

WLAN에서 스트리밍 서비스의 QoS를 보장하기 위한 승인 제어 기술

준회원 강석원*, 이현진*, 이규환*, 종신회원 김재현*, 노병희**

An Admission Control Mechanism to guarantee QoS of Streaming Service in WLAN

Seok-Won Kang*, Hyun-Jin Lee*, Kyu-Hwan Lee* *Associate Members,*
Jae-Hyun Kim*, Byeong-Hee Roh** *Lifelong Members*

요 약

IEEE 802.11e에서 HCCA(Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access)는 평균 전송률로 고정된 무선 자원을 예약하기 때문에 MPEG(Moving Picture Experts Group)을 이용한 스트리밍 서비스와 같이 프레임의 크기가 급격히 변화하는 경우 무선 자원을 낭비하는 문제가 발생하고 MAC(Medium Access Control) 계층의 전송 지연이 증가하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 HCCA에서는 가변하는 패킷의 크기에 적응적으로 자원을 할당하는 연구가 활발히 진행 중이다. 그러나 가변적으로 자원을 할당하는 패킷 스케줄러는 요구자원이 달라지기 때문에 가용한 자원을 계산하기 어려워 승인제어를 수행하기 어려워진다. 본 논문에서는 기존의 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)를 사용할 경우 트래픽 증가에 의해 QoS(Quality of Service)를 만족시키지 못하는 문제를 해결하기 위한 CAC(Connection Admission Control) 기술을 제안한다. 제안하는 CAC 기술은 응용계층에서 발생하는 트래픽 정보와 무선 채널 환경을 고려하여 EB(Effective Bandwidth)를 계산하며 이를 통하여 승인제어를 수행한다. 시뮬레이션 결과 제안하는 CAC 기술은 스트리밍 서비스의 지연 한계를 만족하는 망 부하 이내에서 승인제어를 효과적으로 수행하여 스트리밍 서비스의 QoS를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : WLAN, Streaming Service, QoS

ABSTRACT

The HCCA reserves the channel resources based on the mean data rate in IEEE 802.11e. It may cause either the waste of channel resource or the increase of transmission delay at MAC layer if the frame size is rapidly varied when a compressed mode video codec such as MPEG video is used. To solve these problems, it is developed that the packet scheduler allocates the wireless resource adaptation by according to the packet size. However, it is difficult to perform the admission control because of the difficulty with calculating the available resources. In this paper, we propose a CAC mechanism to solve the problem that may not satisfy the QoS by increasing traffic load in case of using EDCA. Especially, the proposed CAC mechanism calculates the EB of

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2009-(C1090-0902-0003))과 성장 동력 기술개발 사업(10028453-2007-02)의 연구 결과로 수행되었습니다.

* 아주대학교 전자공학과 무선 인터넷 연구실({note3857, l33hyun, lovejiyoon7, and jkim}@ajou.ac.kr)

** 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학과 이동 멀티미디어 통신 네트워크 연구실(bhroh@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-03-107, 접수일자 : 2009년 3월 12일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 19일

TSs using the traffic information transmitted by the application layer and the number of average transmission according to the wireless channel environment, and then determines the admission of the TS based on the EB. According to the simulation results of the proposed CAC mechanism, it admitted the TSs under the loads which are satisfied within the delay bound. Therefore, the proposed mechanism guarantees QoS of streaming services effectively.

I. 서 론

실시간 서비스의 효과적인 전송을 위해 IEEE 802.11 WG(Working Group)에서는 실시간 서비스의 QoS를 제공하는 HCCA를 표준화하였다^[1]. HCCA는 그림 1의 TSPEC(Traffic Specification) 협상을 통하여 승인된 TS(Traffic Stream)의 접근을 polling방식으로 허용하는 기술로 예약 기반의 QoS를 제공한다. 그러나 표준에 제시된 ACU(Admission Control Unit)는 단일 물리계층 전송속도에서 평균 전송률만을 사용하여 고정된 무선 자원을 예약하므로 MPEG과 같이 압축방식을 사용하는 비디오 스트리밍 서비스의 경우 전송 지연이 증가할 수 있으며, 전송 지연 한계를 초과한 프레임에 의한 무선 자원의 낭비를 야기할 수 있다.

HCCA가 실시간 서비스를 제공할 때 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해 [2]의 D. Gao와 J. Cai는 초기 물리계층 전송속도를 기준으로 평균적인 물리계층 전송속도의 변화에 따라 TXOP(Transmission Opportunity)를 할당하고, 변화된 TXOP에 따라 새로운 TS의 승인을 제어하는 알고리즘인 PRBAC(Physical Rate Based Admission Control)를 제안하였다. 또한 [3]의 P. Ansel은 HCCA가 트래픽의 전송률이 가변적으로 변하는 경우 개별 TS의 수신 패킷에 저장된 큐 정보를 이용하여 현재 TS의 큐 크기를 추정하고, 추정된 정보와 실제 큐 정보의 차이만큼을 보상하여 TXOP를 제한당하는 FHCF(Fairness Hybrid Coordination Function)를 제안하였다. [4]의 W. Fan은 VBR(Variable Bit Rate) 트래픽에서 패킷 손실 확률을 만족시키는 범위 내에서 승인제어를 수행하는 패킷 손실 확률 기반 승인제어

