

# HCCA의 CF-Poll 피기백 알고리즘의 성능평가

준회원 이 현 진, 정회원 김 재 현\*, 조 성 현\*\*

## A Performance Evaluation of CF-Poll Piggyback Algorithm for HCCA

Hyun-Jin Lee *Associative Member*, Jae-Hyun Kim\*, Sung-Hyun Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

HCCA에서 채널 예약 정보를 가진 CF-Poll 프레임을 QoS-Data 프레임에 피기백하여 채널 효율성을 향상시키도록 하였다. 그러나 망 내의 하나의 QSTA라도 물리계층 전송속도가 감소할 경우 CF-Poll 프레임을 피기백한 QoS-Data 프레임은 가장 낮은 물리계층 전송속도를 가진 QSTA에 맞추어 전송해야 한다. 따라서 물리계층 전송속도가 낮을 때 CF-Poll을 피기백하는 것은 지연을 증가시킬 뿐만 아니라 전체 망 성능을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 현상을 QSTA의 채널전송속도 저하에 의한 피기백 문제라고 정의하였으며, 이러한 문제에 의한 성능 감소를 평가하였다. 시뮬레이션 결과로 CF-Poll을 피기백했을 때 임의의 QSTA의 물리계층 전송속도가 낮으면 지연이 최대 25% 증가하였다. 반면 물리계층 전송속도가 높을 경우 지연이 최대 7.8% 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 지연의 측면에서 서비스 트래픽 부하에 따라 전체 QSTA의 최저물리계층 전송속도가 24에서 36Mbps 이상일 때 CF-Poll 피기백의 이득이 발생하는 것을 발견하였다.

**Key Words** : WLAN, HCCA, Piggyback, Optimization, MAC

### ABSTRACT

A CF-Poll frame which contains the channel reservation time can be piggybacked in QoS-Data frame to increase the channel efficiency in HCCA. However, if any QSTA in the network uses the low physical transmission rate, the QoS-Data frame which includes the CF-Poll frame must be transmitted by the minimum transmission rate. Therefore, it can cause the decrease of the channel efficiency and the increase of the frame transmission delay for other traffic streams when any QSTA has the low physical transmission rate. In this paper, we define this phenomenon as the piggyback problem at the low physical transmission rate and evaluate the effect of this problem. In the simulation results, when a CF-Poll piggyback is used, the delay is increased about 25% if any QSTA has the low physical transmission rate, while the delay is decreased about 7.8% if all QSTA has the high physical transmission rate. We also found that the gain of the CF-Poll piggyback mechanism is achieved when all QSTA has higher physical transmission rate than 24 or 36Mbps.

### I. 서 론

IEEE 802.11e 표준안에서는 실시간 서비스를 제

공하기 위하여 HCF(Hybrid Coordination Function)를 MAC Scheme으로 표준화하였다<sup>[1]</sup>. HCF는 경쟁 방식과 비경쟁방식을 결합한 방식으로서, 경쟁기반

※ 본 논문은 2006년에 시행된 2 단계 BK21(Brain Korea 21)과 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기술개발사업의 지원에 의하여 작성되었음.

\* 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 (133hyun@ajou.ac.kr, jkim@ajou.ac.kr)

\*\* 삼성전자주식회사 정보통신총괄 통신연구소 4G무선기술 Lab.9 (drcho@samsung.com)

논문번호 KICS2006-02-085, 논문접수일자 : 2006년 2월 17일, 최종논문접수일자 : 2006년 9월 5일

의 분산 채널 접근 방식으로 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)를 사용하며, 비경쟁방식의 채널 접근 방식으로 HCCA(HCF Controlled Channel Access)를 사용한다. EDCA는 IEEE 802.11 WLAN(Wireless Local Area Network)에서 기본적으로 제공하는 DCF(Distributed Coordination Function)를 확장한 방식으로 서비스에 따라 채널 접근 시간을 차별화하는 우선권 기반의 QoS를 제공한다. 반면, HCCA는 polling access 방식으로 예약기반의 QoS를 제공하는 기술이다. 또한 HCCA는 기존 PCF(Point Coordination Function)가 가지고 있던 단점들을 극복하면서 성능을 더욱 향상시켰다. 그러나 예약기반의 QoS를 제공하기 위한 HCCA는 많은 문제점을 내포하고 있다<sup>2-4)</sup>.

