

논문 2007-44TC-4-3

IEEE 802.11e 무선랜에서 서비스 차별화를 통한 QoS 향상 방법

(QoS Enhancement Scheme through Service Differentiation in IEEE
802.11e Wireless Networks)

김 선 명*, 조 영 중**

(Sunmyeng Kim and Young-Jong Cho)

요 약

IEEE 802.11e의 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)는 무선 랜에서의 QoS(Quality of Service)를 지원하기 위해 표준화되었다. EDCA는 낮은 우선순위 트래픽의 채널 접근 확률을 낮춤으로써 높은 우선순위 트래픽에 QoS를 제공한다. 이는 높은 우선순위 트래픽에 대한 확정된(Deterministic) 우선순위를 제공하는 것이 아니라 통계적인(Statistical) 우선순위를 제공한다. 그러므로 낮은 우선 순위 트래픽은 높은 우선순위 트래픽의 성능에 계속 영향을 미친다. 결과적으로 높은 채널 트래픽 환경에서 EDCA는 음성이나 비디오와 같은 멀티미디어 응용에 QoS를 보장하지 못한다. 본 논문에서는 EDCA 메커니즘의 QoS 성능을 향상시키기 위해 DPCA(Deterministic Priority Channel Access) 방법을 제안한다. 멀티미디어 응용에 보장된 우선순위 채널 접근을 제공하기 위해 제안된 방법은 높은 우선순위 트래픽이 전송할 패킷을 가지고 있을 때 낮은 우선순위 트래픽의 전송을 제한하기 위해 비지톤(Busy Tone)을 사용한다. 제안된 방법의 성능을 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 EDCA와 비교 분석한다. 성능 비교 분석 결과, 제안된 방법이 다양한 경쟁 수준 환경에서 EDCA보다 더 좋은 효율과 지연, 폐기율 등을 가짐을 확인하였다.

Abstract

The enhanced distributed channel access (EDCA) of IEEE 802.11e has been standardized for supporting Quality of Service (QoS) in wireless LANs. In the EDCA, support of QoS can be achieved statistically by reducing the probability of medium access for lower priority traffics. In other words, it provides statistical channel access rather than deterministically prioritized access to high priority traffic. Therefore, lower priority traffics affect the performance of higher priority traffics. Consequently, at the high loads, the EDCA does not guarantee the QoS of multimedia applications such as voice and video even though it provides higher priority. In this paper, we propose a simple and effective scheme, called deterministic priority channel access (DPCA), for improving the QoS performance of the EDCA mechanism. In order to provide guaranteed priority channel access to multimedia applications, the proposed scheme uses a busy tone for limiting the transmissions of lower priority traffics when higher priority traffic has data packets to send. Performance of the proposed scheme is investigated by numerical analysis and simulation. Our results show that the proposed scheme outperforms the EDCA in terms of throughput, delay, jitter, and drop under a wide range of contention levels.

Keywords : EDCA, IEEE 802.11e, MAC, QoS, WLAN.

I. 서 론

* 정회원, 플로리다 대학교 전기및컴퓨터공학과
(University of Florida)

** 정회원, 아주대학교 정보및컴퓨터공학부
(Ajou University)

※ 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로
한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.”
(KRF-2006-214-D00105)

접수일자: 2007년2월1일, 수정완료일: 2007년4월16일

무선 랜을 위한 IEEE 802.11 표준은 단말간 채널 공유를 위해 MAC (Medium Access Control) 프로토콜을 제안하였다^[1]. MAC 프로토콜은 두 가지의 통신 방법을 갖는다. 즉 기본 접근 방법인 DCF(Distributed

Coordination Function)와 선택 방법인 PCF(Point Coordination Function)이다. DCF는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)에 기반한다. 이 방법에서 채널에서의 패킷 충돌은 이진 지수 백오프(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 통해 해결된다. 전송할 패킷을 갖은 단말은 패킷을 전송하기 전에 채널이 유휴 상태인지 확인해야 한다. 단말은 균등 분포에 따라 현재 경쟁 윈도우(Contention Window) 보다 작은 랜덤 백오프 카운터를 선택하고 채널이 유휴 상태이면 매 슬롯마다 백오프 카운터를 하나씩 감소시킨다. 백오프 카운터 값이 0이 되면 패킷을 전송한다. 전송 중에 패킷에 충돌이 발생하면 단말은 경쟁 윈도우를 두 배로 설정한다. 그리고 전송이 성공이면 최소 경쟁 윈도우 값으로 설정한다. DCF는 비동기 최선형 데이터 서비스를 지원하는 방식이고 PCF는 실시간 서비스를 지원하는 방식이다. AP(Access Point)는 단말들에게 비콘(Beacon) 프레임을 주기적으로 전송한다. 비콘 프레임간 PCF는 채널 시간을 CFP(Contention-Free Period)와 CP(Contention Period)로 나눈다. AP는 CFP 기간 동안 단말에게 폴링을 통해 채널 접근을 허용한다. 단말은 AP로부터 폴링을 받기 전에는 패킷을 전송할 수 없다.

멀티미디어 응용이 많이 사용됨에 따라 무선 랜에서 높은 대역폭과 낮은 지연 또는 지터와 같은 새로운 특징들이 요구된다. 그러나 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 QoS(Quality of Service)를 지원하지 못한다^[2,3]. DCF는 트래픽간 차별화를 지원하지 못하므로 단말은 패킷을 전송하기 위해 임의의 긴 시간동안 대기해야 한다^[4]. 그러므로 음성이나 비디오와 같은 실시간 응용은 허용범위 지연을 만족시키지 못해 성능 저하를 초래하게 된다^[5,6]. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 여러 우선순위 방법들이 제안되었다^[3,6,7]. Xiao는 초기 경쟁 윈도우 크기와 윈도우 증가 요소, 최대 백오프 스테이지와 같은 값을 차별화함으로써 무선 랜에서 실시간 응용을 지원할 수 있는 간단한 방법을 제안하였다^[3]. MP(Multi-Priority)은 DCF의 변경을 최소화할 수 있는 서비스 차별화 방법이다^[6]. 서비스 차별화를 위해 802.11 MAC의 IFS(Inter-Frame Space)와 랜덤 백오프 시간 파라미터를 이용한다. Veres는 최소 경쟁 윈도우와 최대 경쟁윈도우 값을 서비스의 트래픽 종류 또는 요구 수준에 따라 다르게 설정함으로써 우선순위 방법을 제공한다^[7].

IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 엄격한 QoS 요구

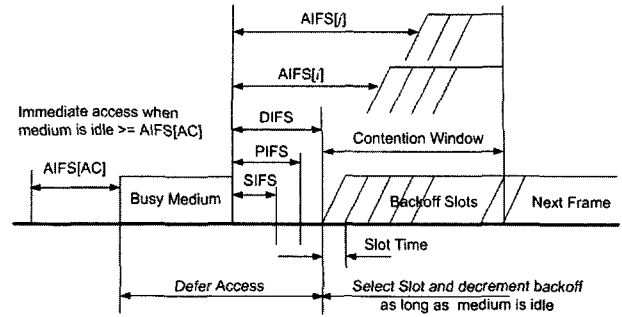


그림 1. IEEE 802.11e EDCA에서의 AIFS 관계
Fig. 1. AIFS relationship in IEEE 802.11e EDCA.

