

IEEE 802.11e MAC 성능향상을 위한 PFA (Persistence Factor Adaptive) 백오프 알고리즘

유 동 관*

PFA (Persistence Factor Adaptive) Backoff Algorithm for performance improvement of IEEE 802.11e MAC

Dong Kwan Yoo *

요 약

본 논문은 IEEE 802.11 무선 LAN에서 DCF나 EDCF 방식이 사용하는 기존의 이진 지수함수 백오프 알고리즘이 네트워크의 트래픽 양이 증가할 경우 잠재적 충돌 가능성이 높아지고 트래픽별 차별화 서비스에 대한 단점이 있어 이를 보완하고자 한다. 이를 위해 일정 계수에 PF를 곱한 값을 적용시켜 성능을 개선시킨 다음에 이것의 성능을 기존의 BEB 알고리즘의 성능과 비교 분석하여 보았다. 개선된 백오프 알고리즘의 성능 분석은 채널이용률, 충돌율, Goodput 관점에서 이루어졌으며 이것을 기존의 알고리즘과 비교한 결과 일정 계수에 PF를 곱한 값을 적용시켜 성능을 개선시킨 PFA 백오프 알고리즘이 기존의 백오프 방식보다 스테이션 수 n 값이 40과 같은 큰 값일 경우 채널이용률, Goodput 성능 등이 10%이상 더 향상됨을 볼 수 있었다.

Abstract

In this paper, an improved backoff algorithm is proposed by supplementing a multiple of persistence factor for IEEE 802.11 Wireless LAN MAC. This algorithm is proposed to complement the shortcomings of the conventional BEB (Binary Exponential Backoff) algorithm which is used for retransmission to control a new contention window in DCF/EDCF MAC. In channel utilization, collision rate and Goodput viewpoint, we analysis the improved backoff algorithm and compared the result with that of the conventional algorithm. In this result, we showed that the performance for PFA backoff algorithm is 10% higher than that for the conventional BEB algorithm when the number of station is 40.

▶ Keyword : PF Adaptive, AIFS, Persistence Factor, Traffic Category

• 제1저자 : 유동관

• 투고일 : 2009. 04. 03, 심사일 : 2009. 05. 07, 게재확정일 : 2009. 05. 11.

* 동서울 대학 컴퓨터정보과 부교수

※ 이 논문은 2007년도 동서울대학 부설 산업기술연구소의 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서론

IEEE 802.11 무선 LAN은 효율성과 편리함으로 다양한 무선 사용자 환경에서 광범위하게 사용되고 있으나 무선 네트워크의 혼잡도가 높아지면 상대적인 전송효율이 저하하고 실시간 멀티미디어 트래픽의 QoS 보장 등의 문제가 있어 이를 해결하기 위한 효과적인 MAC (Medium Access Control) 프로토콜의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따른 많은 연구들 중에서 대표적인 방법으로 프레임 전송 중에 충돌이 발생한 경우 충돌을 일으킨 스테이션들의 재전송 간격을 조정해주는 백오프 알고리즘에 관한 여러 연구가 있다.[1][2]

백오프 알고리즘 (Backoff algorithm)은 백오프 스테이지, 백오프 카운터, 경쟁윈도우 등의 세 가지 매개변수를 사용하여 동작하며 IEEE802.11 무선LAN은 BEB (Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 기본으로 사용한다.

본 논문에서는 우선LAN에 비해 오버헤드가 큰 무선 LAN에서 대용량 트래픽의 전송지연을 단축시키고 효과적으로 실시간 멀티미디어 트래픽 서비스에 대한 QoS (Quality of Service)를 보장해 줄 수 있는 무선 LAN의 백오프 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존의 DCF (Distributed Coordination Function) 방식 및 EDCF (Enhanced DCF) 방식이 프레임 전송 후 전송이 성공되었을 때 새로운 경쟁윈도우 값을 단 한번의 전송 성공만으로 경쟁윈도우의 최소 값 CWmin으로 설정하므로, 잠재적 충돌 가능성을 갖고 있어 이를 보완하고자 설계되었다. 또한 프레임전송 후 전송이 실패되었을 때 기존 EDCF 방식에서 PF (Persistence Factor)를 사용하여 트래픽별 서비스 차별화 처리를 수행하는 것과 같이, 이 개념을 전송 성공시에도 적용하여 PF를 통한 트래픽별 차별화 서비스를 지원할 수 있도록 설계되었다.

