

논문 2009-46CI-4-4

IEEE 802.11e WLAN을 위한 우선순위 폴링 및 이중 토큰 버킷 기반의 HCCA 알고리즘

(Priority Polling and Dual Token Bucket based HCCA Algorithm for IEEE 802.11e WLAN)

이 동 열*, 이 채 우**

(Dong-Yul Lee and Chae-Woo Lee)

요 약

무선 랜에서 다양한 QoS를 제공하기 위해 제안된 IEEE 802.11e는 경쟁기반의 EDCA와 비경쟁 기반인 HCCA모드를 가진다. 802.11e의 중앙제어 방식인 HCCA는 효율적인 자원분배를 하는 스케줄링 알고리즘을 필요로 한다. 그러나 기존의 HCCA 스케줄러 알고리즘들은 VBR 트래픽 제공하는 실시간 서비스에 QoS를 보장하는데 있어 어려움이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 폴링 알고리즘과 TXOP 할당 알고리즘을 제안하였다. 먼저 트래픽이 생성되는 정도와 작업량을 의미하는 MSI와 TXOP의 크기를 EDD알고리즘에 추가로 고려함으로써 QoS를 보장할 수 있는 QSTA의 수를 증가시키는 폴링 알고리즘을 제안한다. 또한 큰 지터를 가지고 들어오는 스테이션들로 인한 네트워크 혼잡을 줄이기 위해, VBR 트래픽의 패킷손실과 지터의 증가를 야기하는 버스트 트래픽의 크기와 최대속도를 고려하는 이중토큰 버킷 TXOP 할당 알고리즘을 제안한다. 버스트 트래픽의 크기와 최대속도를 고려하여 이중토큰 버킷을 만들기 위해 TSPEC 파라미터 중 VBR트래픽의 버스트 특성을 나타내는 파라미터인 버스트 트래픽 사이즈(MBS)와 최대 패킷 전송 속도(PR)를 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안한 알고리즘의 성능이 참조 스케줄러와 SETT-EDD와 비교하여 전송률과 전송 지연면에서 성능이 좋음을 보여준다.

Abstract

IEEE 802.11e proposed by IEEE 802.11 working group to guarantee QoS has contention based EDCA and contention free based HCCA. HCCA, a centralized polling based mechanism of 802.11e, needs a scheduling algorithm to allocate the network resource efficiently. The existing standard scheduler, however, is inefficient to support for QoS guarantee for real-time service having VBR traffic. To improve these limit, in this paper, we First, we propose priority polling algorithm which additionally considers the size of MSI and TXOP based on EDD algorithm to increase number of QSTAs. We also propose a dual token bucket TXOP allocation algorithm to reduce congestion caused by stations which enters network with considerable delay variance. TSPEC parameters, Maximum Burst Size (MBS) and Peak Data Rate (PR), are applied to design depth and token generation rate of two buckets. Simulation results show that the proposed algorithm has much higher performance compared with reference and SETT-EDD scheduler in terms of throughput and delay.

Keywords: HCCA, IEEE 802.11e, Priority scheduling, Token Bucket

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과
(Department of Electronic Eng., Ajou University)

※ "This research was supported by the MKE(Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Technology Advancement)"
IITA-2009-C1090-0902-0014

접수일자: 2009년5월29일, 수정완료일: 2009년7월3일

I. 서 론

현재 상용화된 무선 랜 제품들은 IEEE 802.11에서 기본적으로 제공하는 분산 채널 접근방식인 DCF(Distributed Coordination Function)와 비경쟁 채널 접근 방식인 PCF(Point Coordination Function)를 사용한다.

한편 최근 지연에 민감한 VoIP(Voice over IP)나 동영상 같은 실시간 서비스에 대한 수요가 증가함에 따라서 QoS 보장을 위한 새로운 표준이 요구되고 있다. IEEE 802.11 working group은 WLAN에서 QoS를 제공하기 위해 IEEE802.1e 표준으로 DCF와 PCF에 기반을 둔 새로운 MAC 프로토콜인 HCF(Hybrid Coordination Function)를 정의한다. IEEE 802.11e의 HCF는 분산 제어 방식과 중앙제어 방식을 결합한 방법이다. 분산 제어 방식으로서 DCF를 확장한 경쟁 접근방식인 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)를 사용하며, PCF를 확장한 비경쟁 접근 방식인 HCCA(HCF Controlled Channel Access)를 중앙제어 방식으로서 사용한다^[2].

기존의 PCF 방식은 CFP(Contention Free Period) 동안에만 동작^[1]하기 때문에 실시간 서비스에 대한 QoS 보장이 부족하다. 또한 PCF에서 QSTA들은 자신이 가진 데이터 모두를 즉시 전송하기 때문에 TBTT(Target Beacon Transmission Time)를 넘어서 계속 전송을 하게 된다. 그로인해 다음 비콘 프레임의 시작 시간이 바뀌어 시제한(Time-Bounded) 프레임의 전송 지연을 유발한다^[1]. HCCA는 이러한 문제를 해결하면서 Voip같은 실시간 서비스에 QoS를 보장하기 위해 제안되었다. HCCA는 PCF와는 다르게 CP(Contention Period)에서도 지원되며, 비콘 프레임간의 간격을 항상 일정하게 유지하기 위해 TXOP(Transmission Opportunities)를 할당함으로써 QSTA의 채널 점유시간을 제어 한다.

HCCA는 기본적으로 AP에 위치한 HC(Hybrid Coordinator)가 폴링을 통해 전송을 원하는 QSTA에게 TXOP를 할당한다. 이때 TXOP의 크기는 QSTA의 TSPEC(Traffic Specifications)에 근거하여 결정된다. TXOP크기와 순서를 효율적으로 스케줄링하기 위해 HCCA 스케줄러가 필요하다.

현재 IEEE 802.11e 표준에서는 참조 스케줄러(Reference scheduler)가 있다^[2]. 참조 스케줄러는 구현이 쉽고 알고리즘이 간단하다는 장점을 가지지만 몇몇의 시나리오에서 QoS를 보장하는데 부족함이 있는 것으로 알려져 있다. 이에 대한연구가 중요하게 인식되어 몇 개의 연구가 이루어졌다^[9-11, 15-19]. 그러나 MPEG-4 비디오 트래픽과 같은 VBR 트래픽을 제공하는 실시간 서비스에 대한 수요가 점차적으로 증가하는 반면, VBR 트래픽에 QoS보장을 위한 스케줄링 알고리즘에 관한

연구는 아직 부족한 실정이다.

