존 AP가 공존하는 BSS 안에서 DLS를 사용할 수 없는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하고자 TGz(802.11z)가 형성되고, 현재 검토되고 있는 주요 내용은 DLS 요청 관련 프레임에 데이터 프레임 내에 캡슐화하여 보내는 방법이 검토되고 있다.

IV. 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘 및 플랫폼

본 장에서는 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘

을 제안하고, 제안한 알고리즘으로 구현한 EDCA 플랫폼의 구조 및 성능을 분석한다. 그리고, 성능 측정에 사용한 변수를 설명한다.

1. 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘

멀티미디어 데이터 전송을 위해서는 지연에 민감한 비디오 또는 오디오 같은 특정 트래픽의 종류에 대한 우선 순위를 제공해야 한다. 우선 순위 제공 방법은 패킷이 MAC 계층에 도달하기 이전에 IP 패킷의 헤더에 있는 TOS(Type of Service) 필드의 값을 이용하여 멀티미디어 트래픽의 우선 순위를 구분한다. IP 헤더 포맷은 (그림 4-1)과 같고, 우선 순위에 적용한 TOS 값은 <표 4-1>과 같다. <표 4-1>에서 보는 바와 같이 IP 헤더의 TOS 필드를 이용하여 멀티미디어 트래픽의 우선 순위를 구분한다.

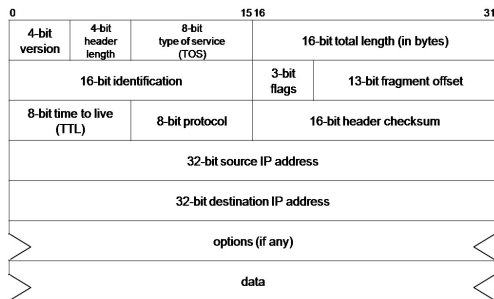
<표 4-1> AC에 적용한 IP TOS 값

TOS value	Priority	Access Category
0x20, 0x40	Priority_0	AC_BK
default value	Priority_1	AC_BE
0xA0, 0x80	Priority_2	AC_VI
0x88, 0xE0,	Priority_3	AC_VO
0xC0, 0xB8		

음성 트래픽을 최우선 순위 큐로 대응시키고, 비디오 트래픽을 다음 우선 순위 큐로 대응시킨다. 그 밖의 트래픽은 최선형 서비스 큐로 대응시킨다. 멀티미디어 트래픽이 각각의 트래픽 특성에 따른 우선 순위가 구분이 되면, 각각의 전송 큐로 전송된다. 각각의 전송 큐로 전송된 트

래픽은 송신 되기전에 AC별로 가상 충돌 처리기에서 우선 순위를 비교하고, 동시에 다른 Video 패킷이 가상 충돌 처리기에 도착을 하게 되면, 우선순위를 비교후 우선순위가 높은 Video 패킷을 먼저 전송하고, SIFS 동안 기다린 이후에 그 다음 우선 순위의 Video 패킷을 전송한다. 우선 순위 큐에 도착한 트래픽이 Video 패킷만 존재할 경우에는 다른 우선 순위 큐에서 가상 충돌 처리기로 보내지지 않기 때문에 그 다음의 Video 패킷이 가상 충돌 처리기로 도착한다.

각각의 우선 순위 큐에서 가상 충돌 처리기로 전달될 수 있는 패킷의 개수는 4개가 될 수 있고, 우선 순위가 더 높은 Video 패킷이 Video 우선 순위 큐에 도착했을 때는 가상 충돌 처리기에서 우선 순위가 더 높은 Video 패킷을 먼저 전송하게 된다. 따라서, 서로 다른 종류의 트래픽이 우선 순위 큐에 도착했을 때는 가장 우선 순위가 높은 트래픽을 최우선으로 전송하게 되고, 동일한 트래픽이 우선 순위 큐에 도착했을 때는 동일한 트래픽 내에서 우선 순위가 높은 트래픽을 가상 충돌 처리기에서 선별하여 먼저 전송할 수 있도록 처리하게 된다.



(그림 4-1) IP 헤더 포맷

(그림 4-2)는 우선 순위 기반 트래픽 전송 알고리즘을 나타낸다.

```

UWORD8 priority = data[TOS_FIELD_OFFSET];

priority = priority & 0xF0;
switch (priority)
{
  case 0x20:
  case 0x40:
    ac = PRIORITY_0; /* Background */
  case 0xA0:
  case 0x80:
    ac = PRIORITY_2; /* Video */
  case 0x88:
  case 0xE0:
  case 0xC0:
  case 0xB8:
    ac = PRIORITY_3; /* Voice */
  default:
    ac = PRIORITY_1; /* Low Priority */
}
    
```

(그림 4-2) 우선 순위 기반 트래픽 전송 알고리즘

2. 우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션

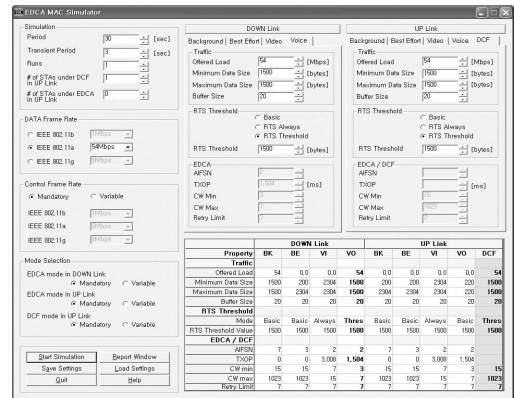
우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션은 CSIM 라이브러리를 사용하여 Linux 환경에서 구현되었고, CSIM 라이브러리가 있는 곳이라면 플랫폼에 상관없이 컴파일할 수 있다. 그리고, 다양한 환경에서 우선 순위 기반 EDCA의 성능을 측정할 수 있도록 설계되어 있다. 따라서 시뮬레이션을 시작하기 위해서는 각 환경 변수를 입력해 주어야 한다. 각 환경 변수는 시뮬레이션 시간, 스테이션 개수, 데이터 프레임 Rate, 제어 프레

