

IEEE 802.11a/g 무선 LAN에서 물리계층이 MAC 계층 처리율에 미치는 영향

정희원 이하철*

Impact of Physical Layer on the Throughput of MAC Layer in the IEEE 802.11a/g Wireless LAN

Ha Cheol Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a/g 무선 LAN에서 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 기반 DCF(Distributed Coordination Function)로 동작하는 MAC 계층 처리율에 페이딩 채널환경의 물리계층이 미치는 영향을 분석하였다. 기존의 연구에서는 각각의 무선 LAN에 대해서 MAC계층의 처리율을 구하는데 치중하였으나 본 연구에서는 특히 물리계층에서 최대 54 Mbps의 동일한 전송속도를 지원하는 IEEE 802.11a 와 IEEE 802.11g 무선 LAN의 MAC계층 처리율을 비교 분석하는데 중점을 두었다. 이를 위해 무선 LAN의 동작모드는 ad-hoc 모드를 고려하며 단말수는 고정되고 각각의 단말은 항상 전송할 패킷을 가지고 있다고 하는 포화조건(saturation condition)을 가정한다. 채널환경은 고정 무선환경과 이동 무선환경으로 구분하였는데, 고정무선환경에서는 Rayleigh/Ricean 복합 페이딩 채널환경으로 생각하여 직접파 대 간섭파비 및 패킷 전송확률이 일정한 조건에서 신호대 잡음비, 페이로드 크기 및 단말수에 따른 처리율을 비교 분석하였다. 이동 무선환경에서는 노드가 이동하는 것을 고려하며 이동속도와 캐리어 주파수에 의해서 정해지는 도플러 주파수를 갖는 Jake 스펙트럼의 평탄 Rayleigh 페이딩 채널로 가정하였고 페이딩 마진 및 패킷 전송확률이 일정한 조건에서 이동속도, 페이로드 크기 및 단말수에 따른 처리율을 비교 분석하였다.

Key Words : Wireless LAN, MAC, Throughput, CSMA/CA, DCF, Ad-hoc

ABSTRACT

This paper analyzes the impact of physical layer on the MAC layer throughput with CSMA/CA-based DCF protocol in IEEE 802.11a/g wireless LAN. Up to now research was done on the performance analysis of MAC throughput in each standard wireless LAN. But this paper is focused on the performance comparison of MAC throughput between 802.11a and 802.11g with the same maximum transmission rate of 54 Mbps. IEEE 802.11a/g wireless LAN is operated as the ad-hoc mode and the number of stations is assumed to be fixed, and each station always has packets for transmission. In other words, we operate in saturation conditions. Fixed and mobile wireless channel are considered. In the fixed wireless channel that is assumed to be combined Rayleigh/Ricean fading channel, this paper shows the DCF throughput performance with the parameter such as E_b/N_0 , payload size and the number of stations on the condition that ζ and τ are fixed. In the mobile wireless channel that has mobile nodes with Doppler frequency determined by mobile speed and wavelength and is assumed to be flat fading Rayleigh channel, this paper shows the DCF throughput performance with the parameter such as mobile speed, payload size and the number of stations on the condition that ρ and τ are fixed.

※ 본 연구는 2007년도 유한대학 해외장기연수지원으로 수행된 결과입니다

* 유한대학 정보통신과(hclee@yuhan.ac.kr)

논문번호 : 08061-0928, 접수일자 : 2008년 9월 28일

I. 서론

무선 LAN은 IEEE 802.11 계열 표준의 완성과 이에 따른 저가의 관련장치 개발, 그리고 휴대형 PC 및 PDA의 보급 확대 등에 따라 최근 관련시장이 큰 폭으로 성장하고 있으며, 또한 최대 54Mbps의 전송률을 지원하는 5GHz 대역의 IEEE 802.11a 및 2.4GHz 대역의 IEEE 802.11g 무선 LAN의 이용도 점차 활발해지고 있다^[1-4]. 그리고 최근에는 MIMO-OFDM 방식의 IEEE 802.11n도 표준화되고 있으며 일부 제품도 시장에 소개되고 있다. 현재 infrastructure 모드의 무선 LAN과 관련하여 최근 국내외 유무선 사업자들은 회의장, 공항, 호텔, 카페 등 이용자가 밀집되어 있는 핫스팟 지역에서 무선 LAN 기술을 이용한 고속 무선 인터넷 서비스를 제공하고 있으며, 또한 무선 LAN을 맥내 무선망으로도 활용하고 있다. 이와 같이 무선 LAN은 유선 LAN을 대체한다는 기존의 이용 개념을 넘어 공중 무선망과 맥내 무선망 등으로 그 영역을 확대하고 있으며, 또한 이동통신망과 점차 높은 수준으로 연동되어 이중모드 단말을 소지한 사용자는 핫스팟 지역에서 고속의 무선 LAN에 접속하고, 그 지역을 벗어나게 되면 자동적으로 전국적인 커버리지를 갖는 이동통신망에 접속할 수 있도록 하고 있다. 이러한 환경이 성숙되면 궁극적으로 하나의 단말을 가지고 가정, 사무실, 학교, 호텔, 공항 등 장소에 관계없이 고속의 무선인터넷 서비스를 이용할 수 있다^[4,5]. 이러한 시점에서 무선 LAN 단말이 AP(Access Point)를 이용하여 유선 LAN 또는 공중 셀룰러망에 접속됨으로서 유선 LAN에 접속되어 있는 서버는 물론 인터넷에 접속되어 있는 서버를 액세스할 수 있도록 하는 연구결과도 발표되고 있다. 그리고 ad-hoc 모드로 동작하는 무선 LAN의 활용영역도 넓어지면서 Ad-hoc 모드의 네트워크에 대해서 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다. 여러 연구분야중에서 특히 주파수 자원이 제한된 환경에서 효율적인 MAC 프로토콜을 설계하는 방법이 관심의 대상인데 IEEE 802.11 DCF는 간단하고 견고하다는 이유로 인해서 ad-hoc 네트워크의 일반적인 MAC 프로토콜로 사용되고 있다^[6]. 이렇게 무선 LAN이 활발하게 사용되고 있으나 무선 LAN의 액세스 메커니즘, 오버헤드 및 무선환경 특유의 페이딩으로 인해 이용자가 체감하는 데이터 전송속도는 표준화 자료에서 제시하고 있는 최대 전송속도에 훨씬 못 미치고 있다. 이러한 배경에서 기존의 연구에서는 이상적인 채널 또는 페이딩이

없는 채널환경에서 IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g 무선 LAN의 MAC 처리율을 분석하였다^[7-10]. 그러나 실제의 통신환경은 페이딩 채널환경이며 이를 고려한 IEEE802.11, 802.11b, 802.11a 무선 LAN의 MAC 처리율에 대한 연구결과도 제시되고 있다^[11]. 한편 IEEE 802.11g는 802.11a의 최대 전송속도와 동일한 54 Mbps까지의 전송속도를 제공하면서 802.11b와의 호환으로 인해서 활용도가 매우 높을 것으로 전망된다^[12]. 이러한 상황에서 이상적인 채널환경이 아닌 실제의 통신환경인 페이딩 채널환경에서 MAC 계층 처리율에 물리계층이 미치는 영향을 802.11a와 802.11g로 구분하여 비교 분석할 필요가 있다. 대부분의 기존 연구는 IEEE 802.11 DCF의 성능을 평가하기 위하여 Bianchi가 제시한 2차원 Markov 프로세스를 이용, 이진 지수함수의 특성을 갖는 백오프 모델링에 기반을 두고 있다^[6,10,11]. 본 논문에서도 이러한 백오프 모델링을 infrastructure 모드의 네트워크와 달리 노드가 이동함으로써 속도와 캐리어 주파수에 의존하는 도플러 주파수를 갖는 ad-hoc 모드의 네트워크에 적용한다. 따라서 본 논문에서는 ad-hoc 모드 네트워크의 MAC 프로토콜로 IEEE 802.11 DCF를 사용하여 고정 무선채널과 이동 무선채널환경으로 구분, CSMA/CA 기반의 MAC 계층 처리율에 물리계층이 미치는 영향을 비교 분석하였다. 2장에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN의 구성과 프로토콜 계층구조를 살펴보았다. 3장에서는 고정 무선채널과 이동 무선채널 환경으로 구분하여 처리율을 유도하였고 4장에서는 3장의 내용을 기반으로 802.11a와 802.11g의 처리율을 비교 분석하였다. 5장에서는 내용요약과 함께 향후 연구방향에 대하여 언급하였다.

