

Throughput 향상과 Fairness 보장을 위한

EDCF 기반의 MAC 알고리즘 연구

김문^{*} · 예휘진^{*} · 노재성^{**} · 조성준^{*}

^{*}한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

^{**}서일대학 정보통신전공

The Study of MAC Algorithm Based on EDCF

to Increase Throughput and Provide Fairness

Moon Kim^{*} · Hwi-jin Ye^{*} · Jae-sung Roh^{**} · Sung-joon Cho^{*}

^{*}Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation University

^{**}Dept. of Information & Communication, Seoil College

E-mail : {moonkim, haua97}@hau.ac.kr · jsroh@seoil.ac.kr · sjcho@hau.ac.kr

요 약

본 논문에서는 Wireless Local Area Network (WLAN)에서 트래픽의 특성 및 네트워크 상태에 따른 Quality of Service (QoS)를 제공하기 위해 제안된 Medium Access Control (MAC) 알고리즘을 분석한다. 제안한 알고리즘은 네트워크 상태를 나타내는 ACK Ratio (AR)를 사용하여 Backoff 알고리즘에 적용할 뿐 아니라, Inter Frame Space (IFS)를 적응적으로 변화시킴으로써 매체 이용률을 높여주어, Throughput을 향상시키고 최소한의 Fairness를 제공한다. 또한, Network Simulator-2 (NS-2)를 사용하여 기존의 MAC 알고리즘과 제안하는 MAC 알고리즘의 성능을 분석한다.

ABSTRACT

This paper describes MAC schemes for QoS enhancement taking into account the traffic characteristics and network states over IEEE 802.11 wireless networks. Our approach uses AR as a Backoff parameter and to slide IFS adaptively for increasing the medium utilization ratio and throughput, and providing fairness. In addition, we evaluate through simulations using NS-2 the performance of proposed MAC scheme and compare it with other MAC schemes.

키워드

MAC, QoS, Fairness, EDCF, NADCF

1. 서 론

최근 전 세계적으로 WLAN 서비스들이 보편화되면서 IEEE 802.11 관련 WLAN 기술들에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다. 특히 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가하고 그에 따른 QoS의 제공이 필요해지면서, MAC 알고리즘에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 WLAN의 MAC 관련 표준인 IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF)은 각 트래픽별 Fairness는 보장하지만 QoS를 제공하지 않는다 [1][4]. 그리고 이러한 QoS의 보장을 위해 현재 표준화

가 진행 중인 IEEE 802.11e Enhanced DCF (EDCF)는 네트워크 상태의 고려가 부족하여, 매체 이용률이 낮고 충돌 발생률이 높으며 결과적으로 매체접근을 효율적으로 제어하지 못한다 [2][4][5][6]. 따라서 네트워크 상태를 충분히 고려한 MAC 알고리즘의 연구가 필요하게 되었고, 현재 Collision Rate (CR)을 사용하여 네트워크 상태를 Backoff 알고리즘에 적용한 Adaptive EDCF (AEDCF)등이 제안되고 있다. 이런 AEDCF의 Backoff 알고리즘에서는 데이터의 전송이 성공하였을 때 CR을 사용하여 Contention Window (CW)값을 적응적으로 변화시켜줌으로써 높은 우선순위 데이터의 Throughput을 증가시키지만 낮은 우선순위 데이터의

Throughput은 크게 감소하여 최소한의 Fairness를 보장하지 못하는 문제점이 있다 [5][7].

따라서 본 논문에서는 네트워크 상태를 나타내는 AR을 사용하여 Backoff 알고리즘에 적용할 뿐 아니라 IFS를 적용적으로 변화시킴으로써, Throughput의 향상과 최소한의 Fairness를 보장하는 MAC 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 DCF, EDCF, AEDCF 및 본 논문에서 제안하는 Network Adaptive DCF (NADCF)의 MAC 알고리즘을 설명한다. 그리고 III장에서는 NS-2를 사용한 시뮬레이션을 통하여 NADCF의 MAC 알고리즘과 다른 MAC 알고리즘들의 성능을 분석하고, 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 매체접근제어 알고리즘

2.1 IEEE 802.11 DCF

IEEE 802.11에서 제안하는 핵심 MAC 프로토콜은 랜덤 Backoff 알고리즘을 사용한 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) 기법을 근간으로 하는 DCF이다 [1].