Gao는 IEEE 802.11e 표준안에 제시된 접근 제어 단위(ACU: Admission Control Unit)와 참조 패킷 스케줄러(Reference Packet Scheduler)가 새로운 QSTA(QoS Station)의 TS(Traffic Stream)를 승인하거나 TxOP(Transmission Opportunity)를 계산할 때, 최소 물리 계층 전송 속도만을 고려하는 것은 채널환경이 급격히 변화하는 무선 채널환경에서는 비효율적이라고 지적하였다. 또한, 초기 물리계층 전송속도를 기준으로 평균 물리계층 전송속도를 추정하여 TxOP의 변화를 수용하고 변화된 TxOP에 따라 새로운 TS의 승인을 제어하는 알고리즘인 PRBAC(Physical Rate Based Admission Control)를 제안하였다<sup>2, 3)</sup>.

Ansel은 HCCA가 트래픽의 전송률이 가변적으로 변하는 가변 비트율(VBR: Variable Bit Rate) 서비스에 비효율적이라고 지적하였으며 개별 TS의 수신 패킷에 저장된 큐 정보를 이용하여 현재 TS의 큐 크기를 추정하고, 추정된 정보와 실제 큐 정보의 차이만큼을 보상하여 TxOP를 할당하는 FHCF(Fairness HCF)를 제안하였다<sup>4)</sup>.

IEEE 802.11e 표준안에서는 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 효율성을 향상시키기 위하여 다양한 QoS-Data 프레임 포맷과 관련 규칙을 정의하고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 이것은 HCCA 알고리즘의 시스템 복잡성을 향상시킬 뿐만 아니라, 상황에 따라 채널 효율성을 감소시킬 수 있다. 예를 들어, IEEE 802.11e 표준문서에는 채널 효율성을 향상시키기 위하여 QoS-Data 프레임에 매체 접근 권한을 이관하는 CF-Poll 정보를 피기백하여 전송할 수 있도록 정의하고 있다. 그러나 임의 QSTA의 채널환경 악화로 물리계층 전송속도가 감소했을 때, 다른 QSTA에

CF-Poll 정보를 피기백하여 전송하면 패킷 전송시간이 길어지고 채널 효율성이 감소한다. 본 논문에서는 임의 QSTA의 채널전송속도가 감소할 때 CF-Poll 프레임의 피기백으로 채널 효율성이 감소하는 현상을 채널전송속도 감소에 의한 피기백 문제로 정의하고 시뮬레이션을 통하여 성능감소의 정도를 평가하였다.

## II. 예약기반의 QoS 방식

### 2.1 채널 자원 관리 알고리즘

#### 2.1.1 참조 패킷 스케줄러

IEEE 802.11e 표준안에 명시된 패킷 스케줄러는 TSPEC(Traffic Specification)의 기본 파라미터만을 사용한다<sup>1)</sup>. i번째 승인된 서비스 트래픽은 두 단계의 계산과정을 통하여 전송순서가 계획된다. 첫 번째는 SI(Service Interval)를 결정하는 과정으로 QBSS 내의 QSTA들이 설정한 TS의 SI들 중에서 가장 작은 값으로 beacon interval로 나누어떨어지는 값이며 식(1)을 이용하여 계산한다.

$$SI = \frac{T}{\lceil T/\text{MIN}\{SI_i\} \rceil}, 0 \leq i \leq n \quad (1)$$

이때, SI<sub>i</sub>는 i번째 TS의 SI이며, T는 슈퍼프레임 크기를 나타내는 beacon interval이다. 두 번째는 TS에게 자원을 할당할 시간을 나타내는 TxOP의 길이를 계산하는 과정으로 스케줄러는 SI동안 평균전송률로 생성될 수 있는 MSDU의 수(N<sub>i</sub>)를 계산한다.

