

HCCA의 채널효율성향상을 위한 최적의 CF-Poll 피기백 알고리즘

이현진^o, 김재현
아주대학교, 전자공학부

조성현
삼성종합기술원, Digital 연구소

An Optimal CF-Poll Piggyback Algorithm for HCCA to increase the Channel Efficiency

Hyun-Jin Lee^o, Jae-Hyun Kim
Department of Electrical and Computer
Engineering, Ajou University
{l33hyun, jkim}@ajou.ac.kr

Sunghyun Cho
Digital Research Center,
Samsung Advanced Institute of Technology,
drcho@samsung.com

요 약

HCCA는 자원을 할당하는 CF-Poll 프레임을 QoS-Data 프레임에 피기백하여 채널 효율성을 향상시키도록 하였다. 그러나 QBSS 내의 QSTA의 물리계층 전송속도가 감소할 때, CF-Poll을 피기백하는 것은 전체 망 성능을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 현상을 CF-Poll 피기백 문제라고 정의하였으며, CF-Poll 피기백 문제에 의한 성능 감소를 최소 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 부하에 따라 평가하였다. 또한, CF-Poll 피기백 알고리즘의 사용 유무를 전송 지연의 측면에서 최소 물리계층 전송속도에 따라 최적화할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 OPNET을 사용하였으며, 시뮬레이션 결과로 물리계층 전송속도가 낮을 때, CF-Poll을 피기백한 QoS-Data 프레임의 전송 지연이 최대 4.75 msec 증가하는 것을 볼 수 있었다.

1. 서론

IEEE 802.11e에서는 실시간 서비스를 제공하기 위하여 HCF(Hybrid Coordination Function)를 MAC Scheme으로 표준화하였다[1]. HCF는 경쟁방식과 비경쟁방식을 결합한 방식으로, 경쟁기반의 분산 채널 접근 방식으로 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)를 사용하며, 비경쟁방식의 채널 접근 방식으로 HCCA(HCF Controlled Channel Access)를 사용한다. EDCA는 기존 IEEE 802.11에서 기본적으로 제공하는 DCF를 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[2]-[4],

Gao는 표준에 제시된 접근 제어 기술(ACU: Admission Control Unit)이 최소 물리 전송 속도만을 이용하여 QSTA(QoS Station)의 TxOP(Transmission Opportunity)를 할당하므로 QSTA의 물리계층 전송속도가 가변적으로 변화하는 환경에서는 비효율적이라고 지적하였다. 또한, 초기 물리계층 전송속도를 기준으로 평균 물리계층 전송속도를 추정하여 TxOP의 변화를 수용하고 변화된 TxOP에 따라 새로운 TS(Traffic Stream)의 승인을 제어하는 알고리즘인 PRBAC(Physical Rate Based Admission Control)를 제안

하였다[2],[3]. Ansel은 HCCA가 트래픽의 전송률이 가변적으로 변하는 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[4].

IEEE 802.11e 표준문서에서는 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 효율성을 향상시키기 위하여 다양한 QoS-Data 프레임 포맷과 관련 규칙을 정의하고 있다[1]. 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 프레임을 피기백하여 전송할 수 있도록 정의하고 있다. 그러나, 임의 QSTA의 채널환경 악화로 물리계층 전송속도가 감소했을 때 다른 QSTA에 CF-Poll 프레임을 피기백하여 전송하면 패킷 전송시간이 길어지고 채널 효율성이 감소한다. 본 논문에서는 CF-Poll 프레임의 피기백으로 인해 채널 효율성이 감소하는 현상을 CF-Poll 피기백 문제로 정의하고 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하였다.

2. 예약기반의 QoS 방식

2.1. 채널 자원 관리 알고리즘

2.1.1. Reference Packet Scheduler

IEEE 802.11e 표준문서에 명시된 패킷 스케줄러는 TSPEC(Traffic Specification)의 기본 파라미터만을 사용한다[1]. i 번째 승인된 서비스 트래픽은 두 단계의 계산과정을 통하여 전송순서가 스케줄 된다. 첫 번째는 SI (Service Interval)를 결정하는 과정으로 식(1)을 이용하여 계산한다.

$$SI = \frac{T}{\left\lceil \frac{T}{\min_{0 \leq i \leq n} \{SI_i\}} \right\rceil} \quad (1)$$