사항을 갖는 멀티미디어 응용을 지원하기 위해 IEEE 802.11e는 표준화되었다^[8]. DCF와 PCF 모두의 장점을 제공할 수 있는 HCF(Hybrid Coordination Function) 개념이 제안되었다. HCF의 경쟁 기반 채널 접근 방법은 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)이다. EDCA에서 QoS는 네 개의 접근 종류(AC: Access Category)를 통해 제공된다. 상위 계층으로 부터 우선순위를 가지고 MAC 계층에 도착한 패킷은 하나의 AC에 할당된다. AC3은 음성 트래픽을 위한 것이고 AC2와 1은 비디오 전송, AC0은 최선형 데이터 전송을 위한 것이다. EDCA는 각 AC $i(0 \leq i \leq 3)$ 에 대해 최소 경쟁 윈도우($CWmin[i]$)와 최대 경쟁 윈도우($CWmax[i]$)를 다르게 설정함으로써 서비스 차별화를 제공한다. 더 좋은 차별화를 위해 DIFS(Distributed Inter-Frame Space) 대신에 AIFS(Arbitration Inter-Frame Space) 또한 사용된다(그림 1 참조). AIFS는 DIFS 이상의 값을 가지며 $AIFSN[i]$ (Arbitration Inter-Frame Space Number)에 의해 계산된다. $AIFS[i]$ 은 $SIFS + AIFSN[i] * aSlotTime$ 와 같이 계산된다. 여기서 SIFS는 SIFS(Short Inter-Frame Space) 시간이고 aSlotTime은 한 슬롯 시간을 의미한다.

EDCA는 각 AC i 에 대해 $CWmin[i] \geq CWmin[j]$, $CWmax[i] \geq CWmax[j]$, $AIFSN[i] \geq AIFSN[j]$ 의 관계를 갖는다. 이 부등호에서 최소 하나 이상은 초과이어야 한다. EDCA는 높은 AC가 낮은 AC에 비해 평균적으로 낮은 대기 시간과 백오프 시간을 갖는 것을 보장하기 위해 높은 우선순위 AC에게 작은 경쟁 윈도우와 짧은 AIFS 값을 할당한다. 그러므로 EDCA 방법에서 QoS는 낮은 우선순위 AC의 채널 접근 확률을 낮춤으로써 통계적으로 제공된다^[9,10]. 그러나 EDCA는 경쟁 기반 방법이므로 DCF와 비슷한 문제점을 가지고 있다^[11,12,13]. 낮은 우선순위 AC는 채널 접근을 계속하고 높은 우선순위 AC와 충돌을 유발한다. 그러므로 높은 우

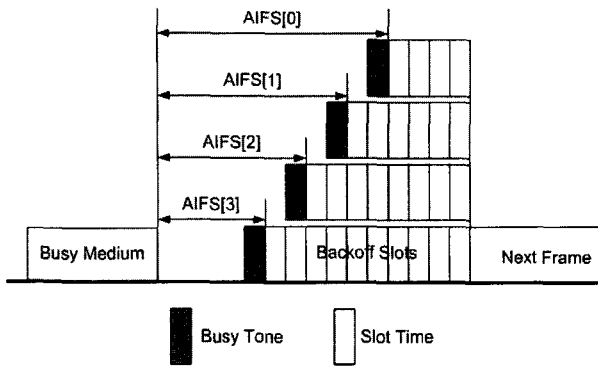


그림 2. DPCA 방법을 위한 비지톤 타이밍 다이어그램
Fig. 2. Busy tone timing diagram for the DPCA scheme.

선순위의 충돌 확률은 낮은 AC의 단말 수가 증가함에 따라 커지게 된다. 따라서 EDCA에는 QoS 요구사항을 만족시키지 못한다^[14].

본 논문에서 간단하고 효율적인 분산 경쟁 기반 MAC 알고리즘인 DPCA(Deterministic Priority Channel Access)을 제안한다. 제안된 방법은 높은 우선 순위 AC가 전송할 데이터를 가지고 있을 경우 낮은 AC의 동작을 제한하기 위해 짧은 시간을 갖는 비지톤(Busy Tone) 신호를 사용한다^[15,16,17]. 이 방법은 낮은 우선 순위 AC에 의한 충돌이 발생하지 않게 함으로써 높은 우선 순위 AC의 QoS 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안된 DPCA 방법에 대하여 상세 기술하고 트래픽이 사용한 채널 시간 비율(Channel Time Usage Ratio)을 III장에서 분석한다. IV장에서 수학적 분석 및 시뮬레이션 결과를 IEEE 802.11e EDCA와 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. DPCA 방법

본 장에서는 낮은 우선 순위 AC에 상관없이 높은 우선 순위 AC에 대해 QoS 요구사항을 제공할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 낮은 우선 순위 AC는 높은 우선 순위 AC에 전송할 패킷이 없을 때까지 패킷 전송을 정지해야 한다. 그러므로 제안된 방법은 높은 우선 순위 AC가 전송할 패킷이 있을 경우 낮은 우선 순위 AC의 전송을 제어하는 방법을 제안한다.

제안된 방법은 표준 EDCA에 약간의 수정사항을 필요로 하지만 EDCA에서의 기본적인 동작 방법을 그대로 유지한다.

EDCA에서 전송할 패킷을 갖는 각 AC의 플로우는

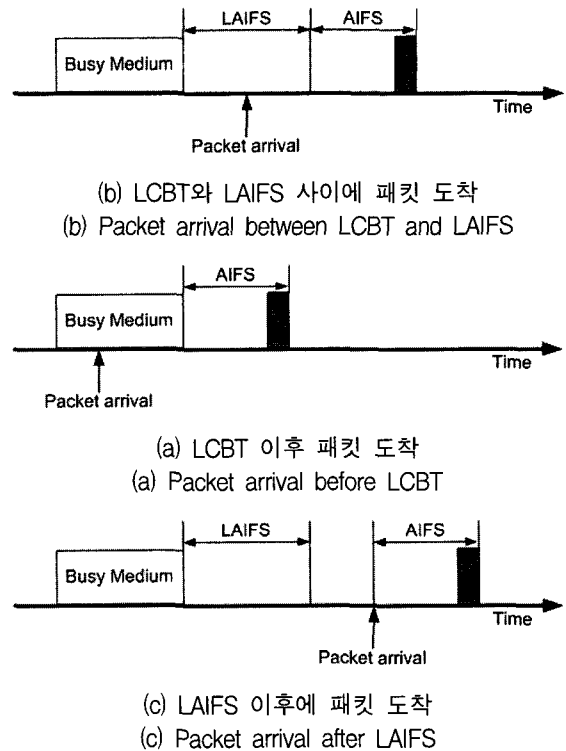


그림 3. 패킷 도착 시간에 따른 비지톤 전송 시간
Fig. 3. Busy tone transmission time according to the packet arrival time.