제안된 연구 중에서 버스트 트래픽 특성을 고려한 대표적인 스케줄러로서 SETT-EDD가 있다. 이 스케줄러는 EDD알고리즘^[7]에 기반을 두고 지연에 민감한 QSTA에게 우선권을 부여하였고, 토큰 버킷을 사용하여 버스트 트래픽도 어느 정도 고려하였다. 그러나 SETT-EDD에서는 QSTA의 트래픽 생성 빈도와 그들의 작업량을 고려하지 않아 지연에 대해 느끼는 상대적인 민감도 측면에서 공정하지 못한 문제가 있다. 또한 단일 토큰 버킷만을 사용하여 버스트 트래픽에 대해서는 어느 정도 고려하였지만 QoS를 보장하는데 있어 중요한 요소인 지연의 편차인 지터에 대한 고려가 부족하다.

본 논문에서는 더 많은 QSTA에게 QoS를 보장하기 위하여 폴링 알고리즘과 TXOP할당 알고리즘을 제안한다. 먼저 EDD알고리즘에 기반을 두고 추가로 TXOP와 MSI크기를 고려한 우선순위 폴링 알고리즘을 제안한다. 또한 MPEG-4 비디오 트래픽과 같은 VBR 트래픽의 적은 손실과 지터의 감소를 위해 그들의 특성을 나타내는 TSPEC 파라미터를 사용하여 이중토큰 버킷 TXOP할당알고리즘을 제안한다. 이중토큰 버킷은 트래픽 셰이핑 기술 중의 하나로서 다른 QSTA의 평균 전송에 간섭을 하지 않는 범위에서 허용된 버스트 트래픽 크기와 지터를 줄이기 위해 사용되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 IEEE 802.11e HCCA 참조 스케줄러에 대해서 설명한다. 이어서 트래픽 특성들을 분석한 대표적인 스케줄링 방식인 SETT-EDD방식에 대해서 설명한다. III장에서는 기존 논문에서는 미처 고려하지 못한 트래픽 특성들을 고려한 새로운 스케줄러를 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해서 기존의 스케줄러들과 비교하고 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 V장에서는 마지막으로 논문의 내용을 정리한다.

II. 배경 지식

1. IEEE 802.11e HCCA

IEEE 802.11e는 무선 랜에서 QoS를 보장해주기 위한 매체 접근 제어 방식으로, 기존의IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 DCF와 PCF를 기반으로 하는 HCF를 정의한다^[2]. HCF는 HCF는 EDCA와 HCCA, 두 가지의 동작 모드를 가진다. 이 중 EDCA는 경쟁기반 방식으로

QoS를 제공해주기 위하여 우선순위에 따라 IFS(Inter Frame Space)와 CW (Contention Window)값을 제어한다.

HCCA모드에서는 QAP 에 위치하는 HC가 QSTA로부터 트래픽 특성을 받아들이고 분석하여 각 QSTA의 특성에 맞는 TXOP와 SI를 할당한다^[2]. 따라서 HCCA에서는 EDCA와는 다르게 네트워크상의 트래픽이 증가해도 전송 프레임 간 충돌 가능성은 거의 없다.

HCCA의 동작은 다음과 같다. 먼저 HCCA에서는 프레임의 전송을 개시하기 전에 QAP와 QSTA간에 트래픽 스트림이라고 하는 가상의 연결을 우선 설정하여 트래픽 특성(Traffic Specification: TSPEC)을 교환한다. 표 1은 트래픽 특성을 나타낸다.

TSPEC이 교환 되면 HC는 승인 제어 알고리즘을 통해 특정 트래픽 스트림을 받아들일 것인지에 대한 여부를 결정하게 된다. 특정 트래픽 스트림이 승인이 되면, 승인된 QSTA은 QAP가 전송한 QoS CF-Poll을 통해서 매체 접근 권한을 가진다. 이때 승인된 QSTA는 프레임의 QoS Control field에 표기된 TXOP 값만큼 매체를 점유한다. HC는 채널 상태를 감시하고 있다가 PIFS

시간 동안 채널이 유희(Idle) 상태에 있는 것을 감지하게 되면, QoS CF-Poll 프레임을 다음 QSTA에게 전송함으로써 다음 QSTA이 채널 접근 권한을 가지게 한다. 또한 필요하다면 HCCA에서는 CP구간에서도 해당 QSTA에 QoS CF-Poll 프레임을 전송하여 데이터를 전송할 수 있게 한다.

HC는 제한된 자원 내에서 QoS 요구사항을 만족시키기 위해 스테이션들을 스케줄링 해야 하며, 스테이션에 할당될 TXOP와 SI의 크기 또한 스케줄링 해야 한다. 본 논문에서는 HCCA에서 트래픽의 특성에 따라 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 다음 절에서는 제안하는 스케줄링 알고리즘을 설명하기 이전에 기존에 연구된 HCCA 스케줄링 알고리즘들에 대하여 설명한다.

2. IEEE 802.11e HCCA 참조 스케줄러

IEEE 802.11e 표준에는 참조 스케줄러라고 하는 HCCA 스케줄러가 제안 되어 있다^[2-4]. 이 스케줄러는 평균적인 전송과 최소 한번 이상의 전송을 보장하기 위하여 3개의 TSPEC 파라미터 (Mean Data Rate, Nominal MSDU, MSI)를 사용하여 TXOP와 SI를 계산한다^[2-4]. 참조 스케줄러는 다음과 같은 3단계를 통하여 TXOP를 할당한다.

1 단계 : SI 할당

먼저 SI는 다음의 과정을 통해 계산 된다. 모든 QSTA들을 적어도 한번 이상 폴링하기 위해 승인이 된 QSTA의 MSI 값 중에서 가장 작은 값을 선택한 후에 이 값을 넘지 않는 비론 인터벌의 최대 공약수 값을 모든 트래픽의 동일한 SI로 정한다.

2 단계 : TXOP 할당

SI가 정해 진 후, SI기간 동안 들어올 평균 데이터를 전송할 수 있을 시간만큼의 값을 TXOP로 할당 한다. 이 때 QSTA의 TXOP는 다음과 같이 계산된다^[1-5].

