

무선 LAN에서 이상 및 페이딩 채널 환경의 DCF 처리율 비교 분석

A DCF Throughput Analysis of the Ideal and Fading Channel in the Wireless LAN

이 용 식 · 이 하 철* · 이 병 호**

Yong Sik Lee · Ha Cheol Lee* · Byung Ho Lee**

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN의 이상적인 채널 환경과 페이딩 채널 환경에서 패킷의 페이로드 크기에 따른 MAC(Medium Access Control) 계층의 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 기반 DCF(Distributed Coordination Function) 처리율을 비교 분석하였다. 이상적인 채널 환경인 경우 에러가 없는 채널을 의미하고, 임의의 전송 주기 동안 패킷을 전송하는 단말이 1개만 존재하며, 다른 단말은 패킷을 수신한 후 응답한다고 가정한다. 페이딩 채널 환경인 경우 채널상에서 비트 에러는 랜덤하게 발생되며, 단말수 n 은 고정되고, 각각의 단말은 항상 전송 패킷을 가지고 있는 포화 조건(saturation condition) 하에서 동작된다고 한다. IEEE 802.11a 무선 LAN의 처리율을 구하기 위해 기존 연구에서는 주로 이상적인 채널 환경을 가정하여 최대 처리율을 구하였는데, 실제의 통신 환경은 페이딩 채널이므로 본 연구에서는 E_b/N_0 를 25 dB, 부 채널에서 직접 수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비 ζ 는 복합 Rayleigh/Ricean 페이딩을 고려하여 6으로 정하였다. 분석 결과, 이상적인 채널 환경에서의 처리율에 비교하여 페이딩 채널 환경에서의 처리율이 모든 페이로드 크기에서 더 작아진다는 것을 알 수 있으며, 전송율이 증가할수록 이상적인 채널의 최대 처리율에 대한 페이딩 채널의 포화 처리율의 감소 비율이 더 커진다는 것도 알 수 있다.

Abstract

This paper explores the throughput performance of CSMA/CA-based DCF protocol over both ideal channels and fading channels with payload size at the MAC layer in the 802.11a wireless LAN. In the ideal channel, there are no errors and at the transmission cycle there is one and only one active station which always has a packet to send and other stations can only accept packets and provide acknowledgements. In the fading channel, bit errors appear in the channel randomly 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. Up to now conventional research work about DCF throughput analysis of IEEE 802.11a wireless LAN has been done over the ideal channel, but this paper is done over the Rayleigh/Ricean fading channel. So, the ratio of received average energy per bit-to-noise power spectral density E_b/N_0 is set to 25 dB and the ratio of direct-to-diffuse signal power in each sub-channel ζ is set to 6 for combined Rayleigh/Ricean fading channel. In conclusion, it is shown that the saturation throughput is always less than the maximum throughput at all the payload size and the higher the transmission rate be, the higher the decreasing rate of saturation throughput compared to the maximum throughput be.

Key words : Wireless LAN, DCF, CSMA/CA, IEEE 802.11a, Fading

국방부(Ministry of National Defense)

*유한대학 정보통신과(Dept. of Information and Communication, Yuhan College)

**한양대학교 정보통신대학(The College of Information & Communications, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20080403-046

· 수정완료일자 : 2008년 6월 16일

I. 서 론

LAN의 정의는 매우 다양하며 각각의 정의에 따라 약간의 차이점이 있지만, 일반적으로 큰 건물이나 지리적으로 한정된 거리에서 고속으로 데이터를 교환할 수 있는 통신망을 말한다. LAN은 1970년대 후반에 발명되어 통신의 환경을 급격하게 발전시키고 인터넷의 확산에 크게 기여하였다. 유선 LAN의 경우, 전송 매체로 꼬임선, 동축 케이블 및 광섬유를 이용하며, 매체 접근 제어 방식으로 IEEE 802.3의 CSMA/CD와 IEEE 802.4 및 802.5의 토큰 제어 방식을 이용한다. 전송 속도 차원에서 10 Mbps 및 100 Mbps의 전송 속도를 제공하는 Ethernet LAN은 이미 상용화되어 널리 사용되고 있으며, 최근에는 1 Gbps 및 10 Gbps급의 LAN이 개발되어 상용화되고 있다. 무선 LAN은 11 Mbps의 전송률을 지원하는 표준 규격 IEEE 802.11b의 완성과 이에 따른 저가의 관련 장치 개발, 그리고 휴대형 PC 및 PDA의 보급 확대 등에 따라 최근 관련 시장이 큰 폭으로 성장하고 있으며, 또한 최대 54 Mbps의 전송률을 지원하는 5 GHz 대역의 IEEE 802.11a 무선 LAN의 이용도 점차 활발해질 것으로 예상된다. 현재 무선 LAN과 관련하여 최근 국내외 유무선 사업자들은 회의장, 공항, 호텔, 카페 등 이용자가 밀집되어 있는 핫스팟 지역에서 무선 LAN 기술을 이용한 고속 무선 인터넷 서비스 사업을 시작하거나 준비 중에 있으며, 또한 무선 LAN을 대내 무선망으로도 활용하고 있다. 이와 같이 무선 LAN은 유선 LAN을 대체한다는 기존의 이용 개념을 넘어 공중 무선망과 대내 무선망 등으로 그 영역을 확대하기 시작하였으며, 또한 이동 통신망과 점차 높은 수준으로 연동되어 이중 모드 단말을 소지한 사용자는 핫스팟 지역에서 고속의 무선 LAN에 접속하고, 그 지역을 벗어나게 되면 자동적으로 전국적인 커버리지를 갖는 이동 통신망에 접속할 수 있도록 하고 있다. 이러한 환경이 성숙되면 궁극적으로 하나의 단말을 가지고 가정, 사무실, 학교, 호텔, 공항 등 장소에 관계없이 고속의 무선 인터넷 서비스를 이용할 수 있게 될 것이다^{[1]-[3]}. 이러한 시점에서 무선 LAN 단말이 AP(Access Point)를 이용하여 유선 LAN 또는 공중 셀룰러망에 접속됨으로써 유선 LAN에 접속되어 있는 서버는 물론 인터넷에