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

이때, ρ<sub>i</sub>와 L<sub>i</sub>는 각각 i번째 TS의 평균 전송률과 규격 MSDU의 크기이다. 스케줄러는 식(2)를 이용하여 i번째 TS의 TxOP 길이(TXOP<sub>i</sub>)를 식(3)에 의해 계산한다.

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O\right) \quad (3)$$

이때, R<sub>i</sub>는 물리계층의 전송 속도이며, M은 최대 허용 가능한 MSDU의 크기이다. 또한, O는 IFS(Inter Frame Space)와 QoS-ACK 프레임 등을 전송하는데 소요되는 오버헤드 시간이다.

Elements ID (1)	Length (1)	TS info (2)	Nominal size MSDU (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

2.1.2 접근 제어 단위

QSTA가 새로운 TS의 승인을 받기 위해서는 접근 제어 단위의 승인을 받아야만 한다. 접근 제어 단위는 식(2)를 이용하여 새로운 TS가 SI동안 평균 전송률로 도착하는 MSDU의 수를 계산하고 식(3)을 이용하여 새로운 TS에 필요한 TxOP 구간의 길이를 계산한다. 마지막으로 ACU는 식(4)를 만족하는지를 평가하여 TS의 승인 여부를 결정한다.

$$\frac{TXOP_{K+1}}{SI} + \sum_{i=1}^K \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{CP}}{T} \quad (4)$$

이때, K는 현재 승인된 TS의 수이며, K+1은 새롭게 승인을 요청하는 TS를 의미한다. TCP는 하나의 superframe동안 EDCA에 할당된 시간을 의미한다.

2.1.3 HCCA

HCCA는 IEEE 802.11에서 사용하는 PCF와 비교하여 두 가지의 차이를 보인다. 첫 번째는 경쟁구간뿐만 아니라 비경쟁구간에서도 QSTA끼리 여러 개의 프레임 전송할 수 있다는 것이다. 이것은 음성 서비스와 같이 SI가 짧은 서비스에 대해서 비경쟁구간의 기다림에 의한 불필요한 지연을 감소시켜 HCCA의 성능을 향상시켰다<sup>[5]</sup>. 두 번째는 IEEE 802.11에서 사용하는 PC(Point Coordinator)가 polling을 하고 난 뒤 전송구간을 제어하지 못하여 여러 개의 TS가 승인될 때, 패킷 손실이 급격하게 증가했던 문제점을 해결하기 위해 HC(Hybrid Coordinator)가 CF-Poll 프레임에 명시된 구간 동안 QSTA에게 TxOP를 할당한다는 것이다<sup>[1]</sup>. 또한 QSTA가 HC에게 새로운 TS를 승인 받기 위해서는 그림 1에 나타난 TSPEC을 이용하여 자원협상과정을 거쳐야만 한다. TSPEC은 최소/평균/최대 전송률과 패킷의 크기, 지연한계 등으로 표현되는 트래픽의 특성을 명시한다.

III. 채널전송속도 감소에 의한 피기백 문제

IEEE 802.11e 표준을 따르는 모든 QSTA는 HCCA를 사용할 경우, HCF의 NAV(Network Allocation Vector) 규칙을 지켜야만 한다. 이것은 TxOP시간 동안 QSTA나 HC에 의해 전송된 프레임은 QBSS(QoS Basic Service Set)내에 포함된 모든 QSTA로부터 보호하기 위해서 필요하다. 따라서 CF-Poll 프레임은 모든 QSTA가 수신 가능하도록 허용된 전송속도 중에서 가장 낮은 전송속도로 전송되어야만 한다. 또한, IEEE 802.11e 표준은 채널의 효율성을 향상시키기 위하여, QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임에 CF-Poll 정보를 피기백하여 전송할 수 있도록 정의하였으며, 이를 위하여 TS Info 필드에 Aggregation 필드를 정의하였다. 그림 2는 QoS-Data 프레임에 CF-Poll을 피기백한 예를 나타내고 있다.