임 Rate, 모드 선정, Downlink/Uplink의 Offered Load, 최소 데이터 크기, 최대 데이터 크기, 버퍼 크기, RTS 한계치를 측정 변수로 설정할 수 있다. (그림 4-3)은 우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션을 위한 GUI(Graphic User Interface)를 나타내고 있다.

우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션을 위해서는 다음과 같은 가정을 하였다.

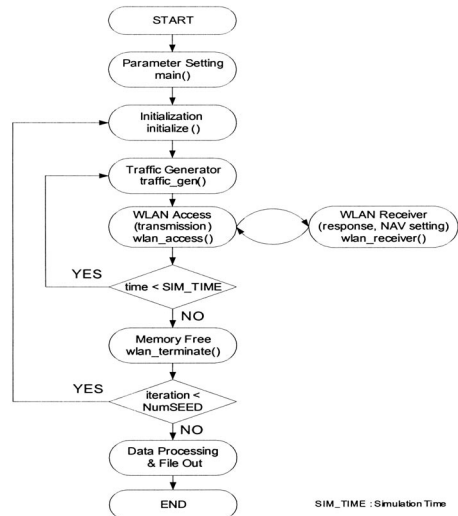
- 유한개의 스테이션들이 Single-Hop 네트워크에서 경쟁한다.
- 각 스테이션은 4개 AC 중의 하나에 속하는 1개 Access Entity를 가진다. 그리고, AC를 전개하는 스테이션 개수는 N[AC]이다.
- 이상적인 채널 조건 : Propagation Delay는 0이고, Channel Error, Hidden Node Problem, Capture Effect는 없다.
- Saturation 트래픽 : 모든 스테이션들은 항상 일정하게 적체된 큐를 가지고 있다.

시간내에서만 동작을 한다. 시뮬레이션 시간은 임의의 값을 설정할 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션 시간을 30초로 설정하였다. 그리고, 시뮬레이션 실행 횟수를 설정하여 WLAN Access를 실행 횟수만큼 반복적으로 동작하게 한다. 이는 시뮬레이션의 성능 측정에 있어서 보다 정확한 값을 도출하기 위해서 반복한 횟수의 평균값을 구하려고 하는 것이다. 측정된 값들은 화면에 나타나게 된다. 시뮬레이션의 동작 흐름은 (그림 4-4)와 같다.



(그림 4-3) 우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션 GUI

우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션은 측정하고자 하는 환경변수를 설정하고 시뮬레이션을 시작하면, 트래픽이 생성된다. 이때 생성되는 트래픽은 Random하게 QAP(QoS Access Point)와 스테이션 간에 발생한다. 데이터를 보내고자 하는 송신 스테이션은 무선 채널 획득을 시도하고 채널을 점유하면 데이터 전송을 시작한다. 이때 채널을 점유하지 못한 다른 스테이션들은 NAV(Network Allocation Vector)를 설정하고 채널이 Idle할 때까지 기다린다. 이러한 WLAN Access는 우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이터에서 설정된 시뮬레이션



(그림 4-4) 우선 순위 기반 EDCA 시뮬레이션

3. 우선 순위 기반 EDCA 플랫폼

우선 순위 기반 EDCA 플랫폼은 MAC 하드웨어와 MAC 소프트웨어 구조로 되어 있다. MAC 하드웨어는 (그림 4-5)와 같이 크게 3가지 모듈로 구성되어 있다.

- QoS MAC Assembly 모듈
- QoS MAC 모듈
- Physical Layer 모듈

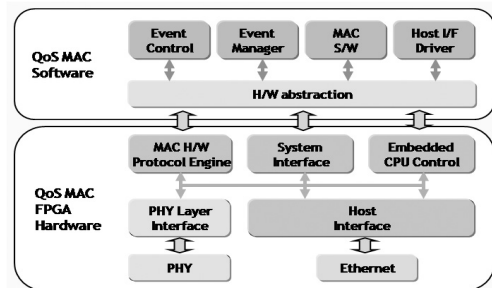
QoS MAC Assembly 모듈은 주요기능을 탑재한 도터보드 (Daughter Board) 형태의 PBA(Printed Board Assembly)이고, QoS MAC 모듈은 QoS MAC Assembly 모듈을 탑재할 수 있는 마더보드(Mother Board) 형태의 PBA이다. Physical Layer 모듈은 도터보드 형태의 PBA로 QoS MAC 모듈에 탑재된다. Physical Layer 모듈은 앞면에 탑재되고, QoS MAC 모듈은 뒷면에 탑재된다. 모듈 형태의 보드 구성으로 인하여 유연한 설계 대응이 가능하다.

각 모듈은 다음과 같은 블록으로 구성되어 있다.