DCF의 동작과정은 그림 1과 같고, 데이터 전송 결과에 따라 성공적인 데이터 전송 후에는 CW값을 CW_{min}으로 리셋하고, 데이터 전송이 실패하면 CW값을 2배로 증가시킨다.

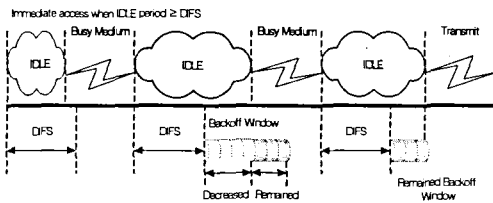


그림 1. IEEE 802.11 DCF의 동작 과정

2.2 IEEE 802.11e EDCF

IEEE 802.11e에서 제안하는 MAC 프로토콜인 EDCF는 8개의 서로 다른 Priority(0~7)를 이용하여 차별화된 매체접근을 지원한다 [2][4][5][6]. 이때 8개의 Priority는 4개의 AC로 mapping 되는데, 이를 표 1에 나타내고 이러한 MAC 알고리즘을 사용하는 EDCF의 동작 과정을 그림 2에 나타낸다.

데이터 전송 결과에 따른 CW값의 처리는 다음과 같다.

-성공적인 데이터 전송 후에는 DCF와 마찬가지로 CW값을 CW_{min}으로 리셋 하는데, 이때 각각의 AC는 Priority에 따라 서로 다른 CW_{min} 값을 가지므로 AC마다 틀린 CW값이 설정된다.

-데이터 전송이 실패하면 각 AC별로 식 (1)과 같이 CW값을 설정하게 된다.

$$CW_{\text{min},i}[AC] = \min\{CW_{\text{min},i}[AC], (CW_{\text{old},i}[AC] + 1) \times 2 - 1\} \quad (1)$$

표 1. Priority와 AC의 mapping.

Priority		AC	Designation
낮음 ↕	1	0	Background
	2		
	0		
	3		
높음	4	1	Best Effort
	5		
	6	2	Video
	7		
		3	Voice

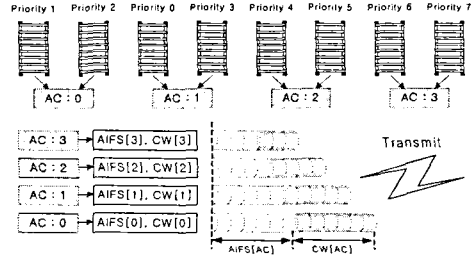


그림 2. IEEE 802.11e EDCF의 동작 과정

2.3 AEDCF

AEDCF는 EDCF에 네트워크 상태를 적용하여 보다 적용적으로 확장한 MAC 알고리즘이다. 이 알고리즘은 네트워크 상태를 나타내는 CR값을 Backoff 알고리즘에 이용하여, 연쇄적인 충돌의 방지 및 QoS의 성능 향상을 위해 제안되었다 [5][6]. 이러한 AEDCF의 Backoff 알고리즘은 다음과 같다.