접속되어 있는 서버를 액세스할 수 있도록 하는 연구 결과도 발표되고 있다^[4]. 이렇게 무선 LAN이 활발하게 사용되고 있는데 반해 최대 전송 속도가 표준화 기술 문서에서 언급되고 있지만, 무선 LAN의 액세스 메커니즘, 오버헤드 및 무선 환경 특유의 페이딩으로 인해 이용자가 체감하는 전송 속도는 최대 전송 속도에 훨씬 못 미치고 있다. 이러한 점을 감안하여 일부 논문에서는 비트 에러율에 따른 처리율을 1 Mbps급 IEEE 802.11 무선 LAN에 대해서 분석하였지만, 최대 전송 속도로 54 Mbps를 제공하는 IEEE 802.11a 무선 LAN에 대해서는 연구 결과가 미미한 실정이다^[5]. 한편, 일부 논문에서 IEEE 802.11a 무선 LAN의 MSDU(MAC Service Data Unit) 크기에 따른 전송 속도별 처리율을 분석하였지만, 이는 무선 채널 특유의 페이딩 환경을 전혀 고려하지 않은 이상적인 경우이다^{[6],[7]}. 이러한 배경에서 본 논문에서는 E_b/N_0 등 페이딩 채널 환경을 고려하여 페이로드 크기에 따른 MAC 계층의 CSMA/CA 기반 DCF의 처리율을 분석하여 이상적인 처리율과 비교하기 위해 2장에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN이 유선 LAN에 접속되는 환경의 프로토콜 계층 구조와 실내의 무선 환경에 적용할 수 있는 페이딩 환경에 대하여 살펴 보았고, 또한 IEEE 802.11a 무선 LAN의 CSMA/CA 기반 DCF 프로토콜의 동작을 분석하였다. 3장에서는 이상적인 채널 환경과 페이딩 채널 환경에서의 처리율을 유도하였으며, 4장에서는 3장의 내용을 기반으로 페이로드 크기에 따른 처리율을 구하여 비교 분석 하였다. 5장에서는 내용 요약과 함께 향후 연구 방향에 대하여 언급하였다.

II. 무선 LAN 기술

2-1 무선 LAN 접속 구조

무선 LAN은 LAN 케이블을 대체하거나 혹은 보다 유연하게 확장할 수 있는 데이터 통신 시스템으로, 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 무선 LAN이 유선 LAN에 접속되는 구조를 나타내며, AP는 802.11 프로토콜을

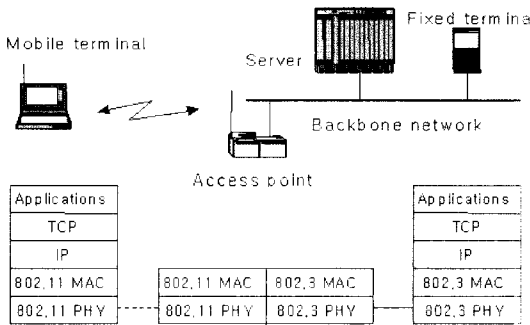


그림 1. 무선 LAN의 유선 LAN 접속 구조
Fig. 1. Wireless LAN connected to wireline LAN.

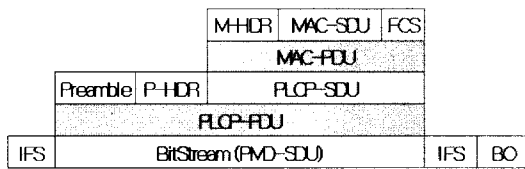


그림 2. IEEE 802.11의 물리 계층과 MAC 계층 구조
Fig. 2. Physical and MAC layer in IEEE 802.11.

802.3 프로토콜로 변환하는 역할을 한다.

그림 2는 IEEE 802.11에서 제시하고 있는 물리 계층과 MAC 계층을 나타내고 있는데, PDU(Protocol Data Unit)와 SDU(Service Data Unit)의 관계를 보여 준다. MAC 계층에서는 MSDU에 MAC 계층 헤더와 FCS가 추가되어 MPDU를 구성한다. 802.11a 물리 계층은 2.4 GHz 대역(ISM 대역)의 802.11, 802.11b, 802.11g와는 달리 5 GHz 대역(U-NII) 대역을 사용하며, 6, 9, 12, 18, 24, 35, 48 및 54 Mbps의 전송 속도를 지원한다^{[8],[9]}. 물리 계층은 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 부계층과 PMD(Physical Medium Dependent) 부계층으로 구분된다. PLCP 부계층에서는 PLCP 프리앰블과 헤더가 MPDU에 추가되어 PPDU가 형성되고, PMD 부계층에서는 IFS(InterFrame Space)와 BO(Back-Off) 시간 간격이 오버헤드로 고려된다^{[8],[9]}.

2-2 무선 채널 환경

2-2-1 페이딩

많은 무선 통신 채널이 LOS(Line-Of-Sight) 전송 경로를 가지고 있지 않으며, 통신 신호는 송신기에서

수신기까지 여러 반사된 경로를 통하여 전달된다. 이 현상을 다중 경로 전파 현상이라고 부르는데, 다중 경로이기 때문에 송신된 신호는 다른 크기와 위상을 갖고 서로 다른 시간에 수신기에 도달하게 된다. 이러한 다중 경로에 의해 다중 경로 페이딩이 발생하게 된다^[10]. 무선 통신 채널에서는 수신된 신호의 크기를 고려하여 다중 경로 페이딩을 large-scale 페이딩과 small-scale 페이딩으로 구분할 수 있다. Small-scale 페이딩은 다중 경로 때문에 생기는 신호의 시간 확산이고, 동작에서 생기는 채널의 시간 변화이다. 신호의 시간 확산은 주파수 선택적 페이딩이나 flat 페이딩을 야기하고, 채널의 시간 변화는 fast 페이딩이나 slow 페이딩을 야기한다. 시간 확산(dispersion) 작용을 표현하는 두 가지 매개 변수는 상관(coherence) 대역폭과 최대 초과 지연(maximum excess delay) 시간이다. 상관 대역폭(B_c)은 채널의 왜곡이 없다고 생각되는 주파수 대역의 통계적인 측정으로 구할 수 있다. 최대 초과 지연 시간(T_m)은 첫 번째 신호와 마지막 신호 사이의 도착 시간차인데, B_c 와 T_m 은 아래와 같은 관계가 있다.

$$B_c \approx \frac{1}{T_m} \tag{1}$$

그러나, T_m 은 일반적으로 채널을 표현하는데 가장 좋은 매개 변수는 아니며, 좀 더 실용적인 매개 변수는 rms(root mean square) 지연 확산이며 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - \bar{\tau}^2} \tag{2}$$

여기서, $\bar{\tau}$ 는 평균 초과 지연 시간이고 $\overline{\tau^2}$ 는 $\bar{\tau}$ 의 2차 모멘트이다. B_c 와 σ_τ 사이에 어떤 정해진 관계는 없으나 B_c 가 0.5보다 큰 주파수 관계 함수로 정해져 있는 대역폭을 정의하면 경험적으로 다음과 같이 정의되기도 한다.

