

IEEE 802.11e EDCA 네트워크 혼잡 환경에서 RTS/CTS 프레임을 이용한 동일 우선순위 충돌 회피 알고리즘

권영호*, 이병호^o

A Same-Priority Collision-Avoidance Algorithm Using RTS/CTS Frame in IEEE 802.11e EDCA under Network Congested Condition

YongHo Kwon*, Byung Ho Rhee^o

요 약

IEEE 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)는 서로 다른 AC(Access Category)에 따라서 CW(Contention Window)를 이용하여 Quality-of-Service(QoS)를 지원한다. 그러나 무선 네트워크 환경이 혼잡(Congested)할 경우 패킷의 충돌 발생 확률을 높일 수 있다는 문제점이 여전히 존재한다. 이를 해결하기 위해 여러 방법들이 제시되었으나 혼잡 네트워크상에서는 동일 우선순위를 가지는 패킷 전송을 위해서 전송 채널을 이용하는 경쟁 과정에서 패킷 충돌(Collision)이 발생할 확률이 여전히 존재한다. 따라서 본 논문에서는 EDCA 포화 상태에서 전송 효율을 높이는 APCA(Advanced Priority Collision Avoidance) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 IEEE 802.11e 표준을 기반으로 RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send)를 이용하여 패킷 전송 FC(Frame Control) 필드의 예약된 필드(Reserved Field) 비트를 이용하여 데이터 패킷 충돌을 회피하는 것이다. 시뮬레이션의 결과로 제안된 알고리즘이 기존의 EDCA에 비해 패킷 전송 실패율이 감소했음을 보였다. Jain's fairness index를 이용하여 제안된 APCA 알고리즘이 네트워크 혼잡 상황에서 EDCA 방식 보다 공정성을 유지하는 것을 확인하였다.

Key Words : Quality-of-Service, Wireless Multi-hop, RTS/CTS, Frame Control(FC), EDCA

ABSTRACT

The Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) function of IEEE 802.11e standard defines contention window (CW) for different Access Category (AC) limits to support Quality-of-Service (QoS). However, it has remained the problem that the collision probability of transmission is increasing in congested network. Several different solutions have been proposed but the collision occurs among same priority queue within the same station to compete the channel access. This paper presents an APCA (Advanced Priority Collision Avoidance) algorithm for EDCA that increases the throughput in saturated situation. The proposed algorithm uses reserved field's bits of FC(Frame Control) using IEEE 802.11e standard's RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) mechanism to avoid data collision. The simulation results show that the proposed algorithm improves the performance of EDCA in packet loss. Using Jain's fairness index formula, we also prove that the proposed APCA algorithm achieves the better fairness than EDCA method under network congested condition.

* First Author : Hanyang University, Department of Electronic and Computer Engineering, phylio@hanyang.ac.kr, 학생회원
^o Corresponding Author : Hanyang University, Department of Computer Engineering, bhrhee@hanyang.ac.kr, 정회원
 논문번호 : KICS2014-01-010 Received January 20, 2014; Revised April 30, 2014; Accepted May 15, 2014

I. 서론

기존 IEEE 802.11 MAC(Medium Access Control) 기반의 DCF(Distributed Coordination Function) 무선 네트워크 환경에서는 모든 데이터 전송은 큐에 도착하는 방식으로 처리되고 모든 사용자의 채널 접근에 동등한 확률적 기회를 부여하기 때문에 네트워크에 참여하는 사용자가 많아질수록 데이터 충돌 확률이 상대적으로 높아지며 충돌에 의한 데이터 재전송 횟수도 증가하기 때문에 멀티미디어 데이터 전송과 QoS(Quality of Service) 보장에 한계를 갖는다는 문제점이 있었다. 이러한 802.11 MAC에서 보다 나은 QoS 환경을 제공하기 위해서 IEEE 802.11e^[1]의 표준화가 진행되었다. 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)는 기존 IEEE 802.11 MAC 계층에서 QoS를 보장하기 위한 방식으로 트래픽의 종류에 따라 4개의 AC(Access Category)로 구분해 각 카테고리 마다 차별화된 우선순위를 두고, AC별로 차별화된 파라미터를 할당하여 높은 우선순위의 트래픽에는 더 많은 전송 기회를 주도록 하는 경쟁 기반 매체 접근 방식이다^[1]. 802.11e EDCA 방식은 멀티미디어 트래픽 전송에 있어 기존 DCF 방식에 비해 QoS를 어느 정도 보장 해주지만, AC별로 고정된 파라미터 값들은 상대적으로 우선순위가 높은 메시지의 성능은 향상되지만 우선순위가 낮은 메시지의 성능은 나빠지게 된다. 또한 이동성을 고려하는 무선 통신 환경에서는 무선 네트워크 환경이 혼잡한 경우 충돌 발생 확률을 높일 가능성이 높아지게 되고 또한 무선 네트워크 혼잡 상황에서 패킷 충돌 발생 확률을 낮추기 위해서 우선 순위 기반에 패킷 전송 후 CW 값을 감소시키는 백오프(Back-off)기법 역시 네트워크 환경이 혼잡할 때 재충돌 확률을 높인다는 문제점을 지니고 있다^[3]. 이러한 문제를 해결하기 위해 채널과 네트워크의 상태를 고려하여 계산한 충돌 확률 값에 따라 CWmin(Contention Window Minimum)값을 조절하는 CWminAS(CWmin Adaptation Scheme)^[4]이 제안되었지만, AC 별로 차별화된 파라미터로 인한 각 AC의 충돌 확률을 고려하지 않았다. 또한 AC마다 우선순위를 할당하는 것은 경쟁 단말 간의 채널 예약에서 경쟁이 발생하기 때문에 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서는 QoS를 보장할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 802.11e QoS의 중요한 목적은 음성과 같은 우선순위가 높은 실시간 데이터뿐만 아니라 우선순위가 낮은 영상과 같은 비 실시간 데이터가 혼잡된 무선 환경 내에서 우선순위가 높은 데이터를 낮은 우선순위