이때, SI_i 는 i 번째 TS의 SI 이며, T 는 슈퍼프레임 크기를 나타내는 beacon interval이다. 두 번째는 TS에게 자원을 할당할 시간을 나타내는 TxOP의 길이를 계산하는 과정으로 스케줄러는 SI 동안 평균전송률로 생성될 수 있는 MSDU의 수(N_i)를 계산한다.

$$N_i = \left\lfloor \frac{SI \times \rho_i}{L_i} \right\rfloor \quad (2)$$

이때, ρ_i 와 L_i 는 각각 i 번째 TS의 평균 전송률과 nominal MSDU의 크기이다. 스케줄러는 식(2)를 이용하여 i 번째 TS의 TxOP 길이($TXOP_i$)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_i 는 물리계층의 전송 속도이며, M 은 최대 허용 가능한 MSDU의 크기이다. 또한, O 는 IFS(Inter-Frame Space)와 QoS-ACK 프레임 등을 전송하는데 소요되는 오버헤드 시간이다.

2.1.2. ACU

QSTA가 새로운 TS의 승인을 받기 위해서는 ACU의 승인을 받아야만 한다. ACU는 식(2)를 이용하여 새로운 TS가 SI 동안 평균전송률로 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, K 는 현재 승인된 TS의 수이며, $K+1$ 은 새롭게 승인을 요청하는 TS를 의미한다. T_{CP} 는 EDCA로 전송하는 시간이다.

2.1.3. HCCA

HCCA는 IEEE 802.11에서 사용하는 PCF(Point Coordination Function)와 비교하여 두 가지의 차이를 보인다. 첫 번째는 경쟁구간뿐만 아니라 비경쟁구간에서도 QSTA끼리 여러 개의 프레임을 전송할 수 있다는 것이다. 이것은 음성 서비스와 같이 SI 가 짧은 서비스에 대해서 비경쟁구간의 기다림에 의한 불필요한 지연을 감소시켜 HCCA의 성능을 향상시

켰다. 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. 또한 QSTA가 HC에게 새로운 TS를 승인 받기 위해서는 그림 1에 나타난 TSPEC을 이용하여 자원협상 과정을 거쳐야만 한다. TSPEC은 최소/평균/최대 전송률과 패킷의 크기, 지연한계 등으로 표현되는 트래픽의 특성을 명시한다.

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(괄호의 수는 필드의 길이를 바이트로 나타냄)

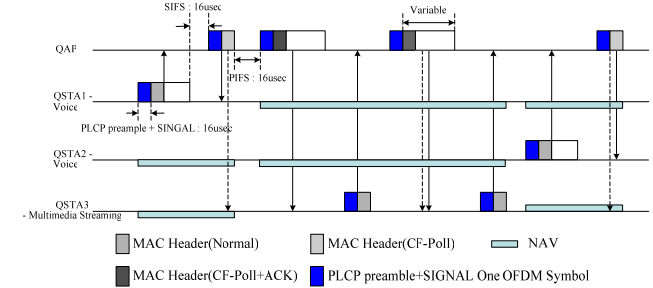


그림 2. QoS-Data 프레임에 CF-Poll을 피기백하여 전송하는 예

3. CF-Poll 피기백 문제

IEEE 802.11e 표준을 따르는 모든 QSTA는 HCF의 NAV(Network Allocation Vector) 규칙을 지켜야만 한다. 이것은 TxOP시간 동안 QSTA나 HC에 의해 전송된 프레임을 QBSS(QoS Basic Service Set) 내에 포함된 모든 QSTA로부터 보호하기 위해서 반드시 필요하다. 따라서 HCCA에서 채널자원을 예약하기 위해 사용하는 CF-Poll 프레임은 모든 QSTA가 수신 가능하도록 허용된 전송속도 중에서 가장 낮은 전송속도로 전송되어야만 한다. 또한, IEEE 802.11e 표준은 채널의 효율성을 향상시키기 위하여 그림 2와 같이 QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임에 CF-Poll 프레임을 피기백하여 전송할 수 있도록 정의하였으며 이를 위하여 프레임의 TS Info 필드에 Aggregation 필드를 정의하였다. 따라서 HC로부터의 QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임이 CF-Poll을 피기백했을 때, HC는 QBSS내의 모든 QSTA가 CF-Poll을 피기백한 QoS-ACK 프레임이나 QoS-Data 프레임을 수신하여 NAV를 설정할 수 있도록 허용된 전송속도 중에서 가장 낮은 전송속도로 전송해야만 한다.