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \tag{3}$$

그리고 B_c 가 0.9보다 큰 주파수 관계 함수로 정해져 있는 대역폭을 정의하면 경험적인 방식에 의해서 종종 다음과 같이 정의되기도 한다.

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau} \tag{4}$$

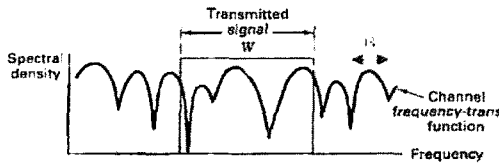


그림 3. 주파수 선택적 페이딩($B_c < W$)
Fig. 3. Frequency selective fading($B_c < W$).

σ_r 는 LOS 경로에 상관없이 건물의 크기나 종류에 의존하는 값으로 정의되어 있다. 만약 상관 대역폭 B_c 가 전송된 신호의 대역폭 W 보다 작다고 할 때 수신 신호는 주파수 선택적 페이딩 현상을 겪게 된다. 즉, 채널이 주파수 선택적이면 다음 관계가 성립된다.

$$B_c < W \tag{5}$$

$$T_m > T_s \tag{6}$$

여기서 $B_c \approx 1/T_m$, $W \approx 1/T_s$ 이며 $1/T_s = R_s$ 로 심볼 속도이다. 주파수 선택적 페이딩이 일어날 때 신호의 다른 주파수 성분은 서로 다르게 영향을 받으므로 수신된 신호에는 왜곡이 발생하게 된다.

다중 경로 환경에서 수신된 신호의 크기는 랜덤 변수로 표현되며, 대표적인 채널 모델은 Rayleigh 페이딩과 Ricean 페이딩이다. 잘 알려진 것처럼 신호의 크기가 급격히 변하는 small-scale의 경우 Rayleigh 모델이 사용되는데, 송신단의 신호는 다중 경로를 통해서 수신단으로 전송되며, 송수신기 사이에서의 LOS가 없는 경우이다. Rayleigh 페이딩 채널에서 수신된 신호의 크기는 아래의 확률 밀도 함수(pdf)를 갖는 Rayleigh 랜덤 변수로 모델링된다. 여기서 $2\sigma^2$ 은 산란되고 LOS 환경이 아닌 수신 신호 전력을 나타낸다.

$$f_{A_c}(a_c) = \frac{a_c}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a_c^2}{2\sigma^2}\right), \quad a_c \geq 0 \tag{7}$$

Ricean 모델에서는 송신단의 신호가 다중 경로를 통해서 수신단으로 전송되지만 송수신기 사이에 LOS가 존재하며, 전송된 신호의 크기가 다음의 확률 밀도 함수를 갖는 Ricean 랜덤 변수에 의해 모델링 된다.

$$f_{A_c}(a_c) = \frac{a_c}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(a_c^2 + \alpha^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\alpha \cdot a_c}{\sigma^2}\right), \quad a_c \geq 0 \tag{8}$$

여기서 $I_0(\cdot)$ 은 제1종 0차의 Bessel 함수이다. α^2 은 LOS 환경의 수신 신호 전력을 나타내고, $2\sigma^2$ 은 LOS 환경이 아닌 수신 신호 전력을 나타낸다. Ricean 페이딩 채널에서 수신 신호의 평균 전력은

$$\overline{S^2(t)} = \overline{a_c^2} = \alpha^2 + 2\sigma^2 \tag{9}$$

이다. $\alpha \rightarrow 0$ 일 때 Ricean pdf 는 Rayleigh pdf와 같아지며, 평균 수신 신호 전력은 $2\sigma^2$ 로 감소하게 된다.

2-2-2 페이딩 환경의 BER 성능

순수 Rayleigh 페이딩($\zeta = 0$) 및 복합 Rayleigh/Ricean 페이딩($0 < \zeta \leq 10$) 채널 환경에서 채널 부호화를 적용한 IEEE802.11a 물리 계층의 BER 성능을 분석한다.

전송 속도가 6 Mbps 및 12 Mbps인 OFDM 시스템에서는 코드율 $r=1/2$ 이 사용되며, 코드율이 $r=k/n$ 인 길쌈 부호가 적용될 때 비트 오류의 상한은 다음과 같다^[11].

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} B_d P_d \tag{10}$$

여기서 d_{free} 는 길쌈 부호의 자유 거리(free distance)를 말하고, B_d 는 가중치 d 경로상의 모드 정보 비트의 총수를 나타내며, P_d 는 가중치 d 경로가 전송된 시퀀스로써 선택될 확률, 그리고 k 는 단위 클럭 당 정보 비트의 수를 말한다. B_d 및 d_{free} 는 길쌈 부호의 파라미터이며, P_d 는 변조 방식, 채널 및 판정 방식에 따라 결정된다. 구속장 및 코드율이 주어지면 B_d 가 정해진다^[11]. 일반적으로 식 (10)에서 지배적인 첫 5번째 항까지만 고려하므로 식 (10)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{d_{free}+4} B_d P_d \tag{11}$$

경관정에서는 해밍 거리가 메트릭으로 사용되며, 모든 제로 경로가 송신되었다고 가정한다. d 가 홀수일 때 수신된 시퀀스의 오류 개수가 $(d+1)/2$ 보다 적다면 모든 제로 경로는 올바르게 선택되어질 것이고, 그렇지 않다면 잘못된 경로가 선택되어질 것이

다. 따라서, d 가 홀수일 때 잘못된 경로가 선택될 확률은 다음과 같다^[11].

$$P_d = \sum_{i=\frac{d+1}{2}}^d \binom{d}{i} p_i (1-p)^{d-i} \quad (12)$$

여기서 p 는 채널 비트 오류이다. d 가 짝수일 때 오류 개수가 $d/2$ 를 초과하면 그릇된 경로가 선택되어지고, 만약 오류 개수가 $d/2$ 와 같다면 두 경로의 매트릭은 동일하게 된다. 이런 경우, 무작위로 어느 한 쪽을 선택하게 되고, 따라서 그 중 절반은 오류가 발생할 수 있다. 결과적으로 d 가 짝수일 때 그릇된 경로를 선택할 확률은 다음과 같다^[11].

