

논문 2011-48CI-1-5

## IEEE 802.11e에서 전송흐름을 고려한 TXOP 조정 알고리즘

( Traffic-Aware TXOP adjusting Algorithm for IEEE 802.11e Network )

정수경\*, 김남일\*\*

( Sookyoung Jung and Namil Kim )

## 요약

본 논문에서는 IEEE 802.11e에서 전송 흐름을 고려한 능동적 자원할당 방법을 제안한다. IEEE 802.11e에서는 비디오나 음성 데이터의 QoS를 제공하기 위해 우선순위가 높은 노드에게 정해진 시간동안 연속해서 보낼 수 있도록 TXOP 파라미터 값을 정해놓고 있다. 해당 시간동안 연속해서 데이터를 전송함으로써 채널의 점유를 위한 경쟁을 줄임으로써 충돌의 횟수가 줄어들어 빠른 데이터 전송의 장점은 있지만, 해당노드의 채널 상태가 좋지 못한 경우 전체 네트워크의 전송률은 떨어지고 우선순위는 낮지만 채널 상태가 좋은 노드의 경우 기다리는 시간이 길어지는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 채널 상태에 따라 TXOP를 조정하여 우선순위는 낮지만 채널 상태가 좋은 노드에게도 점차적으로 할당함으로써 채널을 최대한으로 활용하도록 하였고 자원의 능동적인 할당으로 전송률 향상에 기여하는 알고리즘을 제안하였다.

## Abstract

This paper proposes a traffic-aware TXOP adjustment algorithm for the IEEE 802.11e networks. In the proposed algorithm the access point (AP) monitors the network traffics periodically and adjusts the TXOP value of the non-QoS traffic in order to improve the network throughput while maintaining the QoS of video and voice applications. The experimental results show that the proposed algorithm outperforms the legacy IEEE 802.11e in terms of the throughput and the fairness.

**Keywords :** IEEE 802.11e, QoS, TXOP

## I. 서론

개인용 휴대단말기 사용으로 인한 사무실이나 회의실 등 한정된 장소에서의 무선 네트워크 접속에서 언제 어디서나 원하는 장소에서 자유롭게 무선 네트워크에 접속하여 다양한 서비스를 요구하는 수요가 증가함에 따라 무선 LAN 사용자의 요구사항도 늘어나게 되었다. IEEE 802.11은 이러한 다양한 요구사항을 충족시키기

위해 네트워크에 사용되는 무선 LAN 기본 규격을 정의하였다<sup>[1]</sup>.

현재 가장 널리 보급되어 있는 무선 LAN 규격으로 IEEE 802.11에 명시된 매체접근제어(MAC : Medium Access Control) 프로토콜은 분산 환경에서 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance)를 기반으로 하여 매체를 경쟁적으로 이용하는 방식과 부분적인 서비스 품질(QoS : Quality of Service)을 제공할 수 있도록 하기 위한 방식이 정의되어 있다. 이러한 혼용방식은 기본적으로 최선형(BE : Best Effort) 방식이므로 QoS를 보장하는데 적합하지만 우선순위에 따른 차별화된 서비스를 위해서는 새로운 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11e가 제안되었다.

IEEE 802.11e MAC 프로토콜은 QoS 서비스를 제공

\* 정회원 건국대학교 전자공학부  
(Dept. of Electronics Engineering,  
Konkuk University)

\*\* 정회원-교신저자, 가천의과학대학교 정보공학부  
(Dept. of Information Engineering,  
Gachon University of Medicine and Science)

접수일자: 2010년12월3일, 수정완료일: 2011년1월7일

하기 위해 새롭게 추가된 중요한 개념으로 특정한 노드에게 프레임 전송할 수 있는 시간을 할당하여 해당 노드는 그 시간 내에서 연속으로 데이터를 전송할 수 있거나 강제적으로 전송 시간을 제한 할 수 있는 전송권한(TXOP : Transmission OPportunity) 개념이 추가되었다<sup>[2]</sup>.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11e에서 전송 흐름을 고려한 능동적 자원할당 방법을 제안한다. IEEE 802.11e에서는 비디오나 음성 데이터의 QoS를 제공하기 위해 우선순위가 높은 노드에게 정해진 시간동안 연속해서 보낼 수 있도록 TXOP 파라미터값을 정해놓고 있다. 해당 시간동안 연속해서 데이터를 전송하므로써 채널의 점유를 위한 경쟁을 줄임으로써 충돌의 횟수가 줄어들어 빠른 데이터 전송의 장점은 있지만, 해당노드의 채널 상태가 좋지 못한 경우 전체 네트워크의 전송률은 떨어지고 우선순위는 낮지만 채널 상태가 좋은 노드의 경우 기다리는 시간이 길어지는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 채널 상태에 따라 TXOP를 조정하여 우선순위는 낮지만 채널 상태가 좋은 노드에게도 점차적으로 할당함으로써 채널을 최대한으로 활용하도록 하였고 자원의 능동적인 할당으로 전송률 향상에 기여하는 능동적 자원할당 방법을 제안하였다.

이러한 특징을 갖는 능동적 자원할당 방법의 성능을 검증하기 위해 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 전송속도가 서로 다른 차등 전송모드에서 우선순위도 서로 다른 노드들의 수에 따라 시나리오를 작성하여 기존의 방법과 제안한 능동적 자원할당 방법의 성능을 비교 시뮬레이션을 수행하였다.

이후 논문의 구성은 II장에서는 IEEE 802.11e의 표준에 대해 나타내고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 능동적 자원할당법을 구현하였다. IV장에서는 제안한 방법의 성능검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 마지막으로 V장에서는 결론을 기술한다.

## II. 본 론

IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 QoS 보장문제를 해결하는 방법으로 IEEE 802.11의 DCF 및 PCF 프로토콜을 기반으로 하는 HCF를 제안하였다. HCF의 채널접속 방식은 DCF 방식을 향상시킨 EDCF(Enhanced DCF)를 기본 바탕으로 해서 PCF를 보완한 HCCA의 파라미

터화된 QoS를 지원할 수 있도록 폴링방식과 HC (Hybrid Coordinator)의 우선순위 채널 접속방식을 함께 사용한다. QoS 프레임을 전송하기 위해서는 기존의 DCF와 PCF 방식과 같이 전송 전에 자원예약이 이루어져야 한다. 하지만 기존의 자원 예약방식이 프레임 단위로 이루어지는 것과 달리 HCF에서는 버스트 단위로 자원예약이 이루어진다. 이러한 자원예약은 향상된 단말기가 RR(Receiver Report) 프레임을 통하여 HC에게 TXOP를 요청하는 것으로 이루어진다.