- 물리계층 블록
- 물리계층 인터페이스 블록
- MAC 하드웨어 프로토콜 블록
- 호스트 인터페이스 블록
- 시스템 인터페이스 블록
- 임베디드 CPU 서브시스템 블록

물리계층 블록은 물리계층을 담당하는 블록으로 IEEE 802.11a/b/g의 전기적인 규격을 만족한다. 물리계층 기능을 수행하기 위하여 Voltage

Control Oscillator (VCO), Dual-band Direct Conversion Transceiver, Baseband Processor 등 크게 3개의 기능으로 나누어진다. 물리계층 인터페이스 블록은 MAC 계층과 물리계층 간의 인터페이스를 담당한다. MAC 하드웨어 프로토콜 블록은 IEEE802.11을 지원하는 우선 순위 기반 EDCA 기능을 하드웨어로 구현한 블록으로 (그림 4-6)과 같다. MAC 소프트웨어 기능과 연동되어 동작된다. 호스트 인터페이스 블록은 MAC 하드웨어와 호스트 시스템과의 인터페이스를 제공하는 블록이다. 시스템 인터페이스 블록은 인터페이스 랩퍼(Wrapper)를 가지도록 하여 AHB(AMBA High-performance Bus)가 아닌 경우에도 인터페이스가 될 수 있도록 MAC 하드웨어 프로토콜 블록과 임베디드 CPU 서브시스템 블록이 분리되도록 설계하였다. 이 블록은 랩퍼 기능을 제공하므로 MAC 하드웨어 프로토콜 블록 인터페이스에 대해 추상화 로직을 제공한다. 이러한 이유는 MAC 하드웨어 프로토콜 블록과 임베디드 CPU 서브시스템 블록의 클럭 및 데이터 접근을 분리시켜 전체 성능을 향상시키기 위한 것이다. 시스템 인터페이스 블록 내부는 버스 아비터, DMA, 내부 버스를 위한 송수신 FIFO 등으로 구성된다.



(그림 4-5) 우선 순위 기반 EDCA 플랫폼

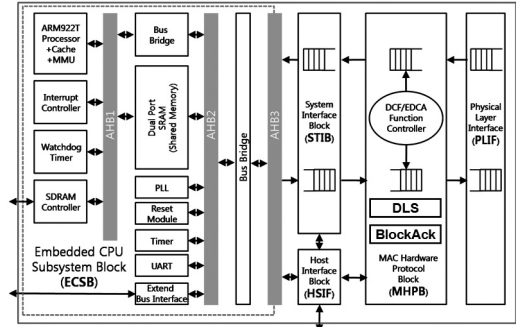
임베디드 CPU 서브시스템 블록은 MAC 소프트웨어를 수행하는 블록으로, MAC 기능 중 BSS Creation, Authentication, De-authentication, Association, Re-association, Disassociation, Fragmentation, De-fragmentation, Duplicate Packet Detection/Recovery, Multi-rate Switching 및 Filtering 등을 수행하며, 주로 실시간적인 요소가 적은 MAC 기능을 수행한다. 이러한 기능은 RTOS와 함께 작동된다. 임베디드 CPU 서브시스템 블록을 구성하는 내부 블록은 ARM922T CPU, 인터럽트 콘트롤러, SDRAM 콘트롤러, 타이머 등으로 구성된다. 패킷의 생성과 큐 관리는 DPSRAM(Dual Port SRAM)에서 이루어지며, 패킷의 전송을 위해 패킷을 저장하는 공유메모리 역할을 한다.

MAC 소프트웨어는 (그림 4-7)과 같이 크게 5가지 블록으로 구성되어 있다.

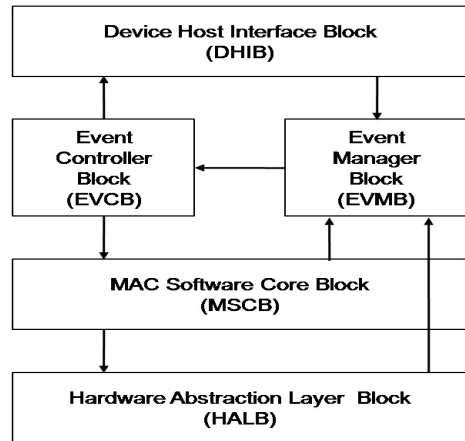
- 디바이스 호스트 인터페이스 블록
- 이벤트 제어 블록
- 이벤트 관리 블록
- MAC 소프트웨어 코어 블록

디바이스 호스트 인터페이스는 10/100 이더넷이 제공된다. 사용중인 호스트와의 통신 기능을 제공하며, 이 인터페이스를 통해 호스트의 초기화/리셋, 호스트로 프레임 전송, 호스트 유형에 근거한 입력 패킷의 분석 등을 할 수 있다. 이벤트 제어 블록은 시스템에 들어오는 이벤트를 분석하고 처리하여, 해당 MAC 라이브러리 API(Application Programmable Interface) 함

수를 호출하거나 필요한 입력 값과 함께 호스트 인터페이스 함수를 호출하여 해당 이벤트를 처리하도록 한다.



(그림 4-6) MAC 하드웨어 프로토콜 블록도



(그림 4-7) MAC 소프트웨어 블록도

이벤트 관리 블록은 다양한 이벤트 큐들로 구성되어 있다. 인터페이스 함수와 MAC 라이브러리 함수가 이 큐들에 다양한 이벤트들을 추가한다. 호스트와 MAC 소프트웨어/하드웨어로부터 전달받은 데이터를 이벤트 큐에 저장하고 관리하며, 이벤트 관리 블록으로 전달하여 적합한 이벤트를 발생시켜 처리하도록 하는 기능을 담

당한다. MAC 소프트웨어 코어 블록은 우선 순위 기반 EDCA MAC 기능을 구현하고 있으며, 제공하는 기능들은 대부분 낮은 실시간성을 요구하고 있어서 소프트웨어로 구현 가능한 것들이다. MAC 소프트웨어 코어 블록은 라이브러리 형태로 설계되어 있으며, MAC State Machine으로 구성되어 있다. State Machine은 함수 포인터의 테이블 형태로 설계되어 있으며, 이 테이블은 현재의 MAC 상태와 입력 형태에 의해 색인되도록 구성되어 있다. 라이브러리는 또한 API 함수 리스트를 제공하고 있다.