첫 번째로 QAP는 QSTA1에게 채널을 사용할 권한을 주었으며, QSTA1은 자신의 큐에 저장된 MSDU를 할당 받은 TxOP 시간 동안 차례로 전송한다. QSTA1에 할당된 TxOP 구간이 끝나면 QAP는 PIFS시간이 지나고 난 뒤, QSTA3로 전송할 QoS-Data 프레임에 CF-Poll 프레임을 피기백하여 전송하고, 나머지 QSTA는 수신한 CF-Poll 프레임 정보에 따라 NAV를 설정한다. 이와 같은 순서로 QAP는 polling 리스트에 포함된 QSTA에게 채널 접근 권한을 할당한다.

앞에서 언급한 바와 같이 CF-Poll 정보를 QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임에 피기백할 경우, QBSS 내 모든 QSTA들은 자신의 NAV를 설정하기 위하여 CF-Poll 정보를 피기백한 QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임을 수신하여야 한다. 그러나 QBSS 내 임의의 QSTA가 채널환경이 좋지 않아 전송 가능한 속도가 감소할 경우, QoS-Data 프레임의 전송속도가 감소하고 프레임의 전송시간이 증가한다. 예를 들어 그림 2에서 QAP로부터 QSTA3에게 전송되는 첫 번째와 마지막 QoS-Data 프레임은 CF-Poll을 피기백하고 있으므로 모든 QSTA들이 수신할 수 있도록 QSTA의 수신 가능한 속도 중에서 가장 낮은 전송속도로 전송되어야만 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 채널전송속도의 감소에 의한 피기백 문제라고 정의한다.

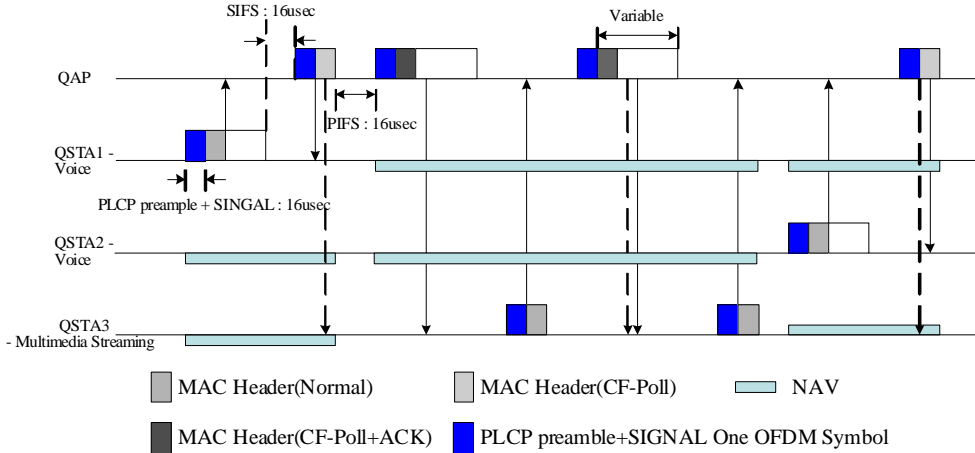


그림 2. QoS-Data프레임에 CF-Poll을 피기백하여 전송하는 예

#### IV. 시뮬레이션 모델

##### 4.1 망 모델

채널전송속도 감소에 의한 피기백 문제를 평가하기 위하여 HCCA와 TSPEC 협상을 지원하는 QAP, QSTA와 서비스 트래픽을 생성하는 서버로 구성된 IEEE 802.11e 망을 그림 3과 같이 구성하였다. QAP과 QSTA는 IEEE 802.11g를 지원하며 전송속도는 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 그리고 54 Mbps를 지원한다. 그림 3에서 노트북으로 나타난 QSTA는 비디오 스트리밍 서비스와 같은 멀티미디어 서비스 트래픽을 생성하며 54Mbps로 고정하였다. 나머지 QSTA는 음성 서비스 트래픽을 생성하며 하나의 QSTA를 제외한 나머지 QSTA는 54Mbps로 고정이고 하나의 QSTA만 2에서 54Mbps로 변한다고