기술을 제안하였다. 그러나 [2]는 물리계층의 전송 속도 변화에 대한 고려는 있으나 평균 전송속도를 기반으로 승인제어를 이루고 있어 응용계층에서 VBR로 트래픽이 발생할 경우 주어진 TXOP 이내에 전송되지 못한 MAC 프레임은 다음 SI(Service Interval)까지 전송이 지연되는 문제가 발생할 수 있다. 또한 [3]은 승인된 TS의 큐에 저장된 패킷이 적을 때 추가적으로 승인된 TS에 의해 전체 승인된 TS가 지연을 겪는 문제가 발생할 수 있다. [4]는 SI를 서비스트래픽의 지연한계로 가정하여 서비스 트래픽의 지연한계가 다른 경우 높은 지연한계를 가진 트래픽의 승인이 감소하는 문제를 야기할 수 있다. 또한 승인제어에서 패킷 손실 확률을 구하기 위해서는 트래픽의 분포에 관한 정보가 요구되어 구현이 어려운 문제가 있다. 현재까지는 WLAN(Wireless Local Area Network)에서 HCCA를 사용하여 실시간 서비스의 QoS를 만족시키기 위한 연구가 주를 이루었다. 그러나 HCCA를 사용할 때 EDCA 또는 DCF(Distributed Coordination Function)로 전송되는 트래픽이 증가할 경우 최대 TXOP limit만큼의 지연이 발생할 수 있다. 또한 승인제어에서 경쟁방식으로 전송되는 서비스가 점유하는 자원을 측정하는 것이 어려워 효과적으로 승인 제어를 이루기가 어렵다. 따라서 제안하는 CAC 기술은 응용계층에서 발생하는 트래픽 정보와 무선 채널 환경을 고려하여 토큰 버킷에 기반한 EB를 계산하여 EDCA에서 AC(Access Category)별로 승인제어를 수행한다.

II. IEEE 802.11e에서 QoS 보장 기술

2.1 IEEE 802.11e의 HCCA 메커니즘

서비스에 따라 차별화된 QoS를 제공하기 위하여 IEEE 802.11e에서는 경쟁방식과 비경쟁방식을 결합한 기술인 HCF(Hybrid Coordination Function)를 사용한다. HCF는 경쟁기반의 분산 채널 접근 방식으로 EDCA를 사용하며, 비경쟁방식의 채널 접근 방식으로 HCCA를 사용한다. HCCA는 IEEE 802.11에서 사용하는 PCF와 비교하여 세 가지의 차이를 보인다. 첫 번째는 경쟁구간 뿐만 아니라 비경쟁구간

Elements ID (1)	Length (1)	TS info (2)	Nominal MSDU Size (2)	Maximum MSDU Size (2)
Minimum Service Interval (4)	Maximum Service Interval (4)	Inactivity Interval (4)	Minimum Data Rate (4)	Mean Data Rate (4)
Maximum Burst Size (4)	Minimum PHY Rate (4)	Peak Data Rate (4)	Delay Bound (4)	Surplus Bandwidth Allowed (4)

그림 1. TSPEC의 구조

에서도 QSTA(QoS Station)끼리 여러 개의 프레임을 전송할 수 있다는 것이다. 이것은 음성 서비스와 같이 SI가 짧은 서비스에 대해서 비경쟁구간의 기다림에 의한 불필요한 지연을 감소시킬 수 있다. 두 번째는 IEEE 802.11에서 사용하는 PC(Point Coordinator)가 polling을 하고 난 뒤 전송구간을 제어하지 못하는 문제점을 해결하기 위해 HC(Hybrid Coordinator)가 CF-Poll 프레임에 명시된 구간 동안 QSTA에게 TXOP를 할당한다는 것이다. 세 번째는 QSTA가 HC에게 새로운 TS를 승인 받기 위해서는 TSPEC을 이용하여 자원협상과정을 거쳐야만 한다는 것이다. HCCA를 통하여 실시간 트래픽을 전송하는 방법은 그림 2와 같다. 첫 번째로 QAP(QoS Access Point)는 QSTA1에게 채널을 사용할 권한을 주었으며, QSTA1은 자신의 큐에 저장된 MSDU(MAC Service Data Unit)를 할당 받은 TXOP 시간 동안 차례로 전송한다. QSTA1에 할당된 TXOP 구간이 끝나면 QAP는 PIFS(Point Coordination Function Interframe Space) 시간이 지나고 난 뒤, QSTA3으로 전송할 QoS-Data 프레임에 CF-Poll 프레임을 피기백하여 전송하고, 나머지 QSTA는 수신한 CF-Poll 프레임 정보에 따라 NAV(Network Allocation Vector)를 설정한다. 이와 같은 순서로 QAP는 polling 리스트에 포함된 QSTA에게 채널 접근 권한을 할당한다. 그러나 HCCA를 사용할 경우 경쟁기반으로 전송되는 서비스의 점유 시간을 예측하기가 어려워 승인제어를 효과적으로 수행하기 어렵다. 또한 QAP가 망에 속한 모든 QSTA를 관리하므로 구현이 어려울 뿐만 아니라 QAP의 가격 상승을 야기할 수 있다.