그러나, QBSS내의 임의의 한 QSTA가 채널환경이 좋지 않아 전송 가능한 속도가 감소할 경우 HC는

낮은 전송속도의 QSTA가 CF-Poll 프레임을 피기백한 QoS-Data 프레임이나 QoS-ACK 프레임을 수신할 수 있도록 자신의 전송속도와 무관하게 QoS-Data 프레임의 전송속도를 감소시킨다. 이것은 QoS-Data 프레임을 전송하는데 걸리는 전송시간을 증가시킬 뿐만 아니라 채널 효율성을 감소시킨다. 예를 들어 그림 2에서 QAP로부터 QSTA3에게 전송되는 QoS-Data 프레임은 CF-Poll 프레임을 피기백하고 있으므로 모든 QSTA들이 수신할 수 있도록 허용 가능한 전송속도 중 가장 낮은 전송속도로 전송되어야만 하고 이로 인해 프레임 전송시간이 증가할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 CF-Poll 피기백 문제라고 정의한다.

4. 제안하는 CF-Poll 피기백 알고리즘

CF-Poll 피기백 알고리즘을 설계하기 위하여 본 논문에서는 몇 가지 조건을 가정하였다. 첫 번째로 각 QSTA는 하나의 TS만을 설정하고 식(1)에서 계산한 수만큼의 MSDU를 항상 생성한다고 가정하였다. 두 번째로 각 QSTA의 상위 계층에서 생성된 패킷은 SI의 시작 전에 MAC 계층으로 전송되어 큐에 저장된다고 가정하였다. 만약 i 번째 QSTA의 허용 가능한 물리계층 전송속도의 집합을 γ_i 라고 한다면 γ_i 는 $\gamma_i = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_j\}$, $1 \leq j < m$ 이다. 이때, j 는 물리계층 전송속도를 나타내는 인덱스이다. 따라서 CF-Poll 프레임을 전송하기 위한 물리계층 전송속도는 다음과 같다.

$$\gamma_{CF-Poll} = \min_{1 \leq i \leq M} \left\{ \max_{r_j \in \gamma_i} (r_j) \right\} \quad (5)$$

이때, M 는 QBSS내의 QSTA의 수를 나타낸다. 상위 계층에서 내려온 하나의 프레임을 수신하기 위해 기다려야 하는 최대 지연은 CF-Poll 프레임을 피기백하면

$$D_{pb} = 2N(t_{PLCP preamble} + t_{PLCP header}) + (2N-1)t_{SIFS} + \frac{NL_{ACK}}{\gamma_i} + \frac{L_{MSDU,1} + L_{MSDU,N}}{\gamma_{CF-Poll}} + \sum_{l=2}^{N-1} \frac{L_{MSDU,l}}{\gamma_i} \quad (6)$$

이다. 이때, $t_{PLCP preamble}$ 와 $t_{PLCP header}$ 는 PLCP preamble 전송시간과 PLCP header 전송시간으로 OFDM을 사용할 경우 각각 $16\mu\text{sec}$ 와 $4\mu\text{sec}$ 이다. t_{SIFS} 와 L_{ACK} 는 SIFS(Short Inter-Frame Space) 시간이고, QoS-ACK 프레임 크기이다. $L_{MSDU,1}$ 과 $L_{MSDU,N}$ 은 상위계층에서 내려온 프레임이 MAC에서 여러 개의 MSDU로 나누어졌을 때 첫번째 프레임과 N 번째 프레임을 의미한다. 또한 CF-Poll 프레임을 피기백하지 않았을 때 상위계층에서 내려온 하나의 프레임을 수신하기 위해 기다려야 하는 최대 지연은

$$D_{Npb} = 2N(t_{PLCP preamble} + t_{PLCP header}) + (2N-1)t_{SIFS} + \frac{NL_{ACK}}{\gamma_i} + \frac{2L_{CF-Poll}}{\gamma_{CF-Poll}} + \sum_{l=1}^N \frac{L_{MSDU,l}}{\gamma_i} \quad (7)$$