-데이터 전송이 성공하면 우선 식 (2)와 같이 일정 구간 동안의 CR값 (f_{curr}^j)을 계산한다. 이 값은 식 (2)에 나타낸 것처럼 일정 구간 동안의 충돌 발생 횟수 ($E(\text{collisions}_j[p])$)와 전송된 전체 패킷의 수 ($E(\text{data_sent}_j[p])$)를 이용하여 구할 수 있다.

$$f_{curr}^j = \frac{E(\text{collisions}_j[p])}{E(\text{data_sent}_j[p])} \quad (2)$$

여기서 j 는 특정 구간을, p 는 특정 STA를 나타낸다. 이러한 방식으로 구해진 CR값은 항상 0과 1사이의 값을 가진다. 이 값을 이용하여 평균 CR값을 식 (3)과 같이 구한다. 여기서 가중치로 사용되는 α 값은 [5]에서 0.8로 사용되었다.

$$f_{avg}^j = (1 - \alpha) \times f_{curr}^j + \alpha \times f_{curr}^{j-1} \quad (3)$$

그리고 Priority에 따른 QoS 제공을 위해 각 AC별로 Multiplier Factor ($MF[AC]$)라는 차별화된 계수를 식 (4)와 같이 구한다. 마지막으로, $MF[AC]$ 값을 사용하여 식 (5)와 같이 CW값을 설정한다.

$$MF[AC] = \min\{(1 + (AC \times 2)) \times f_{avg}^j, 0.8\} \quad (4)$$

$$CW_{\text{min},i}[AC] = \max\{CW_{\text{min},i}[AC], CW_{\text{old},i}[AC] \times MF[AC]\} \quad (5)$$

-데이터 전송이 실패하면 각 AC별로 다른 Persistent Factor (PF[AC])값을 사용하여 식 (6)과 같이 CW값을 설정함으로써, 추가적인 충돌 발생의 확률과 불필요한 Backoff 딜레이를 감소시킨다.

$$CW_{min}[AC] = \min\{CW_{max}[AC], CW_{old}[AC] \times PF[AC]\} \quad (6)$$

2.4 NADCF

본 논문에서 제안하는 MAC 알고리즘인 NADCF는 AR을 사용하여, 네트워크 상태에 따라 차별화된 Backoff 알고리즘을 적용하고, AIFS의 크기를 주기적으로 변화시켜준다. 이러한 2중의 알고리즘을 통해 네트워크 상태에 따라 매체접근을 더욱 민감하고 세밀하게 제어함으로써, 매체이용률을 향상시키고 충돌률을 감소시킬 수 있다. NADCF의 동작과정은 다음과 같다.

-평균 AR 측정: 일정구간 동안의 AR값 (AR'_{avg})을 계산한다. 이 값은 식 (7)과 같이 STA이 i 구간 동안 전송한 전체 패킷의 수 ($E(data_sent_i)$)와 수신한 전체 ACK의 수 ($E(ack_recv_i)$)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 i 구간은 이전에 최종적으로 AR을 측정할 순간부터 현재까지의 구간을 의미한다.

$$AR_{curr} = \frac{E(ack_recv_i)}{E(data_sent_i)} \quad (7)$$

이 값을 식 (3)과 같은 방식으로 계산하여 평균 AR값 (AR'_{avg})을 구한다.

-네트워크 상태 판별: 위에서 구한 평균 AR값을 사용하여 BUSY, HIGH, LOW, IDLE의 4가지 네트워크 상태를 판별한다. 그리고 각각의 네트워크 상태에 따라 0~3의 정수 값을 Network State Factor (Net_State)로 할당하여 Backoff 알고리즘에서 사용한다. 이러한 네트워크 상태 판별 방식을 표 2에 나타낸다.

표 2. 네트워크 상태 판별.

AR'_{avg}	네트워크 상태	Net_State
$AR'_{avg} < 0.80$	BUSY	3
$0.80 < AR'_{avg} < 0.87$	HIGH	2
$0.87 < AR'_{avg} < 0.92$	LOW	1
$0.92 < AR'_{avg}$	IDLE	0

-AIFS 제어: 네트워크 상태에 따라 AIFS를 증감시킨다. 네트워크 상태가 BUSY인 경우, 매체 이용률 및 충돌이 발생할 확률이나 패킷이 Drop될 확률이 상대적으로 높기 때문에, 매체 이용을 제한하여 네트워크 상태를 완화시켜주어야 한다. 따라서 최 상위 Priority인 AC 3을 제외한 모든 AC의 AIFS를 최대 AIFS_limit까지 1씩 증가시킴으로써 매체 이용을 지연시켜 네트워크 상태를 완화시킨다. 그 밖의 네트워크 상태에 따른 AIFS 제어 방식을 아래의 표 3에 나타낸다.