본 논문의 구성은 관련 연구 분야에 대한 내용으로 2장에서 EDCF 방식에 대해 소개하고, 3장에서 본 논문에서 제안한 PFA (Persistence Factor Adaptive) 백오프 알고리즘과 성능 비교 분석을 위한 시뮬레이션 방법을 설명한다. 4장에서는 제안된 알고리즘과 기존 EDCF 방식의 성능을 비교하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 DCF는 분산 제어 방식으로 CSMA/CA를 기초로 한다. 이 DCF의 동작은 우선 채

널이 유휴 상태에서 DIFS 기간 이상 경과하면 스테이션이 프레임 전송 가능 상태가 되고, 그렇지 않은 경우 백 오프 프로시저를 수행한다. DCF에서는 BEB를 기본 백오프 방식으로 사용하는데 이것은 프레임 전송 후 전송이 실패하면 새로운 경쟁윈도우의 크기를 기존 값의 2배로하고 전송이 성공한 경우는 최소 경쟁윈도우의 값인 CWmin으로 설정하여 동작한다. DCF는 단일 전송 큐 (Queue)를 사용함으로써 모든 종류의 트래픽이 동일한 전송 큐에서 동작되므로 동일한 우선순위로만 서비스되는 구조적 제약을 갖는다. 이로 인해 DCF는 다양한 멀티미디어 트래픽에 대한 QoS 지원이나 시간제한 트래픽 (Time Bounded Traffic)과 같은 서비스를 만족시키는 데는 어려움이 있다.[3][4][5]

IEEE 802.11e에서 드래프트된 EDCF는 이러한 DCF의 문제점을 해결하고자 우선망의 차별화 서비스와 유사한 개념을 사용한다. EDCF는 DCF에서 확장한 방식으로 기본 동작은 DCF와 유사하지만, 사용자 우선순위 (User Priority)별로 큐를 두고 트래픽을 분류하여 서비스한다는 차이가 있다. 이러한 EDCF는 DCF 메커니즘에서 IFS와 CW의 작은 값이 채널 액세스에서 보다 높은 우선순위를 제공한다는 점을 기본 개념으로 사용하며 다음 그림1에 EDCF에서의 IFS와 CW를 보여준다. EDCF는 DCF처럼 모든 트래픽에 단일 DIFS 값과 CWmin, CWmax 값을 사용하는 것이 아닌, 트래픽 별로 설정된 각각의 우선순위와 AC 파라미터로 동작한다. 각각의 AC는 고유의 AIFS (Arbitrary Inter Frame Space) 값과 각 AC별로 차별화된 CWmin과 CWmax 값을 가진다. 여기서 각 AC별 AIFS 값은 다음 식 (1)과 같다.[6][7][8]

$$AIFS(AC) = AIFSN(AC) * aSlotTime + SIFS \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 사용된 AIFSN(AC)는 0보다 큰 정수 값으로 AC별로 AIFS의 크기에 차이를 두어 채널 접근시 우선순위를 부여하기 위함이다.

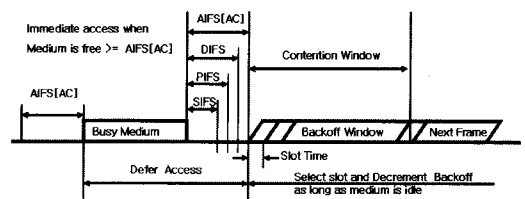


그림 1. EDCF의 IFS와 CW
Fig. 1 IFS and CW of EDCF

이와 같이 트래픽별 차별화 서비스를 위한 사용자 우선순위에 따라 해당 AC 파라미터로 동작하는 EDCF의 다중 큐 (Multiple Queue) 기반 백 오프 구조를 그림 2에 보여준다.