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M_i}{R_i} + O\right) \quad (1)$$

여기서 L_i 는 QSTA i 의 Nominal MSDU size를 R_i 는 Physical Transmission Rate를 이며, M_i 는 승인된 QSTA i 의 Maximum MSDU Size를 의미한다. O 는 IFS(Inter Frame Space)와 QoS-ACK 프레임 등을 전

표 1. TSPEC 파라미터
Table 1. TSPEC parameter

Traffic Specification parameter	설명
Nominal MSDU Size (L)	트래픽 스트림의 평균 MSDU 크기(byte)
Maximum MSDU Size (M)	트래픽 스트림의 최대 MSDU 크기
Minimum service interval (mSI)	성공적인 서비스 주기의 최소 시간 간격
Maximum service interval (MSI)	성공적인 서비스 주기의 최대 시간 간격
Mean Data Rate (ρ)	상위 계층에서 MAC 계층으로 도달하는 패킷의 평균 전송 속도
Peak Data Rate (PR)	상위 계층에서 MAC 계층으로 도달하는 패킷의 최대 전송 속도
Maximum Burst Size (MBS)	Peak Data Rate으로 MAC 계층으로 도달하는 트래픽 스트림의 최대 크기
Delay Bound (D)	Packet 전송 시 허용된 최대 전송 지연 시간
Minimum PHY Rate (R)	스케줄러 및 승인 제어 알고리즘에서 전송시간을 결정하기 위한 전송률
Minimum TXOP duration (mTD)	QSTA에게 할당된 최소 TXOP 크기이며, 최대 패킷을 전송하는데 걸리는 시간 $mTD_i = \max\left(\frac{M_i}{R_i}\right)$
Maximum TXOP duration (MTD)	QSTA에게 할당된 최대 TXOP 크기이며, 주어진 SI동안 들어온 MBS를 전송하는데 걸리는 시간

송하는데 소요되는 오버헤드 시간을 말한다. 또한 N_i 는 한 SI기간 동안에 들어오는 패킷의 수를 말하며, 다음과 같이 계산된다^[1~5].

$$N_i = \frac{SI \times \rho_i}{L_i} \quad (2)$$

여기서 ρ_i 는 QSTA i 의 Mean Data Rate을 의미한다.

3 단계 : 승인 제어 검사

이렇게 계산된 TXOP는 승인제어 알고리즘 (Admission Control Unit)에 의해서 QSTA이 식 (3)을 만족할 경우에 승인을 허용한다^[1~5].

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{k=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{CP}}{T} \quad (3)$$

여기서 K 는 현재 승인된 QSTA의 수이며, $K+1$ 은 새롭게 승인을 요청한 QSTA을 의미한다. T_{CP} 는 하나의 슈퍼 프레임 동안 EDCA에 할당된 시간을 의미한다. 이 승인 제어 단위는 승인이 요구된 TXOP 값이 현재 남아있는 시간보다 작을 경우에만 새로운 QSTA을 승인함을 의미한다.

참조 스케줄러는 최소 성능 요구사항을 만족하고^[5, 15] CBR에서는 만족할 만한 성능을 보인다. 그러나 각 QSTA의 특성을 고려하지 않고 단순한 라운드로빈 방식의 폴링 방식을 사용하고, 동일한 SI와 평균적인 데이터 전송만을 보장하기 때문에 VBR 트래픽의 경우에 만족할 만한 성능을 보이지 않는다^[9~11]. 이로 인해 현재 트래픽 특성에 따라 차별화된 QoS를 제공하기 위해 많은 스케줄러가 제안되고 있다^[9~11].

3. SETT-EDD 스케줄러

VBR 트래픽 특성을 고려한 대표적인 스케줄러로서 SETT-EDD(Scheduling Based on Estimated Transmission Time Earliest Due Date)가 있다^[9]. SETT-EDD는 먼저 TXOP 할당을 위해 토큰 버킷을 사용한다. 토큰 버킷 방식을 통해 QSTA의 평균적인 TXOP를 보장함과 동시에 축적된 토큰의 사용을 통해 버스트 트래픽에 대한 QoS도 보장한다. 또한 EDD방식^[7~8]을 통해 지연에 민감한 QSTA에게 우선순위를 주어서 우선적으로 폴링되게 한다. 마지막으로 가변적인 SI를 사용함으로써 지연에 민감한 QSTA에게 먼저 기회를 제공하였다. SETT-EDD는 다음의 두 단계를 통

하여 QSTA에게 전송기회를 제공한다.

1 단계 : TXOP 할당 순서 결정

참조 스케줄러는 모든 QSTA이 똑같은 SI를 가지지만 SETT-EDD에서는 작업량 보존방식을 사용하기 때문에 QSTA의 특성에 따라서 폴링하는 순간이 달라지기 때문에 SI는 가변적이다. SETT-EDD는 채널이 PIFS동안 idle하면 식 (4)을 만족하는 QSTA i 를 폴링한다^[9].

$$t_i + mSI_i \leq t' \leq t_i + MSI_i \quad (4)$$

여기서 t_i 는 이전에 QSTA i 가 폴링을 받은 시간, t' 는 현재시간을 의미한다. 이러한 조건을 만족하는 QSTA가 두 개 이상 있을 경우에는 EDD알고리즘에 따라 식 (5)의 값이 가장 작은 플로우를 제일 먼저 폴링한다^[9].

$$Deadline_i = t_i + MSI_i \quad (5)$$

2 단계 : TXOP 할당

SETT-EDD는 단일 토큰 버킷을 사용하여 QoS CF-Poll 프레임을 통해 QSTA의 TSPEC에 따라 TXOP Timer를 TXOP 대신 각각의 QSTA에게 토큰으로 분배한다. 이 때 QoS CF-Poll 프레임을 수신한 QSTA은 자신의 데이터 전송에 사용한 시간만큼 TXOP Timer를 감소시킨다. QSTA이 전송을 마친 후에도 TXOP Timer 값이 남아 있으면 다음에 사용할 수 있도록 저장한다.

QSTA i 의 TXOP Timer의 최소값은 TXOP 동안 최소한 하나의 최대 크기 패킷 전송을 보장할 수 있도록 최소 mTD_i 보다 같거나 커야한다. 또한 QSTA i 의 최대 TXOP Timer는 최대크기의 패킷을 전송하는데 필요한 시간으로서 또한 버킷사이즈이며 TXOP가 가질 수 있는 최대값인 MTD_i 가 된다. 매 주기마다 평균적인 데이터 전송을 보장하기 위해 QSTA i 의 TXOP Timer의 증가율 Inc_i 은 (6)으로, mSI 동안 평균크기의 데이터가 들어올 때 필요한 시간의 양을 의미한다^[9].

$$Inc_i = \frac{TXOP_i}{mSI_i} \quad (6)$$

III. 기존 HCCA 스케줄링에서의 문제들

1. 폴링 가능 한 QSTA의 수 감소 문제

QoS를 보장하기 위해 EDD알고리즘을 사용한 SETT-EDD는 폴링된 QSTA에 한해서는 지연한도를 초과하지 않는 것을 보장한다. 그러나 QSTA이 증가할 경우 (4)를 만족하는 QSTA이 다수가 되면 제한된 대역폭으로 인해 스케줄링 문제가 발생하여 몇몇의 시나리오에서 폴링 될 수 있는 QSTA의 수가 감소하게 된다. 본 절에서는 이를 MSI와 TXOP의 크기 불일치로 인한 상대적인 지연 발생 문제로 정의하고, 이 문제의 원인을 분석해본다.