$$P_d = \sum_{i=\frac{d}{2}}^d \binom{d}{i} p^i (1-p)^{d-i} + \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} p^{d/2} (1-p)^{d/2} \quad (13)$$

$\overline{\gamma_b} = E_b / N_o$ 는 평균 수신 단위 비트당 에너지 대 잡음 전력 밀도이고 r 이 코드율이라면 IEEE 802.11a 표준 OFDM 시스템의 AWGN 환경에서 BPSK/QPSK의 i th 부 채널의 에러율은 다음과 같다.

$$p_i = Q\left(\sqrt{2r\overline{\gamma_{b_i}}}\right) \quad (14)$$

여기서 $\overline{\gamma_{b_i}}$ 는 i th 부 채널의 평균 수신 단위 비트당 에너지 대 잡음 전력 밀도이기 때문에, 총량 p 는 각 N 개 OFDM 부 채널의 평균 에러율이 된다.

$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad (15)$$

여기서 N 은 48 또는 24개의 독립적인 부반송파라고 가정한다. 페이딩이 없다면(즉, $\overline{\gamma_{b_i}} = \overline{\gamma_b}$) $p_i = p$ 가 된다. 식 (14)를 이용, 식 (12) 또는 식 (13)에 적용한 결과를 식 (11)에 활용하면, AWGN 환경에서 BPSK/QPSK의 성능을 얻을 수 있다. 채널 부호화를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\overline{\gamma_{b_i}} = r\overline{\gamma_b} \quad (16)$$

따라서 페이딩 채널상에서의 BPSK/QPSK i th 부 채널의 채널 비트 에러율은 다음과 같다^[12].

$$p_i \approx \frac{1}{2\sqrt{\pi c_1}} \left(\frac{\zeta_i + 1}{r\overline{\gamma_{b_i}} + \zeta_i + 1} \right)^d \exp\left(\frac{-d\zeta_i r\overline{\gamma_{b_i}}}{r\overline{\gamma_{b_i}} + \zeta_i + 1} \right) \quad (17)$$

여기서, $c_1 = 1.2 + 0.1\zeta$ 는 실험적으로 얻어지며, $d=1$ 이다. 페이딩이 없거나 또는 모든 부 반송파가 동일한 페이딩을 겪는다면($\zeta_i = \zeta$ 그리고 $\overline{\gamma_{b_i}} = \overline{\gamma_b}$ for all i), $p_i = p$ 가 된다. 식 (17)을 이용, 식 (12) 또는 식 (13)에 적용한 결과를 식 (11)에 활용하면 페이딩 채널 환경에서 BPSK/QPSK의 BER 성능식을 얻을 수 있다.

무선 LAN에서는 24 Mbps의 전송 속도를 얻기 위하여 IEEE 802.11a에서는 $r=1/2$ 의 코드율을 갖는 16 QAM을 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 QAM 방식으로 변조되는 OFDM 시스템을 해석하기로 한다. Ricean 페이딩 채널 환경에서 BPSK/QPSK 경우와 유사한 방식으로 접근하면 MQAM의 i 번째 부 채널에서는 다음과 같이 근사치의 채널 에러율을 얻을 수 있다^{[11],[12]}.

$$p_i \approx \frac{4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot e^{-d \cdot \zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma_{b_i}}}{3qr\overline{\gamma_{b_i}} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{q\sqrt{2\pi c_2} \left[\frac{3qr\overline{\gamma_{b_i}} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)}{2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]^d} - \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 \cdot e^{-d \cdot \zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma_{b_i}}}{3qr\overline{\gamma_{b_i}} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{\pi c_2 q \left[\frac{3qr\overline{\gamma_{b_i}} + (M-1)(\zeta_i + 1)}{(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]} \quad (18)$$

여기서, $c_2 = 2.6 + 0.1\zeta$ 는 실험치이고, ζ_i 는 i 번째 부 채널에서 직접 수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비이고, HDD상에서 $d=1$ 이다. 채널 페이딩이 없거나 모든 부 채널에서 동일한 페이딩에 존재한다면 $p_i = p$ 이다. 식 (12)와 식 (13)에 $q \geq 4$ 일 때의 식 (18)을 적용하면 식 (11)을 얻을 수 있고, Ricean 페이딩 채널하에서 HDD 방식에 의한 square MQAM의 성능을 얻을 수 있다.

부호율이 $r=3/4$ 이고 전송 속도가 54 Mbps인 경우에 식 (18)에서 $q=6$ 인 것을 제외하면 16 QAM과 같은 방식으로 Ricean 페이딩 채널 환경에서 64 QAM의 성능을 분석할 수 있다.

2-3 DCF 프로토콜 동작 분석

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 시간축상에서 교대로 이용되는 PCF(Point Coordination Function)와 DCF의 두 가지 동작 모드를 지원한다. PCF는 비경쟁방식으로서 시간적으로 제약적인 서비스에 이용되고, DCF는 경쟁 기반의 CSMA/CA 기법을 이용하며 비동기적인 데이터 전송에 주로 이용된다¹⁴⁾. 802.11 MAC 프로토콜은 5개의 시간 간격을 정의한다. SIFS (Short InterFrame Space)와 slot time T_{slot} 은 물리 계층에 의해서 결정되는 것이고, PIFS(Priority InterFrame Space), DIFS(Distributed InterFrame Space) 및 EIFS (Extended InterFrame Space)는 SIFS와 slot time 기반 하에서 정의된다. IEEE 802.11a의 경우 SIFS 시간 간격 T_{SIFS} 은 16 μ sec, slot time은 9 μ sec, DIFS 시간 간격 T_{DIFS} 은 34 μ sec가 된다. Slot time은 신호 전파 및 처리 지연 현상을 고려한 수치이다. PIFS는 SIFS에 하나의 slot time을 추가한 시간 간격(25 μ sec)이고, DIFS는 SIFS에 2개의 slot time을 추가한 시간 간격(34 μ sec)이 된다. EIFS T_{EIFS} 는 가장 긴 시간 간격을 가지며, 데이터 프레임이 에러 상태로 수신될 경우 수신 단말이 ACK 프레임을 보내는 데 지장이 없도록 충분한 시간을 확보한다. DCF는 그림 4에서 보듯이 CSMA/CA 메커니즘을 이용하는데 전송할 새로운 패킷이 있는 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지를 모니터링한다. 채널이 DIFS 시간 간격 동안 휴지 상태이면 AP 또는 단말은 패킷을 전송하기 시작한다. 이와는 달리 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지 휴지 상태인지를 계속 모니터링하고