의 데이터보다 전송 성능을 보장해야 할 뿐만 아니라 같은 우선순위의 다른 데이터로부터도 역시 QoS를 보장해야 한다.

이에 본 논문에서는 802.11e EDCA 우선순위 기반의 데이터 전송 시 QoS를 보장하기 위한 방법을 제시한다. 본 논문에서 제시하는 방법은 802.11 무선 네트워크 프로토콜에서 선택적으로 사용할 수 있는 RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) 프레임의 예약된 필드를 사용한 채널 확보를 통해 필드의 값에 따라 채널을 점유할 단말을 정하고, 패킷 전송 FC(Frame Control) 필드의 예약된 필드(Reserved Field) 비트를 이용하여 데이터 패킷 충돌을 회피하고 전송 효율을 높이는 알고리즘 APCA(Advanced Priority Collision Avoidance)를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 802.11e 무선 네트워크 혼잡 상황일 때 성능을 개선하기 위한 선행 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 제안된 알고리즘과 관련된 802.11e 무선랜 기술에 대해서 설명하고 4장에서는 본 논문에서 제안된 알고리즘에 대한 설명을 한다. 이어 5장에서는 제안된 알고리즘을 기존 EDCA 전송 방식과 비교 시뮬레이션을 통해 성능을 평가한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

II. 관련 연구

IEEE 802.11 DCF에서 네트워크 혼잡으로 인한 포화상태(saturation)일 경우에 성능과 전송 지연 현상을 분석한 모델은 많이 제시되었다. 대표적 모델로 Binachi^[5]는 DCF 포화 상태에서 마르코프 체인(Markov chain)을 이용하여 성능 분석 모델을 발전시켰고, [6]에서는 재전송 횟수에 제한을 두는 방식으로 Binachi 모델을 확장하였다. [7]의 연구에서는 특정 트래픽이 발생할 경우 DCF 전송 성능을 분석하였다. IEEE 802.11e EDCA에서 포화상태(saturation)일 경우 성능과 전송 지연 현상에 대한 분석 모델^[8-10]도 활발히 제시되고 있다. [11]에서는 포화상태에서 MAC 접근에 대한 분석 모델을 제시하였고, [12]의 연구에서는 포화 상태에서의 전송 지연 현상과 해당 전송 지연으로 인한 성능 분석에 새로운 통합 모델을 제시하였다. IEEE 802.11e EDCA 표준에서 QoS와 재전송 시 채널 이용률을 높이기 위하여 TXOP (Transmission Opportunity)가 제안되었다^[1]. 제안된 TXOP는 QoS 보장을 위해서 AC에 두 개 이상의 패킷이 쌓여 있을 때 우선적으로 전송할 수 있는 기회를