EDCA는 상위의 AC(Access Category)에게 낮은 채널 접근 시간을 할당하여 통계적으로 전송 지연을 감소시키는 우선권 기반의 QoS를 제공한다. 각 AC별로 채널 접근 시간은 AIFSN(Arbitration Interframe Space Number), CW_{min} , CW_{max} , PF(Persistent Factor) 그리고 TXOP limit에 의해 특징지어진다. 각 AC별

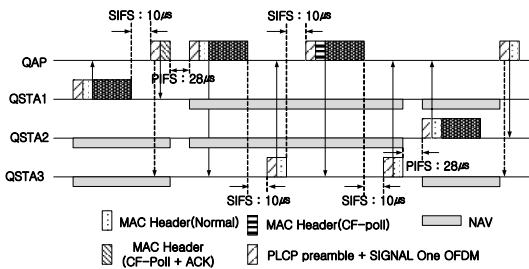


그림 2. HCCA를 이용한 MAC 프레임 전송 예

IFS(Interframe Space)인 $T_{AIFS(i)}$ 는 EDCA의 파라미터를 이용하여 계산되며 식(1)과 같다.

$$T_{AIFS(j)} = T_{SIFS} + AIFSN(j) \times T_\delta, \quad (1)$$

이때, j 는 AC 인덱스, T_{SIFS} 는 SIFS(Short IFS) 길이를 나타낸다. T_δ 는 WLAN의 mini-slot 크기로 채널의 전송 유무를 감지하는데 필요한 시간으로 RF switching time과 CCA(Clear Channel Assessment) 시간으로 이루어진다. AC별로 back-off 시간을 결정하는데 사용되는 CW는 식(2)와 같이 계산된다.

$$CW_{l+1}^{(j)} = \min\{[(CW_l^{(j)} + 1) \cdot PF^{(j)}] - 1, CW_{max}^{(j)}\}$$

$$T_{backoff, l+1} = T_\delta \lfloor rand(0, CW_{l+1}^{(j)}) \rfloor, \quad (2)$$

이때, $CW_{l+1}^{(j)}$ 는 j 번째 AC가 $l+1$ 번째 전송 시도에서 선택하는 CW로 선택할 수 있는 임계값을 나타낸다.

$\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 작은 최대의 정수를 나타낸다. $PF^{(j)}$ 는 j 번째 AC의 PF를 나타내며 주로 2를 사용한다. $CW_{max}^{(j)}$ 는 j 번째 AC의 최대 CW이다. $rand(x, y)$ 는 x 부터 y 사이에서 uniform하게 선택된 임의의 값을 나타낸다. EDCA는 경쟁방식으로 채널에 접근하기 때문에 추가적인 스케줄링 알고리즘의 개발이 필요 없을 뿐만 아니라 QAP에 추가적인 기능을 요구하지 않아 구현이 용이하다. 또한 일정 수준 이하의 부하에서는 스트리밍 서비스의 QoS를 충분히 만족시킬 수 있다⁵⁾. 따라서 본 논문에서 제안하는 CAC 알고리즘은 EDCA를 기반으로 한다.

2.2 IEEE 802.11e의 자원 예약 방안

IEEE 802.11e에서 TSPEC 협상을 통해 TS별로 TXOP를 할당하는 메커니즘은 HCCA에서만 사용된다. 표준에서 제시하고 있는 ACU를 살펴보면 다음과 같다. ACU는 TSPEC의 기본 파라미터만을(Maximum Service Interval, Nominal MSDU Size, Mean Data Rate, Physical Transmission Rate)을 사용한다¹¹⁾. 만약 k 개의 TS가 승인이 되었을 때 $k+1$ 번째 승인을 요청하는 TS는 두 단계의 계산 과정을 통하여 TXOP가 계산된다. 첫 번째는 SI(δ_{SI})를 결정하는 과정으로 식(3)과 같다.

$$\delta_{SI} = \max_{1 \leq j \leq n} \{\alpha_j \leq m\}, \quad (3)$$

이때, α_j 는 집합 A 의 j 번째 원소이며, 집합 A 는 비론 프레임 전송 시간 간격의 약수를 원소로 가지는 집합을 의미하며 식(4)와 같이 정의된다.

$$A = \{\alpha_j | \alpha_j = \text{submultiple}(T_{BP})\}, \quad (4)$$

이때, T_{BP} 는 비론 프레임의 전송 시간 간격으로 슈퍼 프레임의 크기를 의미하며, $\text{submultiple}(x)$ 은 x 의 약수를 구하는 함수이다. 또한 m 은 TS의 최대 전송 주기(MSI; Maximum Service Interval) 중에서 가장 작은 값을 의미하며 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$m = \min_{1 \leq i \leq k+1} \{MSI_i\}, \quad (5)$$

이때, i 는 TS의 인덱스를 의미하며 MSI_i 는 i 번째 TS의 MSI를 의미한다. 두 번째는 TXOP의 길이를 계산하는 과정으로 스케줄러는 SI 동안 평균전송률로 생성될 수 있는 MSDU의 수(N_{k+1})를 식(6)과 같이 계산한다.

$$N_{k+1} = \lceil \frac{SI \times \rho_{k+1}}{L_{k+1}} \rceil, \quad (6)$$

이때, ρ_{k+1} 과 L_{k+1} 은 각각 $k+1$ 번째 TS의 평균 전송률과 MSDU의 크기이다. $\lceil x \rceil$ 은 x 보다 큰 최소의 정수를 의미한다. 참조 패킷 스케줄러는 식(6)에 의해 계산된 N_{k+1} 을 이용하여 TS의 TXOP 길이($TXOP_{k+1}$)를 식(7)과 같이 계산한다.