II. 무선 LAN 기술

2.1 무선 LAN 접속구조

무선 LAN은 LAN케이블을 대체하거나 혹은 보다 유연하게 확장할 수 있는 데이터 통신시스템으로 RF(Radio Frequency)기술을 이용해 케이블 없이도 데이터를 주고 받을 수 있는 기술이다. 즉 케이블에 구속되지 않고도 이더넷이나 토큰링과 같은 전통적인 LAN 기술의 모든 장점과 기능들을 그대로 제공할 수 있다. 그림 1은 두가지 동작모드의 무선 LAN 구조를 나타내며 특히 AP는 802.11 프로토콜을 802.3 프로토콜로 변환하는 역할을 한다^[14].

무선 LAN의 규격은 IEEE 802.11과 그 계열에

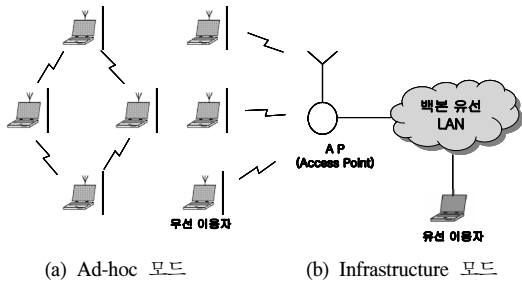
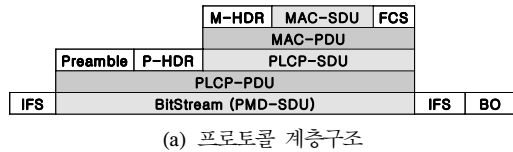
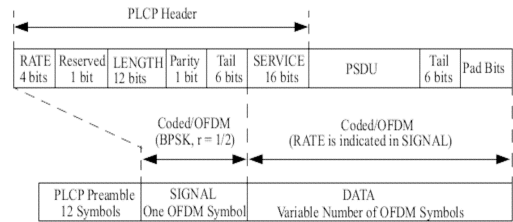


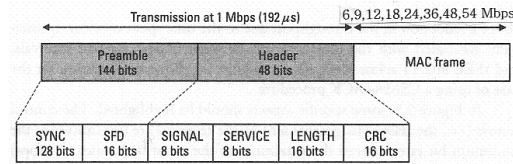
그림 1. 무선 LAN 구조
Fig. 1. Wireless LAN configuration



(a) 프로토콜 계층구조



(b) 802.11a 및 802.11g ERP-OFDM의 프레임



(c) 802.11g DSSS-OFDM의 프레임

그림 2. IEEE 802.11a/g의 물리계층 및 MAC 계층 프로토콜 구조
Fig. 2. Protocol stack of IEEE 802.11a/g physical and MAC layer

속하는 802.11b, 802.11g 및 802.11a가 있다. IEEE 802.11은 2.4 GHz 대역(ISM 대역)에서 동작하며 FHSS 및 DSSS 전송방식을 이용하여 1Mbps 및 2 Mbps의 데이터 전송율을 지원한다. IEEE 802.11b는 2.4 GHz 대역에서 동작하며 DSSS 및 CCK 기법을 이용하여 11 Mbps까지의 데이터 전송율을 지원한다. IEEE 802.11g도 2.4 GHz 대역을 사용하며 DSSS, CCK 및 PBCC 기법을 이용하여 1, 2, 5.5, 11, 22 및 33 Mbps의 전송율을 지원하고 OFDM을 이용하여 6, 9, 12, 18, 24, 36 및 54 Mbps의 데이터 전송율을 지원한다. 802.11g의 물리계층으로는 ERP-DSSS/CCK, ERP-OFDM, ERP-DSSS/PBCC 및

DSSS-OFDM이 있다. 이 중에서 802.11a급의 전송 속도를 제공하는 물리계층은 ERP-OFDM과 DSSS-OFDM이 있다. IEEE 802.11a는 2.4 GHz 대역의 802.11, 802.11b, 802.11g와는 달리 5 GHz 대역(U-NII 대역)을 사용하며 OFDM 기술을 이용하여, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 및 54 Mbps의 전송속도를 지원한다¹⁻³⁾.

MAC계층에서는 MSDU(MAC SDU)에 MAC 계층 헤더와 FCS가 추가되어 MPDU(MAC PDU)를 구성한다. 물리계층은 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 부계층과 PMD(Physical Medium Dependent) 부계층으로 구분된다. PLCP 부계층에서는 PLCP 프리엠블과 헤더가 MPDU에 추가되어 그림 2와 같이 PPDU(PLCP PDU)가 형성되고 PMD 부계층에서는 IFS(InterFrame Space)와 BO(Back-off) 시간간격이 오버헤드로 고려된다. 결국 IEEE 802.11 계열 무선 LAN은 물리계층이 다르지만 MAC계층은 동일하다¹⁻³⁾.

IEEE 802.11a/g 무선 LAN에서 DCF 처리율을 비교 분석하기 위하여 사용하는 파라미터는 표 1과 같고 특히 802.11g의 서로 다른 물리계층 파라미터 값은 표 2와 같다^{1-3,9)}.

표 1. IEEE 802.11a/g의 파라미터
Table 1. IEEE 802.11a/g parameter

파라미터	내 용
$L_{preamble}$	PLCP 프리엠블 크기
PHY_h	PLCP 헤더
MAC_h	MAC 헤더
P	페이로드 크기
L_{ACK}	ACK프레임크기(14바이트 + PLCP 헤더 + PLCP 프리엠블 크기)
n	단말수
T_H	PLCP 프리엠블 전송시간 + PLCP 헤더 전송시간 + MAC 헤더 전송시간
T_{DATA}	페이로드 전송시간
T_{ACK}	ACK 프레임 전송시간
∇	전파지연시간(1 μs)
T_P	PLCP 프리엠블 전송시간
T_{PHY}	PLCP 헤더 전송시간
T_{SYM}	심볼 전송시간
σ	슬롯시간
T_{SIFS}	SIFS 시간
T_{DIFS}	DIFS 시간
T_{EIFS}	EIFS 시간
CW_{min}	최소 백오프 윈도우 크기
CW_{max}	최대 백오프 윈도우 크기

표 2. IEEE 802.11a/g의 물리계층 종류[12]
Table 2. Physical layers defined in the IEEE 802.11a/g standard

물리계층(a/g)	전송속도(Mbps)	PLCP 프리앰블 + 헤더지연/길이(μs/비트)	
		장	단
OFDM(a)	6/9/12/18/24/36/48/54	20/40	
ERP-DSSS(g)	1/2/5.5/11	192/192	96/120
ERP-OFDM(g)	6/9/12/18/24/36/48/54	20/40	
ERP-PBCC(g)	1/2/5.5/11/22/33	192/192	96/120
DSSS-OFDM(g)	6/9/12/18/24/36/48/54	192/192	96/120

2.2 무선채널 환경의 프레임 에러율

2.2.1 고정무선채널환경의 프레임 에러율

많은 무선 통신 채널에서는 LOS(Line-Of-Sight) 전송 경로를 가지고 있지 않다. 반면에 통신신호는 송신기에서 수신기까지 여러 반사된 경로를 통하여 전달된다. 이 현상을 다중경로 전파현상이라고 부르는데 다중경로이기 때문에 송신된 신호는 다른 크기와 위상을 갖고 서로 다른 시간에 수신기에 도달하게 된다. 이러한 다중경로에 의해 다중경로 페이딩이 발생하게 된다. 전송속도가 6 Mbps 및 12Mbps 인 OFDM 시스템에서는 코드율 $r=1/2$ 이 사용되며 코드율이 $r=k/n$ 인 길쌈부호가 적용될 때 비트 오류율의 상한은 다음과 같다^[13].