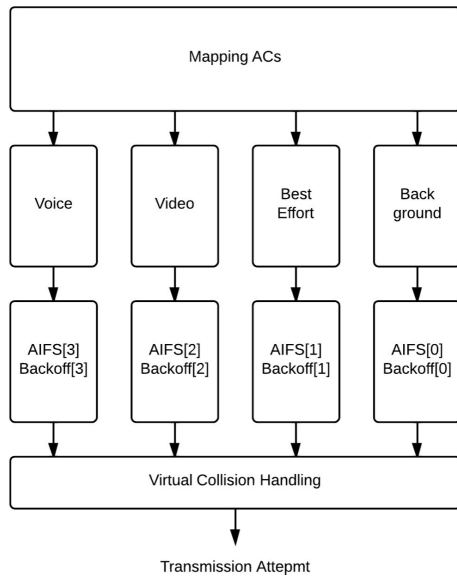


그림. 1 802.11e EDCA 무선 매체 접근 모델
Fig. 1 802.11e EDCA medium access model

연속적으로 할당하여 QoS를 제공하기 위해 데이터 전송 시 각 AC별로 고정된 TXOP 값을 적용하여 전송하는 데이터 패킷의 길이를 변동하여 보내는 방식^[1]으로 이후 연구들은 네트워크 환경에 따라 동적으로 TXOP 값을 적용하여 무선랜 상에서 전송 지연 및 패킷 손실을 해결하려는 방식이 제시되었다^[14-15]. 이러한 TXOP를 적용한 방법은 네트워크 상황을 AP나 중앙 컨트롤러가 파악하여 각 단말에게 알리는 중앙집권적 방식으로 채널 변화 및 홉 증가에 따른 네트워크 상황 변화에 빠르게 대처할 수 없는 문제점이 존재한다. 하지만 본 논문에서 제안하는 방법은 RTS/CTS를 이용하여 각 단말이 패킷의 재전송을 결정하는 분산 처리 방식으로 네트워크의 부하를 줄이고 변화에 능동적으로 대처할 수 있다.

III. IEEE 802.11e 동작 방식

본 절에서는 제안된 APCA 알고리즘에 관련된 802.11e EDCA 방식을 간략하게 설명하고 RTS/CTS를 통한 은닉 단말(hidden node) 문제 해결 방법에 대해서 간략히 설명한다.

3.1 Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)

802.11 MAC은 모든 사용자와 데이터 유형에 따라 데이터 전송에 있어서 QoS를 보장하는 것을 목적으로

로 한다. MAC 프로토콜은 전송 매체 접근에 있어서 충돌을 회피할 수 있는 반송과 감지 다중 접속(CSMA/CA) 방식을 이용하는 DCF를 기반으로 하고 있어서 데이터 전송의 우선순위를 고려하지 않는다^[1]. 이러한 특성은 실시간 데이터 같은 음성 데이터와 같은 다양한 형태의 데이터 전송을 고려하지 않기에 QoS를 지원하기 어려운 문제를 가지고 있다. EDCA는 802.11e를 기반으로 하여 우선순위를 가진 데이터에 차별적인 채널 접근 방법을 제공하여 QoS를 보장한다. 우선순위를 포함하는 데이터 전송을 위해서 EDCA는 0-7까지 8개의 우선순위를 지정하고 우선순위에 따라 MAC 레이어(layer)에 도착하는 데이터를 4개의 AC(Access Categories)로 매핑 한다. EDCA의 사용자 우선순위와 AC의 관계는 다음 표 1과 같다^[1].

표 1에서 순위는 숫자가 커질수록 높은 우선순위를 가지게 된다. 모든 AC는 각각의 전송 큐와 AC 파라미터를 가지게 되고 AC간 우선 순위의 차이는 서로 다르게 설정된 AC 파라미터 값으로부터 결정된다. 서로 다르게 설정된 AC 파라미터 값에 백오프(Back-off)에 연결되어서 서로 다른 채널 접근 순위를 가지게 된다.

해당 AC의 파라미터 값은 DCF에서 사용하는 DIFS(DCF InterFrame Space), CW_{min}, CW_{max} 대신에 각각 AIFS[AC], CW_{min}[AC], CW_{max}[AC]를 사용하며 여기서 AIFS(Arbitration InterFrame Space)는 DIFS 대신에 사용하는 것으로 전송을 진행하기 전에 채널이 idle한지를 확인하기 위한 최소 시간을 말한다. AIFS[AC]와 CW_{min}[AC]의 값이 작을수록 높은 우선순위를 가지며, 이에 따라 채널 접근 지연이 짧아져 주어진 트래픽 환경에서 보다 많은 대역을 사용할 수 있게 된다. 프레임 전송 도중 스테이션간 충돌이 발생할 경우, 새로운 백오프 카운터를 생성하는 EDCA의 백오프 과정은 기존의 DCF와 유사하며, AC별 우선

표 1. 사용자 우선순위와 AC 매핑
Table 1. Priority and Access Category(AC) Mapping

Traffic Type	Priority	AC	CW _{min}
Best Effort	0	1	7
Background	1	0	15
Background	2	0	15
Best Effort	3	1	7
Video	4	2	3
Video	5	2	3
Voice	6	3	3
Voice	7	3	3

순위를 포함하고 있는 EDCA 파라미터를 통하여 트래픽 우선순위에 의한 전송을 보장한다.

802.11e MAC에 정의된 4개의 AC별 전송 큐는 그림 1에서 보듯이 하나의 스테이션 내에서 무선 매체 접근을 위해서 개별적으로 서로 경쟁을 한다. 각각의 AC는 서로 독립적인 백오프 카운터를 가지고 있기 때문에 가상충돌(virtual collision)이 발생할 수 있다. 만약 동시에 백오프를 마친 AC가 두 개 이상 존재한다면 가장 높은 우선순위를 가진 AC에 데이터가 먼저 전송이 되며, 다른 AC들은 CW 값을 증가시켜 다시 백오프 카운터를 갱신하게 된다. 이러한 충돌 해결 과정을 가상 충돌 처리 과정이라고 한다.