먼저 AIFS 시간 동안 채널이 유향 상태인지를 확인한다. 유향 AIFS 기간을 확인한 후에 전송전에 다시 랜덤 백오프 시간을 대기해야 한다(그림 1 참조). 그러나 제안된 방법에서 각 플로우는 (AIFS - aSlotTime) 시간의 유향 상태를 확인한 후에 AIFS의 마지막 슬롯에서 한 슬롯 시간보다 짧은 비지톤을 전송한다(그림 2 참조). 비지톤을 전송한 후에 각 AC는 EDCA와 똑같은 백오프 동작을 수행한다. 즉, 채널이 유향이면 백오프 카운터 값을 감소시키고 번잡 상태이면 감소시키지 않으며 백오프 카운터 값이 0이 되면 패킷을 전송한다. 각 AC 플로우의 (AIFS-aSlotTime) 시간 내에 채널이 번잡이면 비지톤 전송 과정과 백오프 과정을 정지한다. 즉, 채널 번잡을 감지한 플로우는 현 채널 경쟁을 정지하고 경쟁관련 파라미터 값을 저장하며 채널이 다시 (AIFS-aSlotTime) 시간동안 유향 상태일 때까지 대기한다. 높은 우선 순위 AC의 플로우가 존재하는 한 모든 낮은 우선 순위 AC 플로우는 자신의 (AIFS-aSlotTime) 시간 내에 비지톤을 수신하게 된다. 낮은 우선 순위 AC 플로우가 채널 경쟁을 할 경우에는 높은 우선 순위 AC 플로우가 존재해서는 안 된다. 제안된 방법은 낮은 우선 순위 AC 플로우의 동작을 제한함으로써 충돌 확률을 낮출 수 있다.

제안된 방법의 동작을 위해 EDCA 방법과 달리 높은 우선순위 AC는 낮은 우선순위 AC보다 항상 작은 AIFSN 값을 가져야 한다. 즉, 모든 AC에 대해 $AIFSN[i] > AIFSN[j]$ ($0 \leq i < j \leq 3$)을 만족시켜야 한다.

큐에 전송할 패킷을 가진 플로우가 비지톤 전송 시간을 결정하기 위해 제안된 방법은 MAC 계층에 패킷이 도착한 시간(PAT: Packet Arrival Time)과 패킷 전송으로 인해 채널이 마지막으로 번잡 상태인 시간(LCBT: Last Channel Busy Time), 가장 낮은 우선순위의 AIFS값인 LAIFS 정보를 이용한다(그림 3 참조). LCBT는 패킷 전송의 완료 시간으로 설정된다. 전송이 충돌하였을 경우에는 (EIFS-DIFS) 시간으로 설정된다. 이는 EDCA 백오프 동작이 (EIFS-DIFS+AIFS) 시간 동안 채널이 유희인지 확인한 후에 시작하기 때문이다 (EIFS: Extended Inter-Frame Space). 비지톤 전송 시간을 결정하기 위한 네 가지의 가능한 경우가 존재한다. 첫 번째, AC가 LCBT와 PAT 사이에 비지톤을 수신하였을 경우에는 패킷 전송에 의한 채널 번잡이 감지할 때까지 백오프 동작을 정지한다. 그렇지 않으면 다음 세 가지 경우에 따라 동작한다. 두 번째, 패킷이 LCBT보다 먼저 도착하였을 경우에는 위에 설명한 기본 동작처럼 AIFS의 마지막 슬롯에서 비지톤을 전송한다(그림 3a 참조). 세 번째, 패킷이 LCBT와 LAIFS 사이에 도착하였을 경우에는 비지톤을 전송하기 전에 (LCBT+LAIFS+AIFS-aSlotTime) 시간까지 유희 상태여야 한다(그림 3b 참조). 이는 다른 우선순위 AC 플로우와 충돌을 피하기 위하여 필요하다. 그러므로 제안된 방법은 같은 우선순위를 갖는 단말간 채널 경쟁을 보장할 수 있다. (LCBT+LAIFS +AIFS-aSlotTime) 시간까지 비지톤에 의한 채널 번잡이 감지되지 않으면 자신의 비지톤을 전송한다. 마지막으로, (LCBT+LAIFS) 시간 이후에 패킷이 도착한 경우이다(그림 3c참조). 이는 두 번째 방법과 마찬가지로 AIFS의 마지막 슬롯에서 비지톤을 전송한다.

제안된 DPCA 방법에서 올바른 동작을 위해 비지톤에 의한 채널 번잡과 패킷 전송에 의한 채널 번잡을 구분하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 신호 전송시간 정보를 이용한다. 한 패킷의 전송 시간은 $20\mu s$ 값을 갖는 물리 계층 헤더로 인해 최소 3 슬롯 이상의 시간을 필요로 한다(IV장 표 1로 부터 계산). 비지톤은 한 타임 슬롯보다는 작은 값을 이용한다. 전송 시간을 측정하는 것은 추가적인 오버헤드나 비용 없이 간단하게 할 수

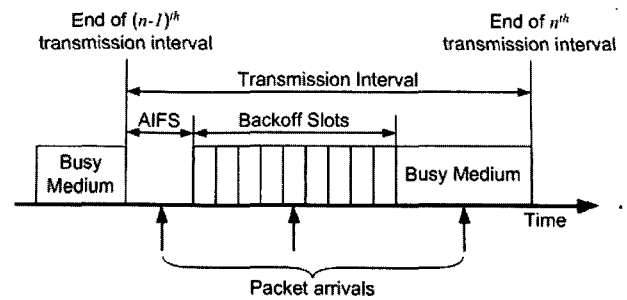


그림 4. 전송 간격 구조

Fig. 4. Structure of transmission interval.

있다. 이는 모든 단말이 CSMA/CA 방법으로 동작하기 때문이다. 각 단말은 채널 감지 방법을 통해 채널 상태를 감지하고 번잡 시간을 측정한다. 그러므로 단말이 신호를 수신하였을 때 비지톤과 패킷 전송을 구분할 수 있다.

Ping은 제안하는 방법과 유사한 확정된 우선순위 접근 방법을 제안하였다^[9,10]. 그러나 이 방법은 다음과 같은 차이점을 갖는다. 데이터 트래픽에 대한 오직 음성 트래픽의 우선순위를 보장하는 것이 주목적이다. 채널 경쟁중인 음성 플로는 AIFS 시간동안 채널 유희를 확인한 후에 백오프 동작을 하는 대신에 비지톤을 전송한다. 비지톤의 길이는 백오프 카운터 값과 동일하다. 비지톤 전송을 완료한 후에 단말은 채널을 감지한다. 채널이 여전히 번잡이면 현 경쟁을 정지하고 유희이면 패킷을 전송한다. 이는 그 플로우가 가장 긴 비지톤을 전송하였음을 의미한다. 추가적으로 데이터 플로우의 경쟁은 EDCA와 똑같다. 그러나 제안하는 방법은 한 슬롯보다 짧은 비지톤을 사용하고 모든 우선순위 AC에 대해서 똑같이 동작한다.