$$TXOP_{k+1} = \max \left\{ \frac{N_{k+1} \times L_{k+1}}{R_{k+1}} + O, \frac{M}{R_{k+1}} + O \right\}, \quad (7)$$

이때, R_{k+1} 은 $k+1$ 번째 협상된 TS의 최소 물리계층 전송 속도이며, M 은 최대 허용 가능한 MSDU의 크기이다. 또한, O 는 하나의 MSDU를 전송하는데 요구되는 시간으로 프리앰블 전송시간, IFS, QoS-ACK 프레임 등의 오버헤드 시간이다. ACU는 식(8)을 만족하는지를 평가하여 TS의 승인 여부를 결정한다.

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T_{BP} - T_{CP}}{T_{BP}}, \quad (8)$$

이때, T_{CP} 는 경쟁방식으로 패킷을 전송하는 시간을 의미한다. 앞에서 기술한 바와 같이 표준에서 제

시하는 ACU는 단일계층의 물리 전송 속도에서 평균 전송률만을 사용하여 고정된 무선 자원을 예약하므로 MPEG과 같이 압축방식을 사용하는 비디오 스트리밍 서비스의 경우 전송 지연이 증가할 수 있으며 전송 지연 한계를 초과한 프레임에 의한 무선 자원의 낭비를 야기 할 수 있어 비효율적이다.

III. 제안하는 QoS 정보 획득 절차 및 CAC 기술

본 논문에서 제안하는 CAC 기술을 포함한 QAP의 구조는 그림 3과 같다. QAP에 포함된 승인제어 메커니즘은 QSTA로부터 서비스 트래픽의 QoS 요구 정보를 획득하고 이를 기반으로 승인제어를 수행한다. 따라서 제안하는 메커니즘은 스트리밍 서비스를 연결하기 위하여 추가적인 정보를 교환해야하기 때문에 서비스 연결 시간이 증가할 수 있으나 이것은 서비스를 시작하기 전에 요구되는 시간이기 때문에 사용자 측면의 성능 감소는 무시할 수 있다.

3.1 QoS 보장을 위한 서비스 연결 절차

망에 연결된 QSTA는 외부의 스트리밍 서비스를 제공받기 위해서는 스트리밍 서비스의 트래픽 정보를 획득하여야 하며 QAP와 TSPEC 협상을 수행할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 4와 같은 연결 절차를 제안한다. 첫 번째로 QAP를 통해 스트리밍 서버에게 Session Request 메시지를 전송하여 스트리밍 서비스를 요청한다. 스트리밍 서비스의 정

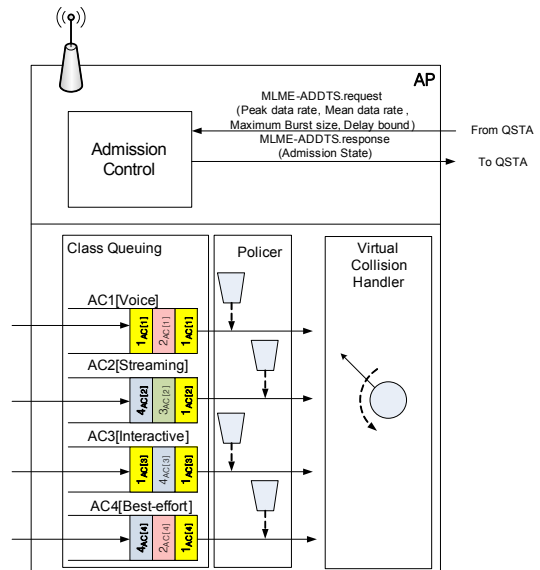


그림 3. QAP의 구조

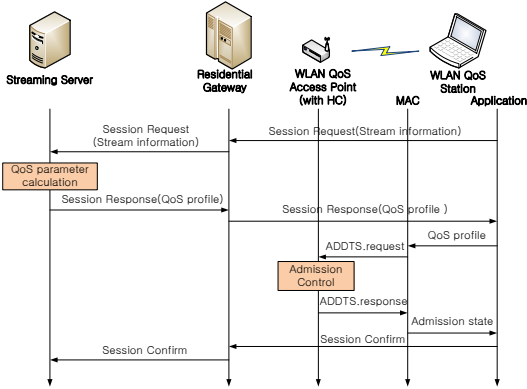


그림 4. 스트리밍 서비스 연결 방법

보를 요구 받은 스트리밍 서버는 QSTA가 요청한 스트리밍 서비스의 최대 전송속도(P_i)와 평균 전송 속도(ρ_i), 최대 버스트 크기(σ_i), 그리고 지연한계(d_i)로 구성된 QoS 정보를 Session Response 메시지에 저장하여 QSTA에게 전송한다.