또한 EDCA는 전송 기회(Transmit Opportunity; TXOP)를 통해서 데이터 전송 시 채널에 접속할 수 있도록 해준다. 만약 하나의 프레임이 너무 길어서 한번의 TXOP 동안 다 전송할 수 없는 경우 작은 프레임으로 잘라서 전송할 수 있다. TXOP의 사용은 기존의 802.11 DCF MAC이 가지고 있던 문제점인 낮은 전송률을 가진 단말이 과도하게 채널을 점유하는 상황을 줄인다. IEEE 802.11e EDCA의 구조가 AC와 TXOP를 통해서 공정한 채널 접근 기회를 부여한다고 해도 혼잡상황에서는 각 노드들이 서로 다른 서비스들이 AC를 통해서 다른 우선순위를 가지게 되고 표 1과 같이 AC₃와 AC₂를 이용하는 높은 전송순위를 가지는 서비스들은 작은 윈도우 사이즈로 인해서 전송을 위해 빈번하게 채널을 접속하는 것을 시도하므로 서로 간에 경쟁으로 충돌이 발생할 수 있고 이러한 동일 우선순위를 가지는 서비스 간에 충돌로 네트워크 성능에 심각한 저하가 올 수가 있다.

3.2 RTS/CTS

802.11 CSMA/CA 방식은 은닉 단말 문제가 발생한다. 이러한 은닉 단말 문제를 해결하기 위해서 선택적으로 사용할 수 있는 RTS/CTS가 제시되었다. RTS/CTS에서는 4-way 핸드셰이크를 통해서 데이터 프레임의 충돌 횟수를 줄인다. 전송 단말가 데이터 전송 전에 송신 요청(RTS) 프레임을 보냈을 경우 해당 수신 단말은 이 신호에 대해서 수신 확인(CTS) 프레임을 보내 응답하게 된다. 이러한 송신에 대한 수신 확인 과정을 성공적인 핸드셰이크라고 하고 RTS 또는 CTS 프레임을 받은 다른 단말은 정해진 시간 동안 전송을 제한하여 은닉 단말 문제를 해결하게 된다.

RTS/CTS 구조를 사용하게 되는 경우 전송 단말에서는 RTS 컨트롤 프레임에 자신의 출처 주소와 목적 주소뿐만 아니라 데이터 프레임을 전송하기 위한 채널

이용 시간을 포함시켜서 보낸다. 만약 RTS 프레임을 성공적으로 수신했다면 목적 단말은 SIFS(Short IFS) 후에 CTS 프레임을 전송하게 된다. 전송되는 CTS 프레임에는 송신 측 주소뿐만 아니라 전송에 필요한 채널 시간을 포함하고 있다. 이러한 RTS/CTS 구조는 다른 단말들로부터 데이터 전송 시 다른 단말들이 통신 중에 있는 단말들에게 전송 시도를 하지 않으므로 통신 단말들에 대한 다른 단말의 간섭을 받지 않을 뿐만 아니라 데이터 프레임의 전송이 필요한 시간 동안 채널을 유지할 수 있다.

IV. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 IEEE 802.11e EDCA에서 AC마다 다른 우선순위를 할당하여 데이터를 전송할 경우 동일 우선순위를 가지는 데이터를 전송하려고 하는 단말 간의 채널 예약에서 경쟁이 발생하기 때문에 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서는 QoS를 보장할 수 없다는 문제점을 제시하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 기존 EDCA에서 데이터 프레임에 제공하던 우선순위를 802.11 MAC 컨트롤 프레임인 RTS/CTS에 할당하여 해결하고자 한다.

본 논문에서 우선순위를 할당하고자 하는 부분은 기존의 802.11 RTS/CTS와의 호환성을 위해서 표준 IEEE 802.11^[1]에 정의되어 있는 RTS/CTS 프레임 앞부분에 공통적으로 존재하는 FC(Frame Control)에 위치한 예약된 필드 비트^[2]를 다음 그림 2와 같이 정의하여 해당 비트를 이용한다.

그림 2에서 b7은 IEEE 802.11e EDCA에 AC 속하는 다중 여부를 판별하는 비트, b6, b5는 우선순위를 설정하기 위한 비트, 그리고 b4는 전송률 향상을 위한 플래그(flag)이다.