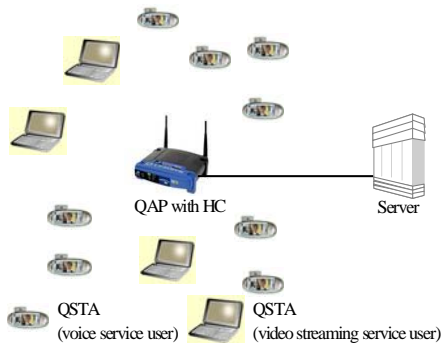


그림 3. QAP와QSTA, 서버로 구성된 망 모델

가정하였다. 표 1은 시뮬레이션 파라미터를 나타내

며, [6]을 참조하였다.

##### 4.2 응용 서비스 트래픽 모델

본 논문에서는 응용 서비스 트래픽 모델로 음성 서비스와 비디오 스트리밍 서비스를 가정하였다. 음성 서비스 트래픽은 64 kbps의 PCM으로 가정하였으며 음성 활성화도(Voice Activity)는 0.65:0.35로 가정하였다. 반면, 비디오 스트리밍 서비스 트래픽은 고정 비트율(CBR: Constant Bit Rate)로 가정하였으며 17280 bytes(128X120 pixels per frame)의 프레임을 초당 10개씩 생성한다고 가정하였다. IEEE 802.11e에서 허용 가능한 최대 MSDU의 크기는 2324 bytes이므로 음성 서비스 프레임은 MAC 계층에서 하나의 MSDU로 생성이 가능하다. 그러나 비디오 스트리밍 서비스 프레임은 2324 bytes의 크기를 가진 7개의 MSDU와 1040 bytes의 크기를 가진 하나의 MSDU로 구성된 8개의 MSDU로 분할된다. 표 2는 서비스 트래픽 모델 파라미터를 나타내고 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
UDP/IP Header	28 bytes
PIFS	25 usec
SIFS	16 usec
PLCP preamble (usec)	16 (OFDM), 144 (FHSS)
PLCP header (usec)	4 (OFDM), 48 (FHSS)

표 2. 서비스 트래픽 모델 파라미터

Service Type	Video	Voice
Frame Size(bytes)	17280	160
Activity	CBR	Exp. dist. (0.65:0.35)
Direction	Unidirectional	Bidirectional
Service Interval(msec)	100	20

### V. 성능평가

그림 4와 그림 5는 서비스 트래픽 부하와 최소 물리계층 전송속도에 따라 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA의 평균 프레임 전송 지연을 나타내고 있다. QSTA는 35개(음성 서비스 지원 QSTA는 30개이며, 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA는 5개로, 서비스 트래픽 부하는 약 19%)에서 115(음성 서비스 지원 QSTA는 110개이고 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA는 5로 서비스 트래픽 부하는 약 27.3%)로 가변적이다. 또한, 음성 서비스를 지원하는 하나의 QSTA는 물리계층 전송속도가 2에서 54 Mbps로 변하고 나머지 QSTA의 물리계층 전송속도는 54Mbps로 고정된다고 가정하였다. 그림 4에 나타난 시뮬레이션 결과를 통하여, CF-Poll 정보가 QoS-Data 프레임이나 QoS-ACK 프레임에 피기백될 경우, 최소 평균 프레임 전송 지연은 약 9.6 msec이었다. 그러나 물리

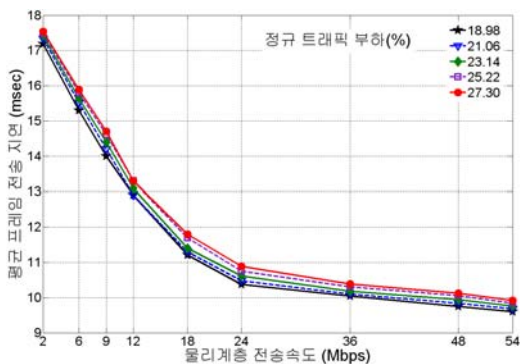


그림 4. CF-Poll을 피기백 했을 때 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA의 평균 프레임 전송 지연