표 3. 네트워크 상태에 따른 AIFS 제어.

AC	AIFS	네트워크 상태			
		BUSY	HIGH	LOW	IDLE
0	증감	증가	증가	감소	감소
	limit	10	9	7	5
1	증감	증가	증가	감소	감소
	limit	6	5	3	2
2	증감	증가	감소	감소	감소
	limit	4	2	2	2
3	증감	없음	없음	없음	증가
	limit	2	2	2	4

*limit : AIFS_limit

-데이터 전송이 성공하면 우선 AR과 Net_State 를 측정하여 식 (8)과 같이 Network Factor (NF)를 계산한다.

$$NF[AC] = \min\{1 + (AC \times Net_State) \times (1 - AR'_{avg}), \frac{Net_State + 6}{10}\} \quad (8)$$

여기서 Net_State 와 $1 - AR'_{avg}$ 는 가중치로 작용하여 네트워크 상태가 IDLE할수록 Priority에 따른 NF값의 크기와 편차를 줄여준다.

마지막으로, $NF[AC]$ 를 사용하여 식 (9)와 같이 CW를 새로 설정한다.

$$CW_{new}[AC] = \max\{CW_{min}[AC], CW_{old}[AC] \times NF[AC]\} \quad (9)$$

-데이터 전송이 실패하면 식 (10)과 같이 AR과 Net_State 를 사용하여 CW값을 증가시킨다. 여기서 $2 - AR'_{avg}$ 을 가중치로 사용하여, 네트워크가 IDLE할수록 CW의 증가량이 줄어든다.

$$CW_{new}[AC] = \min\{CW_{max}[AC], (CW_{old}[AC] + Net_State) \times (2 - AR'_{avg}) - Net_State\} \quad (10)$$

III. 시뮬레이션

본 절에서는 NS-2를 사용하여 II장에서 설명한 MAC 알고리즘들의 성능을 비교하고 분석한다. 시뮬레이션에서는 그림 3과 같이 네트워크를 구성하여, 트래픽 부하에 따른 각 AC별 Throughput과 Total Throughput 및 충돌 발생률을 측정하였다.

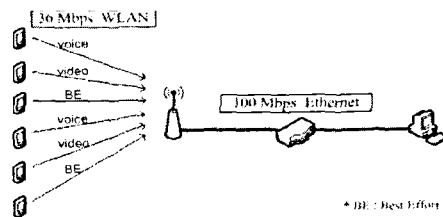


그림 3. 시뮬레이션 구성

DCF 시뮬레이션을 위해 NS-2 release 2.26에 구현되어 있는 DCF 코드를 사용하였고, EDCF 시뮬레이션은 Telecommunication Network Group에서 구현한 EDCF 모듈을 사용하여 수행하였다[8][9]. 그리고 AEDCF는 [10]에서 제공하는 모듈을 참조하여 구현하였다.

시뮬레이션에 사용된 모든 STA은 표 4와 같이 IEEE 802.11a PHY mode-6 스펙으로 동작한다 [3]. 그리고 본 논문에서는 트래픽의 Priority에 따라 3개의 AC를 사용하였는데, 각 AC에서 사용하는 MAC 스펙을 표 5에 나타낸다.

표 4. IEEE 802.11a PHY/MAC Parameters.

Parameters	Value
Slot Time	9 us
SIFS	16 us
DIFS	34 us
Data Rate	36 Mbps
Modulation	16-QAM

표 5. 3개의 AC에 사용되는 MAC Parameters.