III. 성능 분석

이 장에서는 제안된 방법의 채널 시간 사용 비율(Channel Time Usage Ratio)을 분석한다. 모든 단말은 서로 신호를 감지할 수 있는 범위 내에 있어 단말이 전송할 때마다 모든 다른 단말은 그 신호를 감지할 수 있는 환경을 고려한다.

성능 분석 전에 먼저 용어를 정의한다. 두 개의 연속적인 패킷 전송 시간 길이를 전송 간격(Transmission Interval)이라고 정의한다(그림 4 참조). 전송 간격은 AIFS와 백오프 시간, 전송 시간 길이로 구성된다.

제안된 방법은 비지톤을 통해 낮은 우선순위 AC 플로우의 동작을 제한하기 때문에 오직 같은 우선순위

AC를 갖는 트래픽만 채널 경쟁을 한다. 그러므로 다른 우선순위 AC를 갖는 트래픽간 영향은 존재하지 않는다. 즉, 단말에 존재하는 각 AC 플로우는 독립적인 단말처럼 간주된다.

성능 분석을 위해 음성과 데이터 두 트래픽만 지원하는 무선 랜 환경을 고려한다. 음성 트래픽은 높은 우선순위를 갖는다. 이 환경에서 N_v 음성 플로우와 N_d 데이터 플로우가 존재한다고 가정한다. 또한 데이터 트래픽은 항상 전송할 패킷을 가지는 포화 상태(Saturated Condition)라고 가정한다. 데이터 플로우들은 음성 플로우에 의해 사용되지 않는 채널 시간을 공유한다.

고려된 환경에서 현재 진행 중인 전송 간격동안에 도착한 패킷을 갖는 플로우는 다음 전송 간격 시작할 때까지 채널 경쟁을 하지 않는다. 예로, 그림 4에서 첫 번째 패킷은 AIFS 동안에 도착하였으므로 (LCBT+LAIFS+AIFS-aSlotTime) 시간까지 대기해야 한다(그림 3b 참조). 그러나 그 패킷을 갖는 플로우는 그 시간이 경과하기 전에 비지톤을 수신하게 될 것이다. 두 번째 패킷은 도착하기 전에 이미 비지톤을 수신하였다. 세 번째, 패킷은 도착할 시에 채널이 번잡인 상태이므로 채널 접근 동작을 정지한다.

채널 시간 사용 비율을 음성 또는 데이터 패킷을 전송하기 위해 사용된 채널 시간의 비로 정의한다. 즉, 총 시간에 대한 음성 또는 데이터에 의해 사용된 총 전송 간격 합인 비이다.

전송 간격을 계산하기 위해 AIFS와 전송 시간은 쉽게 얻을 수 있지만 백오프 시간은 현재 진행 중인 전송 간격동안 채널 경쟁을 하는 플로우 수에 따라 다르기 때문에 쉽지 않다. 데이터 플로우의 수는 포화 상태이므로 항상 N_d 이다. 그러나 음성 플로우 수는 비포화 상태이므로 시간에 따라 다르다. 다음 전송 간격동안에 채널을 경쟁할 음성 플로우의 수는 현 전송이 성공인지 실패인지 상관없이 패킷 전송 종료 시점에 결정된다. 그러므로 채널을 경쟁하는 음성 플로우의 수는 상태(State) $\{0, 1, 2, \dots, N_v\}$ 로 정의된다. 각 전송 간격 후에 상태는 현 상태에 머무르거나 다음 상태로 천이한다. 예로, 그림 4에서 (n-1)번째 전송 간격 종료 시점에 n_v 의 음성 플로우가 있었고 n번째 간격동안 세 개의 플로우에 패킷 하나씩 도착하였다면 n번째 간격종료 시점에는 전송이 성공하였다면 n_v+2 가 되고 충돌이었다면 n_v+3 이 된다.

성능 분석은 크게 두 부분으로 나뉘어진다. 즉, 음성 트래픽의 상태 천이 확률과 전송 간격길이를 계산하는

것과 데이터 트래픽의 전송 간격 길이를 계산하는 것이다.

1. 음성 트래픽을 위한 상태 천이 확률과 전송 간격 길이 계산

분석을 위해 여러 가지 가정을 한다. 음성 패킷은 전송 큐에 저장되지 않는다. 즉, 각 음성 플로우는 최대 하나의 음성 패킷만을 갖는다. 그러므로 음성 패킷의 도착은 음성 단말이 채널 경쟁을 시작한다는 것을 의미하고 성공적인 패킷 전송은 다음 패킷이 도착할 때까지 채널 경쟁을 하지 않는 것을 의미한다. 또한 분석에서 재전송 한계(Retry Limit)를 고려하지 않는다. 그리고 최대 경쟁 윈도우의 크기는 최소 경쟁 윈도우의 크기와 같다. 따라서 편의상 $CW(=CWmin=CWmax)$ 와 같이 표현한다. 이와 같은 가정은 다음과 같은 이유로 타당하다고 할 수 있다. 음성 트래픽은 다른 우선순위 트래픽에 의해 영향 받지 않으므로 네트워크 상태가 안정적인 경우에 충돌 확률은 낮게 유지된다. 그러므로 패킷은 패킷 도착 시간 간격 내에 전송될 수 있고 패킷 폐기 확률도 낮게 유지될 것이다. IEEE 802.11e EDCA 표준은 음성 트래픽을 위한 $CWmin$ 과 $CWmax$ 값을 $(aCWmin+1)/4-1$ 과 $(aCWmin+1)/2-1$ 로 설정하도록 권장하고 있다. $aCWmin$ 는 데이터 트래픽을 위한 최소 경쟁 윈도우 값이다. 그러므로 $CWmin$ 과 $CWmax$ 의 작은 차이는 성능에 크게 영향 미치지 않는다.

채널을 경쟁중인 음성 플로우의 수를 모델링하기 위한 상태 천이 다이어그램을 그림 5와 같이 나타낸다. 상태 i 에 대해서만 간단하게 설명한다. 상태 i 아래에 있는 모든 상태는 상태 i 로 천이할 수 있고 상태 i 는 위에 있는 어떤 상태로든 천이할 수 있다. 또는 제자리에 머무르거나 $i-1$ 상태로 천이도 가능하다.

음성 패킷은 일정 간격 T 로 도착한다. 그러나 음성 트래픽의 시작 시간은 랜덤하게 주어지므로 음성 패킷이 도착할 확률은 D_i/T 라고 할 수 있다. 여기서 D_i 는 상태 i ($0 \leq i \leq N_v$)에서 평균 전송 간격 길이이며 T 보다 작은 값을 갖는다. 상태 i 에서 패킷 충돌 확률

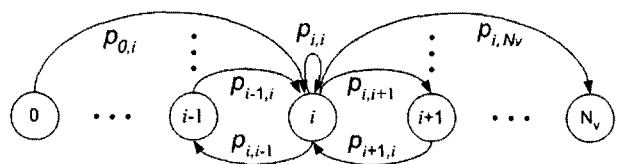


그림 5. 음성 트래픽을 위한 상태 다이어그램
Fig. 5. State transition diagram for voice traffic.