QSTA는 응용계층에서 Session Response 메시지를 해석하여 QoS 관련 정보를 MAC 계층에 전달한다. QoS 정보를 획득한 MAC 계층은 스트리밍 서비스에 필요한 TXOP을 할당받기 위하여 TSPEC에 QoS 정보를 ADDTS.request 메시지에 저장하여 QAP에 위치한 HC에게 전송한다. 스트리밍 서비스의 QoS 정보를 획득한 HC는 다음 절에서 제시하는 CAC 기술을 이용하여 승인 여부를 판단하고 그 결과를 ADDTS.response 메시지로 QSTA에게 전달한다. ADDTS.response 메시지를 수신한 QSTA의 MAC 계층은 스트리밍 서비스의 승인 결과를 응용계층에게 전달하고 응용계층은 스트리밍 서버에 Session Confirm 메시지를 전달하여 서비스 연결 절차를 완료한다.

3.2 제안하는 EB기반의 CAC 기술

본 논문에서 제안하는 CAC 기술은 응용계층으로부터 전달받은 최대 전송 속도, 평균 전송 속도, 최대 버스트 크기 그리고 지연한계와 같은 트래픽 정보와 무선 채널 환경에 따른 평균 전송 회수를 고려한다. 제안하는 CAC 기술은 스트리밍 서비스의 패킷을 지연한계 이내에 전송하기 위해 필요한 자원을 할당 받기 위하여 EB를 계산한다. 이때, EB는 식(9)와 같이 토큰 버킷에 의해 계산된 대역폭과 하나의 패킷을 성공적으로 전송하기 위해 필요한 평균 전송 회수의 곱으로 계산된다.

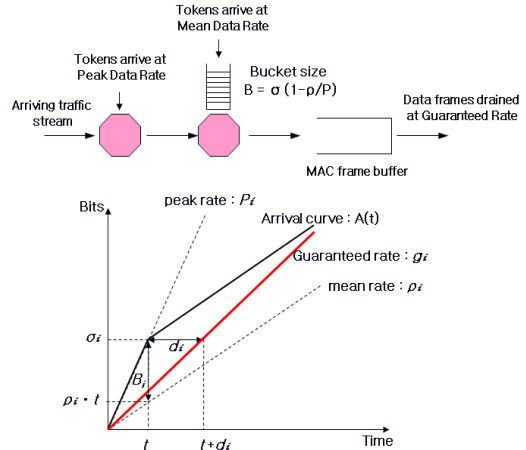


그림 5. 토큰 버킷 필터의 특성

$$EB_i = g_i \times s_i, \tag{9}$$

이때, i 는 새롭게 TXOP를 할당받으려는 TS의 인덱스를 나타낸다. B_i 는 저장 가능한 최대 토큰 수이며 그림 5의 토큰 버킷 필터의 특성에 의해 식(10)과 같이 표현할 수 있다.

$$B_i = (P_i - \rho_i)t. \tag{10}$$

식(10)을 P_i 에 관하여 정리하면 식(11)과 같다.

$$P_i = \frac{B_i + \rho_i t}{t}. \tag{11}$$

또한 g_i 는 그림 5를 통하여 식(12)와 같이 표현된다.

$$g_i(t + d_i) = P_i t. \tag{12}$$

식(11)과 식(12)를 이용하여 $P_i t$ 를 소거한 뒤 g_i 에 대하여 정리하면 식(13)과 같이 표현된다.

$$g_i = \frac{B_i + \rho_i t}{t + d_i}. \tag{13}$$

여기서 식(10)을 이용하여 t 를 소거시킨 뒤 정리하면 식(14)와 같이 도출된다.

$$g_i = \frac{P_i}{1 + d_i(P_i - \rho_i)B_i^{-1}}. \tag{14}$$

s_i 는 i 번째 서비스 트래픽의 하나의 패킷을 성공적으로 전송하기 위해 필요한 평균 전송횟수로 식(15)와 같이 계산된다^[5].

$$s_i = \sum_{m=1}^l m p_e^{m-1} (1-p_e) + (l+1) p_e^l$$

$$= \frac{1-p_e^{l+1}}{1-p_e}, \quad (15)$$

이때, l 은 충돌 또는 패킷 손실이 발생할 경우 최대 재전송 횟수이며 p_e 는 프레임의 충돌 또는 패킷 손실 확률을 나타내며 식(16)과 같이 계산된다.

$$p_e = p_l + p_c \quad (16)$$

본 논문에서는 계산의 용이성을 위해 충돌에 의한 손실과 무선 채널에 의한 손실은 독립이라고 가정한다. p_l 은 패킷 손실을 나타내며 Gaussian 채널 모델을 사용하였을 경우 식(17)과 같이 계산된다^[6].

$$p_l = 4(1-2^{-b/2}) Q \left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{2^b-1}} \right), \quad (17)$$

이때, b 는 MQAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼 당 전송 비트수를 나타내며 γ_s 는 심볼 당 측정된 SNR(Signal to Noise Ratio)값이다. p_c 는 충돌확률로 식(18)과 같이 간략하게 계산된다.

$$p_c = 1 - \prod_{j=1, j \neq k}^4 (1-q_j), \quad (18)$$

이때, q_j 는 j 번째 AC의 패킷 전송 확률로 $q_j = 1/CW_j$ 로 계산된다. 본 논문에서는 승인제어가 이루어지므로 재전송된 패킷의 충돌은 무시한다고 가정하였다. 계산된 대역폭은 beacon 전송시간 간격 이내에 큐에 저장된 패킷을 전송하는데 필요한 TXOP를 계산하는데 사용되며 식(19)와 같이 계산된다.

$$TXOP_i = \max \left\{ n_i \left(\frac{L}{R_i} + O_1 \right) + O_2, \frac{M}{R_i} + O_1 + O_2 \right\}, \quad (19)$$