이다. CF-Poll 프레임을 피기백 했을 때 얻을 수 있는 채널 효율성은

$$\Delta = D_{pb} - D_{Npb} = \left(\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_{CF-Poll}} \right) (L_{MSDU,1} + L_{MSDU,N}) - \frac{2L_{CF-Poll}}{\gamma_{CF-Poll}} \quad (8)$$

이다. 따라서, CF-Poll의 피기백을 위한 최적의 알고리즘은 다음과 같이 설계할 수 있다.

```

gamma_cf_poll = max data rate
For i = 1 to M
  If (gamma(i) <= gamma_cf_poll) then
    gamma_cf_poll = gamma(i);
  end if;
end;
Delta=(1/gamma(i)-1/gamma_cf_poll)
*(L_msdu+L_msdu)-2*L_cf_poll/gamma_cf_poll;
If Delta > 0
  Aggregation = 1
Else
  Aggregation = 0
End

```

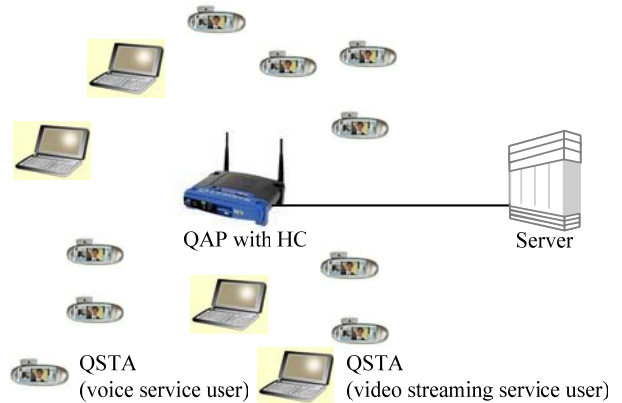


그림 3. QAP과 QSTA, 서버로 구성된 망 모델

5. 시뮬레이션 모델

5.1. Network Models

CF-Poll 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 OFDM을 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, QSTA에서 QAP를 거쳐 서버로 연결된 참조연결을 가정하였다. 또한, 나머지 QSTA는 음성 서비스 트래픽을 생성하며, 전송속도가 2에서 54 Mbps로 변한다고 가정하였다. 표 1은 망 모델 파라미터를 나타내며, [5]를 참조하였다.

5.2. Service Traffic Model

본 논문에서는 응용 서비스 트래픽 모델로 음성 서비스와 비디오 스트리밍 서비스를 가정하였다. 음성 서비스 트래픽은 64 kbps의 PCM으로 가정하였으며, 음성활성도(Voice Activity)는 0.65:0.35로 가정하였다. 따라서 음성 서비스 트래픽은 160 bytes의 크기를 가지며, 매 20 msec 마다 생성된다. 반면, 비디오 스트리밍 서비스 트래픽은 고정 비트율(CBR: Constant Bit Rate)로 가정하였으며, 17280 bytes의 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. 망모델 파라미터

Parameter	Value
UDP/IP Header (bytes)	28
PIFS (μ sec)	25
SIFS (μ sec)	16
PLCP preamble (μ sec)	16(OFD), 144(FHSS)
PLCP header (μ sec)	4 (OFDM), 48(FHSS)
Maximum Physical	54
Transmission Rate (Mbps)	

표 2. 서비스 트래픽 모델 파라미터

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

6. 성능평가

그림 4와 그림 5는 서비스 트래픽 부하와 최소 물리계층 전송속도에 따라 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA의 평균 프레임 전송 지연을 나타내고 있다. QBSS내의 QSTA는 45개(음성 서비스 지원 QSTA는 40개이며, 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA는 5개로, 서비스 트래픽 로드는 약 39.9%)에서 125(음성 서비스 지원 QSTA는 120개이고 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA는 5로 서비스 트래픽 로드는 약 87.1%)로 가변적이다. 또한, 음성 서비스를 지원하는 하나의 QSTA는 물리계층 전송속도가 2에서 54 Mbps로 변한다고 가정하였다.