어떤 AC에 속하는지 판별하기 위한 비트를 둔 이유는 응용 프로그램에 생성된 데이터가 동일한 AC에 속하는 데이터라 하더라도 데이터 특성에 따라 서로 다른 AC에 배치될 수 있으므로 데이터에 따라서 서로 다른 AC에서 패킷 전송을 시도할 수 있다. 예를 들어 음성 트래픽들만 존재하여 AC₃의 음성 트래픽(Voice Traffic)의 채널 점유 확률과 음성 트래픽과 결합하여 AC₂에 속한 영상 트래픽이 공존하는 경우의 확률은 서로 다르므로 이러한 응용 프로그램에서 생성된 데이터 형태에 따라 서로 다른 AC를 점유하고 있는 상황을 고려하기 위해서 b7 비트를 사용한다.

RTS/CTS를 이용해서 채널 형성 이후 데이터들이 우선순위 카테고리 별로 분류된 전송 큐로 이동하여

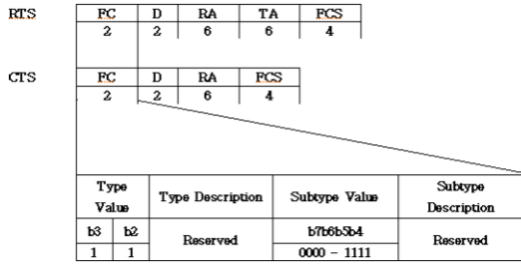


그림 2 수정된 예약 비트
Fig. 2. Modified reserved bit frame

전송 시 채널이 성공적으로 전송할 수 있는 확률을 알아야 한다. p_i 를 AC에서 생성된 패킷에 따른 충돌 확률이라면 각 AC의 전송 시도 확률 $\tau_{i|AC_i}^{[16]}$ 은 현재 노드가 가질 수 있는 패킷 재전송을 위한 최대 백오프 상태를 R 이라고 하고 현재 백오프 상태를 m_i 라고 한다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_i = \begin{cases} \frac{2(1-2p(c_i))(1-p(c_i)^{R+1})}{CW_i^{\min}(1-(2p(c_i))^{R+1})(1-p(c_i)) + (1-2p(c_i))(1-p(c_i)^{R+1})} & .R \leq m_i \\ \frac{2(1-2p(c_i))(1-p(c_i)^{R+1})}{CW_i^{\min}(1-(2p(c_i))^{m_i+1})(1-p(c_i)) + (1-2p(c_i))(1-p(c_i)^{R+1}) + CW_i^{\min}2^{m_i}p(c_i)^{m_i+1}(1-2p(c_i))(1-p(c_i)^{R-m_i})} & .R > m_i \end{cases} \quad (1)$$

위 분석을 바탕으로 본 논문에서 제안하는 APCA 알고리즘은 다음 그림 3과 같다.

APCA 알고리즘의 동작은 패킷이 들어오면 isFlagged() 함수를 이용해서 식 (1)을 통해 비트 b7에 해당 AC에 따른 전송 확률을 확인하고 서로 다른 4개의 AC간에 데이터 전송을 할 경우를 대비하여 해당 데이터의 우선순위를 설정하기 위해서 b6과 b5 비트를 사용한다. 그리고 데이터 재전송을 할 경우를 고려해서 b4 비트를 이용하여 해당 데이터의 재전송 횟수가 높은 패킷임을 알리는 플래그로 사용한다. 만약 다른 AC에서 생성된 패킷으로 채널이 점유하고 있다면 해당 채널을 다시 사용할 수 있도록 CW_{\min} 을 설정한 후에 재전송을 시도해야 한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 재전송 횟수는 IEEE 802.11e 표준^[1]에 따라 데이터 재전송 횟수의 한계는 7로 설정되어 있으므로 재전송 횟수가 7회 미만인 경우에는 b4를 0으로, 재전송 횟수가 7회째인 경우에는 b4를 1로 설정하여 전송 기회에 차별화를 준다. 해당 패킷을 전송하기 위해서 해당 채널이 사용 가능한지를 확인하고 만약

begin

1. $P \leftarrow \text{ReceivedPacket}$
2. for all packets $p \in P$ do
3. if(isFlagged(P)=TRUE) then
4. Preemptive $\leftarrow p$ whose b4 is set to 1
5. call Collision Handler(Preemptive)
6. add 1 to retry number of p which are not transmitted
7. if(isStarved(p)=TRUE) then
8. set b4 of p to 1
9. else if(isFlagged(p)≠FALSE) then
10. call Collision Handler(P)
11. add 1 to retry number of p which are not transmitted
12. if(isStarved(p)=TRUE) then
13. set b4 of p to 1
14. end for