먼저 동시에 (4)를 만족하는 서로 다른 크기의 MSI를 가지는 QSTA이 다수 존재한다면 다음과 같은 문제가 있다. SETT-EDD 스케줄러에서는 식 (5)을 만족하는 QSTA이 다수 존재할 경우, 다음 MSI까지의 남은 시간이 적은 QSTA을 우선적으로 폴링한다. 그러나 이때 MSI의 크기가 더 작은 QSTA과 MSI의 크기가 큰 QSTA의 지연의 합은 폴링 순서에 상관없이 같은 값이지만, 상대적으로 작은 MSI를 가지는 QSTA은 자신이 패킷을 생성하는 평균 주기에 비해 큰 지연을 가지기 때문에 폴링순서에 따라서 계속해서 채널권한을 갖지 못하는 문제가 존재한다.

또한 TXOP 크기를 고려하지 않는 스케줄링방법은 경우, 다음과 같은 문제가 발생한다. 상대적으로 작은 크기의 TXOP를 가진 QSTA이 상대적으로 큰 크기의 TXOP를 가진 QSTA들보다 늦게 폴링된다면, 그 반대의 순서로 폴링되었을 경우에 비해 QSTA들의 평균 지연이 증가할 뿐만 아니라 제한된 대역폭의 비효율적인 사용으로 인해 폴링될 수 있는 QSTA의 수가 상당히 감소하게 된다. 이러한 문제로 인해 EDD알고리즘에 기반을 두고 TXOP와 MSI 크기를 추가로 고려하는 폴링 알고리즘이 요구된다.

2. 트래픽의 버스트 특성으로 인한 지터 증가 문제

802.11e HCCA TXOP 할당 알고리즘의 목적은 각각 제한된 대역폭을 공정성을 보장하는 한에서 QSTA에게 원하는 양만큼의 전송 기회를 제공하는데 있다. 그러나 참조스케줄러와 SETT-EDD는 큰 버스트 트래픽 크기와 지터를 가지는 VBR 트래픽의 특성에 따라 시간할당을 제공하지 못하고 있다. 즉, 참조 스케줄러의 경우 TXOP 할당 알고리즘은 평균적인 전송이외에는 보장하

지 못하기 때문에 지터와 버스트 트래픽으로 인해 수시로 큐에 데이터가 축적되어 지연이 증가하고, TXOP가 낭비되는 문제점이 있다.

SETT-EDD 스케줄러의 경우, 단일 토큰 버킷을 사용하여 유동적인 TXOP를 할당함으로써 남아있는 토큰을 통해 평균적인 전송이외에도 추가적인 전송을 보장한다. 그 결과 SETT-EDD 스케줄러는 트래픽의 가변성이 덜한 저품질 MPEG-4와 같은 VBR트래픽에서 좋은 성능을 가진다. 그러나 SETT-EDD는 평균 전송에만 근거하여 토큰을 부여하기 때문에, 상당한 크기의 지터를 가지고 들어오는 고품질 MPEG-4와 같은 VBR 트래픽에 대해서는 TXOP를 적절하게 할당하는 데 있어 어려움이 있다^[14].

즉, MPEG-4 같은 비디오 트래픽에는 저, 중, 고품질이 존재하는데, 그 품질에 따라 버스트 트래픽의 사이즈와 지터의 차이가 상당히 크기 때문에 평균 데이터 전송을 고려하는 단일 토큰 버킷으로는 적절한 TXOP 할당을 하는데 있어 상당히 비효율적이다.

IV. 제안한 스케줄링 알고리즘

본 장에서는 폴링되는 QSTA의 수를 증가시키고, 패킷 손실과 지터를 줄일 수 있는 알고리즘을 제안한다. 먼저 QoS를 보장받을 수 있는 QSTA의 수의 증가를 위해 EDD알고리즘에 MSI와 TXOP크기를 고려한 우선순위 폴링방법을 제안한다. 또한 VBR 트래픽의 버스트 특성으로 인한 지터와 패킷 손실률의 감소를 위해, VBR 트래픽 특성을 반영하는 TSPEC 파라미터를 사용하여 허용한도 내에서 버스트 트래픽 크기의 패킷 전송과 최대 전송속도를 서비스해주는 이중 토큰 버킷 TXOP 할당알고리즘을 제안한다.

1. MSI와 TXOP크기를 고려한 폴링 방법

제안하는 폴링 알고리즘은 지연한도 내에서 서비스를 제공하기 위하여 EDD 알고리즘에 기반을 두고 추가적으로 MSI와 TXOP 크기를 고려하여 QSTA을 폴링한다. 알고리즘의 동작방법은 다음과 같다. 먼저 식 (5)을 만족하는 QSTA을 TXOP를 할당하기 위해 폴링한다. 만약 이를 만족하는 QSTA이 두 개 이상 존재할 경우, 제안하는 알고리즘에서는 기존의 SETT-EDD의 파라미터인 *Deadline*이 아닌 MSI와 TXOP 크기를 고려한 우선순위(*priority*) (7)을 사용하여 가장 높은 값을

가진 QSTA을 우선적으로 폴링한다.

$$priority_i = \frac{t_i + MSI_i + TXOP_i}{MSI_i + TXOP_i} \quad (7)$$

여기서 t_i 는 i 번째 QSTA의 바로 이전에 폴링된 시간을 나타낸다. MSI와 TXOP의 크기가 작을수록 큰 우선권을 요구하는 반비례 관계이기 때문에, TXOP를 더한 Deadline을 MSI와 TXOP로 나누어 줌으로써 그들의 서비스 요구사항에 따라 우선순위를 부여하여 줌으로써 더 많은 QSTA에게 QoS를 보장할 수 있다.

제안하는 알고리즘은 기존의 EDD의 특성인 다음 MSI까지의 남은 기한을 고려하는 것은 물론 작업량이 상대적으로 더 적고 더 빈번한 트래픽 특성들을 추가로 고려함으로써, 트래픽 특성에 따라 공평한 폴링방식을 QSTA에게 제공한다.