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} B_d P_d \tag{1}$$

여기서 d_{free} 는 길쌈부호의 자유거리(free distance)를 말하고, B_d 는 가중치 d 경로상의 모든 정보비트의 총수를 나타내고, P_d 는 가중치 d 경로가 전송 시퀀스로써 선택될 확률, 그리고 k 는 단위 블럭당 정보비트의 수를 말한다. B_d 및 d_{free} 는 길쌈 부호의 파라미터이며 P_d 는 변조방식, 채널, 판정방식에 따라 결정된다. 구속장 및 코드율이 주어지면, B_d 가 구해진다. 일반적으로 식 (1)에서 지배적인 첫 5 번째 항까지만 고려하므로 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{d_{free}+4} B_d P_d \tag{2}$$

경관정에서는 해밍거리가 메트릭으로 사용되며 모든 제로 경로가 송신되었다고 가정한다. d 가 홀수

일 때 수신된 시퀀스의 오류개수가 $(d+1)/2$ 보다 적다면 모든 제로 경로는 올바르게 선택 되어질 것이고 그렇지 않다면 잘못된 경로가 선택되어 질 것이다. 따라서, d 가 홀수일 때 잘못된 경로가 선택될 확률은 다음과 같다.

$$P_d = \sum_{i=\frac{d+1}{2}}^d \binom{d}{i} p_i (1-p)^{d-i} \tag{3}$$

여기서 p 는 채널비트 오류율이다. d 가 짝수 일 때, 오류개수가 $d/2$ 을 초과하면 그릇된 경로가 선택되어지고, 만약 오류개수가 $d/2$ 와 같다면 두 경로의 메트릭은 동일하게 된다. 이러한 경우 무작위로 어느 한 쪽을 선택하게 되고, 따라서 그 중 절반은 오류가 발생할 수 있다. 결과적으로 d 가 짝수 일 때 그릇된 경로를 선택할 확률은 다음과 같다.

$$P_d = \sum_{i=\frac{d}{2}}^d \binom{d}{i} p^i (1-p)^{d-i} + \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} p^{d/2} (1-p)^{d/2} \tag{4}$$

$\bar{\gamma}_b = E_b / N_o$ 는 평균 수신 단위비트 에너지 당 잡음 전력밀도이고 r 이 코드율 이라면 IEEE 802.11a 표준 OFDM시스템의 AWGN 환경에서 BPSK / QPSK 의 i^{th} 부 채널의 오류율은 다음과 같다.

$$P_i = Q\left(\sqrt{2r\bar{\gamma}_{b_i}}\right) \tag{5}$$

여기서 $\bar{\gamma}_{b_i}$ 는 i^{th} 부 채널의 평균 수신 단위비트 에너지 당 잡음전력밀도이기 때문에, 총량 p 는 각 N 개 OFDM 부 채널의 평균 오류율 이 된다.

$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \tag{6}$$

여기서 N 은 48 또는 24개의 독립적인 부반송파라고 가정한다. 페이딩이 없다면 ($\overline{\gamma_{b_i}} = \overline{\gamma_b}$) $p_i = p$ 가 된다. 식 (5)를 이용, 식 (3) 또는 식 (4)에 적용한 결과를 식 (2)에 활용하면, AWGN 환경에서 BPSK / QPSK의 성능을 얻을 수 있다. 채널부호화를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\overline{\gamma_{b_c}} = r\overline{\gamma_b} \quad (7)$$

따라서 라이시안 페이딩 채널상에서의 BPSK / QPSK i^{th} 부 채널의 채널비트 오류율은 다음과 같다¹³⁾.

$$p_i \approx \frac{1}{2\sqrt{\pi c_1}} \left(\frac{\zeta_i + 1}{r\overline{\gamma_b} + \zeta_i + 1} \right)^d \exp\left(\frac{-d\zeta_i r\overline{\gamma_b}}{r\overline{\gamma_b} + \zeta_i + 1} \right) \quad (8)$$

여기서, $c_1 = 1.2 + 0.1\zeta$ 는 실험적으로 얻어지며 $d=1$ 이다. 페이딩이 없거나 또는 모든 부반송파가 같은 페이딩을 겪는다면 ($\zeta_i = \zeta, \overline{\gamma_{b_i}} = \overline{\gamma_b}$) $p_i = p$ 가 된다. ζ_i 는 i 번째 부 채널에서 직접 수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비이다. 식 (8)을 이용, 식 (3) 또는 식 (4)에 적용한 결과를 식 (2)에 활용하면 라이시안 페이딩 채널 환경에서 BPSK/QPSK의 BER 성능식을 얻을 수 있다. 무선 LAN에서 24 Mbps의 전송속도에 도달하기 위하여, IEEE 802.11a에서는 $r=1/2$ 의 코드율을 갖는 16QAM을 사용한다. BPSK 및 QPSK에서 검토하였던 것과 마찬가지로 먼저 16QAM의 부반송파 성능을 검토해야 하고, 그때 순수 Rayleigh 페이딩 환경과 Rayleigh 및 Ricean 페이딩의 복합적인 환경하에서 16 QAM방식으로 변조된 OFDM 시스템을 해석하기로 한다. Ricean 페이딩 채널 환경에서 BPSK/QPSK 경우와 유사한 방식으로 접근하면 MQAM의 i 번째 부 채널에서는 다음과 같이 근사된 채널 BER을 얻을 수 있다¹³⁾.

$$p_i \approx \frac{4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot e^{-d \cdot \zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma_b}}{3qr\overline{\gamma_b} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{q\sqrt{2\pi c_2} \left[\frac{3qr\overline{\gamma_b} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)}{2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]^d} - \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right)^2 \cdot e^{-d \cdot \zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma_b}}{3qr\overline{\gamma_b} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{\pi c_2 q \left[\frac{3qr\overline{\gamma_b} + (M-1)(\zeta_i + 1)}{(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]} \quad (9)$$

여기서, $c_2 = 2.6 + 0.1\zeta$ 는 실험치 이고, ζ_i 는 i 번째 부 채널에서 직접 수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비이고, HDD상에서 $d=1$ 이다. 채널 페이딩이 없거나 모든 부 채널에서 같은 페이딩이 존재한다면 $p_i = p$ 이다. 식 (3)과 식 (4)에 $q \geq 4$ 일 때의 식 (9)를 적용하면 식 (2)를 얻을 수 있고, Ricean 페이딩 채널하에서 HDD방식에 의한 square MQAM의 성능을 얻을 수 있다. 부호율이 $r=3/4$ 이고 전송속도가 54Mbps인 경우에 식 (9)에서 $q=6$ 인 것을 제외하면 16 QAM과 같은 방식으로 Ricean 페이딩 채널 환경에서 64QAM의 성능을 분석할 수 있다.

CSMA/CA 기법에서 물리계층 헤더와 MAC계층의 헤더를 포함하는 데이터 프레임은 프레임 내부의 어느 한 비트라도 에러가 발생하면 재 전송되어야 한다. 편의상, 변수 P_c 를 프레임내의 에러때문에 백 오프가 발생할 확률로 정의하고 프레임 에러가 랜덤하게 발생한다고 가정하면 CSMA/CA 기법에서 프레임 에러율 P_c 는 다음과 같이 표현된다¹¹⁾.

$$P_c = 1 - (1 - P_b)^{L_{\text{preamble}} + \text{PHY}_h + \text{MAC}_h + P + L_{\text{ACK}}} \quad (10)$$

2.3 이동무선채널환경의 프레임 에러율

이동 무선채널 환경은 Jake 스펙트럼을 갖는 평탄한 페이딩 Rayleigh 채널로 가정한다. 수신신호 전력 레벨의 임의의 임계치에 따라 채널은 페이딩 또는 페이딩사이의 상태에 놓이게 된다. 전체 프레임이 페이딩사이의 상태에 놓이게 되면 프레임 전송이 성공적으로 이루어진다. 프레임의 임의의 부분이 페이딩 상태에 있으면 프레임은 에러 상태로 수신된다. R_{req} 를 요구되는 수신전력레벨이라고 하고 R_{rms} 를 수신된 평균전력레벨이라고 하면 $\rho = R_{\text{req}}/R_{\text{rms}}$ 는 페이딩 마진이 된다. $\rho < -10\text{dB}$ 인 경우 페이딩 간격과 페이딩 사이의 간격은 지수분포로 나타내 질 수 있다. 위 가정과 함께 T_{pi} 를 프레임 간격이라고 하면 프레임 에러율은 식 (10)과 같이 주어진다⁶⁾.

$$FER = 1 - \frac{T_i}{T_i + T_f} P(t_i > T_{pi}) \quad (11)$$

t_i 는 페이딩사이의 간격, t_f 는 페이딩 간격, T_i 는 랜덤변수 t_i 의 평균값, T_f 는 랜덤변수 t_f 의 평균값, $P(t_i > T_{pi})$ 는 페이딩 사이의 간격이 T_{pi} 보다 더 오래 지속될 확률을 말한다. t_i 에 대해서 지수분포를 가정하면 $P(t_i > T_{pi}) = \exp(-\frac{T_{pi}}{T_i})$ 가 된다. Rayleigh 페이딩 채널의 경우 평균 페이딩 사이의 간격은 식

(11)과 같이 주어진다.

$$T_i = \frac{\exp(\rho) - 1}{f_i \sqrt{2\pi\rho}} \quad (12)$$

$T_i + T_f$ 는 $\frac{1}{N_f}$ 를 의미하고 N_f 는 레벨 횡단을 $f_i \sqrt{2\pi\rho} \exp(-\rho)$ 에서 f_i 는 최대 도플러 주파수로 $\frac{\nu}{\lambda}$ 로 구해진다. ν 는 이동속도, λ 는 파장을 의미하고 프레임 에러율 FER은 식 (13)와 같다.

$$FER = 1 - \exp(-\rho - f_i \sqrt{2\pi\rho} T_p i) \quad (13)$$

FER은 페이딩 마진(수신기 구조에 관련), 최대 도플러 주파수(이동속도 및 캐리어 주파수에 관련) 및 프레임 간격(송신 노드에 관련)에 의해서 결정된다. 만족스런 FER을 얻기 위해서는 페이딩 마진과 최대 도플러 주파수는 동적으로 제어하기가 어렵기 때문에 유일한 제어 파라미터는 프레임 간격이 된다.