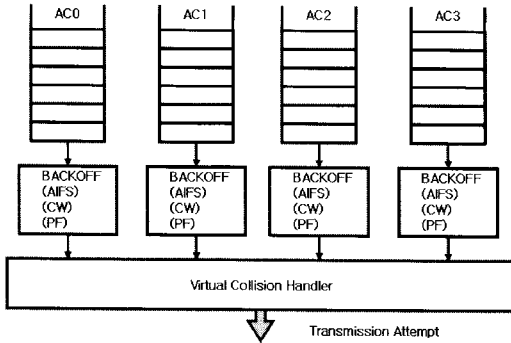


그림 2. EDCF의 다중 큐 기반 백오프 구조
Fig. 2 Multiple queue based Backoff of EDCF

그림과 같은 구조의 IEEE 802.11e EDCF에서 프레임 전송 결과에 따른 백오프 처리 과정을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 EDCF에서 프레임 전송이 실패한 경우는 DCF에서와 같이 새로운 CW 값을 단순히 기존 값의 두 배로 하는 것이 아닌, 각 AC별로 다르게 설정되어 있는 PF 값을 이용하여 식 (2)와 같이 새로운 CW값을 계산한다.

$$CW_{new}[TC] = CW_{old}[TC] * PF[TC] \dots\dots\dots (2)$$

여기서 식 (2)의 TC는 트래픽 카테고리 (Traffic Category)로 AC와 유사한 의미로 트래픽별 경쟁 윈도우란 것을 강조하기 위해 사용되었다.

식 (2)에서 새로 계산된 CW 값은 트래픽 종류 및 사용자 우선순위에 의한 TC별로 다른 값을 갖게 되며, CW값이 작은 트래픽이 높은 우선순위를 가지게 된다. 이와 같이 EDCF는 DCF와 달리 트래픽에 따라 다른 CWnew 값을 갖고 채널을 접근함으로써 차별화 서비스를 가능하게 한다.

다음은 EDCF에서 프레임 전송이 성공한 경우로 DCF는 새로운 CW값이 항상 동일한 CWmin이 되지만, EDCF는 각각의 AC별로 다른 CWmin 값으로 설정되어 트래픽별로 다른 백오프 과정이 수행되도록 한다. 이와 같은 EDCF는 단일 전송 큐만을 사용하는 기존의 DCF와 달리 8개의 사용자 우선순위와 4 개의 AC (Access Category)를 두어, DCF에 비해 실시간 트래픽 및 멀티미디어 트래픽을 효과적으로 서비스하며 QoS 보장을 지원한다.[9][10]

III. PFA 백오프 알고리즘

이 장에서는 유선 LAN에 비해 오버헤드가 큰 무선 LAN에서 대용량 트래픽의 전송 효율을 높이고 효과적으로 실시간 멀티미디어 트래픽 서비스에 대한 QoS를 보장해주는 백오프 알고리즘을 제안한다.

제안된 PFA 백오프 알고리즘은 기존의 DCF 또는 EDCF 방식이 프레임 전송 후 단 한번의 전송 성공만으로 경쟁 윈도우를 최소값 CWmin으로 설정하므로 잠재적 충돌 가능성을 높이는 데 이에 따른 성능저하를 보완하고, 여러 종류의 트래픽에 대한 효과적인 차별화 서비스 처리를 위해 설계되었다.