2. 이중 토큰 버킷 TXOP 할당 알고리즘

앞장에서 단일 토큰 버킷만으로는 VBR 트래픽에 적절한 TXOP를 할당하는데 패킷 손실과 지터의 증가가 존재한다고 설명하였다. 이는 단일 토큰버킷은 VBR 트래픽에 대하여 버스트 트래픽크기를 적절히 제어함으로써 버스트 트래픽으로 인한 채널의 독점을 제한하지만, 지터가 높아 좁은 시간영역에서 평균속도가 아닌 최대 전송 속도로 데이터가 계속 생성되는 경우를 제어하지 기 때문이다. 이에 본장에서는 버킷하나를 추가하여 최대 전송속도와 허용 가능한 지터에 따라 스테이션의 트래픽을 제어하는 이중 토큰 버킷 알고리즘을 제안한다. 이에 두개의 버킷을 사용하여 VBR 트래픽의 버스트 트래픽과 지터를 제어하기 위해서 버킷의 크기와 토큰 생성 속도를 적절히 정의해야한다. 제안된 이중 토큰 버킷 알고리즘은 다음과 같다.

제안하는 이중 토큰 버킷 알고리즘은 QSTA i 에 대하여 그림 1과 같이 두 개의 토큰 버킷으로 구성되며, 각각 일정한 속도로 폴링시마다 토큰, 즉 TXOP를 각 QSTA에게 추가적으로 할당한다. 두 버킷의 토큰은 데이터전송 양 만큼 두 버킷에서 동시에 제거되며, 어느 한 버킷에 토큰이 충분치 않으면 더 이상 제거 되지 않는다. 이로 인해 상당히 큰 버스트 트래픽과 큰 지터를 가지고 들어오는 스테이션들로 인한 채널 독점을 막을 수 있다. 또한 허용되는 한에서 버스트 트래픽을 전송할 수 있으며, 동시에 최대 전송 속도도 트래픽을 전

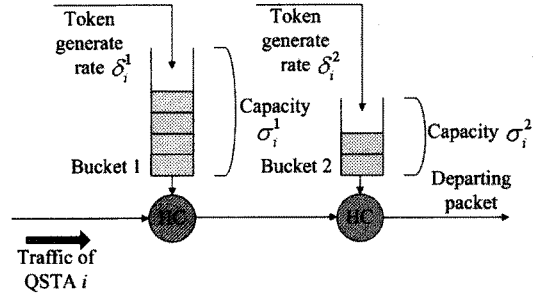


그림 1. 제안하는 이중 토큰 버킷
Fig. 1. The proposed dual token bucket.

송을 할 수 있기 때문에 VBR트래픽에 효율적이다.

제안하는 이중 토큰 버킷은 그림 1에서와 같이 QSTA i 에 대하여 기본적으로 4가지 파라미터 버킷 1과 2의 버킷 크기 σ_i^1 와 σ_i^2 , 그리고 버킷 1과 2의 토큰 증가 속도 δ_i^1 와 δ_i^2 를 사용한다. 버스트 트래픽의 누적과 지터를 고려하기 위하여, 토큰 증가 속도는 각각 평균 데이터 생성 속도와 최대 데이터 생성 속도로 생성되는 패킷을 전송하는데 필요한 TXOP 증가율로 정의한다. 또한 두 버킷의 크기는 각각 버스트 트래픽과 지터의 허용량을 나타내기 때문에, 각각 TXOP가 가질 수 있는 최대량과 짧은 시간동안의 TXOP의 최대값으로 정의한다.

$$\begin{aligned} \delta_i^1 &= \frac{NTD_i}{mSI_i}, & \sigma_i^1 &= MTD \\ \delta_i^2 &= \frac{PTD_i}{mSI_i}, & \sigma_i^2 &= mTD \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 mSI_i 는 QSTA i 의 최소 SI이며, NTD_i 와 PTD_i 는 각각 평균 데이터 속도로 데이터가 생성될 때와 최대 데이터 속도로 생성될 때 최소 전과속도에 대해 필요한 TXOP의 크기를 나타내며 다음과 같다.

$$NTD_i = \frac{N_i \times L_i}{R_i} = \frac{\left[\frac{mSI_i \times \rho_i}{L_i} \right] \times L_i}{R_i} \quad (9)$$

$$PTD_i = \frac{PN_i \times L_i}{R_i} = \frac{\left[\frac{mSI_i \times PR_i}{L_i} \right] \times L_i}{R_i} \quad (10)$$

여기서 N_i 와 PN_i 는 각각 평균 데이터 속도로 데이터가

생성될 때와 최대 데이터 속도로 생성될 때 mSI_i 기간 동안 QSTA i 에 들어오는 양을 말한다. 이중 토큰 버킷을 사용한 QSTA i 의 $TXOP_i$ 는 다음과 같다.

$$TXOP_i = \min\{\theta_i^j(t') \mid j=1 \text{ or } 2\} \quad (11)$$

여기서 $\theta_i^j(t')$ 는 현재 시간 t' 에서 QSTA i 의 버킷 j 에 남아 있는 토큰의 양으로 다음과 같다.

$$\theta_i^j(t') = \sigma_i^j + \delta_i^j(t' - t_i) - \gamma(t_i), \quad \forall j=1,2 \quad (12)$$

여기서 t_i 는 QSTA i 의 마지막 폴링시점을 의미하며, $\gamma(t_i)$ 는 QSTA i 가 승인된 후 t_i 까지 할당된 TXOP의 누적시간이며 (13)과 같다.

$$\gamma(t_i) = \sum_{j=1}^{N_i(t_i)} TXOP_i(j) \quad (13)$$

여기서 $N_i(t_i)$ 은 QSTA i 가 승인된 후 t_i 까지 할당된 TXOP 수를 의미한다. $TXOP_i(j)$ 은 QSTA i 에 j 번째 할당된 TXOP의 크기를 의미한다.

표 1에 참조, SETT-EDD, 제안한 스케줄러의 동작을 비교하였다. 제안한 알고리즘은 SETT-EDD의 폴링 방식인 EDD에 기반을 두고 있지만 MSI의 크기와 TXOP크기를 추가로 고려한 우선순위 폴링 방식을 사용한다, 또한 큰 버스트 트래픽을 가지는 QSTA에게 토큰을 추가로 부여하는 이중 토큰 버킷을 사용해서 TXOP를 할당한다. 그리고 제안하는 알고리즘은 SETT-EDD와 동일한 방법으로 SI를 결정한다.

표 1. 참조, SETT-EDD와 제안한 스케줄러의 비교
Table 1. Comparison of reference, SETT-EDD and proposed scheduler.

	Polling	TXOP	SI
참조 스케줄러	라운드 로빈	평균 데이터 전송	고정
SETT-EDD	EDD	버스트 트래픽 고려	가변
제안한 알고리즘	우선순위	버스트 트래픽과 지터 고려	가변

V. 제안한 알고리즘의 성능 및 평가

이번 장에서는 ns-2^[20]를 사용하여 성능을 평가하였

다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 기존의 스케줄러 알고리즘인 참조 스케줄러와 SETT-EDD들을 사용하였고, 전송률, 평균 지연, 그리고 각 QSTA에 대한 fairness정도 등을 통해서 성능을 비교 평가 하였다.