HC는 BSS의 QAP(QoS Access Point)에 위치하고, 각각의 연결 설정에 대한 트래픽 협상과 QoS 요구사항을 고려하여 중앙 집중적인 스케줄링에 의하여 비경쟁 구간과 경쟁 구간에 모두 QSTA(QoS Station : 기존의 IEEE 802.11과 IEEE 802.11e의 station을 구분하기 위한)의 TXOP를 할당하는 역할을 한다. HC는 각각의 트래픽 흐름에 대하여 남아있는 트래픽의 양을 분석함으로써 자신의 스케줄러를 조정하여 QoS를 보장하고, 폴링방식과 임의의 접속방식을 함께 사용함으로써 우선순위 서비스와 예약기반 서비스를 모두 제공한다.

HCF는 경쟁 주기와 비경쟁 주기에 QoS 데이터를 전송하기 위해 QoS 데이터 프레임을 포함하고 있다. QoS 지원을 위한 EDCF라 불리는 HCF 경쟁기반 채널 접속 방식과 QoS 보장을 위한 poll-and-response 프로토콜의 HCF 비경쟁 채널 접속방식을 사용한다. EDCF 방식은 Infrastructure 모드와 Ad-hoc 모드에서 prioritized QoS를 지원하는데 사용될 수 있다. IEEE 802.11에서 정의하는 MAC은 유선 LAN 방식인 이더넷에서 사용하고 있는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access Collision Detection) 기술과 유사한 CSMA/CA 기술을 사용한다. IEEE 802.11 MAC은 CSMA/CA 프로토콜에 바탕을 두는 필수기능인 DCF와 선택기능인 PCF을 정의하고 있다. 즉, 전송매체는 경쟁(contention) 모드인 DCF와 비경쟁(contention-free) 모드인 PCF 모

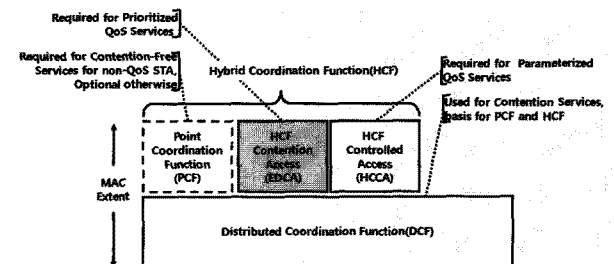


그림 1. IEEE 802.11e MAC 구조  
Fig. 1. IEEE 802.11e MAC architecture.

두에서 동작할 수 있다. 그림 1은 MAC 프로토콜의 분산조정 함수구조를 나타낸다.

IEEE 802.11 PCF와 IEEE 802.11e HCF(Hybrid Coordination Function)를 지원하는 Enhanced MAC 프로토콜 구조에서 HCF는 음성과 같은 지연에 민감한 서비스 제공을 위해 트래픽 스펙 요소(Traffic Spec. Element)를 이용하여 트래픽 카테고리별로 서비스 수준을 정의하고 있다. 폴링방식에 의한 매체접근을 제어하는 PCF와 경쟁을 기반으로 하는 DCF 방식을 향상시킨 HCF 방식은 QBSS(QoS BSS)에 존재하는 HC가 경쟁 주기 동안에 QoS 데이터를 전송할 수 있는 방법인 EDCA와 Polled 기반의 컨트롤 채널접근 방법을 사용하는 HCCA의 동작을 모두 지원한다<sup>[3]</sup>.

EDCA는 IEEE 802.11 MAC 계층 규격에 정의된 접근방식인 DCF 방식을 향상시킨 방법으로 기존의 DCF에 QoS 지원을 위해 유선 네트워크에서 QoS 위한 차등화 서비스를 지원하는 DiffServ와 유사하게 여러 종류의 패킷들을 몇 개의 클래스로 분류하여 클래스에 대한 우선순위를 고려하여 서비스하는 방식으로 무선에서 경쟁 기반의 채널접속에 적용시킨 방법이다. 이 접근방식을 EDCF라고 한다<sup>[4]</sup>.

EDCA는 IEEE 802.11e 표준으로 차별화된 서비스를 제공할 수 있는 노드로 QSTA와 AP로 QAP를 정의하여 각 데이터 프레임에 우선순위를 부여하였다. 사용자 우선순위를 갖는 프레임에 대해 트래픽 카테고리별로 8개의 서로 다른 우선순위를 4개의 AC로 맵핑하여 각 우선순위에 따라 독립적으로 서비스를 제공하는 prioritized QoS를 지원함으로써 차별화된 매체접근을 허용한다.

표 1. 우선순위에 따른 AC 분류  
Table 1. Access Category mapping according to user priority.

Priority	User Priority (Same as 802.1D user priority)	802.1D designation	AC	Designation (informative)
Lowest	1	BK	AC_BK	Background
	2	-	AC_BK	Background
↓	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
Highest	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
	7	NC	AC_VO	Voice

각 사용자별 우선순위에 따른 AC 분류를 표 1에 나타낸다. MAC 계층에 도착한 각 프레임은 브리지 규격인 IEEE 802.1D의 우선순위에 따라 UP(User Priority) 값을 가지게 된다. 각각의 트래픽은 특성에 따라 다시 4개의 AC로 분류되어 우선순위에 따라 독립적으로 EDCA 서비스를 받게 된다.

표 2는 EDCA의 파라미터 설정 값을 나타낸다. DCF가 사용하는 DIFS, CW<sub>min</sub>, CW<sub>max</sub> 대신에 각각 AIFS[AC], CW<sub>min</sub>[AC], CW<sub>max</sub>[AC]를 사용하여 모든 AC간 우선순위의 차이를 서로 다르게 설정된 AC 파라미터 값을 사용함으로써 AC별로 서비스를 차별화하는 방식을 사용한다.

채널이 한가해지면 백오프 카운터를 감소시키고 채널이 사용 중일 때는 감소를 멈추게 된다. 백오프 카운터가 0이 되면 프레임을 전송할 수 있는 기회를 가지게 된다. EDCA는 각각의 AC마다 서로 다른 AIFS (Arbitrated IFS)를 사용함으로써 채널이 한가해 질 때까지 기다리는 시간을 차별화 한다. 또한 경쟁 윈도우 크기를 고정된 상수가 아닌 AC별로 각각 다르게 설정하여 각 우선순위에 따라 채널 접근 확률을 다르게 하여 우선순위가 높은 프레임의 전송확률을 높게 하여 차별화된 서비스를 구현하게 된다. AIFS[AC]값을 계산하는 방법은 아래 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$AIFS[AC] = AIFSM[AC] \times a \text{ Slot time} + SIFS \text{ time} \quad (1)$$

이렇게 구현된 값은 AP에서 비컨 프레임에 실려 각 노드에게 전달된다. AIFS[AC]와 CW<sub>min</sub>[AC]의 값은 작을수록 높은 우선순위를 가진다. 짧은 대기 시간으로 채널 접근 지연이 짧아져 주어진 트래픽 환경에서 보다 많은 대역을 사용할 수 있게 된다. EDCF에서 프레임 전송 시 충돌이 발생할 경우 새로운 백오프 카운트를 생성하게 되는데 백오프 과정은 기존의 DCF에서와 유사하게 구하지만, EDCF는 각 AC별로 상이하게 할당되는 PF(Persistence Factor) 값이 추가되어 계산된다. 식

표 2. EDCA 파라미터 설정값  
Table 2. Default EDCA parameters setting.