Parameters	High	Medium	Low
AIFSN	2	3	4
AIFS (us)	34	43	52
CWmin	7	15	31
CWmax	31	63	1023
Packet Size (bytes)	160	1280	200

그림 4~6은 네트워크에 부하된 트래픽 양에 따른 각 AC별 Throughput의 변화를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 트래픽 부하가 3000Kbps 미만인 경우에는 네트워크가 모든 트래픽을 수용할 수 있어서, MAC 알고리즘에 따른 Throughput의 차이가 거의 없다. 그리고 DCF는 QoS를 제공하지 않지만 높은 트래픽 부하에서도 Fairness를 보장함을 확인할 수 있다.

High Priority 트래픽의 경우, DCF에 비해 다른 3개의 MAC 알고리즘이 월등히 높은 Throughput을 보였고, 특히 트래픽 부하가 커질수록 NADCF가 가장 좋은 Throughput 성능을 보였다. Medium Priority의 경우, 8000Kbps 미만의 트래픽 부하에서는 NADCF가 EDCF와 AEDCF에 비해 최대 18.13% 향상된 Throughput을 보였다. 그러나 트래픽 부하가 1Mbps 이상으로 높아지면서 NADCF의 Throughput이 급격히 감소하였는데, 이것은 네트워크 상태가 악화되었을 때 High Priority AC를 제외한 다른 AC들의 AIFS를 증가시켜 네트워크 상태를 완화시키는 NADCF의 특성에 의한 것이다. Low Priority에서는, QoS를 제공하기 위해 DCF를 제외한 다른 MAC 알고리즘들의 Throughput이 크게 감소하였다. 이때, 각 Throughput을 트래픽 부하량에 따른 Desired Throughput과 비교해보면 AEDCF는 0.47~3.6%의 Throughput을 제공하지만 NADCF는 1.85~11.56%의 Throughput을 제공한다. 따라서 NADCF는 AEDCF에 비해 Fairness가 향상되었음을 확인할 수 있다.

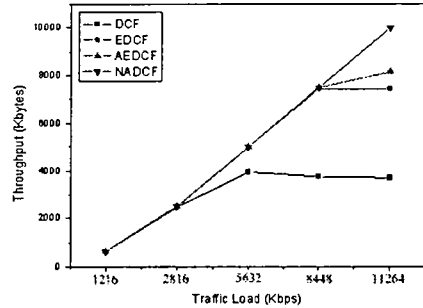


그림 4. 트래픽 부하에 따른 High Priority (AC: 0) 트래픽의 Throughput

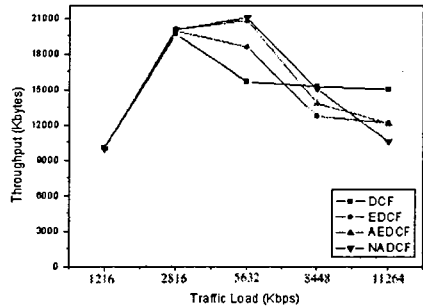


그림 5. 트래픽 부하에 따른 Medium Priority (AC: 1) 트래픽의 Throughput

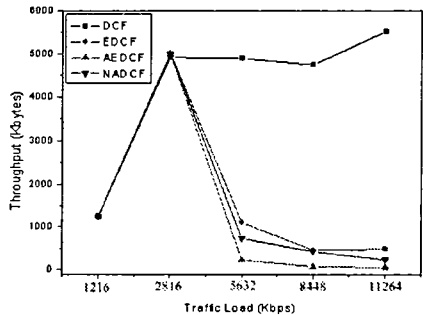


그림 6. 트래픽 부하에 따른 Low Priority (AC: 2) 트래픽의 Throughput

네트워크의 트래픽 부하에 따른 Total Throughput의 변화를 그림 7에 나타낸다. NADCF의 성능은 부하량이 8000Kbps 미만일 때는 가장 좋지만, 8000Kbps 이상일 때는 DCF보다 성능이 저하되었는데 이것은 네트워크 상태를 완화시키기 위한 NADCF의 AIFS 제어 기법에 의한 것이다.