$P_{c,i}^v$ 은 재전송 수에 상관없이 일정하고 독립적이라고 가정한다. 그리고 성공 확률은 $P_{s,i}^v$ 이다.

상태 천이 다이어그램은 다음과 같은 천이 확률을 갖는다. 각 전송 후에 상태 i 는 상태 j ($j=i$: i, ii, iii, $j=i-1$: iv, $j>i$: v, vi, vii)로 천이한다.

i. 상태 0에서 새로운 패킷 도착이 없는 경우.

$$p_{i,i} = \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v}, \quad i=0.$$

ii. 성공적인 패킷 전송과 하나의 새로운 패킷이 도착하거나 또는 패킷 충돌과 새로운 패킷이 없는 경우.

$$p_{i,i} = P_{s,i}^v \binom{N_v-1}{1} \left(\frac{D_i}{T}\right) \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-i-1} + P_{c,i}^v \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-i}, \quad 1 \leq i \leq N_v-1.$$

iii. 상태 N_v 에서 패킷 충돌인 경우

$$p_{i,i} = P_{c,i}^v, \quad i=N_v-1.$$

iv. 성공적인 패킷 전송과 새로운 패킷 도착 없는 경우

$$p_{i,i-1} = P_{s,i}^v \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-i}, \quad 1 \leq i \leq N_v-1.$$

v. 상태 0에서 하나 이상의 패킷이 도착하는 경우

$$p_{i,j} = \binom{N_v}{j} \left(\frac{D_i}{T}\right)^j \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-j}, \quad i=0, 1 \leq j \leq N_v.$$

vi. 패킷 전송이 성공적이고 $j-i+1$ 패킷이 새로 도착하거나 또는 패킷 충돌이 발생하고 $j-i$ 패킷이 새로 도착한 경우

$$p_{i,j} = P_{s,i}^v \binom{N_v-i}{j-i+1} \left(\frac{D_i}{T}\right)^{j-i+1} \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-j-1} + P_{c,i}^v \binom{N_v-i}{j-i} \left(\frac{D_i}{T}\right)^{j-i} \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{N_v-j}, \quad 1 \leq i \leq N_v-2, i+1 \leq j \leq N_v-1.$$

vi. 패킷 충돌이 발생하고 $j-1$ 새로운 패킷이 도착하는 경우

$$p_{i,j} = P_{c,i}^v \left(1 - \frac{D_i}{T}\right)^{j-i}, \quad 1 \leq i \leq N_v-1, j=N_v.$$

이제 상태 천이 확률 $S_i (0 \leq i \leq N_v)$ 를 유도할 수 있다. S_i 는 계산되지 않은 상수 S_0 로 표현된다.

$$S_i = \frac{1 - p_{i-1,i-1}}{p_{i,i-1}} S_{i-1} - \frac{\sum_{j=0}^{i-2} p_{j,i-1} S_j}{p_{i,i-1}}, \quad 0 < i \leq N_v. \quad (1)$$

S_0 는 다음과 같은 정상 분포의 일반적인 조건에 의해 결정된다.

$$\sum_{i=0}^{N_v} S_i = 1. \quad (2)$$

이후에는 상태 i 에서 평균 백오프 시간 길이를 계산한다. $p(i,l,k)$ 는 상태 i 에서 l 음성 플로우가 백오프 카운터 k 를 선택하고 다른 플로우는 k 이상의 값을 선택할 확률이다. $p(i,l,k)$ 는 다음과 같다.

$$p(i,l,k) = \binom{i}{l} \left(\frac{1}{CW+1}\right)^l \left(\frac{CW-k}{CW+1}\right)^{i-l}. \quad (3)$$

전송이 발생하였을 때 작은 백오프 값이 k 일 확률은 수식 (3)으로부터 계산할 수 있다.

$$p(i,k) = \sum_{l=1}^i p(i,l,k). \quad (4)$$

평균 백오프 슬롯 수는 수식 (4)로 부터 다음과 같이 계산된다.

$$T_{idle,i}^v = \sum_{k=0}^{CW} p(i,k) \cdot k. \quad (5)$$

D_i 는 상태 i 에서의 전송 간격 길이이다. 이 값은 AIFS와 백오프 시간, 패킷 전송 시간 길이로 구성되며 다음과 같다.

$$D_i = AIFS[voice] + T_{idle,i}^v \cdot \sigma + P_{s,i}^v T_s^v + P_{c,i}^v T_c^v, \quad (6)$$

여기서 $P_{s,i}^v$ 는 하나의 플로우가 패킷을 전송함으로써 성공할 확률이고 $P_{c,i}^v$ 는 여러 플로우가 동시에 전송하여 충돌이 발생할 확률이다. T_c^v 와 T_s^v 는 충돌 또는 성공적인 전송으로 인한 채널 번잡 시간이다. σ 는 한 타임 슬롯 길이이다. $P_{s,i}^v$ 와 $P_{c,i}^v$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_{s,i}^v = \sum_{k=0}^{CW} p(i,1,k). \quad (7)$$

$$P_{c,i}^v = 1 - P_{s,i}^v \quad (8)$$

기본 전송 방법을 위한 T_c^v 와 T_s^v 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} T_c^v = H + L + EIFS + DIFS, \\ T_s^v = H + L + SIFS + \delta + ACK + \delta, \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $H(=PHYhdr+MAChdr)$ 는 패킷 전송을 위한 헤더이고, δ 는 전송지연(Propagation Delay), $SIFS$ 는 SIFS 시간, ACK 는 ACK 패킷 전송 시간이며 L 은 패킷 전송 시간이다.

2. 데이터 트래픽을 위한 전송 간격 길이

상태 0에서는 데이터 단말이 채널을 공유할 것이다. 데이터 패킷 전송동안에 도착한 패킷은 전송이 완료될 때까지 대기해야 한다. 그러므로 D_0 는 데이터 트래픽만을 위한 전송 간격 길이이다.

전송 간격 길이 계산을 위해 [18, 19]에서 제안된 마코프 체인 모델을 이용한다. 제안된 방법의 분석은 [18,19]의 분석에서 얻을 수 있으므로 수식 전개 과정은 생략한다.

P_{tr} 은 주언 슬롯 시간에 적어도 하나 이상의 플로우가 패킷을 전송할 확률이고 P_s^d 는 하나의 플로우만이 전송함으로써 성공할 확률이다. P_c^d 는 두개 이상의 플로우가 전송함으로써 충돌이 발생할 확률이다. T_c^d 와 T_s^d 는 성공적인 패킷 전송으로 인한 채널 번잡 시간과 충돌시의 채널 번잡 시간이다. τ 는 한 단말이 랜덤하게 선택된 슬롯에서 패킷을 전송할 확률이다.