end

그림 3. APCA 의사 코드
Fig. 3. APCA pseudo code

채널이 사용 불가하다면, 다른 AC에서 생성된 패킷이 채널을 사용하고 있다면, 6번째 시도인 경우 해당 b4 비트를 1로 설정하여 다음번에 최우선적으로 재전송을 하게 한다. 그리고 IEEE 802.11e 표준^[1]에 따르면 RTS / CTS 프레임의 Duration / ID 필드에는 NAV(Network Allocation Vector)를 갱신하기 위한 채널 점유 시간 값(Duration Value)이 기록되어 있다. 이러한 Duration/ID 필드의 값을 활용하여 APCA 알고리즘은 동일한 우선순위를 갖는 여러 데이터들이 동시에 전송을 시도할 때 채널 점유 시간이 짧은 데이터들을 우선적으로 전송함으로써 경쟁에 필요한 대역폭과 시간의 낭비를 줄인다. 하지만 채널 점유 시간이 짧은 데이터들만을 우선적으로 전송하면 채널 점유 시간이 상대적으로 긴 데이터들의 우선순위가 낮아져 전송률이 저하될 수 있으므로, b4를 채널 점유 시간보다 우선시되는 플래그로 활용하여 채널 점유 시간이 긴 데이터들의 전송 실패 확률을 줄일 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 APCA 알고리즘을 평가하기 위해서 MATLAB을 통해서 IEEE 802.11e EDCA RTS/CTS 동작 시뮬레이터를 구현하였다. 해당 시뮬레이터는 MAC 계층은 IEEE 802.11e를 기반으로

PHY 계층은 IEEE 802.11g로 구현하였다. 모든 시뮬레이션에 필요한 파라미터는 시뮬레이션 환경은 최적 전송을 위해서 $CW_{min}[AC_3] = 15$ 로 설정을 한 값을 사용하였다. 해당 설정 값과 나머지 설정 값은 IEEE 802.11 표준^[1]에 있는 802.11e에 권고되어 있는 파라미터를 따랐으며 최대 데이터 프레임의 전송 속도는 IEEE 802.11g의 데이터 전송률 54Mbps로 설정^[1]하였다. 해당 시뮬레이션 가정은 네트워크 환경이 매우 혼잡하여 모든 스테이션은 보낼 수 있는 충분한 데이터가 항상 전송 큐에 있고 동일 우선순위에 있는 데이터 충돌이 계속 발생하는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션 환경은 네트워크 혼잡 상황일 때 참여하는 단말은 AC3 하나만 활성화가 되어서 동일 순위에서 AC3 큐에 있는 음성 데이터들이 전송을 시작하고 네트워크에 참여하는 단말들은 모두 통신 반경 안에 있다고 가정하며 RTS/CTS를 통해서 은닉 단말 문제는 발생하지 않는다고 가정하였다. 또한 시뮬레이션에 사용된 음성 데이터 패킷은 160 KB 사이즈로 1×10^5 개를 보내서 해당 패킷이 모두 큐에서 전송된 지점을 전송 완료라고 가정하였다. 해당 시뮬레이션 결과는 100번 반복하여 평균을 낸 값이다.

본 논문에서 제안된 알고리즘이 효율성을 시뮬레이션을 통해서 네트워크 포화 상태에서의 IEEE 802.11e EDCA 동작과 논문 [17]의 결과를 비교하였다. 첫 번째 시뮬레이션은 네트워크 포화 상황(saturation)를 가정하여 참여하는 단말 수를 5에서 최대 30까지 증가시키면서 정규화 된 처리량(normalized throughput) 변화를 측정하였다. 정규화 된 처리량이란 전체 시뮬레이션 시간에 실제 데이터가 전송된 시간의 비율로 다른 말로 채널 이용률이라고도 한다. 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 본 논문에서 제안된 APCA 알고리즘은 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가할수록 기존 IEEE 802.11e EDCA 방식보다는 평균 4.58%로 처리량 향상을 보이는 것을 알았고 논문 [17]의 결과와 비교해서는 비슷한 정규화 된 처리량을 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 논문 [17]에서 Markov 체인 모델 기반 백오프 기법을 통해 충돌 단말에게 추가적인 전송 기회를 주는 것처럼 APCA 알고리즘이 단말 증가에 따라 동일 순위에서 AC3에 패킷을 전송하기 위한 채널 경쟁이 증가할수록 RTS/CTS의 채널 점유 시간 값을 이용하여 b4 비트를 통해 충돌 패킷을 재전송하기 때문이다.