이때, O_1 은 하나의 MSDU를 전송하고 ACK를 수신하는데 필요한 IFS시간과 ACK전송 시간을 나타내며 O_2 는 경쟁방식으로 채널에 접근하기 위하여

필요한 시간이다. L 은 MSDU의 크기로 WLAN에서 결정되는 파라미터이다. n_i 는 i 번째 서비스 트래픽의 전송지연 한계 이내에 전송되어야 하는 MSDU의 수를 나타내면 식(20)과 같이 계산된다.

$$n_i = \lceil \frac{d_i \times EB_i}{L_i} \rceil. \quad (20)$$

CAC에서는 식(21)의 승인제어 부등식을 만족할 경우 승인이 이루어진다.

$$TXOP_i \leq T_r, \quad (21)$$

이 때, T_r 은 이전의 superframe내에서 가용한 시간 자원을 나타내는 값으로 식(22)와 같이 계산된다.

$$T_r(t+1) = (1-\beta) T_r(t) + \beta \left(d_i - \sum_{\alpha=1}^{i-1} TXOP_\alpha \right), \quad (22)$$

이때, β 는 가중치로 $0 \leq \beta \leq 1$ 이다. 표 1은 본 논문에서 제안하는 승인제어 알고리즘이다.

표 1. 제안하는 승인제어 알고리즘

Admission Control algorithm
Token_bandwidth = $\frac{P_i}{1+d(P_i-\rho_i)B_i^{-1}}$;
Average error rate $p_e = 4(1-2^{-b/2})Q \left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{2^b-1}} \right) + 1 - \prod_{j=1, j \neq k}^4 \left(1 - \frac{1}{CW_j} \right)$;
Surplus_bandwidth = $\frac{1-p_e^{l+1}}{1-p_e}$;
EB = Token_bandwidth * Surplus_bandwidth;
Number of MSDU $n_i = \lceil \frac{d_i \times EB_i}{L_i} \rceil$
Required_TXOP = $\max \left\{ n_i \left(\frac{L}{R_i} + O_1 \right) + O_2, \frac{M}{R_i} + O_1 + O_2 \right\}$;
T_residual_BW = $(1-\beta) T_r(t) + \beta \left(d_i - \sum_{\alpha=1}^{i-1} TXOP_\alpha \right)$
Admitted_TXOP = Admitted_TXOP + Required_TXOP;
If Admitted_TXOP < T_residual_BW
Admission state = success;
Else
Admission state = false;
End

IV. 성능 분석

4.1 성능 분석 모델

본 논문에서는 트래픽 모델로 HD급 화질의 비디오 트래픽으로 가정하였으며 Video Trace Research Group에서 제공하는 VTF(Video Trace File)를 사용하였다⁷⁾. VTF는 1.2Mbps의 전송속도를 갖는 비디오 스트리밍 서비스 트래픽으로 트래픽은 초당 25 프레임을 생성하고 GOP(Group of Picture)는 IBBPBBPBBPBB로 구성되어 있다. 표 2는 본 실험에 사용된 트래픽 모델 특성이다. 본 논문에서는 전송 지연 한계를 QAP가 beacon을 보내는 주기인 100ms로 설정하고 모의실험을 수행했다. 또한 제한한 승인제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 QAP, QSTA와 서비스 트래픽을 생성하는 서버로 구성된 그림 6과 같은 IEEE 802.11e 망을 구성하였다. 시뮬레이터는 OPNET을 사용하였으며, 표 3은 성능 분석에 사용

표 2. 비디오 트래픽의 특성

Properties		Value
GOP size(개)		12
The number of B frame		8
Frame/s		25
Size of I frame(bytes)	max	42951
	min	1097
	avg	19665
Size of P frame(bytes)	max	46995
	min	57
	avg	6047
Size of B frame(bytes)	max	24819
	min	8
	avg	2812
Transmission Rate(Mbps)	I	4.7
	P	1.4
	B	0.677

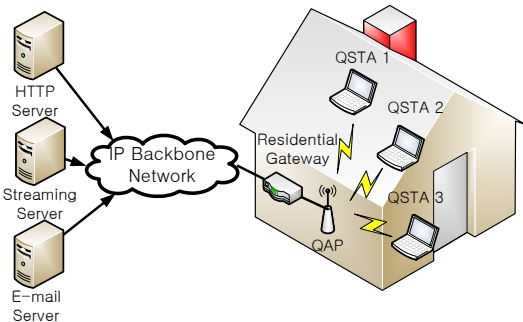


그림 6. 성능 분석에 사용된 서비스 망 구성도

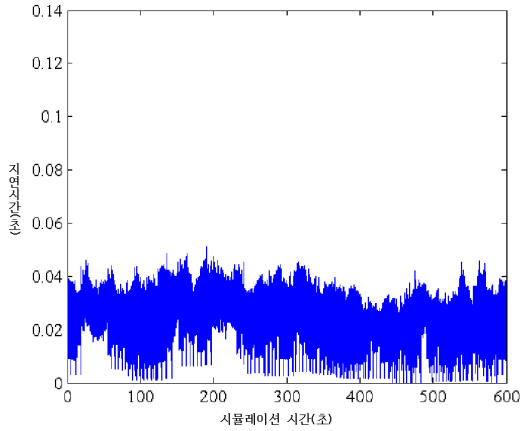
표 3. 성능분석에 사용된 시스템 파라미터

Parameter	Value
UDP/IP Header	28 bytes
PIFS	28 μ sec
SIFS	10 μ sec
PLCP preamble (usec)	16 (OFDM)
PLCP header (usec)	4 (OFDM)
Data Rate	54Mbps
CWmin	7
CWmax	1023
Maximum retransmission	3
AIFSN	2(AC_VI,AC_VO) 3(AC_BE), 7(AC_BK)
β	0.5
Maximum TX power	100mW