1. 시뮬레이션 시나리오

시뮬레이션에서 구성한 IEEE 802.11e 네트워크 환경은 스타형 토폴로지를 사용하여 구현 하였다. 각 QSTA와 액세스 포인트는 업 링크와 다운링크 트래픽 스트림 가지고 있다. 물리계층은 현재 표준으로 사용하고 있는 IEEE 802.11b를 사용하였으며, MAC계층으로는 PISA 대학교에서 만든 IEEE 802.11e HCCA를 사용하였다^[21]. 표 2에 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 정리하였다.

제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 CBR 트래픽으로 VoIP를 사용하였고, VBR 트래픽으로는 저품질 MPEG-4 비디오 파일(스타 워즈)과 고품질 MPEG-4 비디오 파일(알라딘)을 사용하였다^[22]. 시뮬레이션은 모두 1,000초 동안 이루어졌으며, 채널 상태는 모두 양호하다고 가정하였다. 또한 고품질의 경우 버스트 트래픽으로 인한 효과를 보기 위하여 전체 시간 중 가장 버스트가 심한 시간영역을 표본으로 선정했다.

제안한 TXOP 할당 방법과 우선순위 폴링 방식의 성능 분석하기 위해 시뮬레이션은 두 가지의 시나리오로 구성하였다. 표 3과 같이 시나리오 1에서는 표 3과 같이 VoIP, 저품질 MPEG-4, 고품질 MPEG-4를 사용하는 QSTA의 개수를 1개에서 15개로 늘려가면서 전송률, 전송지연을 비교하였다.

표 4 와 같이 시나리오 2에서는 우선순위 폴링 방식

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Parameters of simulation.

Parameters	Values
Slot Time	20μs
SIFS	10μs
PIFS	30μs
Preamble Length	144 bits
PLCP Header Length	48 bits
PLCP Tx Rate	1 Mbps
MAC Header Length	60 Bytes
Basic Tx Rate	1 Mbps
Minimum PHY Rate	11Mbps

표 4. 시나리오 2의 트래픽 순서 배치
Table 4. Traffic order of scenario 2.

	CBR traffic	저품질 VBR traffic (Mpeg4 스트리밍)	고품질 VBR traffic (Mpeg4 알라딘)
QSTA 번호	1, 4, 7, 10	2, 5, 8, 11	3, 6, 9, 12

을 성능 분석하기 위해 표 4와 같이 CBR, 저품질 MPEG-4, 고품질 MPEG-4 비디오를 혼합하여 성능을 분석하였다. 표 4에서 QSTA번호는 QSTA 개수를 늘렸을 때 각 트래픽의 번호를 말한다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

이번 절에서는 참조 스케줄러, SETT-EDD 스케줄러, 그리고 제안하는 스케줄러를 먼저 시나리오 1에서 전송지연과 패킷손실을 측면에서 비교한 다음 시나리오 2에서 전송률, 전송 지연과 전송 지연 편차 측면에서 비교 분석한다.

그림 2는 시나리오 1에서 CBR에 대한 참조, SETT-EDD, 제안하는 알고리즘 스케줄러의 지연을 보여준다. 작업량 보존 방식에 기반을 둔 SETT-EDD와 제안한 알고리즘은 큐잉 지연이 감소하기 때문에 비작업량 보존 방식에 기반을 둔 참조 스케줄러 보다 지연에 있어 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 이 경우 버스트 트래픽은 존재하지 않기 때문에 SETT-EDD와 제안하는 스케줄러 사이에서는 차이가 존재하지 않았다. 그러나 노드가 상당히 많아 질 경우에는 스케줄러가 처리할 대역폭이 채널 용량에 비해 너무나 크기 때

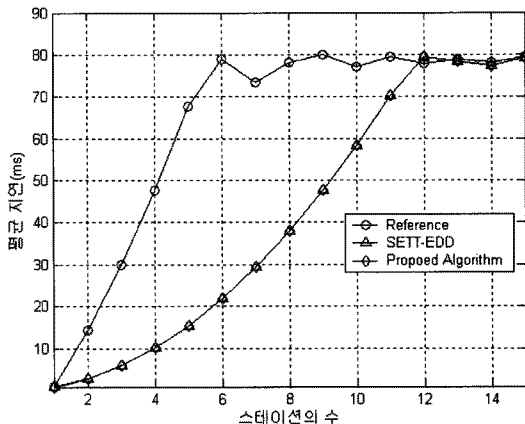


그림 2. 시나리오 1에서 CBR의 전송지연 비교
Fig. 2. Mean delay of CBR in scenario 1.

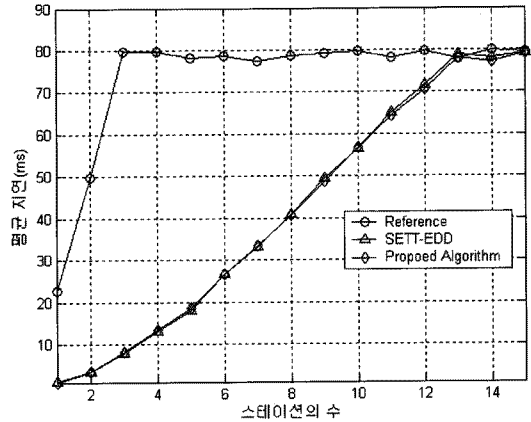


그림 3. 시나리오 1에서 저품질 MPEG-4의 전송지연 비교
Fig. 3. Mean delay of low quality MPEG-4 in scenario 1.

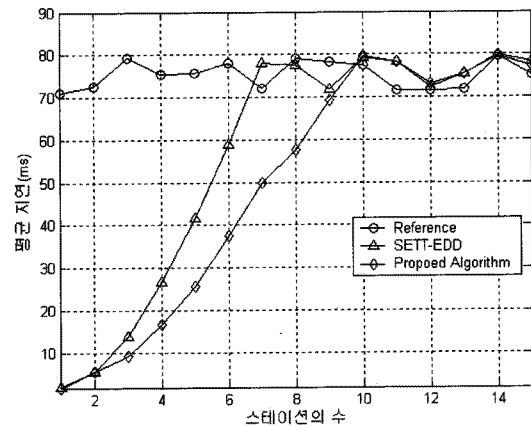


그림 4. 시나리오 1에서 고품질 MPEG-4의 전송지연 비교
Fig. 4. Mean delay of high quality MPEG-4 in scenario 1.