계층 전송속도가 감소함에 따라 평균 프레임 전송 지연이 급격히 증가하여 물리계층 전송률이 2Mbps 일 때, 최대 17.57msec까지 증가하는 것을 관찰 할

수 있었다. 따라서 평균 프레임 전송 지연은 CF-Poll 프레임이 QoS-Data 프레임에 피기백될 경우 QBSS에 포함된 임의의 QSTA의 최소 물리계층 전송속도에 많이 영향을 받는다고 평가할 수 있다. 뿐만 아니라, 평균 프레임 전송 지연이 서비스 트래픽 부하에 큰 영향을 받지 않은 것을 볼 수 있었다. 결론적으로, HCCA에서 CF-Poll 정보를 QoS-Data 프레임에 피기백하는 것이 전송지연을 증가시키는 가장 큰 요인이라고 평가할 수 있다.

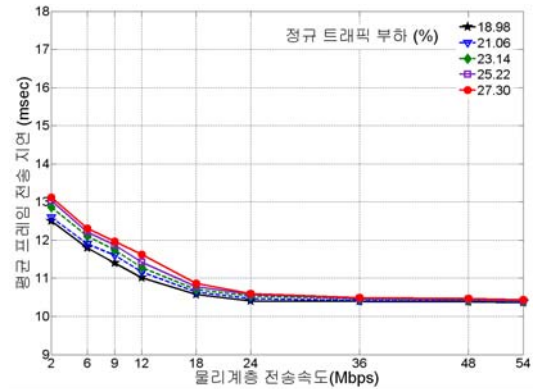


그림 5. CF-Poll을 피기백 하지 않았을 때 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA의 평균 프레임 전송 지연

그림 5는 CF-Poll을 QoS-Data 프레임에 피기백 하지 않았을 경우의 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 부하에 따른 평균 프레임 전송 지연을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과를 통하여 임의의 QSTA의 물리계층 전송속도가 낮을 경우, CF-Poll을 피기백하는 것은 망의 성능을 감소시키는 요인이라고 할 수 있다. 예를 들어, CF-Poll 프레임을 피기백했을 때, 최저 물리계층 전송속도가 2 Mbps이고 서비스 트래픽 부하가 27.3%인 경우의 비디오 스트리밍 서비스 트래픽의 평균 프레임 전송 지연은 약 17 msec이었다. 그러나 동일한 환경에서 CF-Poll 프레임을 피기백하지 않고, 분리하여 전송했을 경우, 비디오 스트리밍 서비스 트래픽의 평균 프레임 전송지연이 약 13 msec로 감소한다. 본 논문에서는 임의의 QSTA의 물리계층 전송속도에 따른 CF-Poll 피기백의 이득을 평가하기 위하여, CF-Poll을 피기백하였을 경우와 그렇지 않은 경우의 평균 프레임 전송 지연의 효율( $\delta_{eff}$ )을 정의하였다<sup>[7]</sup>.

$$\delta_{eff} = \frac{delay_{No\ piggyback} - delay_{piggyback}}{delay_{piggyback}} \quad (4)$$

그림 6은 임의 QSTA의 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 부하에 따른 평균 프레임 전송 지연의 비율을 나타낸 것이다. CF-Poll 피기백의 평균 프레임 전송 지연의 이득은 물리계층 전송속도가 54Mbps일 때 최대 7.3%였으나 물리계층 전송속도가 감소함에 따라 -26.7%까지 감소하는 것을 확인할