P_{tr} 와 P_s^d , P_c^d 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^{N_d} \quad (10)$$

$$P_{s,i}^d = \frac{N_d \tau (1 - \tau)^{N_d - 1}}{P_{tr}} = \frac{N_d \tau (1 - \tau)^{N_d - 1}}{1 - (1 - \tau)^{N_d}} \quad (11)$$

$$P_{c,i}^d = 1 - P_{s,i}^d \quad (12)$$

전송당 평균 백오프 슬롯의 수는 다음과 같다.

$$T_{idle}^d = \frac{1 - P_{tr}}{P_{tr}} \quad (13)$$

데이터 트래픽을 위한 평균 전송 간격 길이는 다음과 같다.

$$D_0 = AIFS[data] + T_{idle}^d \cdot \sigma + P_s^d T_s^v + P_c^v T_c^v \quad (14)$$

여기서 T_c^d 와 T_s^d 는 채널이 충돌 또는 성공적인 전송으로 인한 평균 번잡 시간이다. 이는 식 (9)로부터 계산할 수 있다.

마지막으로 음성 ρ_v 과 데이터 ρ_d 트래픽의 채널 사용 시간 비율은 다음과 같다.

$$\rho_v = \frac{\sum_{i=1}^{N_v} S_i \cdot D_i}{\sum_{i=0}^{N_v} S_i \cdot D_i} \quad (15)$$

$$\rho_d = 1 - \rho_v \quad (16)$$

IV. 수학적 분석 및 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안된 DPCA 방법의 수학적 분석 및 시뮬레이션 결과를 비교 분석한다. DPCA 방법의 성능을 분석하고 수학적 모델의 정확도를 증명하기 위해 NS-2에서 제안된 방법을 구현하였고 IEEE 802.11e EDCA와 성능 비교를 한다. 수학적 분석 및 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

54Mbps의 데이터 패킷 전송률과 6Mbps의 제어 패킷 전송률을 갖는 IEEE 802.11a에서 시뮬레이션을 수행하였다. 음성과 비디오, 데이터 트래픽을 위해 사용된 파라미터는 표 2에 나타내었다. 모든 트래픽을 위해 CBR(Constant Bit Rate)가 사용되었다. 음성 트래픽을 위해 RTP/UDP/IP 헤더로 40 바이트가 추가되었다. 따

표 1. 수학적 분석 및 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Numerical and simulation parameter.

Parameter	Value
Data Bit Rate	54 Mbps
Control Bit Rate	6 Mbps
Slot Time	9 us
SIFS	16 us
Retry Limit	7
Propagation Delay	1 us
MAC Header	26 Octets
FCS	4 Octets
PHY PLCP Preamble Length	16 us
PHY PLCP Header Length	5 Octets
ACK	14 Octets

표 2. 트래픽 파라미터
Table 2. Traffic parameter.

Parameter	Voice	Video	Data
AIFSN	2	4	7
CWmin	7	15	31
CWmax	15	31	1023
Packet Size (Octets)	80	1000	1500
Inter Arrival Time (ms)	10	12.5	12.5
Sending Rate (Kbps)	64	640	960

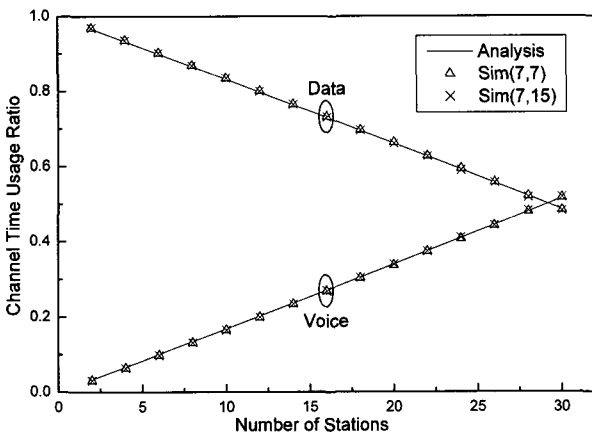


그림 6. 채널 시간 사용 비율-수학적 및 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Numerical and simulation results for channel time usage ratio.

라서 MAC 계층에서의 음성 전송률은 96Kbps이다.

본 장에서 분석할 성능 요소는 효율과 충돌확률, 평균 지연, 폐기율, 채널 시간 사용 비율이다. 지연은 패킷이 MAC 계층에 도착한 시점부터 패킷을 성공적으로 목적지 단말에 전송하고ACK 패킷을 수신한 시점까지 경과된 시간이다. 폐기율은 총 데이터 패킷 수에 대한 재전송 한계를 초과하여 폐기된 패킷 수의 비율을 나타낸다.

시뮬레이션에서 각 단말은 음성 또는 비디오, 데이터 트래픽 중 하나를 전송한다. 그리고 각 트래픽은 아래 그림들의 X-축에 표시된 단말 수를 똑같이 가지고 동작한다.

그림 6은 제안된 분석 모델의 정확도를 증명하기 위한 수학적 및 시뮬레이션 결과인 채널 시간 사용 비율을 나타낸다. 그림 7은 단말 수에 따른 충돌 확률이다. 음성과 데이터 트래픽은 표 II에 나타난 파라미터를 사용하였다. 그러나 포화 상태인 데이터 트래픽을 만들기 위해 패킷 도착 간격 시간을 작은 값으로 변경하였다. 이 그림에서 sim(7,7)과 sim(7,15)는 음성 트래픽의 파라미터가 (CWmin=7, CWmax=7)와 (CWmin=7,

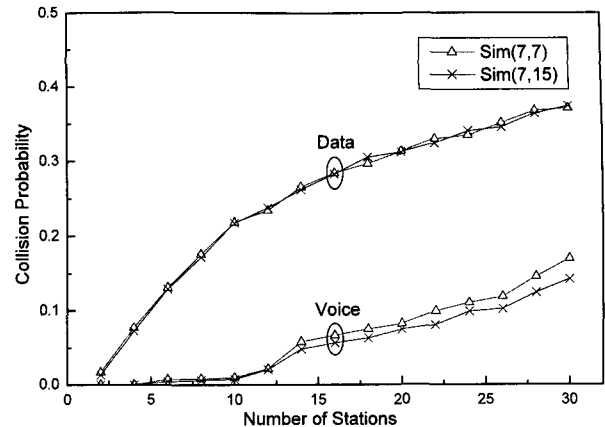


그림 7. 음성 트래픽의 경쟁 윈도우 값이 (CWmin=7, CWmax=7)와 (CWmin=7, CWmax=15)일 때 충돌확률
Fig. 7. Collision probability when (CWmin=7, CWmax=7) and (CWmin=7, CWmax=15) for voice traffic.

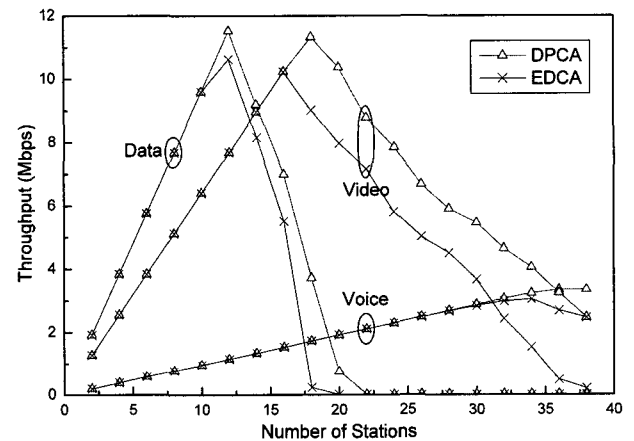


그림 8. 단말 수에 따른 효율
Fig. 8. Throughput according to the number of stations.