PFA 백오프 알고리즘의 기본 개념은 다음과 같다. 기존의 BEB 알고리즘을 사용하는 대표적인 방식인 DCF나 EDCF 방식은 프레임전송 후 전송성공시 각각 새로운 CWnew 값을 최소값인 CWmin 과 해당 AC별로 설정된 최소값인 CWmin[AC]으로 설정하지만, PFA 알고리즘은 새로운 경쟁 윈도우 CWnew 값을 기존의 경쟁 윈도우에 일정 계수 K 값의 PF의 곱을 적용해서 설정한다. 여기서 일정 계수 K값이란 미리 정의된 PF 값에 따라 선택되는 적당한 값을 의미하며 PF는 앞에서 설명한 EDCF 방식에서 프레임 전송 후 전송이 실패되었을 때 트래픽별 서비스 차별화 처리를 수행하기 위해 사용된 파라미터이다. PFA 알고리즘에서 프레임전송 실패시의 동작은 EDCF방식과 마찬가지로 종전의 경쟁윈도우 CW 값에 PF를 곱해 증가시키는 처리를 한다.

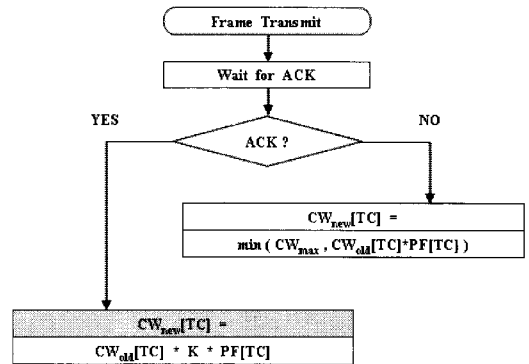


그림 3. PFA 백오프 알고리즘의 흐름도
Fig. 3 Flow Chart of PFA Backoff Algorithm

그림 3은 PFA 알고리즘에서 새로운 경쟁윈도우 CWnew를 구하는 흐름도이다. 그림의 아래쪽 부분의 음영이 칠해진 상자 안의 CWnew[TC]가 PFA 알고리즘의 주요 개념으로

경쟁 윈도우를 구하는 수식이다. 여기서 TC는 우선순위에 따른 트래픽별 차별화 서비스를 위한 PF를 사용함을 나타낸다.

그림의 CWnew(TC)에 대한 수식에서 K는 일정 계수 K 값으로 미리 트래픽 종류에 따라 정의된 PF 값에 맞추어 선택된 값이고 PF는 트래픽별 서비스 차별화 처리를 수행하기 위해 사용되는 파라미터이다.

다음은 제안한 PFA 백오프 알고리즘과 기존의 EDCF 방식의 성능 비교를 위해서 시뮬레이션 방법에 대해 살펴본다. 본 논문에서 제안한 PFA 백오프 알고리즘은 일정 계수 K 값을 0.14, 0.18, 0.19의 3개 경우로 나누어 적용한다. 이것은 트래픽 종류별로 미리 정의된 PF 값이 오디오(audio) 트래픽인 경우는 제일 높은 우선순위를 가지며 2로, 비디오(Video) 트래픽인 경우는 다음 우선순위를 가지며 4로, 그리고 마지막으로 백그라운드(Background) 트래픽인 경우는 제일 낮은 우선순위를 가지며 5로 된 것에 따라 결정되었다. 이러한 결정은 트래픽 종류가 오디오 트래픽인 경우 PF가 5로, 이때 일정 계수 K 값이 0.2이상이면 이들의 곱은 1 이상이 되어서 프레임전송 성공 후 새로운 경쟁 윈도우 크기가 줄기는커녕 오히려 늘어나는 모습이 되므로 0.2미만의 값에서 선택된 것이다. 이와 같은 값을 통해서 프레임 전송 성공 후 새로운 경쟁 윈도우의 크기를 단계적 감소시키는 방법과 PF 값을 적용하는 방법을 사용해 전송효율을 향상하고 트래픽별 차별화 처리를 개선시킨다.