AC	CW <sub>min</sub>	CW <sub>max</sub>	AIFSN	TXOP Limit	
				FHSS	DSSS
AC_BK	CW <sub>min</sub>	CW <sub>max</sub>	7	0	0
AC_BE	CW <sub>min</sub>	CW <sub>max</sub>	3	0	0
AC_VI	(CW <sub>min</sub> +1)/2-1	CW <sub>min</sub>	2	6.016ms	3.008ms
AC_VO	(CW <sub>min</sub> +1)/4-1	(CW <sub>min</sub> +1)/2-1	2	3.264ms	1.504ms

(2)는 새로운 백오프 카운터 생성에 사용되는 식이다.

$$NewCW[AC] = ((oldCW[AC] + 1) \times PF[AC]) - 1 \quad (2)$$

PF의 값은 DCF와 동일하게 2로 고정하여 경쟁 윈도우의 크기를 지속적으로 증가시키게 된다.

AC별 EDCF 채널접속에 대한 동작시간의 차트를 그림 2에서 보여준다. 여기서 AIFS[AC]는 PIFS 보다 큰 값이어야 하는데 이는 적어도 SIFS 시간 보다 크게 하여 ACK 프레임 등과 같은 제어 프레임의 전송을 보호하기 위함이다<sup>[2]</sup>.

그림 3에 나타난 각 큐는 고유의 AIFS와 백오프 카운트를 가지고 있어 독립적인 백오프 값을 가지게 한다. 그러나 서로 다른 AC에서 동시에 백오프 감소 프로시저를 완료하여 프레임을 전송하게 되는 경우 충돌이 발생하게 된다. 이렇게 발생하는 충돌을 가상충돌(virtual collision)이라고 하고, 가상충돌 처리기(virtual collision handler)에 의해 조정된다. 프레임 전송 도중 노드 간에 동시에 프레임을 전송하여 충돌이 발생할 경우, 백오프 카운터는 기존의 DCF와 유사하다. 하지만, 하나의 노드 내에서 우선순위에 따라 다른 출력 큐를

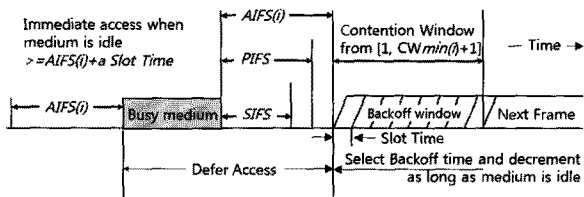


그림 2. EDCA 구조  
Fig. 2. Architecture of EDCA.

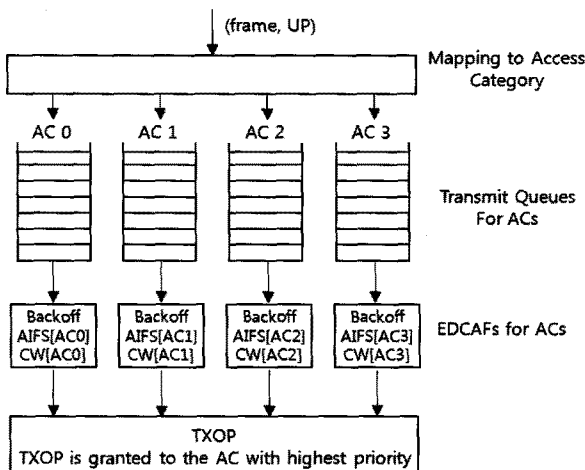


그림 3. EDCA 4 채널 참조모델  
Fig. 3. EDCA 4 channel reference model.

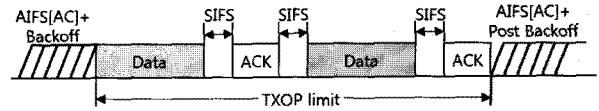


그림 4. EDCF의 TXOP  
Fig. 4. EDCF TXOP bursting.

가지고 수행된다. 하나의 AC는 자신의 AIFS값을 가지고 독립된 백오프 카운터를 수행하여 무선 매체접근을 위해 개별적인 EDCA 경쟁체로서 역할을 수행한다.

IEEE 802.11e에서는 Legacy MAC과는 달리 특정한 노드에게 프레임을 전송할 수 있는 시간을 할당하여 그 시간 내에서 연속해서 데이터를 전송할 수 있는 전송권한을 주는 새로운 개념인 TXOP를 정의하였다.

그림 4에 나타난 EDCF의 TXOP는 전송 우선순위에 따라 실시간 전송에 민감한 트래픽에 대하여 AC에 두 개 이상의 프레임이 쌓여 있을 때 우선적으로 전송할 수 있는 기회를 연속적으로 할당함으로써 사용자의 서비스 요청에 부응할 수 있도록 한 것이다. QoS 전송에 참여하는 노드는 EDCA와 HCCA 두 가지 채널 접근 방법을 사용하여 일정한 기간 동안 트래픽을 전송할 수 있는 TXOP를 얻을 수 있다. TXOP 획득은 EDCA 경쟁에서 성공하여 얻게 되는 EDCA TXOP와 AP로부터 QoS(+) CF-Poll 프레임을 받음으로써 가능해지는 Polled TXOP로 정의하고 있다.

QoS 프레임을 전송하기 위해서는 기존의 DCF와 PCF 방식과 같이 전송 전에 자원예약이 이루어져야 한다. 하지만 기존의 자원예약 방식이 프레임 단위로 이루어지는 것과 달리 HCF에서는 버스트 단위로 자원예약이 이루어진다. 이러한 자원예약은 향상된 단말기가 비컨 프레임을 통하여 HC에게 TXOP를 요청하는 것으로 이루어진다.

이와 같이 TXOP라는 개념을 이용해 임의의 한 노드가 프레임을 전송할 수 있도록 일정 시간을 부여하거나 강제적으로 전송 시간을 제한할 수 있다. TXOP의 전송 시작시간과 최대 전송시간은 AP에 의해 결정되는데, EDCA TXOP의 경우 비컨 프레임에 의해, Polled TXOP의 경우는 QoS CF-Poll 프레임에 의해 노드에 통보된다. DCF와 PCF를 사용하는 기존 IEEE 802.11 MAC과도 호환이 된다.