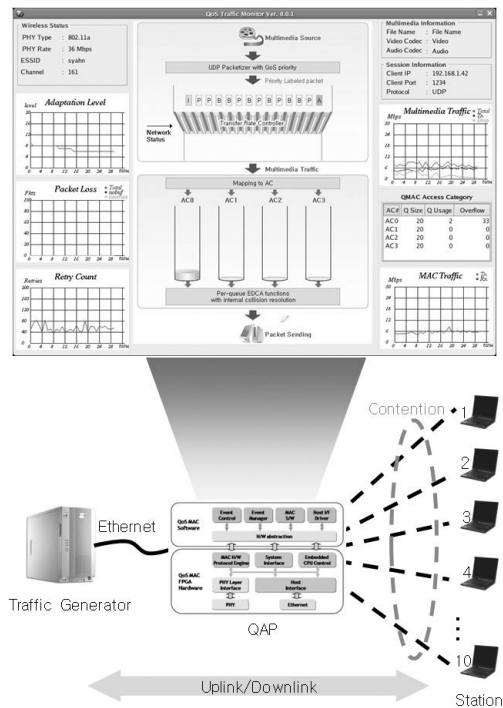
V. 우선 순위 기반 EDCA 성능 분석

본 장에서는 우선 순위 기반 EDCA의 성능을 분석한다. 성능 측정 변수로는 PHY 모드를 나타내는 Wireless 모드, WLAN을 사용할 때 발생하는 트래픽의 양을 Offered Load, 전송되는 데이터의 흐름을 나타내는 전송 방향, 트래픽의 우선 순위에 따라서 전송큐를 분류한 AC, DCF MAC이 구현된 스테이션 개수, 전송되는 데이터의 크기를 나타내는 프레임 크기, 그리고 측정 시간을 동일한 조건으로 설정하였다. 성능 측정 변수는 다음과 같이 설정을 하였다.

- Wireless 모드 : 802.11a, 5.4GHz
- Offered Load : 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
- 전송 방향 : Downlink
- Access Category : Voice, Video, Best Effort, Background

- 스테이션 개수 : 1 ~ 10개
- 프레임 크기 : 1,500Byte
- 측정 시간 : 30Second

성능 분석을 위한 성능 측정 구성도는 (그림 5-1)과 같다. QAP과 스테이션 간의 Uplink/Downlink에 제공되는 Offered Load는 6Mbps ~ 54Mbps로 증가시키고, 스테이션의 개수도 증가시키면서 성능을 측정한다. QAP의 전송 큐는 Voice, Video, Best Effort, Background 큐를 사용한다. <표 5-1>은 각 트래픽 형태에 따라 AC 값을 가진 EDCA 변수를 나타낸다. SIFS, Slot Time을 포함하는 모든 MAC 변수는 기본적인 PHY에 의존한다.



(그림 5-1) 성능 측정 구성도

<표 5-1> EDCA MAC PARAMETER

Type	AC_VO	AC_VI	AC_BE	AC_BK
AIFSN	2	2	3	7
CWmin	3	7	15	15
Retry Limit	7	7	7	7

<표 5-2>는 802.11a PHY 변수를 나타낸다. aSlotTime은 AIFS(Arbitration Inter Frame Space) 기간을 정의하기 위해서 MAC이 사용한다. aSIFSTime은 MAC과 PHY가 무선 인터페이스에서 프레임의 마지막 심볼을 수신하고, 프레임을 처리하고, 무선 인터페이스에서 가장 빠른 응답 프레임의 첫 번째 심볼에 응답하는데 필요한 시간이다. aPreambleLength는 IEEE 802.11a PHY의 프리엠블 길이를 나타내고, aPLCPHeaderLength는 IEEE 802.11a PHY의 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 헤더 길이를 나타낸다.

MAC과 PHY의 상기 변수를 이용하여 우리는 제안한 우선 순위 기반 EDCA MAC의 성능을 분석한다. 전송 주기는 시간당 반복되는 다음과 같은 단계로 구성된다.

- AIFS 지연 단계
- 백오프/경쟁 단계
- 데이터 전송 단계
- SIFS(Short Interframe Space) 지연 단계
- ACK(Acknowledgement) 전송 단계

우리는 우선 순위 기반 EDCA MAC 성능을 측정하기 위해서 AIFS 지연 단계를 [18]에 있는 성능 방정식에 적용 했다. 각각의 성공적인

프레임 전송 시간은 데이터 프레임 전송 시간에 ACK 전송 시간과 1개의 SIFS를 더한 시간과 같다. 만약에 데이터 전송을 실패한다면 스테이션은 ACK 타임아웃 주기 동안을 기다려야 하고, 백오프와 프레임 재전송을 하게 된다. 그러므로, 1개 프레임에 대한 평균 전송 시간은 수식 (1)과 같이 주어진다.