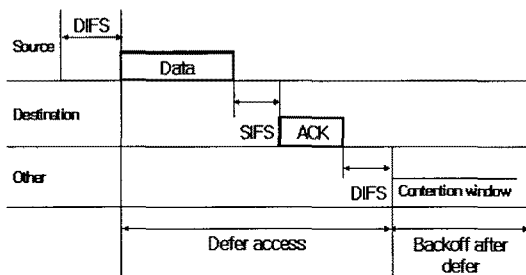


그림 4. IEEE 802.11a CSMA/CA 기반 DCF 프로토콜의 동작

Fig. 4. The operation of IEEE 802.11a CSMA/CA-based DCF protocol.

DIFS 시간 간격 동안 채널이 휴지 상태이면 slot time 단위로 채널 시간을 처리하여 slot time 단위로 랜덤 backoff 시간 간격을 발생시킨다. 그리고 채널이 사용중인지 휴지 상태인지를 계속 모니터링하는데 각 slot time 동안에 아직도 채널이 휴지 상태라고 하면 backoff 시간 간격은 하나씩 감소하게 된다. Backoff 시간 간격이 0인 경우에 AP 또는 단말은 패킷을 전송하게 된다. 이러한 backoff 기간 동안 채널이 slot time에서 사용중이라면 backoff 간격이 감소되는 것은 정지되고 채널이 DIFS 시간 간격과 한 개의 slot time 시간 간격 동안 휴지 상태라고 감지된 후에만 동작하게 되며, Backoff 시간 간격이 0인 경우에 또 다시 패킷이 전송되기 시작한다. 이러한 backoff 기법은 채널이 사용중이라는 것을 인식하게 되므로 충돌 현상을 피할 수 있도록 하는 기법이다. 더욱이 채널의 캡처 현상을 피하기 위하여 AP 또는 단말은 채널이 DIFS 시간 간격 동안 휴지 상태라고 해도 2개의 새로운 패킷이 연속적으로 전송되는 경우 backoff 시간 동안 대기하게 된다. DCF의 backoff 메커니즘은 지수 함수 특성을 갖고 있는데 각각의 패킷이 전송되는 경우 slot time 단위의 backoff 시간은 패킷 전송 실패 횟수에 따라 정해지는데 패킷이 처음으로 전송되는 경우, 최소 충돌 윈도우 값인 $CW_{min}=15$ 로 설정되고, 패킷 전송이 실패할 경우 $CW_{max}=1023$ 의 범위 내에서 2배로 증가한다. 그리고 패킷 전송이 성공적으로 이루어진 경우 수신 단말은 ACK 신호를 보내게 되며, 프로토콜 헤더를 간단히 하기 위하여 ACK 신호는 순서 번호를 포함하지 않으며, 수신한 패킷에 대해서 즉시 응답하는 stop-and-go 프로토콜 기반 하에서 데이터를 교환한다. 송신 단말은 패킷 전송을 완료한 후 16 μ sec SIFS 시간 간격 내에 ACK 신호를 수신해야 된다. 송신 단말이 정해진 ACK_timeout 기간 내에 ACK 신호를 수신하지 못하거나 채널에 다른 패킷이 전송되는 것을 감지하게 되면 패킷 전송이 실패한 것으로 간주하며, backoff 메커니즘에 의한 재전송 절차를 따르게 된다. 802.11 MAC 프로토콜은 물리 계층의 채널 감지 기법 외에 채널이 휴지 상태로 되기 전에 남아 있는 시간의 양을 각 단말에게 알려주는 NAV(Network Allocation Vector) 기법을 구현한다. 모든 패킷은 duration 필드를 포함하며, NAV값은 각각의 패킷이 전송될 때 필드 값에 따라

업데이트 된다. 이러한 NAV 기법을 가상 캐리어 감지 기법이라고 하며, MAC 프로토콜은 충돌 현상을 피하기 위하여 물리 및 가상 감지 기법을 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^[4].

III. 페이로드 크기에 따른 DCF 처리율 해석

3-1 IEEE 802.11a 무선 LAN 파라미터

IEEE 802.11a 무선 LAN의 이상적인 채널 환경과 페이딩 채널 환경의 DCF 처리율을 분석하는데 이용하는 파라미터는 표 1과 같다.

3-2 이상적인 채널 환경의 DCF 처리율

이상적인 채널 환경의 DCF 처리율을 분석하기 위해 에러가 없는 채널을 가정하고 임의의 전송 주기 동안 패킷을 전송하는 단말이 1개만 존재하고 다른 단말은 패킷을 수신한 후 응답한다고 가정한다. DCF의 전송 주기는 DIFS 시간, backoff, SIFS 시간 ACK 전송 시간으로 구성된다. 평균 backoff 시간은

표 1. IEEE 802.11a 파라미터
Table 1. IEEE 802.11a parameters.

파라미터	값	파라미터	값
T_{slot}	9 μs	T_{SIFS}	16 μs
T_{EIFS}	43 μs	CW_{min}	15
T_P	16 μs	T_{PHY}	4 μs
T_{DIFS}	34 μs	T_{SYM}	4 μs
MAC_h	34 바이트	PHY_h	5 바이트
L_{ACK}	14 바이트	단말수	5, 20, 50
전송 속도	6, 12, 24, 54 Mbps	T_{D_ACK}	44, 32, 28, 24 μs for 6, 12, 24, 54 Mbps
∇	1 μs	N_{DBPS}	24, 48, 96, 216 for 6, 12, 24, 54 Mbps

$CW_{ave} = \frac{CW_{min} T_{slot}}{2}$ 이다. 데이터 프레임 전송 지연 시간 T_{D_DATA} , ACK 프레임 전송 지연 시간 T_{D_ACK} 및 최대 처리율(MT)은 식 (19)와 같이 표시된다. P 는 페이로드 길이이고, T_{DATA} 는 페이로드의 전송 시간, T_{H_DATA} 는 MAC 헤더 전송 시간이고, T_{ACK} 는 ACK 데이터의 전송 시간, T_{SYM} 은 심볼 전송 시간, T_P 는 물리 계층 프리앰블 전송 시간, T_{PHY} 는 물리 계층 헤더 전송 시간, N_{DBPS} 는 OFDM 심볼당 데이터 비트수를 나타낸다^[6]. 그리고 MAC_h 는 MAC 헤더 길이, PHY_h 는 물리 계층 헤더 길이, L_{ACK} 는 ACK 데이터 길이, ∇ 는 전파 지연 시간을 나타낸다.