### III. 제안 방법

IEEE 802.11e의 EDCF에서 새롭게 추가된 개념으로 IEEE 802.11의 DCF에서 QoS를 지원하기위해 실시간에 민감한 트래픽에 경쟁 없이 연속으로 프레임 전송하는 TXOP를 도입하였다. EDCF에서는 각 트래픽의 종류를 4개의 AC로 분류하여 각기 다른 경쟁 윈도우 값과 TXOP limit 시간을 할당받게 된다. 네트워크에 접속된 노드는 할당된 AC 파라미터 값을 이용하여 경쟁 윈도우 값을 이용하여 다른 노드와 경쟁을 하게 되고, 경쟁을 통해 채널을 점유하게 되면 할당된 TXOP limit 시간 동안에 자신이 전송할 수 있는 가능한 많은 패킷들을 전송하게 된다. 그래서 EDCF에서는 음성이나 비디오 같은 우선순위가 높은 패킷들의 전송률을 증가시킬 수 있다. 하지만 현재의 대부분의 통신은 web을 기반으로 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11e 네트워크에서 전송 흐름을 고려한 적정 TXOP 조정을 통한 능동적 자원할당 방법을 제안한다. 제안한 방법은 AP가 트래픽의 전송흐름들을 관찰하여 QoS를 유지하면서 QoS를 요구하는 트래픽이 없을 경우 네트워크 전체 전송률을 향상시키기 위해 TXOP limit 시간을 할당함으로써 전송률 향상에 기여하도록 설계하였다.

IEEE 802.11e에서 TXOP는 아주 중요한 파라미터이다. TXOP는 프레임을 전송함에 있어서 다른 노드와의 경쟁 없이 연속으로 프레임을 전송할 수 있게 함으로써 노드 간의 채널 경쟁을 회피하는 의미와 대기 시간의 절약으로 낭비되는 채널을 줄임과 동시에 연결 설정에 필요한 제어 프레임의 전송을 줄이는 장점도 가지고 있다. 이러한 장점으로 실시간 서비스를 요구하는 우선순위 프레임의 QoS 보장을 증가 시킨다.

전송률이 높은 노드일수록 더 많은 데이터를 연속적으로 보낼 수 있으면서도 하나의 노드가 채널을 완전히 점유하지 않고 일정한  $CW_{min}$  값을 가지기 때문에, 긴급 메시지나 실시간 데이터들을 신속하게 전송할 수 있고 QoS를 지원할 수 있다. 연속되는 데이터의 점유 시간은 식 (3)에 근거해서 패킷 전송 시간 길이를 구할 수 있다. 따라서 기본방식 때 하나의 데이터를 성공적으로 전송하기 위해 걸리는 시간은 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$T_S = T_{DIFS} + T_{idle} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (3)$$

높은 전송률을 갖는 노드는 많은 데이터 프레임을 전

송할 수 있고, 낮은 전송률을 갖는 노드는 적은 데이터 프레임 전송하게 된다. 이와 같이 전송속도의 비율로 결정하지 않고, 기본 전송률로 전송했을 때 한 패킷에 대한 전송 소요 시간과 해당 전송률로 전송했을 때의 시간의 비율을 통해 연속적으로 전송 가능한 데이터의 시간을 계산한다. 충돌이 발생했을 경우의 시간은 식 (4)와 같다.

$$T_C = T_{DIFS} + T_{idle} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK\_TIMEOUT} \quad (4)$$

여기서  $T_{idle}$ 은 경쟁하는 노드들이 가지는 백오프 시간 값 중에서 가장 작은 값이다. 즉 하나의 전송이 종료되고 DIFS 이후 새로운 전송이 시작될 때까지의 한가한 구간을 의미한다. 경쟁하는 노드가 N개라고 할 때의 발생할 수 있는  $T_{idle}(N)$ 의 길이는 수식 (5)와 같고, 충돌확률  $P_C(N)$ 은 (6)과 같다.

$$T_{idle}(N) = T_{SlotTime} \times \frac{1 + P_C(N)}{2N} \times \frac{CW_{min}}{2} \quad (5)$$

$$P_C(N) = 1 - \left(1 - \frac{1}{CW_{min}}\right)^{N-1} \quad (6)$$

충돌이 발생할 경우 IEEE 802.11e의 네트워크 전체 성능에 큰 영향을 끼친다. 이 값들은 유추하기 어렵지만, 앞서 설명하였듯이 IEEE 802.11과 달리 한번 채널을 획득한 노드는 그렇지 않은 노드보다 연속적으로 보낼 확률이 매우 높으므로 연속해서 보낼 경우의 평균 전송률은 수식 (7)과 같다.

$$Throughput_{total} = \frac{B_{PAYLOAD}}{T_S \times TXOP_{time} + T_C \times P_C} \quad (7)$$

연속적인 전송 이후에는 모든 노드들이 동등하게 다

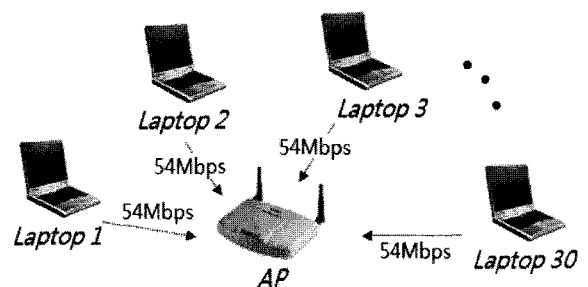


그림 5. TXOP limit에 따른 패킷 크기별 시나리오  
Fig. 5. Scenario according to packet size for different TXOP limit.

시 경쟁하므로 전송하려는 노드의 개수를 N라고 할 때 네트워크 전체 전송률 값은 네트워크의 토폴로지 상황에 따라 매우 다양한 결과가 나오게 되고 이론적으로 산출하기가 어렵다. 따라서 시뮬레이션을 통해 그 값을 도출하고 성능을 평가하였다.

그림 5는 전송 흐름을 고려한 능동적 자원 할당을 위해 TXOP limit에 따른 패킷 크기별 시나리오이다. 54 Mbps 전송속도를 갖는 다른 랩톱컴퓨터가 30개 있을 때 TXOP limit에 따른 전송률, 충돌률, 공정성에 대해 평가하였다. 각 랩톱컴퓨터에서 전송하는 데이터의 크기는 1024 bytes와 512 bytes로 설정하여 비교하였다.

그림 6은 패킷 크기에 대한 TXOP limit 별 전송률을 나타낸다. TXOP limit가 0 msec에서 0.9 msec까지는 전송률의 변화를 보이지 않지만, TXOP limit가 1.2 msec일 때 1024 bytes는 12.26 Mbps로 1.17 Mbps가 증가하였고, 512 bytes는 7.10 Mbps로 0.85 Mbps가 증가하였다. 따라서 1024 bytes에서는 약 10.63%의 증가를 나타내고, 512 bytes에서는 13.71%의 증가를 나타내고 있다. 1.2 msec 이후 전송률의 큰 변화를 보이고 있

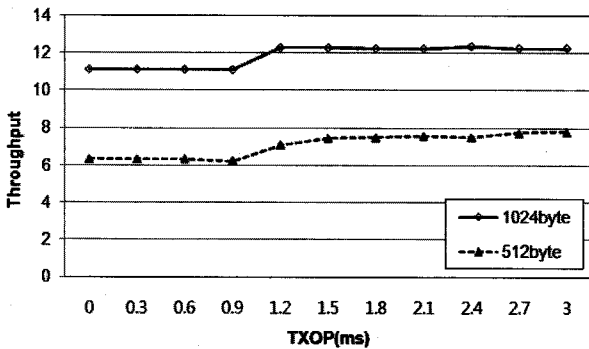


그림 6. TXOP limit에 따른 패킷 크기별 전송률  
Fig. 6. Throughput according to packet size for different TXOP limit.