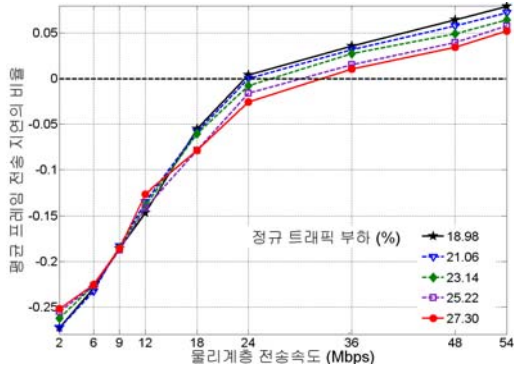


그림 6. CF-Poll을 피기백했을 때와 하지 않았을 때의 평균 프레임 전송 지연의 비율

수 있었다. 그림에서 음의 값은 CF-Poll 프레임에 QoS-Data 프레임에 피기백했을 때의 평균 프레임 전송 지연이 그렇지 않은 경우의 평균 전송 지연보다 크다는 것을 의미한다. 따라서 평균 프레임 전송 지연의 측면에서 음의 값에서는 CF-Poll 정보를 QoS-Data 프레임에 피기백하는 것이 비효율적이라는 것을 나타내는 반면, 양의 값은 CF-Poll 을 QoS-Data에 피기백하는 것이 효율적이라는 것을 의미한다. 또한 그림 6을 통하여, 서비스 트래픽 부하가 증가함에 따라 CF-Poll 피기백의 효율이 점차 감소하는 것을 볼 수가 있었다. 따라서 CF-Poll 피기백 기술의 이득은 평균 프레임 전송 지연의 비율이 0을 기준으로 임의 QSTA의 물리계층 전송속도가 24에서 36 Mbps 이상에서 얻을 수 있다고 볼 수 있다.

## VI. 결론

IEEE 802.11e에서 HCCA는 지연에 민감한 서비스 트래픽을 전송하기 위하여 표준화 되었으며, 표준에서 MAC 프로토콜의 채널 효율성을 향상시키기 위하여 일반적인 QoS-Data 프레임에 CF-Poll을 피기백 할 수 있도록 정의하였다. 그러나 QBSS 내의 임의 QSTA가 낮은 물리계층 전송속도를 가질 경우, 망의 전체 전송지연이 증가하고 채널 효율성이 급격히 감소한다. 본 논문에서는 이러한 현상을

채널전송속도 저하시 피기백 문제로 정의하고, 프레임 전송지연의 측면에서 망 성능 감소를 평가하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여, CF-Poll 피기백 기술의 이득은 최소 물리계층 전송속도에 따라 가변적이라는 것을 알 수 있었으며, 임의 QSTA의 물리계층 전송속도가 24에서 36Mbps 이상일 때 CF-Poll을 피기백하는 것이 이득이라는 것을 발견하였다. 마지막으로 본 논문의 결과는 IEEE 802.11e 또는 IEEE 802.11n에서 CF-Poll피기백 기술의 사용여부를 판단할 수 있는 기준으로 사용될 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE 802.11 WG, Draft Amendment to Standard for Information Technology-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) Quality of Service (QoS) Enhancements, IEEE P802.11e/D13.0, Nov. 2003.
- [2] D. Gao, J. Cai, and L. Zhang, "Physical Rate-Based Admission Control for HCCA in IEEE 802.11e WLANs," in Proc. IEEE 19th International Conference on Advanced Information Networks and Applications, Taiwan, Mar. 2005.
- [3] P. Ansel, Q. Ni, and T. Turletti, "FHCF: A fair scheduling scheme for 802.11e WLAN," INRIA Research Report No 4883, Jul. 2003. Implementation and simulations available from "http://www.sop.inria.fr/planete/qni/fhcf/".
- [4] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance anomaly of 802.11b," in Proc. IEEE INFOCOM 2003, vol 2, pp. 836-843, San Francisco, USA, Mar. 30-Apr. 3, 2003.
- [5] "Providing QoS in WLANs: How the IEEE 802.11e Standard QoS Enhancements Will Affect the Performance of WLANs," Intel white paper.
- [6] IEEE 802.11 WG, Information Technology - Telecommunications and Information Exchange