최대 처리율 =

$$\frac{8P}{T_{D_DATA} + T_{D_ACK} + 2\nabla + T_{DIFS} + T_{SIFS} + CW_{ave}}$$

$$T_{D_DATA} = T_P + T_{PHY} + T_{H_DATA} + T_{DATA}$$

$$T_{D_ACK} = T_P + T_{PHY} + T_{ACK} \quad (19)$$

IEEE 802.11a에서 패드 비트를 처리하기 위해서 Ceiling 함수가 사용된다.

$$T_{D_DATA} = T_P + T_{PHY} + T_{SYM}$$

$$*Ceiling\left(\frac{16 + 6 + 8MAC_h + 8P}{N_{DBPS}}\right) \quad (20)$$

$$T_{D_ACK} = T_P + T_{PHY} + T_{SYM}$$

$$*Ceiling\left(\frac{16 + 6 + 8L_{ACK}}{N_{DBPS}}\right) \quad (21)$$

3-3 페이딩 채널 환경의 DCF 처리율

전송채널에서 발생하는 비트 에러를 고려하여 처리율을 분석하며, 단말수 n 은 고정되었다고 가정하고 각각의 단말은 항상 전송 패킷을 가지고 있다고 가정한다. 다시 말해, 포화 조건(saturation condition) 하에서 동작한다(예를 들면 전송 버퍼가 항상 비어 있지 않음)고 한다. 그리고 채널상에서 비트 에러는 P_b 라는 확률로 랜덤하게 발생된다고 가정한다. 백오프 확률상의 비트 에러의 영향은 비트 에러율 P_b 및 페이로드 크기 P 를 기반으로 하여 유도된다. 랜덤하게 선정된 슬롯 타임 내에서 단말의 패킷 전송 확률 τ 가 분석되는데, 이 확률은 CSMA/CA 메커니즘

에는 직접적으로 관련되어 있지 않지만, 패킷 에러율 P_c 와 충돌 확률에 관련되어 있다. 결국 CSMA/CA 기반의 DCF 처리율은 τ 및 P_b 의 함수로 표현된다^[5].

3-3-1 패킷 에러율

CSMA/CA 기법에서 물리 계층 헤더와 MAC 계층의 헤더를 포함하는 데이터 패킷은 패킷 내부의 어느 한 비트라도 에러가 발생하면 재전송되어야 한다. 편의상, 변수 P_c 를 패킷 내의 에러 때문에 백오프가 발생할 확률로 정의하고, 패킷 내의 에러는 랜덤하게 발생한다고 가정하면 CSMA/CA 기법에서 다음과 같이 표현된다.

$$P_c = 1 - (1 - P_b)^{PHY_h + MAC_h + P + ACK} \quad (22)$$

P 는 페이로드 길이이고, ACK는 ACK 프레임 길이를 나타낸다.

3-3-2 패킷 전송 확률

$b(t)$ 를 어떤 주어진 단말에서의 백오프 타이머를 나타내는 확률적인 과정이라 하자. 이산적이고 정수 단위의 시간에서 $t, t+1$ 을 두 개의 연속적인 슬롯 타임의 시작을 나타낸다고 하고 각 단말의 백오프 타임 카운터는 각 슬롯 타임의 시작 부분에서 감소된다. 각 단말에서의 백오프 카운터의 값은 그것의 전송이력(얼마나 많은 재전송이 이전 패킷 전송시에 발생했는지 여부)에 의존하므로 확률 과정 $b(t)$ 는 비마르코프 확률 과정이다. 편의상 $W = CW_{\min}$ 이라

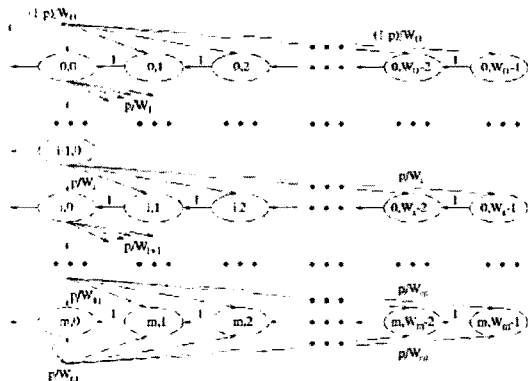


그림 5. 백오프 윈도우 사이즈 마르코프 체인 모델
Fig. 5. Markov chain model for the backoff window size.

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 확률 과정을 나타낸다.

모델에서 전송된 패킷이 충돌하거나 성공적으로 전송되지 못할 확률 p 는 단말의 상태와는 무관하다고 가정한다. 이런 경우 편의상 bidimensional 과정은 그림 5와 같이 이산 시간 마르코프 체인이 되며, 비공백의 한 단계 천이 확률은 다음과 같다.

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1, & k \in (0, W_i - 2); i \in (0, m) \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0, & k \in (0, W_0 - 1); i \in (0, m) \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i, & k \in (0, W_i - 1); i \in (1, m) \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m, & k \in (0, W_m - 1); \end{cases} \quad (23)$$

식 (23)에서 첫 식은 백오프 시간이 각 슬롯 타임의 시작에서 감소된다는 사실을 설명한다. 두 번째 식은 성공적으로 패킷 전달이 이루어진 다음의 새로운 패킷이 백오프 단계 0에서 전송이 시작됨을 설명한다. 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 백오프 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 체인이 정적 분포라고 할 때 체인의 규칙에 따라 다음의 관계가 성립한다.

$$b_{i,k} = \begin{cases} p^i b_{0,0}, & k = 0; & i \in (0, m-1) \\ \frac{p^m}{1-p} b_{0,0} & k = 0; & i = m \\ \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} & k \in (0, W_i - 1); & i \in (0, m) \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{j=0}^{m-1} (2p)^j + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \sum_{i=0}^{m-1} (p)^i + \frac{(p)^m}{1-p} \right] \\ &= 1 \end{aligned} \quad (25)$$