<표 5-2> 802.11a PHY PARAMETER

Parameters	802.11a(OFDM)
aSlotTime	9us
aSIFSTime	16us
aPreambleLength	16us
aPLCPHeaderLength	4us
MAC Header	28Bytes
aDataRateSet	6,9,12,18,24,36,48,54Mbps

$$T_{frame} = \sum_{i=1}^{\infty} p[n=i] \cdot \left[\begin{aligned} &aSIFSTime + T_{ack} \\ &+ aSlotTime + T_{bkoff}(j) \\ &+ T_{data}(L) \end{aligned} \right] + T_{data}(L) + aSIFSTime + T_{ack} \quad (1)$$

단, $T_{data}(L)$ 과 T_{ack} 는 데이터 프레임과 ACK 프레임을 전송하기 위한 시간이다. 데이터 프레임 전송 시간은 수식 (2)와 같다.

$$T_{data}(L) = T_{preamble} + T_{signal} + T_{sym} \times \left[\frac{S_{bit} + L_{mpdu} \times 8 + T_{bit}}{R_{data}} \right] \quad (2)$$

단, Ceiling은 인자 값과 같거나 인자 값보다 큰 가장 작은 정수 값을 나타낸다. $T_{preamble}$ 은 aPreambleLength를 나타내는 PLCP 프리엠블

구간을 의미한다. T_{signal} 은 aPLCPHeaderLength를 나타내는 SIGNAL BPSK-OFDM 심볼의 구간을 나타낸다. T_{sym} 은 4 μ s인 OFDM 심볼 간격을 나타낸다. S_{bit} 은 16Bit를 의미하는 PLCP 헤더에서 SERVICE Bit를 나타낸다. L_{mpdu} 는 Byte 단위의 MPDU(MAC Protocol Data Unit) 길이를 나타낸다. T_{bit} 은 6Bit를 의미하는 DATA 필드에서 Tail Bit를 나타낸다. R_{data} 는 Mbps 단위의 데이터 전송율을 나타낸다.

그리고, ACK 프레임 전송 시간은 수식 (3)과 같다.

단, L_{ack} 는 Byte 단위의 Acknowledgement 길이를 나타내고, R_{rsp} 는 Mbps 단위의 응답율을 나타낸다.

$$T_{ack} = T_{preamble} + T_{signal} + T_{sym} \times \left[\frac{S_{bit} + L_{ack} \times 8 + T_{bit}}{R_{rsp} \times 4} \right] \quad (3)$$

AIFS 지연 단계의 시간은 수식 (4)와 같다.

$$aAIFSTime = aSIFSTime + AIFSN \times T_{slot} \quad (4)$$

단, $aAIFSTime$ 은 μ s 단위의 Arbitration Inter Frame Space를 의미한다. T_{slot} 은 μ s 단위의 Slot Time을 나타낸다.

그리고, AIFS 지연 단계 이후 진행되는 백오프 단계는 μ s 단위의 평균 백오프 간격인 $T_{bkoff}(j)$ 로 정의할 수 있고, i 번째 연속적으로 성공하지 못하는 전송 시도는 수식 (5)와 같다.

$$T_{bkoff}(i) = \begin{cases} \frac{2^i \cdot (CW_{min} + 1) - 1}{2} \cdot aSlotTime & 0 \leq i < 6, \\ \frac{CW_{max}}{2} \cdot aSlotTime & i \geq 6 \end{cases} \quad (5)$$

그리고, $p[n=i]$ 은 i 번째 전송 시도 이후에 성공적인 전송 확률을 나타낸다. 이는 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p[n=i] = [1 - P_{success}(L)]^{i-1} \cdot P_{success}(L) \quad (6)$$

단, $P_{success}(L)$ 은 L Byte 데이터 프레임의 성공적인 전송 확률을 의미한다. 마지막으로 성능을 계산하기 위해서 전송이 성공된 2개 프레임의 간격을 계산해야 한다. 이는 수식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Throughput = \frac{L_{payload} \times 8}{aAIFSTime + T_{bkoff}(0) + T_{frame}} \quad (7)$$

단, $L_{payload}$ 는 Byte 단위의 전송 Payload 길이를 의미한다.

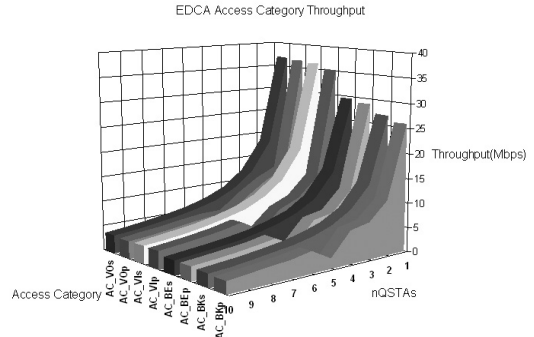
따라서, 각각의 우선 순위 기반 EDCA MAC 성능은 AC별로 도출할 수 있다. (그림 5-2)는 시물레이션과 플랫폼간의 AC별 성능을 보여주고 있다. AC_VO와 AC_VOp는 각각 시물레이션과 플랫폼에서의 Voice 우선 순위 큐를 나타낸다.