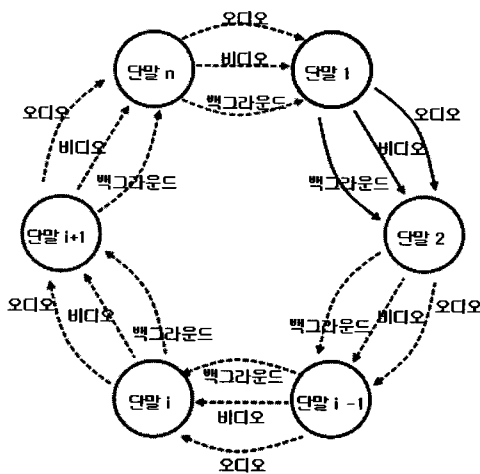


그림 4. 시뮬레이션 토폴로지
Fig. 4 Simulation Topology

시뮬레이션은 Linux OS를 기반으로 NS-2 (Network Simulator-2) 툴을 이용하여 수행된다. 시뮬레이션에서 사용

하는 토폴로지 (Topology)는 그림4와 같이 n개의 스테이션에서 우선순위가 높음, 중간, 낮음으로 구분되는 3가지 종류의 트래픽 Audio, video, background를 이전 스테이션으로부터 다음 스테이션에 반복적으로 전송하는 형태로 구성된다.

그림에서 보여진 바와 같이 각 스테이션은 무선 링크를 형성하며 자신의 다음 스테이션에게 데이터 프레임 전송하는데 여기서 점선으로 표시된 화살표는 여러 개의 스테이션이 동일한 방법으로 추가되어 있음을 뜻한다. 여기서 각 스테이션은 동일한 MAC/PHY 규격을 사용하며 모든 스테이션은 같은 BSS (Basic Service Set) 안에 있고 이동성은 없다고 가정한다.

표 1은 시뮬레이션을 위한 무선 LAN 스테이션의 IEEE 802.11a PHY/MAC 파라미터에 관한 것이다. IEEE 802.11a의 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) PHY는 6Mbps에서 54Mbps에 이르는 데이터 레이트(Data Rate)를 구현하기 위해 다양한 변조 방식을 혼합하여 사용하고 48 서브채널에 초당 250000 심볼 레이트를 지원하며 64-QAM 변조와 3/4 코딩 레이트(Coding Rate)를 이용한다.

표 2는 각 무선 LAN 스테이션 안에 준비된 3개의 TC들이 사용하는 네트워크 파라미터이다. 각 스테이션에는 3개의 큐가 존재하며 가장 높은 우선순위의 트래픽 큐에는 G.711 코덱 수준의 64Kbit/sec, 패킷 크기 160byte, 패킷 간격 20ms의 오디오 트래픽이 준비되어 있다. 다음의 중간 순위 트래픽 큐에는 1Mbit/sec, 패킷 크기 1280byte, 패킷 간격 10ms의 비디오 트래픽이 준비되어 있으며 마지막으로 가장 낮은 순위의 트래픽 큐에는 128Kbit/sec, 패킷 크기 200byte, 패킷 간격 12.5ms의 백그라운드 트래픽이 준비되어 있다.

표 1. IEEE 802.11a PHY/MAC 파라미터
Table. 1 IEEE 802.11a PHY/MAC Parameter

파라미터	단위
슬롯타임	9 uS
SIFS	16 uS
DIFS	34 uS
ACK 길이	14 Bytes
CCA 시간	3 uS
MAC 헤더 길이	28 byte
전송률	54 Mbit/sec
변조 방식	64-QAM
Preamble 길이	20 uS
RxTxTurnaround 시간	1 uS
PLCP 헤더 길이	4 uS
MAC 프레임 최대 길이	4095 Bytes

표 2. 트래픽별 MAC 파라미터
Table. 2 MAC Parameter for Traffic Category

파라미터	오디오	비디오	백그라운드
우선순위	높음	중간	낮음
CWmin	7	15	31
CWmax	200	500	1023
AIFS(s)	34	43	52
PF	2	4	5
Packet 길이 (bytes)	160	1208	200
Packet interval (ms)	20	10	12.5
전송률 (kbit/sec)	64	1024	128

시뮬레이션 진행은 앞에서 주어진 조건과 파라미터를 사용하고 소규모 네트워크 크기에서 부하를 증가시키기 위해서 단말 수를 5에서 40까지 늘려가며 수행하였다.