2.4 DCF 프로토콜 동작 분석

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 시간축상에서 교대로 이용되는 PCF(Point Coordination Function)와 DCF의 두가지 동작모드를 지원한다. PCF는 비 경쟁방식으로서 시간적으로 제약적인 서비스에 이용되고 DCF는 경쟁기반의 CSMA/CA기법을 이용하며 비동기적인 데이터 전송에 주로 이용된다^[1-3]. 802.11 MAC 프로토콜은 5개의 시간간격을 정의한다. SIFS (Short InterFrame Space)와 슬롯시간은 물리계층에 의해서 결정되는 것이고 PIFS(Priority InterFrame Space), DIFS(Distributed InterFrame Space) 및 EIFS (Extended InterFrame Space)는 SIFS와 슬롯시간 기반하에서 정의된다. IEEE 802.11a의 경우에 SIFS 시간간격은 16 μ sec, 슬롯시간은 9 μ sec, DIFS 시간간격은 34 μ sec 가 된다. 슬롯시간은 신호 전파 및 처리 지연현상을 고려한 수치이다. PIFS는 SIFS 에 하나의 슬롯시간을 추가한 시간간격(25 μ sec)이고 DIFS는 SIFS에 2개의 슬롯시간을 추가한 시간간격(34 μ sec)이 된다. EIFS는 가장 긴 시간간격을 갖으며 데이터 프레임이 에러 상태로 수신될 경우 수신 단말이 ACK 프레임을 보내는 데 지장이 없도록 충분한 시간을 확보한다. DCF는 그림 3에서 보듯이 CSMA/CA 메카니즘을 이용하는 데 전송할 새로운 패킷이 있는 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지를 모니터링한다. 채널이 DIFS 시간간격 동안 휴지상태이면 AP 또는 단말은 패킷을 전송하기 시작한다. 이외는 달리 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지 휴지 상태인지를 계속 모니터링하고

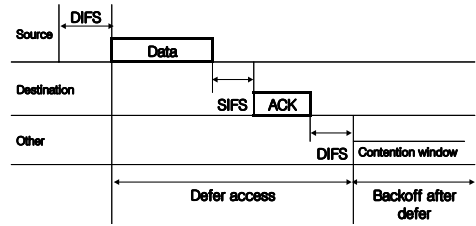


그림 3. 802.11a CSMA/CA 기반 DCF 프로토콜의 동작
Fig. 3. Protocol operation of IEEE 802.11a CSMA/CA-based DCF protocol

DIFS 시간간격동안 채널이 휴지상태이면 슬롯시간 단위로 채널 시간을 처리하여 슬롯시간 단위로 랜덤 백오프 시간간격을 발생시킨다. 그리고 채널이 사용 중인지 휴지상태인지를 계속 모니터링하는 데 각 슬롯시간 동안에 아직도 채널이 휴지상태라고 하면 백오프 시간간격은 하나씩 감소하게 된다. 백오프 시간간격이 0인 경우에 AP 또는 단말은 패킷을 전송하게 된다. 이러한 백오프 기간 동안 채널이 슬롯시간에서 사용 중이라면 백오프 간격이 감소되는 것은 정지되고 채널이 DIFS 시간간격과 한개의 슬롯시간 간격동안 휴지상태라고 감지된 후에만 동작하게 되며 백오프 시간간격이 0인 경우에 또 다시 패킷이 전송되기 시작한다. 이러한 백오프 기법은 채널이 사용 중이라는 것을 인식하게 되므로 충돌 현상을 피할 수 있도록 하는 기법이다. 더욱이 채널의 캡처 현상을 피하기 위하여 AP 또는 단말은 채널이 DIFS 시간간격동안 휴지상태라고 해도 2개의 새로운 패킷이 연속적으로 전송되는 경우 백오프 시간동안 대기하게 된다. DCF의 백오프 메카니즘은 지수함수 특성을 갖고 있는 데 각각의 패킷이 전송되는 경우 슬롯시간 단위의 백오프 시간은 패킷전송 실패 횟수에 따라 정해진다. 패킷이 처음으로 전송되는 경우 최소 충돌 윈도우 값인 $CW_{min} = 15$ 으로 설정되고 패킷 전송이 실패할 경우 $CW_{max} = 1023$ 의 범위내에서 2배로 증가한다. 그리고 패킷 전송이 성공적으로 이루어진 경우 수신단말은 ACK 신호를 보내게 되며 프로토콜 헤더를 간단히 하기 위하여 ACK 신호는 순서번호를 포함하지 않으며 수신한 패킷에 대해서 즉시 응답하는 stop-and-go 프로토콜 기반하에서 데이터를 교환한다. IEEE802.11a의 경우에 송신단말은 패킷전송을 완료한 후 16 μ sec SIFS 시간 간격 내에 ACK 신호를 수신해야 된다. 송신단말이 정해진 ACK_타입아웃 기간 내에 ACK 신호를 수신하지 못하거나 채널에 다른 패킷이 전송되는 것을 감지하게 되면 패킷전송이 실패한 것

으로 간주하며 백오프 메카니즘에 의한 재전송 절차를 따르게 된다. 802.11 MAC 프로토콜은 물리계층의 채널 감지기법외에 채널이 휴지상태로 되기 전에 남아 있는 시간의 양을 각 단말에게 알려주는 NAV (Network Allocation Vector) 기법을 구현한다. 모든 패킷은 기간필드를 포함하며 NAV값은 각각의 패킷이 전송될 때 필드 값에 따라 업데이트된다. 이러한 NAV 기법을 가상 캐리어 감지기법이라고 하며 MAC 프로토콜은 충돌현상을 피하기 위하여 물리 및 가상 감지기법을 이용하는 것이다. 지금까지 언급한 방법들은 two-way handshaking 기법인데 four-way 프레임 교환 프로토콜로서 RTS/CTS 기법이 있다. 이는 hidden 터미널 문제를 해결하기 위한 기법으로서 RTS 신호를 송신한 단말은 AP로부터 SIFS 시간 동안에 CTS 신호를 수신하게 되어 패킷을 전송하게 된다^{1-3,5}.

III. DCF 처리율 해석

3.1 패킷전송확률과 충돌확률

$b(t)$ 를 어떤 주어진 단말에서의 백오프 타이머를 나타내는 확률적인 과정이라 하자. 이산적이고 정수 단위의 시간에서 $t, t+1$ 을 두 개의 연속적인 슬롯타임의 시작을 나타낸다고 하고 각 단말의 백오프 타임 카운터는 각 슬롯타임의 시작 부분에서 감소된다. 각 단말에서의 백오프 카운터의 값은 그것의 전송이력(얼마나 많은 재전송이 이전 패킷 전송시에 발생했는지 여부)에 의존하므로 확률과정 $b(t)$ 는 비 마르코프 확률과정이다. 편의상 $W = CW_{\min}$ 이라 정의하고 m 을 최대 백오프 단계라 하면 $CW_{\max} = 2^m W$ 가 된다. 또한 $W_i = 2^i W$ 라고 정의하며 여기서 $i \in (0, m)$ 는 백오프 단계라고 한다. 그리고 $s(t)$ 는 시간 t 에서 단말의 백 오프 단계($0, \dots, m$)를 나타내는 stochastic 확률과정을 나타낸다.

모델에서 전송된 패킷(프레임)이 충돌하거나 성공적으로 전송되지 못할 확률 p 는 단말의 상태와는 무관하다고 가정한다. 이런 경우 편의상 bi-dimensional 과정은 이산시간 마르코프 체인이 되며, 그림 4에 나타내었고 오로지 비 공백의 한단계 천이 확률은 다음과 같다.