<표 5-3> 우선 순위 큐별 EDCA 성능

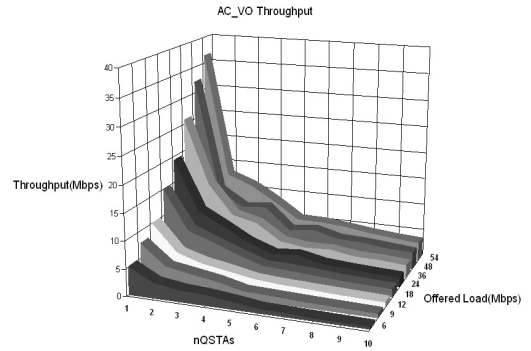
Access Category	Simulation (Mbps)	Platform (Mbps)	Ratio
Voice	36.9	36.5	0.99
Video	36.2	35.2	0.97
Best Effort	29.5	28.9	0.98
Background	27.1	25.9	0.96

AC_VO의 성능은 Offered Load가 54Mbps인 경우에 36.9Mbps를 나타내고 있다. 그리고, AC_VOp의 성능은 Offered Load가 54Mbps인 경우에 36.5Mbps를 나타낸다. 스테이션 개수가 증가할수록 AC_VO와 AC_VOp의 성능은 반비례로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 스테이션 개수가 증가할수록 점유할 대역폭이 줄어들고, 매체에 접근할 기회가 감소하기 때문이다.

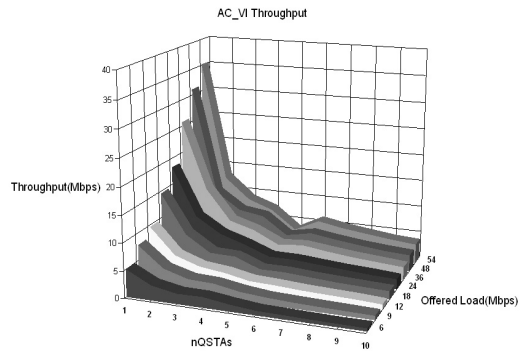
Best Effort 우선 순위 큐의 경우를 보면, Offered Load가 54Mbps일 때 AC_BE의 성능은 29.5Mbps이고, AC_BEp의 성능은 28.9Mbps를 나타내고 있다. Voice 우선 순위 큐의 성능이 Best Effort 우선 순위 큐보다 높은 이유는 Voice 우선 순위 큐의 AIFSN과 CWmin 값이 가장 작으므로 매체에 먼저 접근하여 전송할 수 있는 기회가 많기 때문이다. 시뮬레이션과 플랫폼간의 성능 차이는 전파 지연, 채널 조건의 영향이 있기 때문이다. 시뮬레이션의 경우에는 전파 지연과 채널 에러가 존재하지 않는 경우로 적용하였다. <표 5-3>은 우선 순위 큐별로 시뮬레이션과 플랫폼간의 성능 비율을 나타내고 있다. Voice 큐인 경우에 시뮬레이션과 플랫폼간의 성능 비율은 0.99를 나타내고 있다. Background 큐인 경우에는 0.96을 나타내고 있다. 다소 차이는 나지만 Voice 큐에서 Background 큐로 우선 순위가 낮아지면서 매체 접근 확률이 낮아지고, 이는 전파 지연과 채널 에러를 증가 시키는 경향을 보이고 있다. 플랫폼에서 각각의 우선 순위 큐별로 Offered Load에 따른 성능이 (그림 5-3) ~ (그림 5-6)에 나타나 있다.



(그림 5-2) 우선 순위 AC별 성능 측정



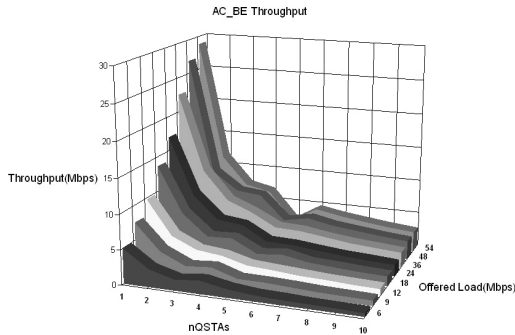
(그림 5-3) 우선 순위 Voice 큐 성능



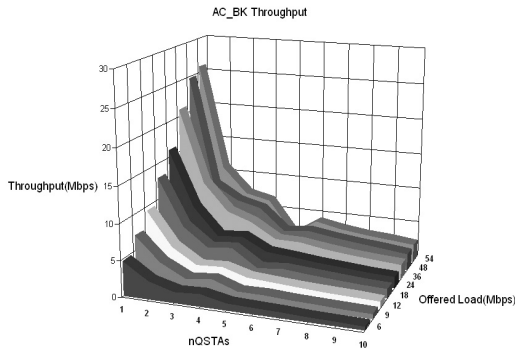
(그림 5-4) 우선 순위 Video 큐 성능

(그림 5-3)에서 우선 순위 Voice 큐의 Offered Load를 6 ~ 54Mbps, 스테이션 개수를 1 ~ 10개로 증가 시키면서 성능을 측정해 보면, 스테이션 개수가 1개이고 Offered Load가 54Mbps인 경우

에 36.5Mbps 성능을 나타내고 있다. 이는 우선 순위 Voice 큐로 전송되는 트래픽은 채널 접근 기회가 많기 때문에 다른 우선 순위 큐들에 비해서 성능이 높게 나타나고 있다. 즉, 우선 순위 Voice 큐의 AIFS와 평균 백오프 시간이 다른 우선 순위 큐들에 비해서 작기 때문에 성능이 높게 나타난다. 그리고, 스테이션의 개수가 증가 할수록 데이터 전송시에 충돌 확률이 증가하고, 채널 접근 기회가 적기 때문에 성능이 감소하는 것을 알 수 있다. 우선 순위 Voice 큐의 Offered Load가 6Mbps이고 스테이션 개수가 1개인 경우에, 5.23Mbps의 성능을 나타내고 있다. 이런 결과는 상기의 경우와 같은 경우라고 할 수 있다.