시뮬레이션 결과는 무선 네트워크 상의 스테이션 수에 대한 채널 이용률 (Channel Utilization), 충돌율 (Collision Rate), Goodput의 그래프를 통해 나타낸다. 여기서 채널 이용률은 프레임 전송을 위한 전체 시간에 대한 데이터 프레임만 전송되는 시간의 비율이고, 충돌율은 초당 발생한 충돌의 평균 개수, Goodput은 초당 전송에 성공한 프레임 개수를 의미하는 것으로 이를 통해 성능을 비교 분석한다.

IV. 비교 및 분석

본 장에서는 앞에서 설명한 시뮬레이션 환경과 조건에 따라 일정 계수 K값이 0.14, 0.18, 0.19인 3가지 경우에 대한 본 논문에서 제안한 PFA 알고리즘과 기존 EDCF방식의 성능을 비교 분석한다. 여기서 K값은 PF 값이 트래픽에 따라 오디오, 비디오, 백그라운드 트래픽인 경우 각각 2, 4, 5의 값으로 정의되어 있으므로 이들 중 가장 큰 값 5를 기준으로 한다. PF값 5를 기준으로 할 때 $K*PF(TC)$ 가 1이면 새로운 경쟁윈도우의 크기가 종전 값과 같은 값이 되므로 $K*PF(TC)$ 값이 1보다 작은 몇 개의 샘플 0.7, 0.9, 0.95를 선택한다. 이러한 샘플 값은 새로운 경쟁윈도우 크기를 종전 값의 0.5이하로 급격히 줄이지 않는다는 개념을 사용한 것으로 이에 대한 K값이 0.14, 0.18, 0.19이다. 성능비교의 결과는 스테이션 수 n 값이 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40일 때 채널이용

률, 충돌율, Goodput의 그래프를 통해 나타낸다.

그래프 상에서 기존방식은 EDCF라는 표기를 사용하고 본 논문에서 제안한 PFA 백오프 알고리즘은 일정 계수 K값이 $K=0.14$, $K=0.18$, $K=0.19$ 일 때 각각의 표기를 PFA(0.14), PFA(0.18), PFA(0.19)를 사용하여 나타내도록 한다.

그림5는 기존 EDCF 방식과 본 논문에서 제안한 3개의 일정 계수 K 값에 대한 PFA 백오프 알고리즘의 채널 이용률 성능 비교 그래프이다.

그림에서 알 수 있듯이 스테이션 수 n 값의 증가 시 $n=10$ 까지는 본 논문에서 제안된 PFA 알고리즘과 기존의 EDCF 방식이 큰 차이가 없으나 $n=15$ 부터는 PFA 알고리즘의 채널 이용률이 두드러지게 향상됨을 보인다. PFA 알고리즘들 간에는 모든 구간에서 PFA(0.19)가 가장 좋은 성능을 나타내며 그 다음으로 PFA(0.18) 그리고 PFA(0.14)가 제일 성능이 떨어짐을 보인다.