문에 SETT-EDD와 제안하는 알고리즘의 성능 또한 급격히 감소함을 알 수 있었다.

그림 3에서는 저품질 MPEG-4 비디오의 평균 지연을 비교 분석한다. 제안한 알고리즘과 SETT-EDD 사이에 약간의 지연 차이가 존재하지만 저품질 MPEG-4 비디오에서는 버스트 트래픽의 크기가 작고, 트래픽의 지터 또한 작기 때문에 제안하는 알고리즘은 SETT-EDD 스케줄러간의 성능차이는 적음을 보여준다.

그림 4에서는 고품질 MPEG-4 QSTA의 경우에 스케줄러들의 지연을 비교 분석하였다. 고품질 MPEG-4 비디오의 경우에 버스트 트래픽으로 인해 10개의

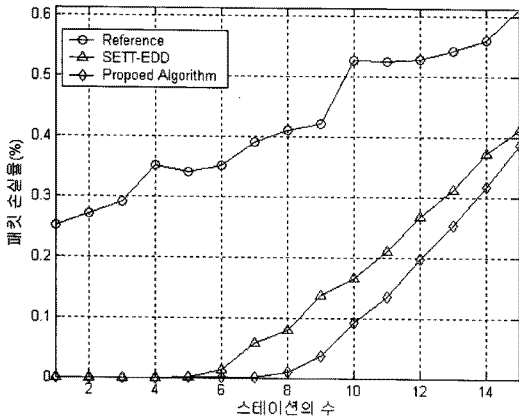


그림 5. 시나리오 1에서 고품질 MPEG-4의 패킷 손실률

Fig. 5. Packet drop rate of high quality MPEG-4 in scenario 1.

QSTA까지 SETT-EDD와 제안한 알고리즘 사이에 상당한 차이가 존재하는 것을 볼 수 있다. 특히 QSTA이 7개일 경우에는 25ms 정도의 차이가 있을 정도로 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 더 적은 지연을 가진다. 이는 제안하는 알고리즘은 허용되는 지터의 값을 제한함으로써 순간적으로 어느 한 노드가 독점하는 것을 막기 때문이다.

그림 5는 시나리오 1에서 스케줄러들의 패킷 손실률을 보여준다. QSTA이 증가함에 따라 패킷 손실률이 증가한다. SETT-EDD 스케줄러에서는 QSTA이 6개일 때부터 패킷 손실이 발생하는데 반해 제안한 스케줄러에서는 8개 QSTA부터 패킷 손실이 발생함을 알 수 있다. 그러나 QSTA이 개수가 증가하게 되면 채널 혼잡이 심해져서 두 스케줄러의 패킷 손실률이 비슷해짐을 알 수 있다. 여기서 참조 스케줄러는 SETT-EDD와 제안하는 알고리즘과는 달리 고정된 SI마다 전송을 할뿐만 아니라 고정된 SI에 대해 항상 고정된 TXOP 값을 가지기 때문에 그로인해 데이터 손실이 계속적으로 누적 된다. 또한 제안하는 알고리즘은 SETT-EDD 스케줄러 보다 적은 패킷 손실률을 가짐을 보인다. 이는 지터의 허용을 제한함으로써 임의의 노드가 연속적으로 채널을 독점하는 것을 막기 때문이다.

그림 6과 7은 각각 시나리오 2에서 증가하는 QSTA에 대한 전송률과 전송지연을 보여준다. 전송률에서는 참조스케줄러가 고정된 TXOP를 사용하기 때문에 조금 낮지만 SETT-EDD와 제안한 알고리즘은 거의 같음을

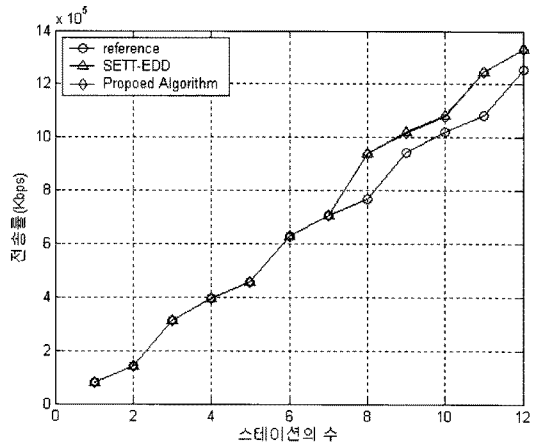


그림 6. 시나리오 2에서 전송률 비교

Fig. 6. Comparison of throughput in scenario 2.

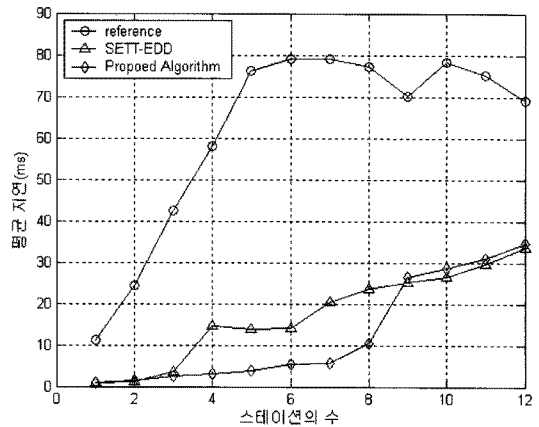


그림 7. 시나리오 2에서 평균지연시간

Fig. 7. Mean delay time of scenario 2.

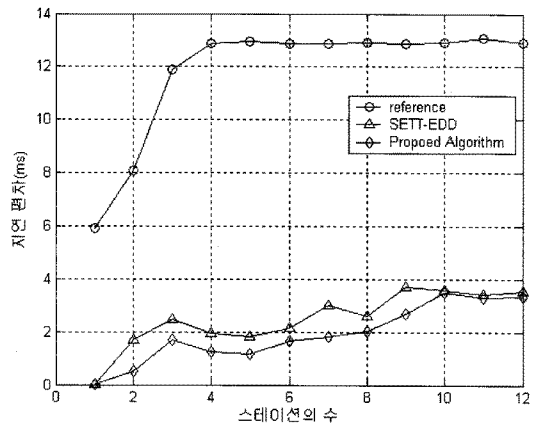


그림 8. 시나리오 2에서 전송 지연 편차

Fig. 8. Delay Jitter in scenario 2.