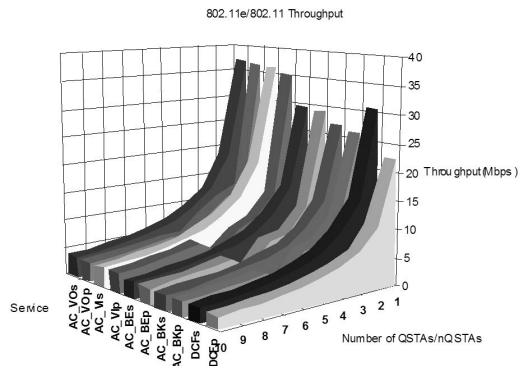
(그림 5-5) 우선 순위 Best Effort 큐 성능



(그림 5-6) 우선 순위 Background 큐 성능

우선 순위 큐를 적용한 EDCA와 DCF와의 성능을 비교해 보면 DCF 경우에 CWmin=15이고, $AIFSN[AC_BK] < AIFSN[AC_BE] < 2 < AIFSN[AC_VI] < AIFSN[AC_VO]$ 이므로, 우선 순위 큐 중에서 Voice와 Video 같은 멀티미디어 트래픽은 각각의 Voice 큐와 Video 큐를 통하여 채널 접근 기회가 DCF보다 많다는 것을 알 수 있다.

(그림 5-7)에서 DCFs와 DCFp는 각각 시뮬레이션과 플랫폼에서의 DCF 성능을 나타내고 있다. Offered Load가 54Mbps일 때에 DCFs의 성능은 30.8Mbps이고, DCFp의 성능은 22.4Mbps를 나타내고 있다. DCF는 멀티미디어 트래픽을 전송할 때에 우선 순위를 보장하지 못하지만, Best Effort 큐나 Background 큐에서 전송되는 트래픽의 성능 보다는 우수하게 나오고 있다. 그러나, 시간에 민감한 Voice 또는 Video 데이터를 전송할 때에는 채널 접근 기회가 적기 때문에 멀티미디어 데이터 전송에는 적합하지 않다. 따라서, 우선 순위 기반 EDCA 메커니즘은 멀티미디어 트래픽 전송을 지원할 수 있다는 것을 알 수 있다.



(그림 5-7) 우선 순위 EDCA와 DCF 성능

결국, 제안한 우선 순위 기반 EDCA 메커니즘의 성능이 기존의 DCF 보다는 시뮬레이션에서 최대 19.8%, 플랫폼에서 최대 62.9% 우수하다는 것을 알 수 있다.

Acknowledgment

본 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 성장동력기술개발/국제표준트랙 사업의 일환으로 수행하였음. [2008-S-036-01, One-Service-Cross-Domain 지원을 위한 통합형 u-서비스 프레임워크 개발]

VI. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 트래픽 전송을 위한 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘을 제안하고, 각각의 우선 순위 큐에 대한 성능과 기존의 DCF의 성능을 분석하였다. 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘을 적용하기 위해서 제안한 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘을 시뮬레이션 하여, 이 알고리즘을 적용하여 MAC 하드웨어와 MAC 소프트웨어 구조로 우선 순위 기반 EDCA 플랫폼을 구현하였다. 시뮬레이션은 CSIM 라이브러리를 사용하여 Linux 환경에서 구현되었고, CSIM 라이브러리가 있는 곳이라면 플랫폼에 상관없이 컴파일 가능하다. 플랫폼을 구현할 때에는 실시간 요소가 필요한 기능은 MAC 하드웨어로 구현하였고, 실시간 요소의 필요성이 낮은 기능은 MAC 소프트웨어로 구현하였다.

QAP에는 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘을 적용하였고, 스테이션은 가장 널리 사용되고 있는 DCF가 적용되고 802.11a/b/g PHY가 지원되는 상용 무선 LAN 카드를 사용하였다. 성능을 분석한 결과는 멀티미디어 트래픽의 전송을 위한 우선 순위 기반 EDCA 알고리즘이 기존의 DCF 보다 우수하다는 것을 확인하였다. 인터넷망을 통해서 멀티미디어 트래픽을 스트리밍 서비스 받는 경우에는 우선 순위 기반 멀티미디어 데이터 전송이 필요하고, 멀티미디어 트래픽을 전송하기 위해서는 QAP가 트래픽을 전달하는데 매우 중요한 역할을 한다. 그러나, 스테이션끼리 직접 통신이 필요할 경우에도 QAP를 거쳐서 데이터가 전달되는 경우에는 스테이션끼리 직접 데이터 전송을 하는 경우보다 대역폭 효율이 떨어질 수 있다. 따라서, 스테이션끼리 멀티미디어 트래픽 통신이 필요할 경우에는 직접 통신을 하여 전송 효율을 높여야 한다.

IEEE 802.11 표준회의에서 멀티미디어 데이터 전송을 위해서는 802.11e MAC 개발의 필요성이 지속적으로 언급되고 있고, 이러한 필요성에 따라 애드혹 네트워크 기반 스테이션 간의 직접 통신이 지원되어야 한다는 이슈가 제기되고 있다. 그래서, 현재 애드혹 네트워크 기반의 DLS 표준화가 진행 중이며, 향후 고화질 멀티미디어 전송에도 많이 적용될 것으로 예상된다. 따라서, DLS 기능 지원시 본 논문에서 제안하는 우선 순위 기반 EDCA 방식을 적용할 경우에는 피어 투 피어의 스테이션간 DLS를 통하여 멀티미디어 트래픽을 전송하게 될 때 대역 효율을

통해서 전송 성능을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 DLS 표준화시 피어 투 피어 기반의 멀티미디어 데이터 전송을 위해서 본 논문의 방식을 제안하고 지속적으로 반영해 갈 것이며, 아울러 차기 회의에 대비해서 새로운 제안을 제출할 계획이다.