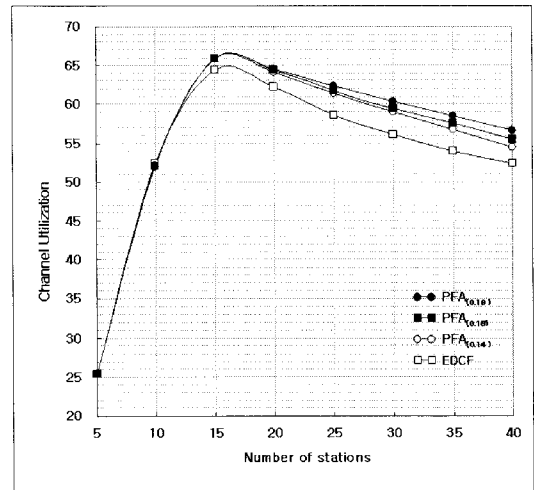


그림 5. EDCF와 PFA의 채널이용률 비교
Fig. 5 EDCF vs. PFA in Channel Utilization

그림6은 기존 EDCF 방식과 본 논문에서 제안한 3개의 일정 계수 K 값에 대한 PFA 백오프 알고리즘의 충돌율 성능 비교 그래프이다. 그림에서 EDCF 방식보다 PFA 백오프 알고리즘의 충돌율이 상당히 감소함을 볼 수 있으며 PFA 알고리즘들 간에는 PFA(0.19) 알고리즘이 가장 우수하고 그 다음으로 PFA(0.18), PFA(0.14)의 순서대로 좋은 성능을 나타낸다. 이와 같은 충돌율 감소가 앞의 그림5의 채널 이용률에서의 성능개선과 연관이 있음을 알 수 있다.

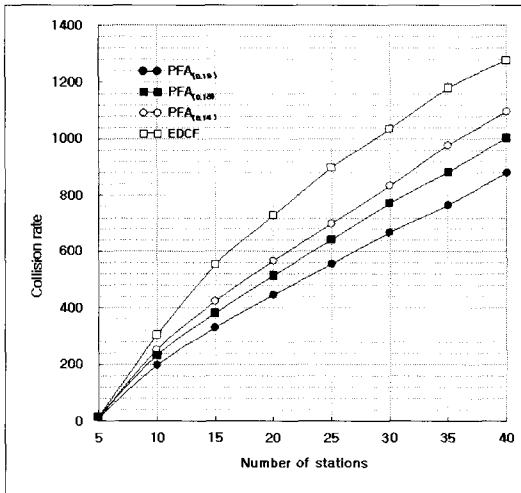


그림 6. EDCF와 PFA의 충돌율 비교
Fig. 6 EDCF vs. PFA in Collision Rate

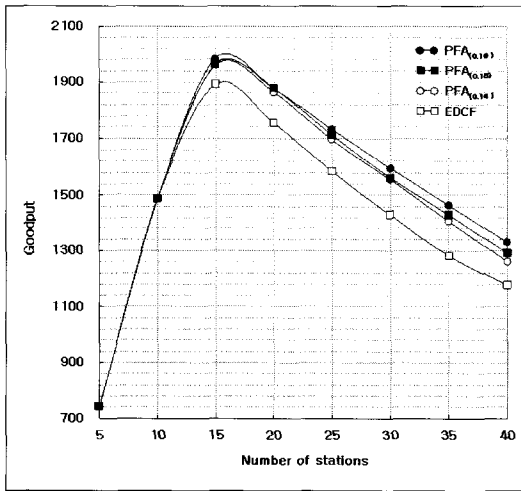


그림 7. EDCF와 PFA의 Goodput 비교
Fig. 7 EDCF vs. PFA in Goodput

그림7은 기존 EDCF 방식과 본 논문에서 제안한 3개의 일정 계수 K 값에 대한 PFA 백오프 알고리즘의 Goodput 성능 비교 그래프이다.

그림에서 PFA 백오프 알고리즘의 3가지 경우 모두가 EDCF 방식보다 더 좋은 goodput 성능을 보여주는데, 이것은 앞의 그림 5의 채널 이용률과 그림 6의 충돌율 그래프에서와 같이 일정 계수 K 값이 큰 순서인 PFA(0.19), PFA(0.18), PFA(0.14) 순으로 좋은 성능을 보인다. 이러

한 PFA 알고리즘의 전체적인 성능향상은 스테이션 수 n 값이 작은 경우보다 큰 경우에 더 두드러지게 나타나며, 상대적인 성능 향상에 대한 폭도 스테이션 수가 증가할수록 더욱 커짐을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 LAN의 성능향상을 위한 여러 방법 중에 백오프 알고리즘에 대해 연구하였다. 기존 BEB 알고리즘이 네트워크에서 트래픽 양이 증가할 경우에 잠재적 충돌 가능성이 높아지고 트래픽별 차별화 서비스에 대한 단점이 있어서 이를 보완하고자 PFA 백오프 알고리즘을 제안하고 이를 기존 EDCF 방식과 비교 분석한다.