이것으로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (26)$$

이제 확률 τ 는 단말이 랜덤하게 선택한 슬롯 타임에서 표현되게 할 수 있다. 백 오프 단계에 상관없이 백 오프 타이머가 0이 되면 어떤 전송 사건도 발생할 수 있으므로 다음식이 얻어진다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (27)$$

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 단말들이 타임 슬롯에서 전송함을 의미한다. 이 문제를 간단히 하기 위해서 정상 상태를 가정하며 정상 상태에서 각각의 나머지 단말들이 τ 확률을 가지고 패킷을 전송하며 패킷 에러율 P_c 의 영향을 고려하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1}(1-P_c) \quad (28)$$

식 (28)을 역변환하여 $\tau^*(p) = 1 - \left(\frac{1-p}{1-P_c}\right)^{n-1}$ 을 얻을 수 있다. 식 (27) 및 식 (28)은 미지수 τ, p 의 비선형 시스템을 나타내며, 이는 산술적인 방법에 의해 풀 수 있고 유일해를 가짐이 분명하다.

3-3-3 처리율

S 를 채널이 페이로드 비트들을 성공적으로 전송하기 위해 사용된 시간의 비율로 계산되는 시스템의 처리율로 정의한다. P_r 는 슬롯 타임에서 적어도 하나의 전송이 발생될 확률로 하고 채널상에서 n 개의 단말이 경쟁하고 각 단말이 전송할 확률은 τ 이므로 다음 식이 성립된다.

$$P_r = 1 - (1-\tau)^n \quad (29)$$

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

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{P_r}$$

$$= \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{1-(1-\tau)^n} \quad (30)$$

또한, 처리율 S 는 다음과 같이 표현된다.

$$S = \frac{E[\text{슬롯 타임 내에 전송된 페이로드 정보}]}{E[\text{슬롯 타임의 길이}]}$$

슬롯 타임에서 성공적으로 전송될 확률은 $P_r P_s$ 이기 때문에 슬롯 타임 내에서 페이로드 정보 P 가 성공적으로 전송될 평균 정보량은 $P_r P_s P$ 이다. 평균 슬롯 타임의 길이는 채널이 휴지 상태일 확률 $1-P_r$, 전송 성공 확률 $P_r P_s$, 충돌 확률 $P_r(1-P_s)$ 을 고려하여 구해진다. 그러므로

$$S = \frac{P_r P_s P}{(1-P_r)T_{slot} + P_r P_s T_s + P_r(1-P_s)T_c} = \frac{P}{T_s - T_c + \frac{T_{slot}(1-P_r)/P_r + T_c}{P_s}} \quad (31)$$

여기서, T_s 는 성공적으로 데이터가 전송되어 채널이 busy 상태로 감지되는 평균 시간이며, T_c 는 충돌 상태인 동안에 각 단말이 채널을 busy로 감지할 평균 시간을 나타낸다. T_s 및 T_c 는 CSMA/CA 기법인 경우 식 (32)로 표현되며, T_xRate 는 데이터 전송율을 나타낸다.

$$T_s = T_{DIFS} + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{TxRate} + T_{SIFS} + T_{D_ACK}$$

$$T_c = T_{DIFS} + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{TxRate} + T_{EIFS} \quad (32)$$

IV. 페이로드 크기에 따른 DCF 처리율 분석 및 비교 검토

4-1 이상적인 채널 환경의 DCF 처리율 분석

그림 6의 MT(P, 24)에서 MT(Maximum Throughput)는 최대 처리율을 나타내고, P 는 패킷의 페이로드 크기를 나타내며, 24는 OFDM 심볼당 데이터 비트의 수를 나타내는데, 이는 전송율이 6 Mbps인 경우에 해당된다. 따라서 48은 12 Mbps, 96은 24 Mbps, 216은 54 Mbps인 경우에 해당된다. 일반적으로 TCP ACK 데이터의 경우 60 바이트, web browsing 데이터인 경우 576 바이트, 인터넷의 최대 데이터 크기는

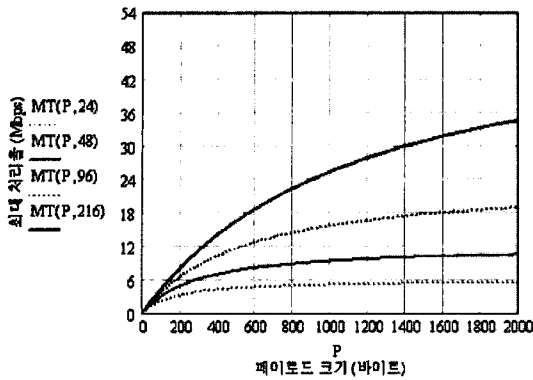


그림 6. 이상 채널 환경에서 패킷의 페이로드 크기에 따른 최대 처리율

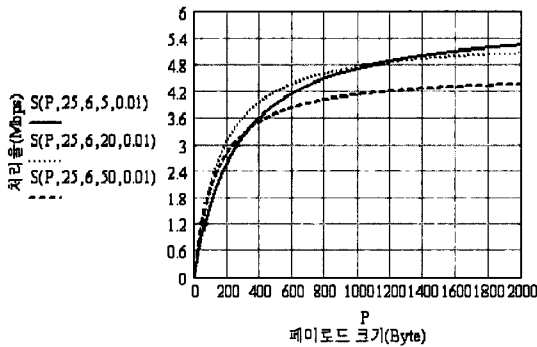
Fig. 6. Maximum throughput versus payload size under the ideal channel.

1,500 바이트 정도이므로 이를 대표적인 패킷 크기로 고려하였다. 6 Mbps인 경우, 60 바이트에서는

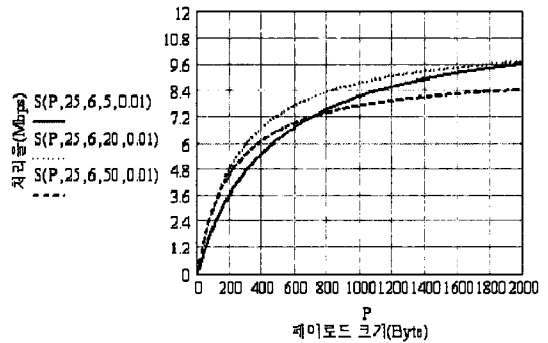
1.585 Mbps, 576 바이트에서는 4.651 Mbps, 1,500 바이트에서는 5.399 Mbps의 처리율을 나타낸다. 12 Mbps인 경우, 60 바이트에서는 2.076 Mbps, 576 바이트에서는 8.012 Mbps, 1,500 바이트에서는 10.074 Mbps의 처리율을 나타낸다. 24 Mbps인 경우 60 바이트에서는 2.457 Mbps, 576 바이트에서는 12.544 Mbps, 1,500 바이트에서는 17.769 Mbps의 처리율을 나타낸다. 54 Mbps인 경우, 60 바이트에서는 2.736 Mbps, 576 바이트에서는 18.295 Mbps, 1,500 바이트에서는 30.867 Mbps의 처리율을 나타낸다.