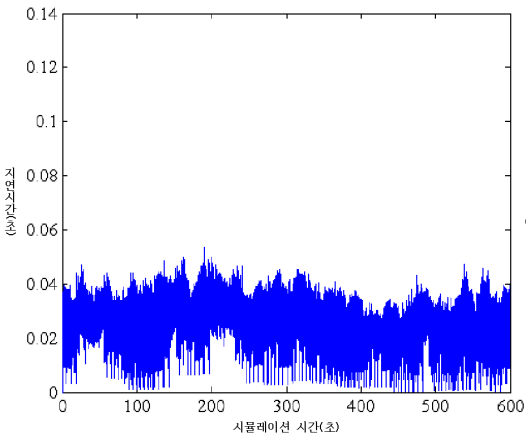
된 시스템 파라미터를 나타낸다.

4.2 성능 분석 결과

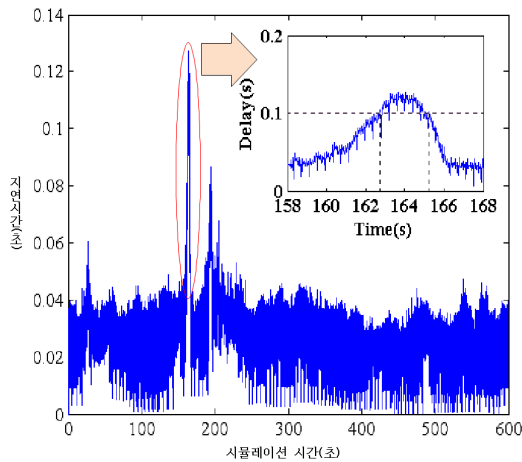
그림 7의 (a)부터 (c)는 비디오 소스가 25개에서 27개까지 증가시킬 경우 지연시간을 측정한 그림이다. 그림 7의 (a)와 (b)의 지연시간은 최대 약 48msec으로 비디오 스트리밍의 지연한계 시간인 100msec 보다 적어 사용자에게 충분한 서비스를 제공할 수 있었다. 그러나 그림 7의 (c)는 (a), (b)와는 달리 측정시간 162초부터 166초 사이 지연시간이 약 130msec으로 사용자가 서비스 품질 저하를 체감할 정도로 지연시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 I-프레임이 중첩되어 큐에 저장될 경우 발생할 수 있으며 중첩된 I-프레임을 전송하기 위해 필요한 시간이 새롭게 승인된 TS로 인해 부족해졌기 때문에 전체 시스템이 불안정해져서 발생한다. 따라서 승인제어를 통해 지연이 부분적으로 증가할 때 지연한계 이내에 서비스를 제공할 수 있는 승인제어를 수행할 필요가 있다. 이를 종합해보면 그림 8과 같이 CAC 기술을 사용하지 않는 경우 비디오 소스가 27개일 때부터 평균 지연시간이 증가하기 시작하였으며 평균 전송률에 기반한 CAC 기술을 사용한 경우보다 매우 비효율적인 결과를 보여주었다. IEEE 802.11e 표준에서 제시한 단일 물리계층 전송속도에서 평균전송률만을 고려한 ACU를 사용할 경우 30개의 비디오 소스를 승인하였으며 이로 인해 전체 비디오 프레임의 전송 지연이 약 350msec까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 30개의 비디오 소스를 승인할 경우 전송지연의 측면에서 WLAN을 통해 전송되는 모든 실시간 서비스의 QoS를 보장하



(a) 비디오 소스가 25개일 경우 지연시간



(b) 비디오 소스가 26개일 경우 지연시간



(c) 비디오 소스가 27개일 경우 지연시간

그림 7. 비디오 소스에 따른 평균 지연시간

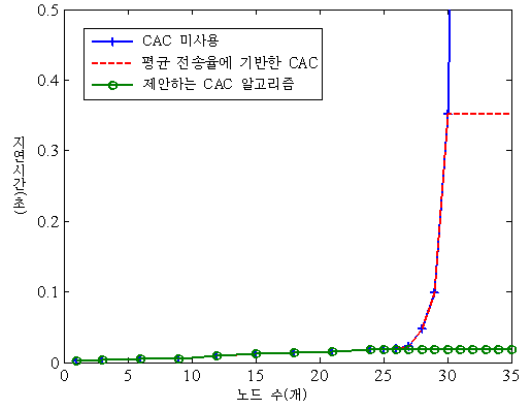


그림 8. 비디오 소스의 개수에 따른 지연시간

지 못한다고 할 수 있다. 이것은 VBR 트래픽의 특성을 고려하지 않고 평균 전송률만을 고려했기 때문이다. 또한 실시간 서비스의 전송지연 한계에 대한 고려가 없기 때문에 전송 지연을 제어하지 못하기 때문이다. 그러나 제안한 방법의 CAC 기술을 사용한 경우 26개까지의 비디오 소스만을 승인하여 실시간 서비스 트래픽의 지연을 전송지연 한계에서 유지하여 실시간 서비스의 QoS를 전송지연 측면에서 만족시키는 것을 확인할 수 있었다.