다음 시뮬레이션에서는 포화 상태의 네트워크에서 패킷 전송시 실패 횟수 비율(packet drop rate, 이하

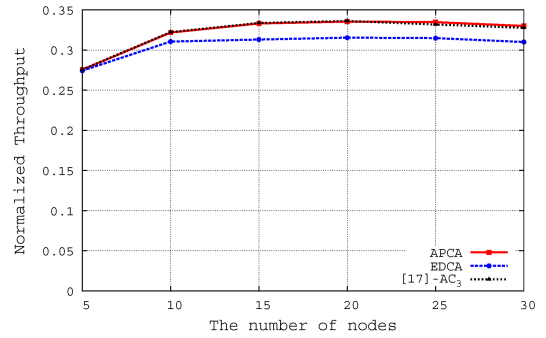


그림 4 정규화 된 네트워크 처리량 변화
Fig. 4. Comparison of normalized throughput

PDR)을 측정하였다. 패킷이 MAC 큐에 남아 있고 해당 전송을 반복한다면 7회 반복 재전송 이후에 남아 있는 패킷의 수를 PDR로 설정하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 통해 단말 수 증가에 따른 PDR을 나타낸 것이다. 해당 그림 5의 결과를 보면 네트워크에 참여하는 단말의 수가 10일 경우에는 서로 비슷한 손실률을 보이다가 포화 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가할수록 IEEE 802.11e EDCA는 PDR이 증가하는 것을 볼 수 있고 단말의 수가 30일 경우 EDCA 방식은 13.4%의 손실률을 제시된 알고리즘은 8%의 손실률을 보이는 것을 알 수 있다. 해당 결과는 제안된 알고리즘이 최우선으로 큐에 남아 있는 패킷을 전송하기 때문에 지연으로 인한 패킷 손실이 적기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 APCA 알고리즘이 기존 IEEE 802.11e EDCA 방식과 마찬가지로 혼잡 상황에서 네트워크에 참여한 단말들 사이의 공정성을 저하할 수 있는 지 확인하기 위해서 공정성 지수인 Jain's fairness index^[13]을 이용하였다. 혼잡 상태에서의 처리량(throughput)을 cw , 네트워크에 참가한 단말 수를 n 이라고 하면 제안된 알고리즘의 Jain의 공정성 지수(fairness index)는 다음 식 (2)와 같다.

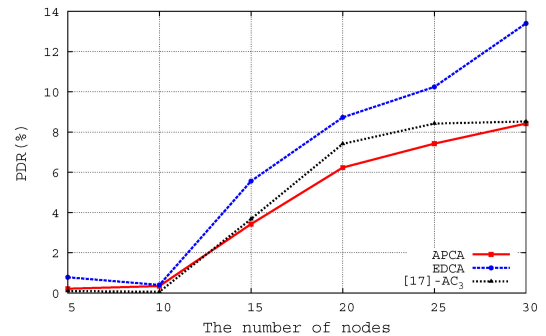


그림 5. 단말 증가에 따른 패킷 전송 실패 횟수 비율
Fig. 5. PDR(Packet Drop Rate) as to the number of nodes

$$F = \frac{\left[\sum_{i=1}^n cw_i \right]^2}{n \times \sum_{i=1}^n (cw_i)^2} \quad (2)$$

Jain의 공정성 지수는 0과 1사이의 값을 가지며 값이 1에 가까울수록 공정성이 높다는 것을 뜻한다. 위 식 (2)를 가지고 공정성에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 보듯이 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가하여 혼잡 네트워크 상태가 심해질수록 제안된 APCA 알고리즘과 IEEE 802.11e EDCA 방식 모두 공정성이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 단말의 수가 증가하여 공정성 지수가 감소하더라도 제안된 APCA 알고리즘이 기존 EDCA방식보다는 높은 공정성 지수를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 제안된 APCA 알고리즘이 네트워크 혼잡 상황에서 재전송 횟수가 한계치에 도달하여 손실 될 가능성이 있는 패킷에 우선순위를 부여하여 재전송 기회를 보장했기 때문에 네트워크에 참여하는 단말 수가 증가하더라도 패킷 전송에 대한 각 단말 간의 공정성을 보장할 수 있다.

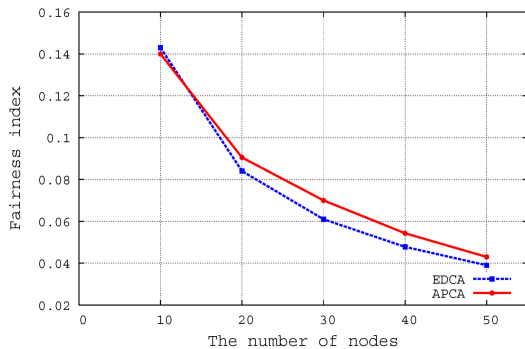


그림 6. Jain의 공정성 지수 비교
Fig. 6. Comparison of Jain's index

VI. 결 론

본 논문에서는 혼잡한 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 데이터 전송률을 높이기 위해 우선순위 기반의 RTS/CTS 프레임을 사용하여 동일 우선순위 데이터들이 동시에 전송을 시도할 때 채널 점유 시간이 낮은 데이터에 우선적으로 채널을 할당하여 충돌을 회피하고 패킷 전송 실패 횟수를 기록하여 채널 점유 시간이 높은 데이터들의 전송률을 높이는 알고리즘 APCA를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘이 기

존의 802.11e EDCA 방식에 비해 약 24.5%의 전송 효율의 향상과 Jain's Fairness Index를 통해서 기존의 802.11e EDCA 보다 네트워크 혼잡 상황에서 공정성을 보장할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존 IEEE 802.11e 표준을 준수하므로 하드웨어의 변경 없이 적용 가능하다는 장점이 있다.