그림 4에 나타난 시뮬레이션 결과를 통하여, CF-Poll 프레임이 QoS-Data 프레임이나 QoS-ACK 프레임에 피기백 됐을 경우, 최소 평균 프레임 전송 지연은 약 9.6 msec이었다. 그러나, 음성 서비스를 지원하는

QSTA의 물리계층 전송속도가 감소함에 따라 평균 프레임 전송 지연이 급격히 증가하여 음성 서비스를 지원하는 QSTA의 물리계층 전송속도가 2Mbps 일 때, 최대 17.57msec로 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다. 따라서, 평균 프레임 전송 지연은 CF-Poll 프레임이 QoS-Data 프레임에 피기백 될 경우 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-Poll을 QoS-Data 프레임에 피기백하는 것이 전송 지연을 증가시키는 가장 큰 요인이라고 평가할 수 있다.

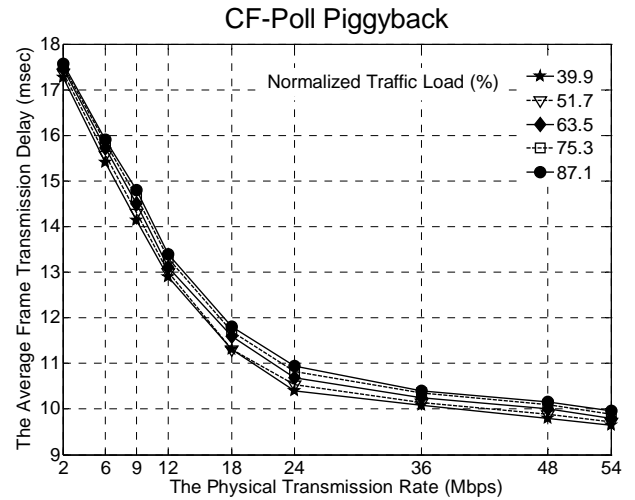


그림 4. CF-Poll 을 피기백 했을 때 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA 의 평균 프레임 전송 지연

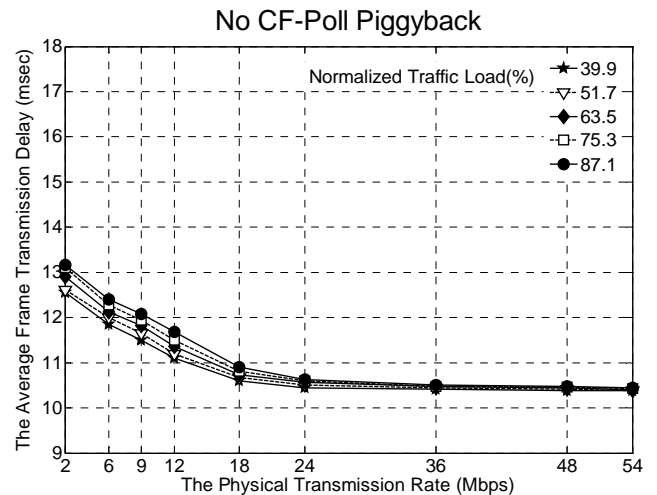


그림 5. CF-Poll 을 피기백 하지 않았을 때 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 QSTA 의 평균 프레임 전송 지연

그림 5는 CF-Poll 프레임을 QoS-Data 프레임에 피기백 하지 않았을 경우의 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 부하에 따른 평균 프레임 전송 지연을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과를 통하여 QSTA의 물리계층 전송속도가 낮을 경우, CF-Poll을 피기백하는 것은 망의 성능을 감소시키는 요인이라고 할 수 있다. 예를 들어, CF-Poll 프레임을 피기백 했을 때, 최저 물리계층 전송속도가 2 Mbps이고 서비스 트래픽 부하가 87%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 전송 지연이 약 13 msec로 감소하였다.

본 논문에서는 CF-Poll 피기백에 의한 채널 효율성을 평가하기 위하여 CF-Poll을 피기백하였을 경우와 그렇지 않은 경우의 평균 프레임 전송 지연의 비율(rate)을 식(9)와 같이 정의하였다.