CWmax=15) 설정되었을 때의 시뮬레이션 결과이다. 그림 6은 수학적 결과와 시뮬레이션 결과가 아주 근사함을 보여준다. sim(7,7)과 sim(7,15) 사이의 성능 차이는 거의 없음을 알 수 있다. sim(7,15)는 그림 7에서 보여주는 것처럼 sim(7,7)에 비해 낮은 충돌확률을 갖는다. 그러나 이는 각 전송당 평균 백오프 시간을 증가시키는 요인이 된다. 그러므로 채널 시간 사용 비율에서 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 6로부터 음성 트래픽은 채널을 우선적으로 사용하고 남은 채널은 데이터 트래픽이 사용함을 알 수 있다.

그림 8은 효율에 대한 단말 수의 영향을 나타낸 것이다. 이 그림에서 데이터 트래픽의 성능을 비교하면, 트래픽 부하량이 적을 때는 DPCA와 EDCA의 성능 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 단말 수가 증가함에

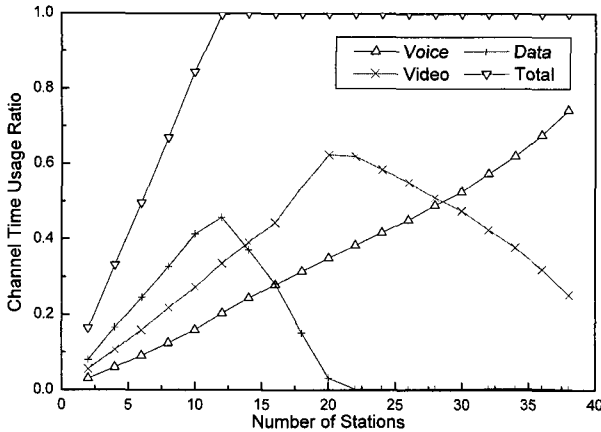


그림 9. 제안된 방법의 채널 시간 사용 비율
Fig. 9. Channel time usage ratio for the DPCA scheme.

따라 성능 차이가 명확해짐을 보인다. 즉, EDCA는 효율이 급격하게 '0'으로 감소함을 보이지만 제안된 방법은 EDCA에 비해 상대적으로 천천히 감소함을 보인다.

비디오 트래픽 또한 데이터 트래픽의 성능 경향과 비슷한 결과를 갖는다. 트래픽 부하량이 적을 때는 방법 간 성능 차이는 거의 없지만 부하량이 증가함에 따라 성능 차이는 커짐을 확인할 수 있다.

가장 높은 우선순위를 갖는 음성 트래픽에서 단말 수가 증가함에 따라 EDCA의 효율은 빨리 포화상태가 되고 감소함을 보인다. 이는 EDCA가 비디오나 데이터 트래픽에 비해 배타적인 채널 접근을 갖지 못하기 때문이다. 즉, 데이터와 비디오 트래픽들 또한 채널 접근을 위해 계속 동작하고 음성 트래픽과의 충돌을 유발하기 때문이다. 그러나 DPCA 방법은 상대적으로 더 큰 단말 수에서 포화 상태가 되고 좋은 효율을 갖는다.

제안된 방법의 채널 시간 사용 비율을 그림 9에 도시하였다. 데이터와 비디오 트래픽은 그림 8과 비슷한 경향을 보인다. 이는 높은 우선순위를 갖는 트래픽의 QoS 요구사항을 보장하기 위해 제안된 방법은 낮은 우선순위 트래픽을 차별화하고 채널 시간을 높은 우선순위 트래픽에 우선적으로 할당하기 때문이다. 이 그림으로부터 음성 단말 수가 증가함에 따라 음성 트래픽은 채널 시간의 대부분을 이용함을 알 수 있다.

그림 10은 충돌확률 결과를 보여준다. EDCA는 단말 수가 커짐에 따라 충돌확률 또한 증가함을 보인다. 이는 모든 트래픽이 채널 접근을 계속 시도하고 서로 충돌을 유발하기 때문이다. 제안된 방법은 EDCA에 비해 상대적으로 천천히 증가함을 알 수 있다. 트래픽 부하량이 많을 때는 음성 단말간 채널 경쟁으로 인해

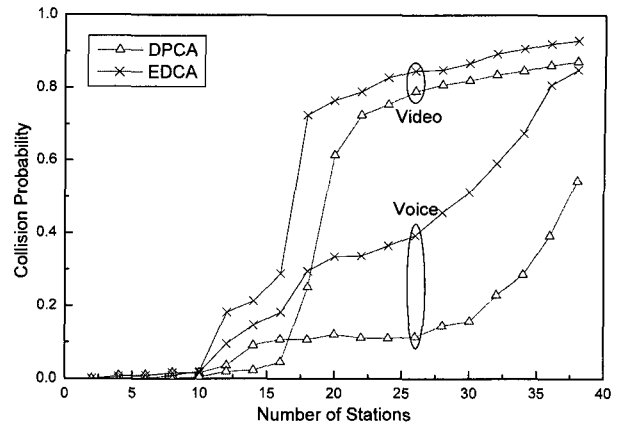


그림 10. 단말 수에 따른 충돌확률
Fig. 10. Collision probability according to the number of stations.

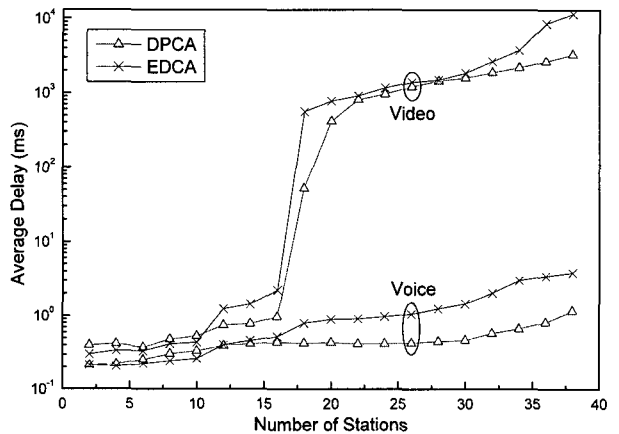


그림 11. 단말 수에 따른 평균 지연
Fig. 11. Average delay according to the number of stations.

EDCA와 비슷한 경향을 보인다.

그림 11은 평균 지연 결과를 나타낸다. 트래픽 부하량이 적을 때는 DPCA 방법의 지연은 EDCA 방법에 비해 약간 좋지 않음을 보인다. 이유는 크게 두 가지이다. 첫째는 그림 3b에서 보인 것처럼 패킷이 LCBT와 LAIFS 사이에 도착하였을 경우 단말은 비지톤을 전송하기 위해 AIFS보다 긴 시간을 대기해야 한다. 둘째는 단말이 다른 우선순위 트래픽으로부터 비지톤을 수신하였을 경우 패킷 전송이 이루어질 때까지 백오프 동작을 정지해야 한다. 그러나 두 방법간 지연 차이가 매우 작고 트래픽 부하량이 작기 때문에 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있으므로 허용할 수 있는 범위이다. 부하량이 증가함에 따라 제안된 방법이 EDCA 보다 좋은 성능을 갖는다.