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1, & k \in (0, W_i - 2); \quad i \in (0, m) \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0, & k \in (0, W_0 - 1); \quad i \in (0, m) \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i, & k \in (0, W_i - 1); \quad i \in (1, m) \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m, & k \in (0, W_m - 1); \end{cases} \quad (14)$$

식 (14)에서 첫번째 식은 백오프 시간이 각 슬롯

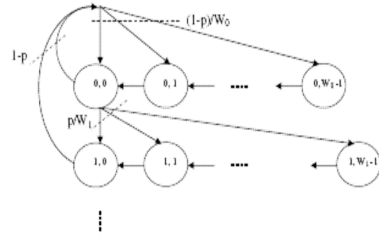


그림 4. 백오프 윈도우 사이즈 마르코프 체인 모델
Fig. 4. Markov chain model for the backoff window size

타임의 시작에서 감소된다는 사실을 설명한다. 두번째 식은 성공적으로 패킷 전달이 이루어진 다음의 새로운 패킷은 백오프 단계 0에서 전송이 시작됨을 설명하고 따라서 백오프의 시작은 구간 $(0, W_0 - 1)$ 에서 균일하게 선택된다. 나머지 두 개의 식은 성공적으로 전송되지 못한 경우의 모델을 나타내며, 특별히 백 오프 단계 $i-1$ 에서 전송 실패가 발생되면 백 오프 단계는 증가되고, 새로운 초기 백 오프 값은 구간 $(0, W_i)$ 에서 균일하게 선택된다. 결국, 네 번째 식은 일단 백 오프 단계가 m 에 도달되면 뒤 따르는 패킷 전송시에도 백오프 단계가 증가되지 않는 것을 나타내고 있다.

$$b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\},$$

$$i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1)$$

이 체인의 정적 분포라고 할 때 체인의 규칙에 따라 다음의 관계가 성립한다.

$$b_{i,k} = \begin{cases} p^i b_{0,0}, & k = 0; \quad i \in (0, m-1) \\ \frac{p^m}{1-p} b_{0,0} & k = 0; \quad i = m \\ \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} & k \in (0, W_i - 1); \quad i \in (0, m) \end{cases} \quad (15)$$

$b_{0,0}$ 의 값은 정규 조건을 적용하여 결정된다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \sum_{i=0}^{m-1} (p)^i + \frac{(p)^m}{1-p} \right] \\ &= 1 \end{aligned} \quad (16)$$

이것으로부터, 다음을 얻을 수 있다.

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (17)$$

이제 확률 τ 는 단말이 랜덤하게 선택한 슬롯타임에서 표현되게 할 수 있다. 백 오프 단계에 상관없이 백 오프 타이머가 0일 때면 어떤 전송 사건도 발생할 수 있으므로 다음식이 얻어진다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (18)$$

그러나, 일반적으로 τ 는 성공하지 못할 확률 p (아직은 미지수)에 조건적으로 의존하므로 p 값을 찾기 위해서 전송된 패킷이 충돌될 확률을 알아야 할 필요가 생기며 이는 적어도 $n-1$ 개의 나머지 단말중 하나가 타임 슬롯에서 전송함을 의미한다. 이 문제를 간단히 하기 위해서 정상상태를 가정하며 정상상태에서 각각의 나머지 단말들이 τ 확률을 가지고 패킷(프레임)을 전송하며 패킷 에러율 P_c 의 영향을 고려하면 다음을 얻을 수 있다.

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} (1-P_c) \quad (19)$$

식 (19)을 역변환하여 $\tau^*(p) = 1 - (\frac{1-p}{1-P_c})^{\frac{1}{n-1}}$ 을 얻을 수 있다. 이 수식과 식 (19)은 미지수 τ, p 의 비선형 시스템을 나타내며 이는 산술적인 방법에 의해 풀 수 있고 유일해를 가짐이 분명하다^{7,11)}.

2. Ad-hoc 모드 무선 LAN의 처리율

2.1 고정무선 채널환경의 처리율

고정무선 채널환경에서는 전송채널에서 발생하는 비트에러를 고려하여 처리율을 분석하며 단말수 n 은 고정되었다고 가정하고 각각의 단말은 항상 전송할 패킷을 가지고 있다고 가정한다. 즉, 포화조건 (saturation condition)상에서 동작한다(예를 들면, 전송 큐는 항상 비어있지 않음)고 한다. 그리고 패킷의 길이는 동일하고 채널상에서 비트에러는 P_b 라는 확률로 랜덤하게 발생된다고 가정한다. 백오프 확률상의 비트에러의 영향이 비트에러율 P_b 및 패킷크기 L_{DATA} 를 기반으로 해서 유도된다. 랜덤하게 선정된 슬롯타임 내에서 단말의 패킷전송확률 τ 가 분석되는데 이 확률은 CSMA/CA메커니즘에는 직접적으로 관련되어 있지 않지만 패킷 에러율 P_b 와 충돌확률에 관련되어 있다. 결국 CSMA/CA기반의 DCF 처리율은 τ 및 P_b 의 함수로 표현된다.

S 를 채널이 페이로드 비트들을 성공적으로 전송하기 위해 사용된 시간의 비율로 계산되는 시스템

의 처리율로 정의한다. P_{tr} 는 슬롯타임에서 적어도 하나의 전송이 발생될 확률로 하고 채널상에서 n 개의 단말이 경쟁하고 각 단말이 전송할 확률은 τ 이므로 다음식이 성립된다.

$$P_{tr} = 1 - (1-\tau)^n \quad (20)$$

그리고 한 개의 단말만이 채널에 데이터를 전송하므로 전송이 성공적으로 이루어질 확률을 P_s 라고 하면 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{1-(1-\tau)^n} \quad (21)$$

또한 처리율 S 는 다음과 같이 표현된다.

$$S = \frac{E[\text{슬롯타임내에 전송된 페이로드 정보}]}{E[\text{슬롯타임의 길이}]}$$

슬롯타임에서 성공적으로 전송될 확률은 $P_{tr}P_s$ 이기 때문에 슬롯타임 내에서 페이로드 정보가 성공적으로 전송될 평균정보량은 $P_{tr}P_sP$ 이다, 평균 슬롯타임의 길이는 채널이 휴지상태일 확률 $1-P_{tr}$, 전송 성공확률 $P_{tr}P_s$, 충돌확률 $P_{tr}(1-P_s)$ 을 고려하여 구해진다¹¹⁾. 그러므로

$$S = \frac{P_s P_{tr} P}{(1-P_{tr})\sigma + P_{tr}P_s T_s + P_{tr}(1-P_s)T_c} = \frac{P}{T_s - T_c + \frac{\sigma(1-P_{tr})/P_{tr} + T_c}{P_s}} \quad (22)$$

여기서, T_s 는 성공적으로 데이터가 전송되어 채널이 busy상태로 감지되는 평균시간이며 T_c 는 충돌상태인 동안에 각 단말이 채널을 busy로 감지할 평균시간을 나타낸다. σ 는 휴지상태인 슬롯타임의 지속시간을 나타낸다. CSMA/CA기법인 경우 다음과 같이 구해진다.

$$T_s = TDIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + TSIFS + T_{ACK}$$

$$T_c = TDIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + TEIFS \quad (23)$$

2.2 이동무선 채널환경의 처리율

또한 n 개의 송신노드와 1개의 수신노드로 구성되

어 있는 이동무선채널 환경의 네트워크에서도 송신 노드는 항상 보낼 패킷을 가지고 있다고 고려하는 포화조건을 가정한다. τ 를 노드가 랜덤하게 선정된 슬롯타임에 패킷을 전송할 확률이라고 하고 p 를 패킷이 전송된 후 실패할 확률이라고 한다. 실패 확률은 충돌 또는 채널 페이딩에 의하는데 p 는 다음과 같이 주어진다.