$$rate = \frac{D_{Npb} - D_{pb}}{D_{pb}} \quad (9)$$

그림 6은 최소 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 로드에서 따른 평균 프레임 전송 지연의 비율을 나타낸 것이다. 그림에서 음의 값은 CF-Poll 프레임을 QoS-Data 프레임에 피기백 했을 때의 평균 프레임 전송 지연이 그렇지 않은 경우의 평균 전송 지연보다 크다는 것을 의미한다. 따라서, 음의 값에서는 CF-Poll 프레임을 피기백하는 것이 전송 지연의 측면에서 비효율적이라는 것을 나타내는 반면, 양의 값은 효율적이라는 것을 의미한다. 따라서, CF-Poll 피기백 기술의 이점은 지연의 비율이 0을 기준으로 최소 물리계층 전송속도가 24에서 36 Mbps 사이에서 변화한다고 볼 수 있다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 CF-Poll 피기백 알고리즘을 적용했을 때 최소 물리계층 전송속도와 서비스 트래픽 부하에 따른 평균 프레임 전송 지연을 나타낸 것으로 물리계층 전송속도가 낮을 때는 CF-Poll의 피기백을 하지 않고, 물리계층의 전송속도가 증가함에 따라 CF-Poll 피기백을 수행하여 채널 효율성을 향상시켰다.

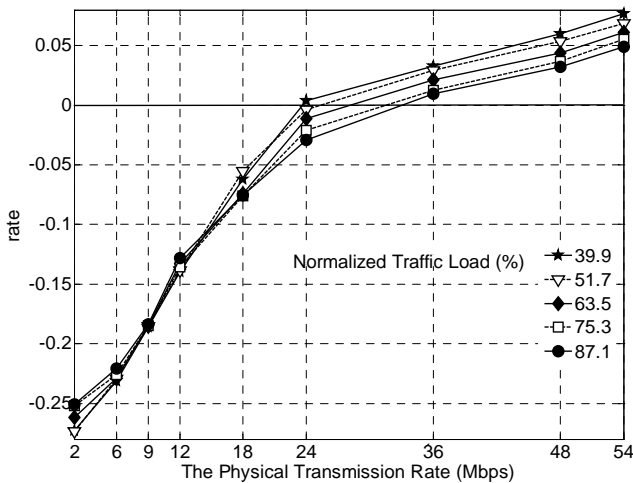


그림 6. CF-Poll을 피기백 했을 때와 하지 않았을 때의 평균 프레임 전송 지연의 비

7. 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 피기백할 수 있도록 정의하였다. 그러나, QBSS 내 임의의 QSTA가 낮은 물리계층 전송속도를 가질 경우 망의 전송 지연이 증가하고 채널 효율성이 급격히 감소

하는 문제를 야기하였다. 본 논문에서는 이러한 현상을 CF-Poll 피기백 문제로 정의하고 CF-Poll 피기백 문제에 의한 성능 감소를 평가하였으며, 전송 지연의 측면에서 CF-Poll 피기백 기술의 사용여부를 최적화한 알고리즘을 제안하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 통하여 CF-Poll 피기백 기술의 이점이 최소 물리계층 전송속도에 따라 가변적이라는 것을 알 수 있었다. 마지막으로 본 논문의 결과는 IEEE 802.11e 또는 IEEE 802.11n에서 CF-Poll 피기백 기술의 사용여부를 판단할 수 있는 기준으로 사용될 수 있다.

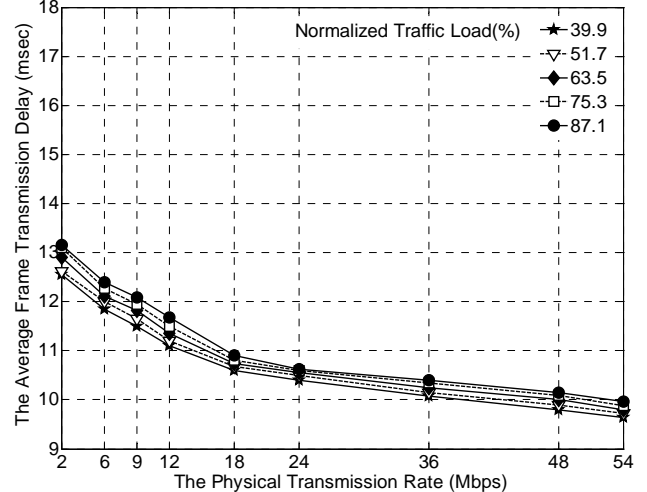


그림 7. 제안한 CF-Poll 피기백 알고리즘을 사용했을 때 평균 프레임 전송 지연

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," in 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, 28-30 Mar. 2005, pp. 479-483.
- [3] 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, pp. 694 - 696, Aug. 2005.
- [4] P. Ansel, Q. Ni, and T. Turetletti, "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/".
- [5] 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.