향후 과제로는 본 논문에서 제안된 알고리즘을 이전 연구^[18]와 연결하여 단말 간의 이동성을 고려한 혼잡 상황에서 성능 향상을 위한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] IEEE Std 802.11 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE, 2012,
- [2] Y. S. Yoo and J.-D. Huh, "Priority based 802.11e EDCA Algorithm and Performance Evaluation for Multimedia Data Transfer," Sensor Networking Application Research Team, ETRI, 2008.
- [3] V. A. Siris and G. Stamatakis, "Optimal CW_{min} selection for achieving proportional fairness in multi-rate 802.11e WLANs: Test-bed implementation and evaluation," in *Proc. ACM Int'l Workshop on Wireless Network Testbed 2006 (WiNTECH 2006)*, Los Angeles, CA, pp. 41-48, 2006.
- [4] L. Gannone and S. Robert, "Dynamic tuning of the contention window minimum (CWmin) for enhanced service differentiation in IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," in *Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2004 (PIMRC 2004)*, vol. 1, pp. 311-317, Sept. 2004.
- [5] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, 2000.
- [6] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, and V. Vitsas, "IEEE 802.11 packetdelay - a finite retry limit analysis," in *Proc. IEEE Globecom*, San Francisco, USA, Dec. 2003.
- [7] C. H. Foh and M. Zukerman, "Performance

- analysis of the IEEE 802.11 MAC protocol,” in *Proc. the European Wireless Conf. 2002*, Florence, Italy, Feb. 2002.
- [8] K. Kosek-Szott, M. Natkaniec, and Andrzej R. Pach, “A simple but accurate throughput model for IEEE 802.11 EDCA in saturation and non-saturation conditions,” *Computer Networks*, vol. 55, no. 3, pp. 622-635, Feb. 2011.
- [9] P. Serrano, A. Banchs, and A. Azcorra, “A throughput and delay model for IEEE 802.11 EDCA under non-saturation,” *Wireless Personal Commun.*, vol. 43, no. 2, pp. 467-479, Oct. 2007.
- [10] J.W. Robinson and T.S. Randhawa, “Saturation throughput analysis of IEEE 802.11e enhanced distributed coordination Function,” *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, vol. 22, no. 5, pp. 917-928, Jun. 2004.
- [11] D. Xu, T. Sakurai, and H.L. Vu, “An access delay model for IEEE 802.11e EDCA,” *IEEE Transaction on Mobile Computing*, vol. 8, no. 2, pp. 261- 275, Feb. 2009.
- [12] J. Hui and M. Devetsikiotis, “A unified model for the performance analysis of IEEE 802.11e EDCA,” *IEEE Transactions on Communication*, vol. 53, no. 9, pp. 1498-1510, Sept. 2005.
- [13] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, “A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system,” *DEC Technical Report 301*, 1984.
- [14] J. Majkowski and F. Palacio, “Dynamic TXOP configuration for Qos enhancement in IEEE 802.11e wireless LAN,” in *Proc. Int. Conf. on Software, Telecommunications and Computer Network 2006 (SoftCom 2006)*, pp. 66-70, Sept. 2006.
- [15] Y. Yimeng, G. Heijenk, and B. R. Haverkort, “Adaptive resource control in 2-hop ad-hoc networks,” in *Proc. Int. Conf. Ultra Modern Telecommunications 2009 (ICUMT 2009)*, pp. 1-9, St. Petersburg, Oct. 2009.
- [16] H. Wu, Y. Peng, K. Long, S. Cheng, and J. Ma, “Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: analysis and enhancement,” in *Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Commun. 2002 (INFOCOM 2002)*, vol. 2, pp. 599-607, New York, NY USA, Jun. 2002.
- [17] I. Inan, F. Keceli, and E. Ayanoglu, “Saturation throughput analysis of the 802.11e enhanced distributed channel access function,” in *Proc. IEEE Int'l Conf. Comm. (ICC 2007)*, pp. 409-414, Jun. 2007.
- [18] Y. H. Kwon and B. H. Rhee, “A stability of p-persistent MAC scheme for periodic safety messages with a Bayesian game model,” *J. KICS*, vol. 38B, no. 7, pp. 543-552, 2013.

권영호 (Yong Ho Kwon)



2000년 2월 : 충북대학교 졸업
 2003년 2월 : 한양대학교 미디어통신공학과 석사
 2009년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
 <관심분야> 이동통신, D2D, 게임이론

이병호 (Byung Ho Rhee)



1975년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
 1977년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사
 1993년 3월 : National Chiba University 박사
 1981년~현재 : 한양대학교 컴퓨터공학부 교수
 <관심분야> 네트워크, NGN, 무선망 보안