>> 참고문헌

- [1] *IEEE 802 Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHZ Band, IEEE std.*, 1999.
- [2] *IEEE 802 Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, IEEE std.*, 2005.
- [3] G. Bianchi, "IEEE 802.11 Saturation Throughput Analysis," *IEEE Communications Letters*, vol. 2, no. 12, pp. 318–320, Dec. 1998.
- [4] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535–547, Mar. 2000.
- [5] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "IEEE 802.11 wireless LAN: Capacity Analysis and Protocol Enhancement," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 142–149, Mar. 1998.
- [6] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 18, pp. 785–799, Dec. 2000.
- [7] Y. C. Tay and K. C. Chua, "A Capacity Analysis for the IEEE 802.11 MAC Protocol," *ACM/Baltzer Wireless Networks*, vol. 7, no. 2, pp. 159–171, Mar. 2001.
- [8] S. Choi, J. D. Prado, N. S. Shankar, and S. Mangold, "IEEE 802.11e Contention-Based Channel Access (EDCF) Performance Evaluation," in *Proc. IEEE ICC*, vol. 2, pp. 1151–1156, May 2003.
- [9] Younggoo Kwon, Yuguang Fang, and Haniph Latchman, "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 853–862, April 2003.
- [10] Haitao Wu, Yong Peng, Keping Long, Shiduan Cheng, and Jian Ma, "Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN: Analysis and Enhancement," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 599–607, Nov. 2002.
- [11] Nah-Oak Song, Byung-Jae Kwak, and Leonard E. Miller, "Analysis of EIED Backoff Algorithm for the IEEE 802.11 DCF," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 2182–2186, Sept. 2005.
- [12] Junwhan Kim and Jaedoo Huh, "Link Adaptation Strategy on Transmission Rate and Power Control in IEEE 802.11 WLANs," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 1–5, Sept. 2006.
- [13] 한국전자통신연구원, "무선홈네트워크 기반 HD급 대화형 멀티미디어 서비스 기술 개발," 최종 연구개발보고서, 정보통신부, pp. 15–29, 2007. 4.
- [14] D. Gu and J. Zhang, "QoS Enhancement in IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, pp. 120–124, June 2003.
- [15] D. Chen, D. Gu, and J. Zhang, "Supporting Real-Time Traffic with QoS in IEEE 802.11e Based

Home Networks,” in *Proc. IEEE CCNC*, pp. 205–209, Jan. 2004.

[16] D. Gao, J. Cai, P. Bao, and Z. He, “MPEG-4 Video Streaming Quality Evaluation in IEEE 802.11e WLANs,” in *Proc. IEEE ICIP*, pp. 197–200, Sept. 2005.

[17] A. Ksentini, A. Gueroui, and M. Naimi, “Toward an Improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross-Layer Architecture,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 107–114, Jan. 2006.

[18] Javier del Prado and Sunghyun Choi, “Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement,” in *Proc. IEEE ICC*, pp.1108–1113, May 2003.

[19] Yoon-Sik Yoo and Jae-Doo Huh, “Multimedia Communications over IEEE 802.11e EDCA MAC Platform using Priority-based Access Category,” in *Proc. ICCCS*, pp.226–229, Nov. 2008.

[20] 유윤식, 허재두, “이종의 트래픽을 위한 IEEE 802.11e 경쟁 기반 MAC에서 QoS 지원 메커니즘,” *대한임베디드공학회 추계학술대회*, pp.185–189, 2008. 11.

[21] Kyung-Jun Lee, Doug-Young Suh, Gwang-Hoon Park and Jae-Doo Huh, “Scalable Video Streaming Adaptive to Time-Varying IEEE 802.11 MAC Parameters,” *IEICE Transactions on Communications Letters*, pp. 3404–3408, vol. e91-b, no. 10, Oct. 2008

>> 저자소개



유 윤 식 (Yoon-Sik Yoo)

· Email: midasyoo@etri.re.kr
 · Tel: +82-42-860-6488
 · Fax: +82-42-860-5218

- 1999.2 : 성균관대학교 전자공학과 학사
- 2001.2 : 성균관대학교 전자공학과 석사
- 2001 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 주관심분야 : WLAN MAC, WLAN 응용, 임베디드 시스템, 실시간 미디어 스트리밍 시스템, 지능형 에이전트, Context-Aware Computing



허 재 두 (Jae-Doo Huh)

· Email: jdjuh@etri.re.kr
 · Tel: +82-42-860-5918
 · Fax: +82-42-860-5218

- 1987.2 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1990.2 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2000.8 : 경북대학교 정보통신공학과 박사
- 1987 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 센서네트워킹응용 연구팀 팀장(책임연구원)
- 2000 ~ 현재 : 국제 IT 표준 전문가
- 2005 ~ 현재 : TTA WPAN PG 의장
- 주관심분야 : WLAN 미디어 컴퓨팅, WPAN 프로토콜, 지그비/UWB 응용, 센서네트워크, Context-Aware Computing