그림 12는 패킷 폐기확률을 나타낸 것이다. 제안된 방법은 폐기된 패킷 수가 적음을 알 수 있다. 그러나

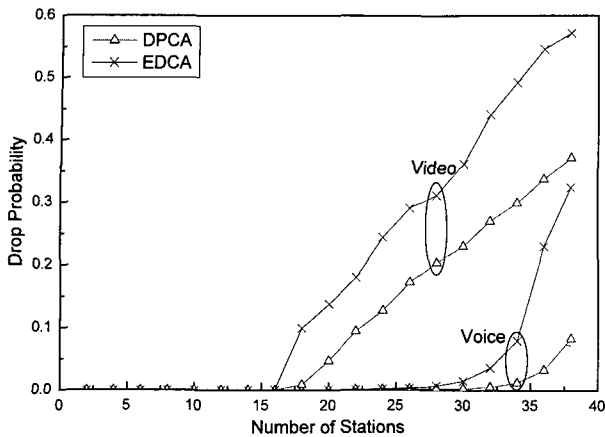


그림 12. 단말 수에 따른 패킷 폐기 확률

Fig. 12. Packet drop probability according to the number of stations.

EDCA 방법은 모든 트래픽 종류간 충돌을 유발하기 때문에 폐기된 패킷 수가 많음을 보인다.

V. 결 론

IEEE 802.11e EDCA는 QoS를 제공하기 위해 표준화되었다. 그러나 높은 우선순위 트래픽에 대해 통계적인 채널 접근 우선순위를 제공한다. 그러므로 QoS 요구사항을 만족시키지 못한다. 따라서 본 논문에서는 EDCA 방법의 QoS 성능을 향상시키기 위해 DPCA 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 비지툼을 통해 낮은 우선순위 트래픽의 동작을 제한함으로써 높은 우선순위 트래픽에 확정적 채널 접근 우선순위를 제공한다. 각 트래픽의 채널 시간 사용 비율을 분석하였고 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 확인하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 매우 효율적이고 좋은 성능을 가짐을 보여주었다. 따라서 음성과 비디오와 같은 멀티미디어 응용의 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Standard 802.11, June 1999.
- [2] S. Choi, J. Prado, S. Shankar, and S. Mangold, "IEEE 802.11e contention-based channel access (EDCF) performance evaluation," in Proc. IEEE ICC'03, vol. 2, pp. 1151-1156, May 2003.
- [3] Y. Xiao, "A simple and effective priority scheme for IEEE 802.11," IEEE Commu. Lett., vol. 7, no. 2, pp.70-72, Feb. 2003.
- [4] I. Ada and C. Castelluccia, "Differentiation mechanisms for IEEE 802.11," in Proc. IEEE INFOCOM'01, vol. 1, pp. 209-218, April 2001.
- [5] Y. Xiao, H. Li, and S. Choi, "Protection and guarantee for voice and video traffic in IEEE 802.11e wireless LANs," in Proc. IEEE INFOCOM'04, vol. 3, pp. 2152-2162, March 2004.
- [6] D. Deng and R. Chang, "A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method," IEICE Trans. Commu., vol. E82-B, no. 1, pp. 96-102, Jan. 1999.
- [7] A. Veres, A.T. Campbell, M. Barry, and L. Sun, "Supporting service differentiation in wireless packet networks using distributed control," IEEE J. Sel. Areas Commu., vol. 19, no. 10, pp. 2081-2093, Oct. 2001.
- [8] IEEE "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements," IEEE Standard 802.11e, Nov. 2005.
- [9] P. Wang, H. Jiang, and W. Zhuang, "Capacity improvement and analysis for voice/data traffic over WLAN," IEEE Trans. Commu. (to appear).
- [10] P. Wang, H. Jiang, and W. Zhuang, "IEEE 802.11e enhancement for voice service," IEEE Wireless Commu., vol. 13, no. 1, pp. 30-35, Feb. 2006.
- [11] A. Grilo and M. Nunes, "Performance evaluation of IEEE 802.11e," in Proc. IEEE PIMRC'02, vol. 1, pp. 511-517, Sept. 2002.
- [12] L. Romdhani, Q. Ni, and T. Turletti, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," in Proc. IEEE WCNC'03, vol. 2, pp. 1373-1378, March 2003.
- [13] H. Zhu, G. Cao, A. Yener, and A.D. Mathias, "EDCF-DM: a novel enhanced distributed coordination function for wireless ad hoc networks," in Proc. IEEE ICC'04, vol. 7, pp. 3886-3890, June 2004.
- [14] X. Chen, H. Zhai, and Y. Fang, "Supporting QoS in IEEE 802.11e wireless LANs," IEEE Trans. Wireless Commu., vol. 5, no. 8, pp. 2217-2227, Aug. 2006.
- [15] J. L. Sobrinho and A. S. Krishnakumar, "Quality-of-service in ad hoc carrier sense multiple access networks," IEEE J. Sel. Areas Commu., vol. 17, no. 8, pp. 1353-1368, August 1999.
- [16] Z.J. Haas and J. Deng, "Dual busy tone multiple

access (DBTMA)-a multiple access control scheme for ad hoc networks," IEEE Trans. Commu., vol. 50, no. 6, pp. 975-985, June 2002.

[17] S. Wu, Y. Tseng, and J. Sheu, "Intelligent medium access for mobile ad hoc networks with busy tones and power control" IEEE J. Sel. Areas Commu., vol. 18, no. 9, pp. 1647-1657, Sept. 2000.

[18] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, no. 3, pp. 535-547, March, 2000.

[19] H. Wu, Y. Peng, K. Long, S. Cheng, J. Ma, "Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: analysis and enhancement," in Proc. IEEE INFOCOM'02, vol. 2 pp. 599-607, June 2002.

저 자 소 개



김 선 명(정회원)
 2000년 아주대학교 정보및컴퓨터
 공학부 학사 졸업.
 2002년 아주대학교 정보통신
 공학과 석사 졸업.
 2006년 아주대학교 정보통신
 공학과 박사 졸업.

2006년~현재 플로리다 대학교 전기및컴퓨터
 공학과 포닥 연구원

<주관심분야: 무선 LAN, PAN, MAN, 및 MESH
 네트워크>



조 영 종(정회원)
 1983년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1985년 한국과학기술원 전기및
 전자공학과 석사 졸업
 1989년 한국과학기술원 전기및
 전자공학과 박사 졸업

1991년 금성정보통신연구소 책임연구원
 1993년 미국 AT&T Bell Lab 교환 연구원
 1996년~현재 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부
 교수

<주관심분야 : 광대역 통신, 유/무선 ATM, 큐잉
 시스템, 성능분석, 초고속 인터넷 장비 개발>