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} (1 - FER) \quad (24)$$

한편 기본 액세스 모드에 대해서 프레임 간격 T_{pi} 는 $T_H + T_{DATA} + T_{ACK}$ 이 된다. T_H 는 물리계층의 프리앰블 전송시간과 PLCP 헤더 전송시간 및 MAC 계층 헤더 전송시간의 합이고 T_{DATA} 은 페이로드인 MSDU 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 프레임 전송시간을 의미한다. FER 수식에 T_{pi} 를 대입하면 FER 값을 구할 수 있다. 그리고 P_{idle} 을 선택된 슬롯이 idle 상태인 확률이라고 하면 P_{idle} 은 다음과 같다.

$$P_{idle} = (1 - \tau)^n \quad (25)$$

또한 P_{suc} 를 충돌 또는 채널 에러가 없을 때 노드가 패킷을 성공적으로 전송할 확률이라고 하면 다음과 같다.

$$P_{suc} = n\tau(1 - \tau)^{n-1}(1 - FER) \quad (26)$$

패킷이 충돌될 확률은 P_{co} 라고 하고 패킷이 전송중 에러가 발생할 확률을 P_{er} 이라고 하면 다음과 같이 표시된다.

$$P_{co} = 1 - (1 - \tau)^n - n\tau(1 - \tau)^{n-1} \quad (27)$$

$$P_{er} = n\tau(1 - \tau)^{n-1}FER \quad (28)$$

표준화된 효율적인 처리율 S 는 다음과 같이 주어진다⁶⁾.

$$S = \frac{T_{efficient}P_{suc}}{P_{idle}T_{idle} + P_{suc}T_{suc} + P_{er}T_{er} + P_{co}T_{co}} \quad (29)$$

T_{idle} 는 idle 슬롯의 간격 σ , $T_{efficient}$ 는 페이로드의 시간간격 T_{DATA} , T_{suc} 는 패킷을 성공적으로 전송 시 소요된 노드의 시간간격 $T_{DIFS} + T_{SIFS} + 2 \times \text{지연}(\nabla) + T_H + T_{DATA} + T_{ACK}$, T_{er} 은 패킷의 충돌이 발생하는데 소요된 노드의 시간간격 $T_{suc} + \sigma$, T_{co} 는 패킷전송시 에러가 발생한 경우에 소요된 노드의 시간간격 $T_{suc} + \sigma$ 를 의미한다. 여기서 ∇ 는 전파지연값이고 σ 는 슬롯시간간격의 값이다.

IV. IEEE 802.11a/g DCF 처리율 분석 및 비교

IEEE 802.11a/g의 OFDM 기반 무선 LAN의 DCF 처리율 성능을 분석하기 위해서 표 1 및 표 2의 시스템 파라미터를 이용하였다. IEEE 802.11a/g의 최대전송속도 54 Mbps를 이용한다. 패킷 크기는 일반적으로 Web Browsing 데이터인 경우 576 바이트, 이더넷의 최대 데이터 크기는 1,500 바이트 정도 이므로 이를 대표적인 패킷크기로 이용하였다.

특히 IEEE 802.11g의 경우 IEEE 802.11a의 최대 전송속도 54 Mbps와 비교될 수 있는 표 2의 ERP-OFDM과 DSSS-OFDM 물리계층을 고려한다. ERP-OFDM은 802.11g에 새로 도입된 물리계층이며 2.4 GHz에서 802.11a의 데이터 전송율을 제공하기 위해서 OFDM 기법이 사용된다. DSSS-OFDM도 DSSS와 OFDM의 하이브리드 결합방식을 이용하는 새로운 물리계층이다. 이 방식의 경우 패킷의 물리계층 헤더는 DSSS방식으로 전송되고 패킷의 페이로드는 OFDM 방식으로 전송되어 상호운용성을 지원하기 위한 것이다.

4.1 고정무선환경에서의 처리율

그림 5, 그림 6 및 그림 7에서 $S(P, \gamma b, \zeta, n, \tau)$ 는 고정무선환경에서의 페이로드 크기, 전송확률 및 신호 대 잡음비에 따른 처리율을 나타낸다. P 는 프레임의 페이로드 크기를 나타내고 $\gamma b(E_b/N_0)$ 는 신호 대 잡음비를 나타내는데 54 Mbps일 때 23 dB를 주로 이용하였다. 이는 그림 5-7의 신호 대 잡음비에 따른 처리율 결과 그래프에서 함수가 서로 만나는 지점을 고려하여 선정하였다. ζ 은 순수 Rayleigh 페이딩 환경에서는 0이고 복합 Rayleigh / Ricean 페이딩 환경에서는 0에서 10사이의 값을 갖는데 2로 설정하였다. 단말수(n)는 1과 10을 이용하였고 전송확률 (τ)은 0.05로 하였다. 페이로드 크기에 따른 처리율 결과 그래프에서 보듯이 최대 처리율을 갖는 최적 페이로드 크기가 존재함을 알 수 있다. 전송확률에 따른 처리율 결과 그래프에서는 페이로드 크기를 1,500 바이트로 했을 때의 처리율이 576 바이트로 했을 때의 처리율보다 크다는 것을 알 수 있다. 이는 앞에서 설명한 페이로드 크기에 따른 처리율 결과 그래프에서 언급하였듯이 최적 프레임 크기와 연관된다는 것을 알 수 있다. 그리고 신호 대 잡음비에 따른 처리율 결과 그래프에서 보듯이 낮은 신호 대 잡음비에서는 페이로드 크기를 작게 하는 것이 처리율을 높이는 방법이고 높은 신호 대 잡음비

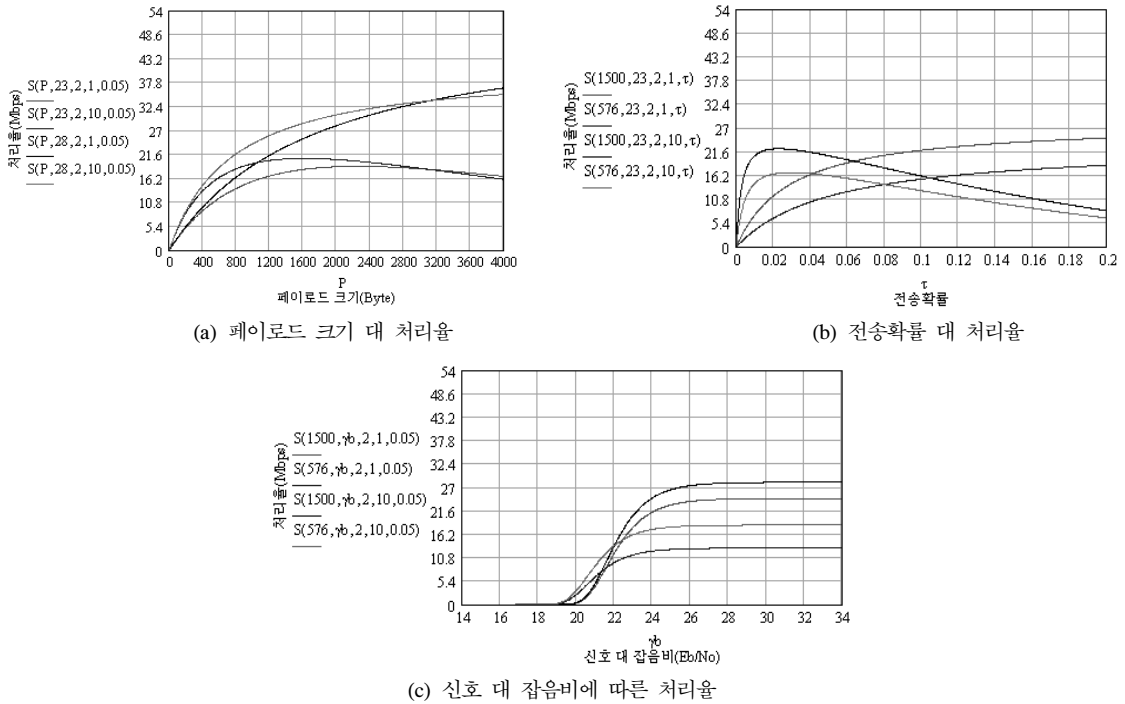


그림 5. 고정무선 페이딩 채널 환경의 처리율(IEEE 802.11a 54 Mbps)
 Fig. 5. DCF throughput over fading channel in the fixed wireless LAN(IEEE 802.11a 54 Mbps)