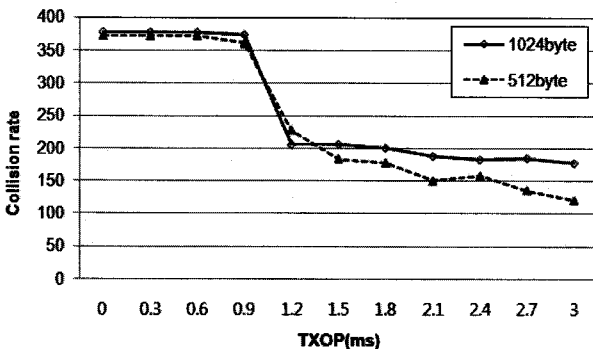


그림 7. TXOP limit에 따른 패킷 크기별 충돌률  
Fig. 7. Collision rate according to packet size for different TXOP limit.

지 않고 있다. TXOP limit 크기는 표준에 정의된 AC[VI]의 TXOP limit에 설정된 3.008 msec를 넘지 않도록 하였다.

그림 7은 패킷 크기에 대한 TXOP limit별 충돌률을 나타낸다. TXOP limit가 0 msec에서 0.9 msec까지는 전송률의 변화를 보이지 않고 있다. TXOP limit가 1.2 msec일 때 1024 bytes는 205.35회이고, 512 bytes는 228회이다. 1024 bytes에서는 약 45.17%의 감소를 나타내고, 512 bytes에서는 36.87%의 감소를 나타내고 있다. 1.2 msec 이후 전송률의 큰 변화를 보이고 있지 않고 있지만, 전체적인 감소 현상을 나타내고 있다. TXOP limit의 값이 증가할수록 경쟁을 통한 매체접근 시간이 줄어들므로 limit의 값이 증가할수록 감소하는 현상이 나타난다.

그림 8은 패킷 크기에 대한 TXOP limit 별 공정성을 나타낸다. TXOP limit가 0 msec에서 0.9 msec까지는 전송률의 변화를 보이지 않고 있다. TXOP limit가 1.2 msec일 때 전송 공정성이 감소하는 것을 볼 수 있다. 1024 bytes는 0.53이고, 512 bytes는 0.54이다. 따라서 TXOP limit가 1.2 msec에서 전송 공정성의 변화가 나타남을 알 수 있다. 이것은 1.2 msec에서 연속해서 전송이 되므로 전송 공정성이 감소함을 예측할 수 있다. 하지만 TXOP를 사용하지 않는 0 msec 와 비교해 볼 때 전송 공정성에서 큰 차이를 나타내고 있지 않음을 알 수 있다.

따라서 전체 전송률은 네트워크의 토폴로지 상황에 따라 매우 다양한 결과가 나오므로 시뮬레이션을 통해 산출해 보았다. 이런 결과를 토대로 전송률 향상을 위한 TXOP 조정 알고리즘을 설계하였다.

채널 상태를 고려한 능동적 자원할당 방법은 AP가

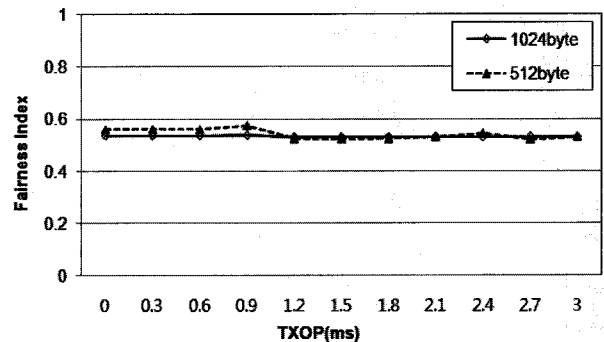


그림 8. TXOP limit에 따른 패킷 크기별 전송 공정성  
Fig. 8. Transmission fairness according to packet size for different TXOP limit.

```

// CLI: number of consecutive linear increase
// CLITH: threshold number of CLI
// TXOPnon-QoS: TXOP value of non-QoS traffic

for each beacon interval:
    if there is no QoS traffic:
        if there is non-QoS traffic:
            TXOPnon-QoS += Δ ;
        else: TXOPnon-QoS -= K * Δ ;
    else:
        TXOPnon-QoS /= 2;
    
```

그림 9. 채널 상태를 고려한 능동적 자원할당  
Fig. 9. Traffic-Aware Dynamic Resource Allocation.

주기적으로 네트워크의 트래픽을 관찰하여 QoS 트래픽의 유무를 확인하여 우선순위가 낮은 AC의 TXOP limit를 조정하는 것이다. 그림 9와 같이 QoS 트래픽이 없는 경우 우선순위가 낮은 AC의 TXOP limit 값을 일정한 크기( $\Delta$ )만큼 증가시키고, QoS 트래픽이 있는 경우 TXOP limit 값을 TXOP limit/2 값만큼 감소시킨다. 여기서 우선순위가 낮은 TXOP limit 값의 증가량은 선형적으로 증가시키고, 감소량은 지수적으로 감소시키게 된다. 그 이유는 QoS 트래픽이 감지되는 경우 빠른 실시간 서비스를 지원하기 위해서이다. 그리고 데이터 프레임 이외의 연결 설정에 필요한 제어 프레임이 감지되는 경우 앞으로 새로운 노드가 접속되는 경우이므로  $k$  배씩 감소시켜 초기 설정에 가까운 값으로 선형적으로 감소시키게 하였다. 이렇게 조정된 TXOP limit 값은 다음 비컨 프레임을 통해 접속된 모든 노드들에게 전송하게 된다. 여기서  $k$  와  $\Delta$  의 값은 패킷을 전송할 때 소요되는 시간에 대해 연속적으로 전송 가능한 데이터의 전송 시간을 계산하여 네트워크의 채널 조건에 맞추어 설정할 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 및 고찰

IEEE 802.11e EDCA에서는 물리계층에 따라 최적의 EDCAF 경쟁 파라미터를 구하기 위해 많은 연구를 수행하고 있지만, 특히 AP와 결합된 노드의 수가 실시간으로 증가 또는 감소함에 따라 이에 적합한 경쟁 파라미터를 산출하여 동적으로 네트워크에 적용하고자 하는 연구 노력이 다소 미비했다. 노드의 수를 고려한 경쟁 파라미터의 능동적인 자원 할당으로 네트워크의 전체 전송률을 향상시킬 수 있다.