그리고 트래픽 부하에 따른 충돌 발생률은 그림 8과 같은데, QoS를 제공하는 MAC 알고리즘들 중 NADCF의 충돌 발생률이 가장 낮음을 확인할 수 있다.

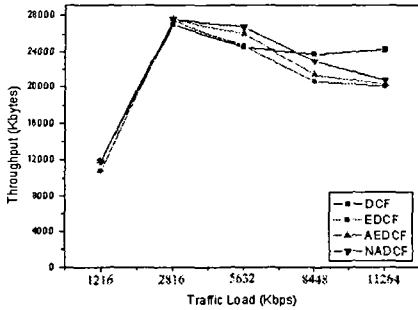


그림 7. 트래픽 부하에 따른 Total Throughput

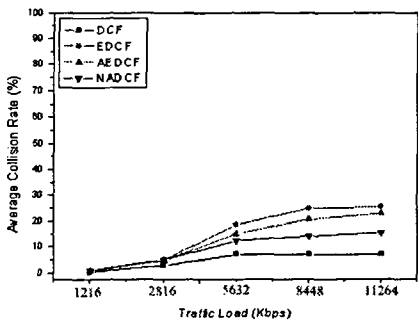


그림 8. 트래픽 부하에 따른 평균 충돌 발생률

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 네트워크에서 Throughput을 향상시키고 Fairness를 보장하는 새로운 MAC 알고리즘인 NADCF를 제안하였다. 그리고 NS-2를 사용한 시뮬레이션을 통해 NADCF가 QoS를 지원하는 다른 MAC 알고리즘들에 비해 Throughput 성능이 향상되었음을 확인하였다. 특히, NADCF는 낮은 Priority 트래픽의 경우 Desired Throughput의 최대 11% 정도를 만족시켜주어 최소한의 Fairness를 보장하였다. 그러나 네트워크의 트래픽 부하량이 크게 높아지는 경우에 NADCF는 네트워크 상태를 완화시키기 위해 AIFS 제어를 수행하는데, 이로 인해 Throughput이 필요 이상으로 급격히 떨어지는 문제점을 발견하였다. 앞으로는 이를 보완하기 위해 네트워크 상태를 더욱 세밀하게 나타낼 수 있는 Parameter에 관한 연구가 진행되어야 하겠다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

참고문헌

- [1] IEEE Std. 802.11-1999, *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, 1999.
- [2] IEEE Std. 802.11e/D8.0-2004, *Draft Supplement to Standard for 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) Enhancements for Quality of Service (QoS)*, IEEE, 2004.
- [3] IEEE Std. 802.11a-1999, *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 -Amendment 1: High-speed Physical Layer in the 5 GHz band*, IEEE, 2000.
- [4] Dajiang He, C.Q. Shen, "Simulation study of IEEE 802.11e EDCF," *IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC 2003-Spring)*, vol. 1, pp. 685-689, Apr. 2003.
- [5] L. Romdhani, Qiang Ni, T. Turletti, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC 2003)*, vol.2, pp. 1373-1378, Mar. 2003.
- [6] 조재용, 김석호, 유동관, 광경섭, "IEEE 802.11 Wireless LAN에서의 QoS 지원을 위한 Backoff algorithm에 관한 연구," *전자공학회지*, 제 10권, 제 12호, pp. 116-124, Dec. 2003.
- [7] W. Pattara-Atikom, S. Banerjee, P. Krishnamurthy, "A-DRAFT: an adaptive QoS mechanism to support absolute and relative throughput in 802.11 wireless LANs," *Proc. of the 7th ACM Int'l symposium on Modeling, analysis and Simulation of Wireless and Mobile systems (MSWiM'04)*, vol. 1, pp. 117-125, Oct. 2004.
- [8] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [9] <http://www.tkn.tu-berlin.de/research>
- [10] <http://www-sop.inria.fr/planete/qni/Research/AEDCF>