본 연구에서 제안한 PFA 알고리즘은 프레임 전송 후 전송이 성공하였을 경우 새로운 경쟁윈도우 CWnew 값을 기존 CW 값에 일정 계수 K 값의 PF의 곱을 적용해서 설정한다. 이때 사용되는 일정 계수 K 값의 PF의 곱에 의해서 새로운 경쟁윈도우 CWnew 는 급격한 크기 변화 및 트래픽별 차별화 처리를 보완해서 성능을 개선시킨다.

제안된 알고리즘의 성능비교 결과는 스테이션 수 n 값의 변화에 대한 채널이용률, 충돌율, Goodput의 그래프를 통해 나타낸다. 채널 이용률 그래프와 Goodput 그래프에서 스테이션 수 n 값이 n=15부터는 제안된 알고리즘의 성능이 두드러지게 향상됨을 알 수 있으며 충돌율 그래프에서는 모든 구간에서 PFA 알고리즘의 충돌율이 감소함을 볼 수 있다. 특히 스테이션 수가 40일 경우는 10% 이상의 성능향상을 보이는 등 네트워크 부하가 클수록 제안된 알고리즘이 장점을 나타낸다.

본 논문에서 제안한 PFA 알고리즘들간에는 채널이용률과 충돌율 그리고 Goodput 성능 모두 일정 계수 K 값이 큰 순서인 PFA(0.19), PFA(0.18), PFA(0.14) 순으로 좋은 성능을 보인다. 이러한 PFA 알고리즘의 전체적인 성능향상은 스테이션 수 n 값이 작은 경우보다 큰 경우에 더욱 두드러지게 나타낸다.

참고문헌

- [1] Y. Xiao, "Performance analysis of priority schemes for IEEE 802.11 and IEEE 802.11e wireless LANs," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 4, no. 4, pp. 1506-1515, July 2005.
- [2] Z. Chen, and A. Khokhar, "Improved MAC protocol for DCF and PCF modes over fading channels in wireless LANs," *IEEE Wireless Communications and Networking*, vol. 2, pp. 1297-1302, Mar. 2003.
- [3] C. Wang, B. Li, and L. Li, "A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF," *IEEE Trans. Veh. Techno.*, vol. 53, no. 4, pp. 1235-1243, July 2004.
- [4] Nitin Gupta and P. R. Kumar, "A Performance Analysis of the 802.11 Wireless LAN Medium Access Control," *Communications in Information and Systems*, vol.3, no.4, pp. 279-304, Sept. 2004.
- [5] Giuseppe Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [6] L. Xu, X. Shen, and W. Jon, "Dynamic Bandwidth Allocation with Fair Scheduling for WCDMA system," *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, pp. 26-32, Apr. 2002.
- [7] M. Y. Chung, M. S. Kim, T. J. Lee, "Performance evaluation of an enhanced GDCF for IEEE 802.11," *IEICE Trans. Commu.*, vol. E88-B, no. 10, pp. 4125- 4128, Oct. 2005.
- [8] 최창원, "패킷 손실을 갖는 유한 로드 802.11 무선 랜의 모델링과 성능 분석," 제 10권, 제 4호, 249-257쪽, 2005년 9월.
- [9] Lamia Romdhani, Qiang Ni, Thierry Turletti, "Adaptive edcf: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc network," *WCNC 2003*, vol. 2, pp. 1373-1378, Mar. 2003.
- [10] 남재현, "다중 무선 에드혹 네트워크에서 불공정 문제를 해결하기 위한 802.11 MAC 프로토콜," 제 12권, 제 6권, 229-234쪽, 2007년 12월.

저자 소개



유 동 관

1987년 인하대학교 전자과 공학사
 1989년 인하대학교 전자과 공학석사
 1989~1998 LG정보통신 중앙연구소
 선임연구원
 1998~현재 동서대학교 컴퓨터정보과
 부교수