따라서 본 장에서는 시뮬레이션을 통해 노드 수와 트래픽 유형 및 전송속도를 변화 시키면서 네트워크의 성능을 나타내는 전송률, 충돌률, 공정성에 대한 시뮬레이션 결과 값을 분석하여 최적의 파라미터를 능동적으로 할당하게 하는 알고리즘을 적용하여 네트워크의 전체 전송률을 향상시키는 결과를 예상한다.

IEEE 802.11e EDCA 기반의 다중 전송 속도에서 전송률 향상을 위한 여러 가지 파라미터의 조정으로 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 사용하였다. 본 실험은 UC Berkely에서 C++와 Otcl을 사용하여 제작한 ns-2를 사용하였다<sup>[7~8]</sup>. 실험에서 사용한 ns-2 시뮬레이터는 IEEE 802.11만 지원하는 기존의 ns-2에 IEEE 802.11e MAC의 ECDF가 추가된 Technical Univ. of Berlin의 TNG에서 제공하는 소스에 추가하였다<sup>[9]</sup>.

표 3은 코덱의 압축률 및 효율성에 나타난 표이다. 실험에 사용할 트래픽 소스는 IEEE 802.11e 무선 LAN에서 사용되는 음성 트래픽은 압축 종류에 따라 전송속도와 품질 지표로 사용되는 MOS나 R Value 값을 참조하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 G.729A를 기준으로 20바이트의 패킷으로 선택했고, 데이터의 전송속도는 8 Kbps 이상 나오도록 주기를 설정하였다.

표 3. 코덱의 압축률 및 효율성  
Table 3. Compression ratio and efficiency of codec.

Compression Method	Bit rate (kb/s)	MOS	R Value	Delayinms at Each End
G.711	64	4.1	83	0.75
G.726	32	3.85	76	1
G.728	16	3.61	70	3 to 5
G.729A	8	3.7	73	10
G.723.1 MP-MLQ	6.3	3.9	77	30
G.723.1 ACELP	5.3	3.65	71	30

Compression		Payload per Packet (bytes)	BitRate for Payload only (kb/s)	Overhead+ PayloadBit rate(kb/s)
Method	Ratio			
G.711	1:1	160	64	87.2
G.728	4:1	40	16	39.2
G.729A	8:1	20	8	31.2
G.723.1 MP-MLQ	10:1	24	6.3	21.6
G.723.1 ACELP	12:1	20	5.3	20.6

표 4. 실험 트래픽 파라미터

Table 4. Traffic parameter.

Parameter	Value
Radio Propagation model	Two Ray Ground
Network interface type	Wireless Physical
Mac type	IEEE 802.11e
Interface Queue type	Drop Tail Priority Queue
Link layer type	Link layer
Antenna model	Omni Antenna
Queue length limit	50
MAC header size	400bit
PHY header size	192bit
Slot time	20 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
Dsss EDCA Max Propagation Delay	2 $\mu$ s
Short retry limit	7
Long retry limit	4
Routing protocol	DSDV

IEEE 802.11e EDCA 기반의 다중 전송 속도에서 전송률 향상을 위한 여러 가지 파라미터의 조정으로 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 사용하였다. 본 실험은 UC Berkely에서 C++와 Otcl을 사용하여 제작한 ns-2를 사용하였다<sup>[6]</sup>. 실험에서 사용한 ns-2 시뮬레이터는 IEEE 802.11만 지원하는 기존의 ns-2에 IEEE 802.11e MAC의 ECDF가 추가된 Technical Univ. of Berlin의 TNG에서 제공하는 소스에 추가하였다<sup>[7]</sup>.

Ns-2 버전은 2.30을 사용하였고 OS는 Ubuntu linux 8.04(Kernel 버전 2.6.24)를 사용하였다. 그리고 시뮬레이션 환경에서 분석해야 할 토폴로지와 시나리오 구성에 대해 논하고 마지막으로 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 IEEE 802.11e와 비교하여 시뮬레이션하고 전송률, 충돌률, 전송 공정성 항목으로 나누어 평가하였다.

실험에 사용할 트래픽 소스는 IEEE 802.11e 무선 LAN에서 사용되는 음성 트래픽은 압축 종류에 따라 전송속도와 품질 지표로 사용되는 MOS나 R Value 값을 참조하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 G.729A를 기준으로 20바이트의 패킷으로 선택했고, 데이터의 전송속도는 8 Kbps 이상 나오도록 주기를 설정하였다. 데이터 패킷은 FTP 데이터로 1000바이트의 패킷을 지속

표 5. 실험 트래픽 유형 및 특성

Table 5. Traffic type and characteristic of the simulation.

트래픽 유형	Inter-arrival Time(sec)	프레임의 크기(bytes)
음성	0.010(CBR)	20
데이터	0.001	1000

표 6. 실험 트래픽 파라미터

Table 6. Traffic parameter.

Parameter	Value
Radio Propagation model	Two Ray Ground
Network interface type	Wireless Physical
Mac type	IEEE 802.11e
Interface Queue type	Drop Tail Priority Queue
Link layer type	Link layer
Antenna model	Omni Antenna
Queue length limit	50
MAC header size	400bit
PHY header size	192bit
Slot time	20 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
Dsss EDCA Max Propagation Delay	2 $\mu$ s
Short retry limit	7
Long retry limit	4
Routing protocol	DSDV

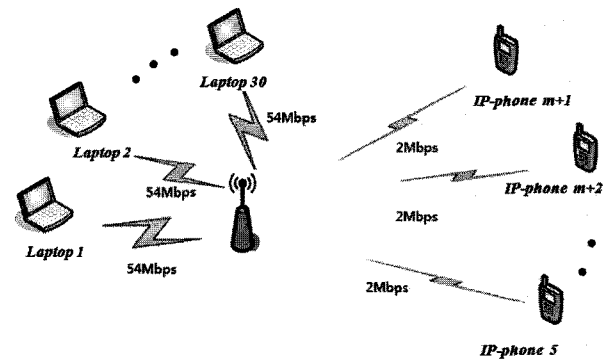


그림 10-1. 시뮬레이션 환경

Fig. 10-1. Simulation topology.

적으로 발생하도록 하였다. 또한 음성은 패킷의 최대한 지연을 감소시키기 위하여 CBR(Constant Bit Rate) 소스를 이용하여 패킷을 생성하였다. 표 4는 실험에 사용된 트래픽 파라미터를 나타낸다.

데이터 패킷은 FTP 데이터로 1000바이트의 패킷을 지속적으로 발생하도록 하였다. 또한 음성은 패킷의 최대한 지연을 감소시키기 위하여 CBR(Constant Bit Rate) 소스를 이용하여 패킷을 생성하였다. 표 5는 실험 트래픽 유형 및 특성을 나타낸다<sup>[5]</sup>.

표 6은 실험 트래픽 파라미터를 나타낸다.