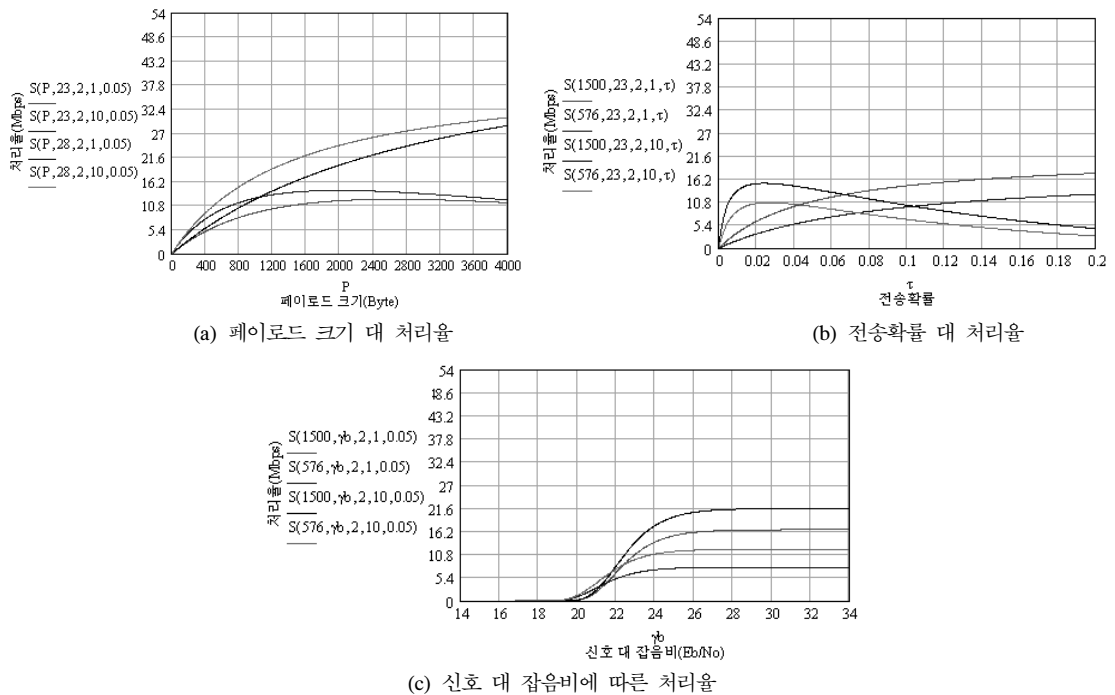


그림 6. 고정무선 페이딩 채널 환경의 처리율(IEEE 802.11g ERP-OFDM 54 Mbps)
 Fig. 6. DCF throughput over fading channel in the fixed wireless LAN(IEEE 802.11g ERP-OFDM 54 Mbps)

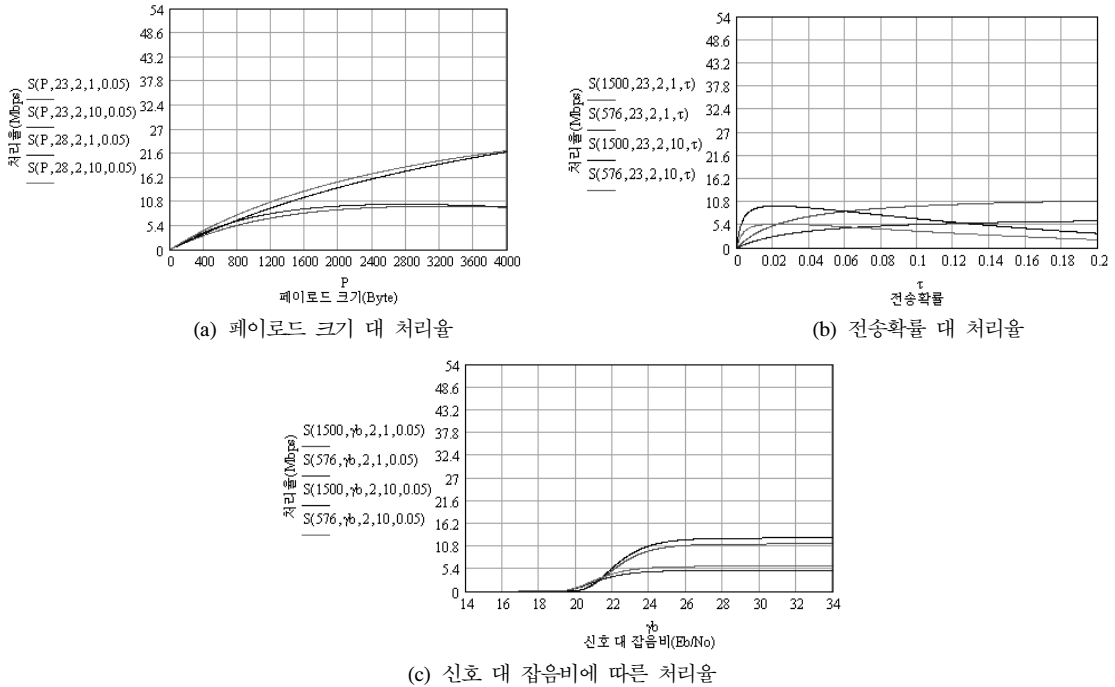


그림 7. 고정무선 페이딩 채널 환경의 처리율(IEEE 802.11g DSSS-OFDM 54 Mbps)
 Fig. 7. DCF throughput over fading channel in the fixed wireless LAN(IEEE 802.11g DSSS-OFDM 54 Mbps)

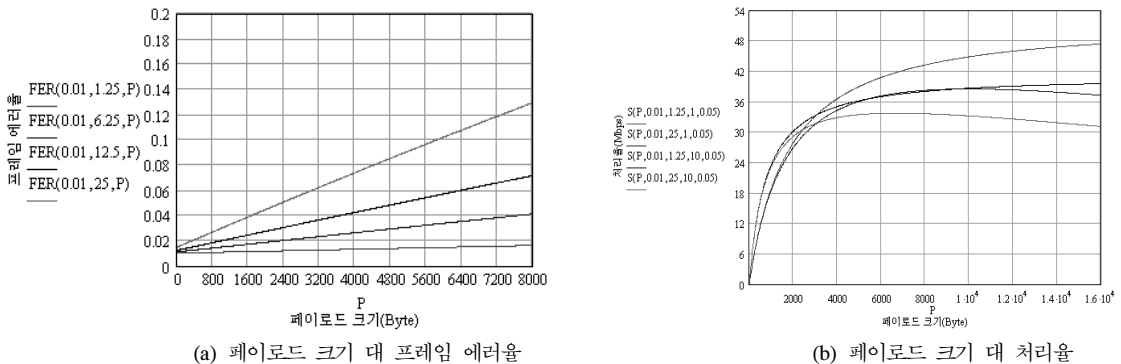


그림 8. 이동무선 페이딩 채널환경의 프레임 에러율과 처리율 (IEEE 802.11a 54 Mbps)
 Fig. 8. Frame error rate and DCF throughput over fading channel in the mobile wireless LAN(IEEE 802.11a 54 Mbps)

에서는 페이로드 크기를 크게 하는 것이 처리율을 높이는 방법이라는 것을 알 수 있다.

4.2 이동무선환경에서의 처리율

이동무선환경에서 Ad-hoc 모드 네트워크의 프레임 에러율과 처리율을 그림 8, 그림 9 및 그림 10 과 같이 $FER(\rho, \nu, P)$ 과 $S(P, \rho, \nu, n, \tau)$ 로 나타내었다. 페이딩 마진 ρ 는 -20 dB, 캐리어 주파수는 5 GHz, 단말기의 속도 ν 는 보행자 속도부터

이동체 속도(1.25 m/s - 25 m/s)까지 고려하였다. 그리고 단말수 n 은 10, 단말기의 데이터 전송확률 τ 는 0.05로 하였다. 전송속도별 페이로드 크기에 따른 프레임 에러율 그래프에서 보듯이 프레임 에러율은 페이로드 크기에 비례해서 증가하고 단말기의 이동속도가 높을수록 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 일반적으로 802.11 MAC에서 최대 프레임 에러율은 10 %로 요구되는데 예를들면 그림 8의 프레임 에러율 그래프에서 보듯이 54 Mbps 전송속

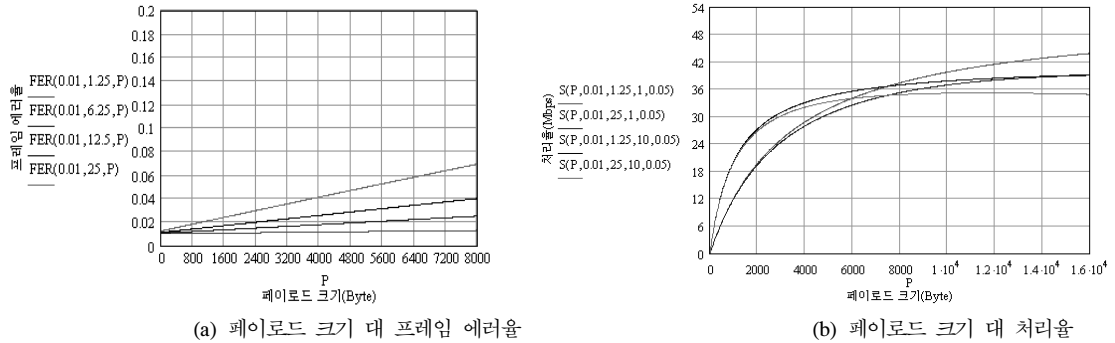


그림 9. 이동무선 페이딩 채널환경의 프레임 에러율과 처리율 (IEEE 802.11g ERP-OFDM 54 Mbps)
 Fig. 9. Frame error rate and DCF throughput over fading channel in the mobile wireless LAN(IEEE 802.11g ERP-OFDM 54 Mbps)