알 수 있다. 그러나 전송지연은 제한하는 알고리즘에서 지연 민감도에 기반을 둔 우선순위 폴링을 사용함으로써 비대한 작업량을 차지하는 QSTA들에 의한 지연을 줄일 수 있기 때문에 3과 9 QSTA 사이에서 15ms 정도의 차이가 존재하는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 시나리오 2에서 지연 편차를 보여 준다. 참조 스케줄러는 버스트 트래픽으로 인해 상당한 전송지연 편차가 존재함을 알 수 있다. 또한 제한하는 알고리즘은 두 개의 버킷을 사용하여 버스트 트래픽 사이드를 적절히 조절함과 동시에 지터의 크기를 조절하기 때문에, 제한하는 알고리즘은 SETT-EDD 보다 지터가 1ms 정도 낮음을 알 수 있다.

VI. 결 론

IEEE 802.11 task group은 폴링 방식에 기반을 둔 중앙제어 방식을 사용하여 QoS를 보장하기 위해 802.11e HCCA를 표준화 하였다. HCCA는 폴링할 스테이션을 선정할 후 서비스주기에 따라서 필요한 TXOP만큼 할당해 준다. IEEE 802.11e 참조에서는 스케줄러가 제안 돼 있지만 단순한 방식을 사용하기 때문에 오버헤드가 큰 단점이 존재한다.

제안한 알고리즘은 트래픽의 작업량과 서비스주기를 고려한 우선순위 폴링 방식을 사용하여 QoS를 보장한다. 또한 트래픽의 버스트 정도를 고려한 이중 토큰 버킷을 사용하여 TXOP를 할당하여 차별화된 QoS를 보장한다. 시뮬레이션 결과는 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘들 보다 성능이 우수함을 보인다. 그러나 제안하는 알고리즘은 10개 이내의 QSTA에서는 좋은 성능을 대체적으로 보이지만 QSTA이 많이 밀집된 경우에는 큰 차별성을 가지지 못하는 단점이 있다. 또한 채널의 예러가 실제와 같이 존재할 경우를 고려한 스케줄링이 필요하다. 앞으로 밀집모드에서 차별화된 QoS보장을 위한 연구는 물론 실제 채널 상태를 고려한 스케줄러가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Std, "IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical (PHY) specifications," 1999.
 [2] IEEE Std 802.11e/D13.0, "Draft supplement to standard for telecommunications and information

exchange between systems-LAN/MAN specific requirements. Part 11: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS)," Apr. 2005.
 [3] J. del Prado, A. Soomro and S. Shankar, "Normative Text for TGe Consensus Proposal," IEEE 802.11-02/612r0, Sept. 2002.
 [4] J. Prado, "Mandatory TSPEC Parameters and Reference Design of a Simple Scheduler," IEEE 802.11-02/705ar0, Nov. 2002.
 [5] J. del Prado, A. Soomro and S. Shankar, "TGe Scheduler - Minimum Performance Requirements," IEEE 802.11-02/ 709r0, Nov. 2002.
 [6] Rashid, M.M., Hossain, E, and Bhargava, V.K. "Queueing Analysis of 802.11e HCCA with Variable Bit Rate Traffic," In Proc. of IEEE ICC, Vol. 10, pp. 4792-4798, Jun. 2006.
 [7] J. Stankovic et al., Deadline Scheduling for Real-Time Systems: EDF and Related Algorithms, Kluwer, 1998.
 [8] D. Ferrari and D. Verma, "A Scheme for Real-Time Channel Establishment in Wide-Area Networks," IEEE JSAC, vol. 8, no. 3, pp. 368 - 79, Apr. 1990.
 [9] A. Grilo, M. Macedo, and M. Nunes, "A Scheduling Algorithm for QoS Support in IEEE 802.11E Networks," IEEE Wireless Comm. vol. 10, pp. 36-43, Jun. 2003.
 [10] P. Ansel, Q. Ni, and T. Turetletti, "An Efficient Scheduling Scheme for IEEE 802.11e," In Proc. of Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 2004.
 [11] I. Inan, F. Keceli, E. Ayanoglu, "An Adaptive Multimedia QoS Scheduler for 802.11e Wireless LANs," In Proc. of IEEE ICC, Vol. 11, pp. 5263-5270, Jun. 2006.
 [12] D. Skyrianoglou, N. Passas, A.K. Salkintzis, "ARROW : An Efficient Traffic Scheduling Algorithm for IEEE 802.11e HCCA," Wireless Commun., IEEE Transactions on Volume 5, pp. 3558-3567, Dec. 2006.
 [13] N. Ramos, D. Panigrahi, and S. Dey, "Quality of Service Provisioning in 802.11e Networks: Challenges, Approaches, and Future Directions," IEEE Networks, vol. 19, no. 4, pp. 14-20, Jul/Aug. 2005.
 [14] D. Skyrianoglou and A. Salkintzis "Traffic Scheduling for Multimedia QoS over Wireless

- LANs,” In Proc. of IEEE ICC, Vol 2, pp. 1266 - 1270, May 2005.
- [15] 양근혁, 옥치영, 이채우 “IEEE 802.11e 무선랜에서 MSI를 이용한 개선된 스케줄링 및 수락제어 알고리즘”, 전자공학회 논문지, 제 44권, TC편, 10호, 99-109쪽, 2007년 10월.
- [16] 이현진, 김재현, 조성현 “ HCCA의 CF-Poll 피기백 알고리즘의 성능평가” 한국통신학회 논문지, 제 31권, 제 9B호, 2006, 9 pp. 785 - 791, 2006년 9월.
- [17] Jinoou Joung, Jongho Kim “Adaptive Wireless Schedulers based on IEEE 802.11e HCCA”, 한국통신학회논문지 제33권 제9호(네트워크 및 서비스), 2008. 9, pp. 775 ~ 785, 2008년 9월.
- [18] 김영환, 석정봉 “IEEE 802.11e HCCA MAC의 다중 전송률을 이용한 멀티미디어 트래픽의 효율적 전송”, 한국통신학회논문지 제33권 제4호(네트워크 및 서비스), 2008. 4, pp. 192 ~ 198, 2008년 4월.
- [19] J. S. Tunner, “New Directions in Communications,” IEEE Communications Magazine, pp. 8-15, Oct. 1986.
- [20] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [21] <http://info.iet.unipi.it/~cng/ns2hcca/>.
- [22] <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>

저 자 소 개



이 동 열(학생회원)
2008년 아주대학교 전자공학과
학사 졸업.
2008년 3월~현재 아주대학교
전자공학과 석사 과정
<주관심분야 : Game theory,
Wireless LAN, Mesh Network>



이 채 우(정회원)
1985년 서울대학교 제어계측
학사 졸업.
1988년 한국과학기술원
전자공학과 석사 졸업.
1995년 University of Iowa 박사
졸업
1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
Korea 이사.
2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
부교수.
<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous
networking, Traffic Engineering>