그림 10-1, 2는 시뮬레이션 환경을 나타낸다. 다중전송모드 환경에서 모든 노드가 AP에 일대일로 연결된 형태의 BSS이다. 시험에 쓰인 노드들의 이동성(mobility)은 없으며, 모든 스테이션들과 AP간의 거리 및 출력을 다르게 하여 현실 세계에 가깝게 설정하였다.



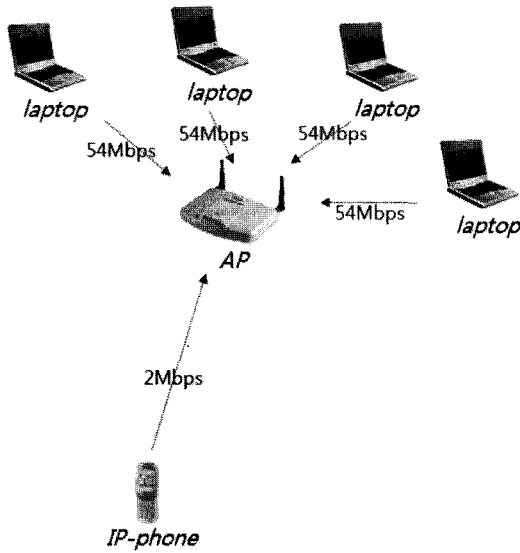


그림 10-2. 시뮬레이션 환경  
Fig. 10-2. Simulation topology.

모든 노드들은 어떤 노드와의 전송감지를 할 수 있는 범위 내에 위치하기 때문에 앞에서 논의된 숨은 노드 문제의 영향을 받지 않는다. 따라서 숨은 노드 문제가 존재하지 않으므로 본 실험에서는 RTS/CTS 프레임 사용하지 않는 실험과 RTS/CTS 실험이 사용된 두 가지 모두를 고려하여 실험을 실행하였다. 또한 ns-2에서는 조각화(fragmentation) 기본 값이 1024 bytes로 설정되어 있어 최대의 QoS 성능을 위해 조각화를 사용하지 않도록 하기 위해 1000 bytes로 설정하였다.

실험 방식은 AP를 기준으로 채널의 상태가 좋은 54 Mbps를 갖는 랩톱컴퓨터만 연결되어 있는 경우와 이렇게 채널 상태가 좋은 랩톱컴퓨터가 연결된 환경에 채널 상태가 나쁜 IP-phone이 접속하는 하는 경우로 실험하였다. 이런 환경을 실험한 이유는 우선순위가 높은 IP-phone의 경우 채널 상태가 나쁘기 때문에 우선순위 지원을 위해서는 채널이 나쁘지만 QoS 보장을 위해 계속적인 지원으로 네트워크의 전체 전송률은 나빠질 것으로 예상하고, 이에 비해 채널 상태가 좋은 랩톱컴퓨터의 경우 우선순위가 낮기 때문에 상대적으로 채널 접근에 불리하게 작용하여 전송효율이 좋지 못하는 현상이 발생할 것으로 예상하기 때문이다. 따라서 본 논문에서 주장하는 바와 같이 대부분의 트래픽을 차지하는 통신은 우선순위가 높은 IP-phone과 같은 트래픽은 간헐적으로 나타나기 때문에 우선순위가 높은 노드가 없는 환경에서 하나씩 추가되는 환경을 제시한다. 그리고

이런 노드들의 비율은 전체적으로 노드의 수가 증가하는 것도 중요하고, 추가되는 현상도 중요하기 때문에 랩톱컴퓨터의 수의 증가에 따른 IP-phone의 간헐적으로 증가하는 시나리오를 작성하여 실험하였다.

무선 LAN에서 전송률은 송신 노드와 수신 노드 사이에 공기 중으로 전송되는 데이터의 양을 의미한다. 노드의 수가 증가할수록 전송률은 증가하지만, 충돌확률도 같이 증가하므로 적정 노드의 수가 되면 증가하지 않고 감소하는 현상을 예상 할 수 있다. 두 노드 간에 전송률은 식 (8)과 같이 계산한다.

$$Throughput = \frac{(Data\ bytes + Header\ bytes)}{T}$$

$$Header\ bytes = Data\ link\ header(LLC,MAC)^{(4-25)} + IP\ header + TCP\ Header$$

$$T = Time\ interval\ in\ seconds$$

전송률은 초당 전송된 데이터의 양을 나타낸다. 데이터의 양은 각 계층에서의 정보를 나타내는 헤더를 포함한 프레임 전체 크기를 말한다.

다중전송률을 지원하는 네트워크에서는 각 노드의 전송속도에 따라 전송률은 달라지고, AP에 접속된 노드의 수에 따라서도 전송률은 달리 나타날 것을 예상할 수 있다.

전송률 측정은 시뮬레이션 시작 이후 5초부터 15까지 10초 동안 측정된 데이터이다. 시뮬레이션 시작부터 측정하지 않은 이유는 연결 설정에 필요한 제어 프레임들이 많이 전송될 것을 예상하여 일정 시간 이후부터 측정하였다.

그림 11은 노드 수에 대한 전송률을 나타낸다. 높은 전송률을 갖는 랩톱컴퓨터만 연결된 환경에서 제안한

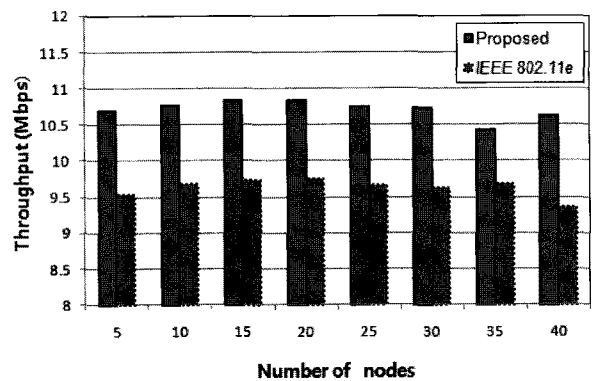


그림 11. 노드 수에 대한 전송률  
Fig. 11. Throughput according to the number of nodes.

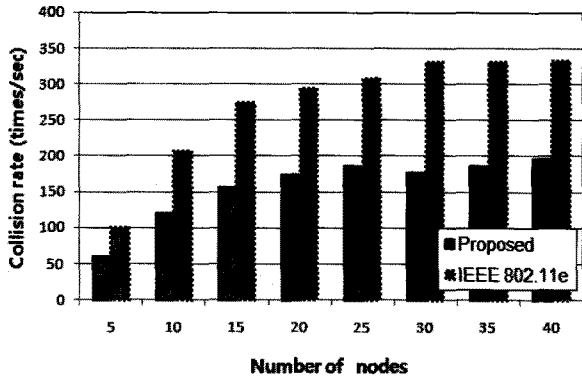


그림 12. 노드 수에 대한 충돌률

Fig. 12. Collision rates according to the number of nodes.