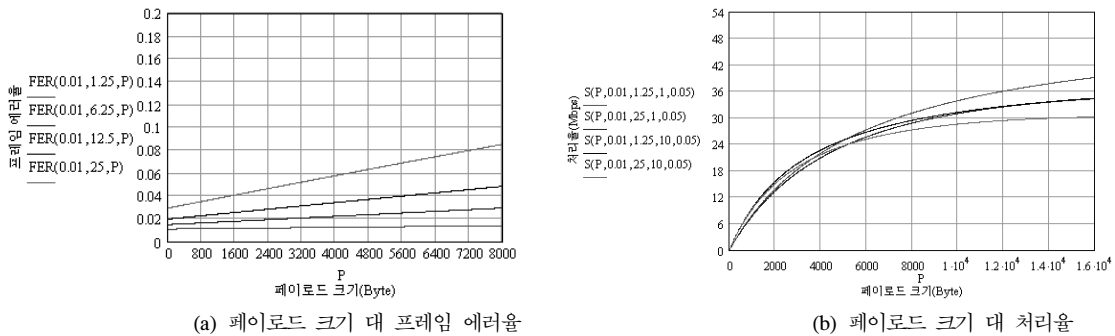


그림 10. 이동무선 페이딩 채널환경의 프레임 에러율과 처리율 (IEEE 802.11g DSSS-OFDM 54 Mbps)
 Fig. 10. Frame error rate and DCF throughput over fading channel in the mobile wireless LAN(IEEE 802.11g DSSS-OFDM 54 Mbps)

도일때 단말기의 속도가 25 m/s에 대해서는 페이로드 길이가 5,850바이트 정도로 제한된다. 이것은 상호연관 페이딩 채널환경에서 802.11 DCF의 처리율을 최대로 하기 위해서는 최적의 길이를 갖는 페이로드를 전송해야 한다는 것을 의미한다. 처리율은 물리계층 데이터 전송속도에서 단말기 이동속도가 증가할수록 감소하며 단말기의 이동속도별로 처리율을 최대로 하는 최적의 페이로드 크기를 갖는다는 것을 알 수 있다.

4.3 처리율 비교분석

IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE ERP-OFDM 및 802.11g DSSS-OFDM의 DCF 처리율을 54Mbps의 전송율에 한하여 고정무선 페이딩 채널환경과 이동무선 페이딩 채널환경으로 구분하여 분석하였다. 표 3의 고정 무선채널환경의 처리율에서는 복합 Rayleigh / Ricean 페이딩 ($0 \leq \zeta \leq 10$) 채널 환경중 ζ 는 2, 패킷 전송확률 τ 는 0.05로 설정하였다. 표 4의 이동 무선 채널환경에서는 페이딩 마진 ρ 는 0.01(10 dB), 패

킷전송확률 τ 는 0.05로 설정하였다.

V. 맺음말

본 논문에서는 IEEE 802.11a 및 802.11g 무선 LAN에서 CSMA/CA기반 DCF로 동작하는 MAC 계층에 페이딩 채널환경의 물리계층이 미치는 영향을 분석하였다. 특히 물리계층에서 최대 54 Mbps의 전송속도를 지원하는 두가지 무선 LAN의 MAC계층 처리율을 비교 분석하였다. 특히 ad-hoc 모드의 네트워크에서 상호연관 페이딩 채널을 통한 데이터 전송시 IEEE 802.11 DCF의 포화 처리율을 해석적인 방법으로 분석함으로써 처리율은 단말기 이동속도의 증가와 함께 감소하며 일정한 데이터 전송속도하에서 처리율을 최대로 하는 최적의 페이로드 길이가 존재한다는 것을 알 수 있다. IEEE 802.11a 및 IEEE 802.11g는 모두 물리계층의 최대전송속도가 54 Mbps로 동일하지만 MAC계층의 처리율은 802.11a가 다소 높다. 그러나 IEEE 802.11g는 IEEE

표 3. 고정 무선채널환경의 처리율 비교
Table 3. DCF throughput comparison in the fixed wireless LAN

항 목($\zeta=2, \tau=0.05$)			802.11a OFDM	802.11g	
γ_b (dB)	P(byte)	n (개)		ERP-OFDM	DSSS-OFDM
23	60	1	1.687	0.909	0.544
		10	3.035	1.605	0.685
	576	1	11.456	6.545	4.271
		10	16.115	9.721	5.116
	1500	1	17.914	10.98	7.953
		10	20.646	13.84	8.913
28	60	1	1.727	0.943	0.563
		10	3.108	1.683	0.711
	576	1	12.975	7.844	4.948
		10	18.262	12	5.947
	1500	1	24.283	16.47	11.186
		10	27.997	21.36	12.586

표 4. 이동 무선채널환경의 처리율 비교
Table 4. DCF throughput comparison in the mobile wireless LAN

항목($\rho=0.01, \tau=0.05$)			802.11a OFDM	802.11g	
v m/s	P Byte	n (개)		ERP-OFDM	DSSS-OFDM
1.25	60	1	1.697	0.924	0.554
		10	3.003	2.218	0.73
	576	1	12.793	7.722	4.883
		10	17.839	14.639	6.093
	1,500	1	24.052	16.32	11.09
		10	27.599	24.437	12.86
25	60	1	1.687	0.921	0.543
		10	2.985	2.211	0.715
	576	1	12.621	7.671	4.77
		10	17.597	14.538	5.952
	1,500	1	23.405	16.104	10.76
		10	26.854	24.108	12.48

802.11b와 호환성이 있으나 IEEE 802.11a는 상이한 주파수대로 호환성이 없으므로 무선 LAN의 설계 및 구축시에 고려되어야 한다. 또한 무선 LAN이 ad-hoc 모드로 동작하는 경우 단말의 이동성으로 인한 hidden 터미널의 문제를 해소하기 위하여 CSMA/CA 기법외에 RTS/CTS 기법을 도입했을 때의 처리율 분석도 필요하며 어려움을 감소시키기 위한 에러제어기법과 QoS(Quality of Service)기술도 검토되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: High-Speed Physical Layer Extension in the 5 GHz Band-IEEE Std 802.11a-1999, June 1999.
- [2] IEEE Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification-

IEEE Std 802.11a-2003 Edition (R2003), June 2003.

[3] IEEE Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, June 2003.

[4] Upkar Varshney, "The Status and Future of 802.11-based WLANs," *IEEE Computer*, pp. 102-105, June 2003.

[5] Kin K. Leung, Bruce McNair, Leonard J. Cimini and Jack H. Winters, "Outdoor IEEE 802.11 Cellular Networks: MAC Protocol Design and Performance," *IEEE*, pp.595-599, 2002.

[6] XI Yong, WEI Ji-Bo and ZHUANG Zhao-Wen, "Throughput Analysis of IEEE 802.11 DCF over Correlated fading Channel in MANET," *IEEE*, pp.694-697, 2005.

[7] 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, March 2000.

[8] Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," *Proceedings of the Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA'03)*, 2003.

[9] Yang Xiao and Jon Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," *IEEE Communications Letters*, Vol.6, No.8, pp.355-357, August 2002.

[10] Nghia T. Dao and Robert A. Malaney, "Throughput Performance of Saturated 802.11g Networks," *AusWireless 2007*, 2007.

[11] Zuoyin Tang, Zongkai Yang, Jianhua He and Yanwei Liu, "Impact of Bit Errors on the Performance of DCF for Wireless LAN," *IEEE*, pp.529-533, 2002.

[12] Dimitris Vassis, George Kormentzas, Angelos Rouskas and Ilias Maglogiannis, "The IEEE 802.11g Standard for High data rate WLANs," *IEEE Network*, pp. 21-26, May/June, 2005.

[13] Chi-han Kao, "Performance of the IEEE 802.11a Wireless LAN Standard over Frequency-selective, Slow, Ricean Fading Channels," Master's Thesis, Sep. 2002.

이 하 철 (Ha-cheol Lee)

정회원



1983년 3월 한국항공대 통신공학과 학사

1990년 8월 한국항공대 통신정보공학과 석사

1999년 8월 한국항공대 통신정보공학과 공학박사

1993년 12월 정보통신기술사

1983년 3월~1985년 6월 ETRI 연구원

1985년 6월~1995년 8월 KT선임연구원

1995년 9월~현재 유한대학 정보통신과 부교수

2007년 9 월~2008년 8월 미국 California State University, Visiting scholar

<관심분야> 홈 네트워킹, 컴퓨터 네트워킹, 무선 LAN 및 PAN