이를 분석해 볼 때, 승인제어 기술을 사용하지 않을 경우, 서버는 요구되는 모든 TS의 서비스 요청을 승인함으로 인해 이미 승인된 TS에 영향을 주어 모든 TS가 지연한계를 초과하게 된다. 또 기존의 평균 전송률만을 고려한 승인제어 기술은 고정된 평균값을 사용하여 측정된 값을 토대로 서비스 지연한계를 초과할 경우, 승인을 거부하여 CAC 기술을 사용하지 않는 경우 보다는 지연시간이 감소하였으나, 물리 계층의 고정된 평균값만을 이용하기 때문에 제안된 CAC 기술보다 지연시간이 증가한 것을 볼 수 있었다. 하지만 제안된 CAC 기술은 응용계층의 정보를 이용하여 효율적인 대역폭을 측정한 후 이를 기반으로 승인제어를 수행하기에 때문에 기 승인된 실시간 서비스의 품질을 보장할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11e를 기반으로 EDCA를 사용할 때 실시간 비디오 서비스의 QoS를 만족시키기 위한 승인제어 기술을 제안하였다. 제안하는 승인제어 기술은 응용계층에서 생성할 수 있는 서비스 트래픽 정보와 사용자 단말에서 측정할 수 있는

패킷 손실 확률 및 패킷 충돌 확률을 이용하여 QoS를 만족시키기 위해 요구되는 무선 자원을 계산하고 이를 기반으로 승인제어를 수행한다. 모의실험 결과 평균 전송률만을 고려한 ACU에 비해 보다 정확하게 승인제어를 수행하여 전체 망의 지연이 지연한계 이내에서 제어되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하는 승인 제어 기술은 실시간 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장할 수 있을 것이다. 향후 본 논문에서는 단일홉 환경만을 고려하여 분석을 하였으나 차후에는 infrastructure가 없는 메쉬 네트워크에서 멀티홉을 고려한 효율적인 CAC 기술에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11 WG, *Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, in ISO/IEC 8802-11; ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 edn*, 1999.
- [2] D. Gao, and J. Cai, "Admission control with physical rate measurement for IEEE 802.11e controlled channel access," *IEEE Communications Letters*, Vol. 9, No. 8, Aug. 2005, pp. 694-696.
- [3] P. Ansel, Q. Ni, and T. Turetli, "FHCF: A fair scheduling scheme for 802.11e WLAN," *INRIA Research Report No 4883*, Jul. 2003. Implementation and simulations available from <http://planete.inria.fr/qni/fhcf/>.
- [4] W. Fan, D. T.sang, and B. Bensaou, "Admission control for variable bit rate traffic using variable service interval in IEEE 802.11e WLANs," in *Proc. ICCCN 2004*. Chicago, USA, 11-13, Oct., 2004, pp. 447 - 453
- [5] Q. Li, and M. Schaar, "Providing Adaptive QoS to Layered Video Over Wireless Local Area Networks Through Real-Time Retry Limit Adaptation," *IEEE Transaction on Multimedia*, Vol. 6, No. 2, April, 2004.
- [6] T. Yoo, R. J. Lavery, A. Goldsmith, and D. Goodman, "Throughput Optimization Using Adaptive Technique," *Technical Report*, Wireless Systems Lab, Stanford University, CA, USA, 2004.

[7] Video Trace Research Group : <http://trace.eas.asu.edu/>.

강 석 원 (Seok-Won Kang)

준회원



2002년 육군사관학교 전자공학과 학사 졸업
2007년~현재 아주대학교 NCW 공학과 석사 과정
<관심분야> 군 통신, 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, MANET 등

이 현 진 (Jae-Hyun Kim)

준회원



2004년 아주대학교 전자공학부 졸업
2004년~현재 아주대학교 전자공학부 석/박사 통합과정
2004년 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 수상
<관심분야> IEEE 802.11e WLAN, 무선망 QoS, Handover 등

이 규 환 (Kyu-Hwan Lee)

준회원



2007년 아주대학교 전자공학부 졸업
2007년~현재 아주대학교 전자공학부 석/박사 통합과정
<관심분야> WPAN에서의 보안 인증, Ad-hoc, Mesh network 등

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)

중신회원



1987년~1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 미국UCLA 전기전자과 박사 후 연수
1998년~2003년 Bell Labs, Performance Modeling and QoS Management Group,

연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 부교수.

<관심분야> 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16/20, 3GPP, 국방 전술네트워크 등

노 병 희 (Byeong-Hee Roh)

중신회원



1983년~1987년 한양대학교 전자
공학과 학사 졸업

1987년~1989년 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사졸업

1994년~1998년 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 박사 졸업

2000년~현재 아주대학교 정보통

신 전문대학원 부교수

<관심 분야> 모바일 멀티미디어 네트워크 및 응용,
BcN QoS 및 트래픽 엔지니어링, 유비쿼터스 센
서 네트워크(RFID/USN), 인터넷 보안, 국방 전술
통신 네트워크.