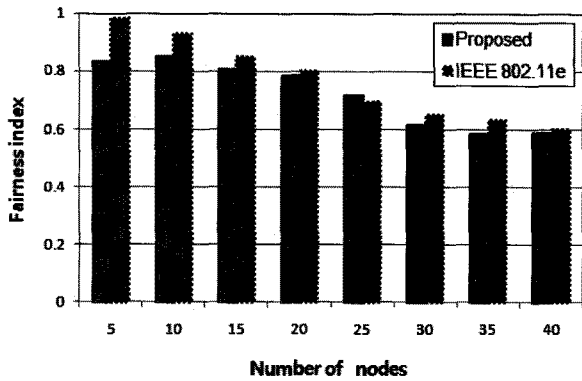


그림 13. 노드 수에 대한 공정성

Fig. 13. Fairness index according to the number of nodes.

알고리즘의 전송률이 기존의 IEEE 802.11e 보다 향상되었음을 알 수 있다. 평균 전송률이 1.04 Mbps의 전송률 증가로 9.61%의 증가를 나타내었다.

따라서 본 논문에서 제안한 방법은 노드의 수에 맞는 적정의 파라미터 값을 할당함으로써 전송률의 향상을 기대할 수 있다.

그림 12는 노드 수에 대한 충돌률을 나타낸다. 높은 전송률을 갖는 랩톱컴퓨터만 연결된 환경에서 제안한 알고리즘의 충돌률이 기존의 IEEE 802.11e 보다 많이 향상되었음을 알 수 있다. 평균 충돌률이 40.8%의 감소를 나타낸다.

노드의 수가 많을수록 충돌의 확률이 높아지는 현상은 동일하지만, 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 많은 감소를 나타내는 이유는 IEEE 802.11e에 새롭게 추가된 중요한 개념인 TXOP를 활용하였기 때문이다. TXOP limit 시간은 실시간 서비스를 필요로 하는 우선순위가 높은 노드에게 할당하는 것으로 매체접

근에 성공한 노드에게 연속해서 전송의 기회를 줌으로써 경쟁을 통하지 않고 TXOP limit 시간동안 연속해서 프레임을 전송할 수 있게 한다. 이렇게 함으로써 경쟁에 의한 접속이 줄어들어 전체 충돌률은 감소하게 되어 네트워크 전체 전송률은 향상되는 장점을 가지게 된다. 하지만, 한 노드에게 연속해서 전송의 기회를 할당함으로써 전송 공정성과 시간 공정성 면에서는 공평한 서비스를 제공하지 못하는 단점을 가지게 된다.

전송 공정성은 각 노드들이 전송의 기회를 균등하게 가졌는지를 나타내는 지표이다. 다중전송률을 지원하는 네트워크에서 AP에 접속된 노드들은 CSMA/CA 방식에 의해 경쟁을 통해 공평하게 전송할 수 있는 기회를 가지게 된다. 하지만 IEEE 802.11e에서는 실시간 서비스를 필요로 하는 노드들에게 차별화된 서비스를 제공하기 위해 트래픽의 종류에 따라 AC로 분류하여 각 노드의 채널 상태는 고려하지 않고, 우선순위에 따라 차별화된 서비스를 제공한다. 따라서 AC별로 다양한 우선순위를 가지는 노드들의 분포에서는 전송 공정성이 낮아질 것으로 예상 할 수 있다. 전송 공정성을 나타내는 Fairness index는 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$\text{Fairness index} = \frac{(\sum T_x(i))^2}{n \sum T_x(i)^2} \quad (9)$$

여기서  $n$ 은 AP에 접속된 노드의 수이고,  $T_x(i)$ 는 각 노드별 전송횟수를 나타낸다. 전송률의 편차가 심할수록 1에 멀리 떨어지는 현상이 나타난다.

그림 13는 노드 수에 대한 전송 공정성을 나타낸다. 높은 전송률을 갖는 랩톱컴퓨터만 연결된 환경에서 제안한 방법의 공정성이 기존의 IEEE 802.11e 보다 낮아졌음을 보여준다. 평균 전송 공정성은 2.80%의 감소를 나타낸다.

예상대로 전송 공정성에서는 제안한 방법이 기존의 IEEE 802.11e에 비해 낮아진 결과를 보인다.

## V. 결 론

제안한 전송 흐름을 고려한 TXOP 조정 알고리즘은 AP의 모니터링 프로그램을 이용하여 현재 접속된 노드의 채널 상태를 파악하여 IEEE 802.11e의 EDCF의 새로운 개념인 TXOP 값을 조정하여 채널 상태에 따라 우선순위가 낮은 AC에게도 할당함으로써 좋은 채널 상태를 유지하는 노드의 전송률을 최대한으로 활용함으로

써 전체 전송률을 향상시킴을 확인하였고, TXOP 값의 활용을 통해 경쟁을 통한 시간낭비를 줄임으로써 전체 네트워크의 전송률 향상을 보임을 구현하였다. 그리고 그 결과를 시뮬레이션으로 그 타당성을 입증하였다.

앞으로 불필요한 제어 신호들을 더 줄이고 더 많은 자원할당 알고리즘을 구현함으로써 전송률 향상은 더 좋아질 것으로 생각되며, 또한 다양한 시뮬레이션 시나리오를 통한 연구가 이루어져야 할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE Standard for 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, IEEE Std. 802.11th, 2007.
- [2] Alessandro Andreadis, Riccardo Zambon, "QoS Enhancement with Dynamic TXOP Allocation in IEEE 802.11e", IEEE Communications Society, PIMRC (IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications), 2007.
- [3] Albert Banchs, Xavier Perez-cost, and Daji Qiao, "Providing Throughput Guarantees in IEEE 802.11e Wireless LANs", In Proc, ITC-18, Berlin, Germany, Sep. 2003.
- [4] Javier del Prado Pavon, Sai Shankar N, "Impact of Frame Size, Number of Stations and Mobility on the Throughput Performance of IEEE 802.11e", IEEE Communication Society, WCNC(Wireless Communications & Networking Conference), 2004.
- [5] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," IEEE INFOCOM 2003, Vol. 2, pp. 836-843, Mar. 2003.
- [6] The Network Simulator ns-2 home page, <http://www.isi.edu/nsnam/ms>
- [7] Kevin Fall and Kannan Varadhan, The ns Manual, UC Berkeley, Nov, 2001.

### 저 자 소 개



정 수 경(정회원)

1996년 동서대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.

1998년 부경대학교 전자공학과 석사 졸업.

2010년 건국대학교 전자정보통신공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 컴퓨터네트워크, 멀티미디어, 무선 데이터통신>



김 남 일(정회원)-교신저자

1985년 건국대학교 전자공학과 학사 졸업.

1987년 명지대학교 전자공학과 석사 졸업.

2000년 건국대학교 전자공학과 공학 박사 졸업.

<주관심분야 : 컴퓨터네트워크, 센서네트워크 >