4-2 페이딩 채널 환경의 DCF 처리율 분석

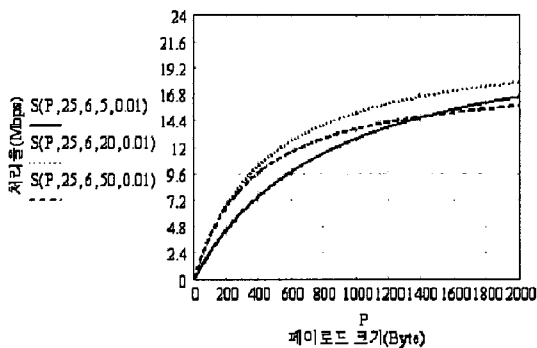
IEEE 802.11a의 OFDM 기반 무선 LAN의 DCF 처리율 성능을 분석하기 위해서 사용된 시스템 파라미터는 표 1과 같다. 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 하고, 802.11a의 전송 속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12



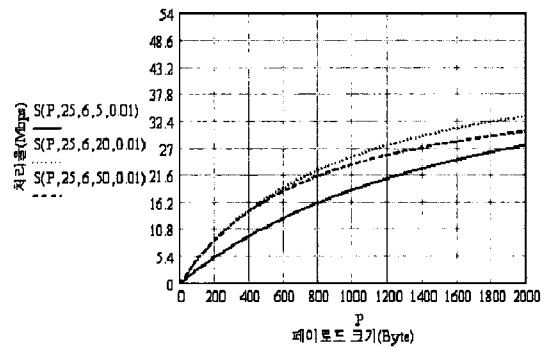
(a) 6 Mbps인 경우의 처리율
(a) Throughput for 6 Mbps transmission rate



(b) 12 Mbps인 경우의 처리율
(b) Throughput for 12 Mbps transmission rate



(c) 24 Mbps인 경우의 처리율
(c) Throughput for 24 Mbps transmission rate



(d) 54 Mbps인 경우의 처리율
(d) Throughput for 54 Mbps transmission rate

그림 7. 페이딩 채널 환경에서 패킷 크기에 따른 포화 처리율
Fig. 7. Saturation throughput versus payload size under the fading channel.

Mbps, 6 Mbps로 한다. 패킷 크기는 일반적으로 TCP ACK 데이터의 경우 60 바이트, web browsing 데이터인 경우 576 바이트, 인터넷의 최대 데이터 크기는 1,500 바이트 정도이므로 이를 대표적인 패킷 크기로 사용하였다. 전송 확률(τ)은 0.01, 단말수는 5, 20, 50를 사용하였다. 그림 7에서 $S(P, 25, 6, 5, 0.01)$ 은 처리율을 나타낸다. P 는 패킷의 페이로드 크기를 나타내고 E_b/N_0 는 25로, ζ 은 순수 Rayleigh 페이딩에서는 0, 복합 Rayleigh/Ricean 페이딩 환경에서는 0에서 10 사이의 값을 갖는데 6으로 설정한 것을 나타낸다. 6 Mbps에서 단말수가 5인 경우 60 바이트에서는 1.142 Mbps, 576 바이트에서는 4.105 Mbps, 1,500 바이트에서는 5.043 Mbps를 나타낸다. 12 Mbps에서 단말수가 5인 경우 60 바이트에서는 1.39 Mbps, 576 바이트에서는 6.618 Mbps, 1,500 바이트에서는 9.057 Mbps를 나타낸다. 24 Mbps에서 단말수가 5인 경우 60 바이트에서는 1.56 Mbps, 576 바이트에서는 9.536 Mbps, 1,500 바이트에서는 15.046 Mbps를 나타낸다. 54 Mbps에서 단말수가 5인 경우 60 바이트에서는 1.673 Mbps, 576 바이트에서는 12.629 Mbps, 1,500 바이트에서는 23.782 Mbps를 나타낸다.

4.3 이상적인 채널과 페이딩 채널 환경의 DCF 처리율 비교 분석

이상적인 채널 환경과 페이딩 채널 환경에서 전송율별 패킷의 페이로드 크기에 따른 처리율은 표 2와 같다. 이상적인 채널 환경의 경우는 최대 처리율을 의미하며 페이딩 채널 환경의 경우는 포화 처리율을 의미한다. E_b/N_0 는 25, ζ 은 부 채널에서 직접 수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비로서 순수 Rayleigh 페이딩에서는 0, 복합 Rayleigh/Ricean 페이딩 환경에서는 0에서 10 사이의 값을 갖는데, 본 논문에서는 6으로 가정하였고, 패킷 전송 확률은 0.01로 가정하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 이상적인 채널 환경보다 페이딩 채널 환경에서 처리율이 모든 페이로드 크기 조건에서 감소한다는 것을 알 수 있다. 그리고 전송율이 증가할수록 이상적인 채널의 최대 처리율에 대한 페이딩 채널의 포화 처리율의 감소율이 더 커진다는 것도 알 수 있다. 따라서 페이딩 채널의 경우에 채널 처리율을 채널 전송율로 나

누어서 산출되는 채널 용량(채널 이용도)을 높이기 위한 수단으로서 채널의 상태에 따라 전송율을 가변하여 적용하는 방법을 고려해 볼 수 있다.

V. 맺음말

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에서 에러가 없는 이상적인 채널과 주파수 선택적이고 완만하게 변하는 페이딩 채널 환경을 고려하여 패킷의 페이로드 크기에 따른 MAC 계층의 CSMA/CA 기반 DCF 처리율을 분석하였다. 이러한 결과는 무선 LAN이 유선 LAN을 대체한다는 기존의 이용 개념을 넘어 공중 무선망과 덕내 무선망 등으로 그 영역이 점차 넓어지는 시점에서 구내 및 공중 무선 LAN 설계와 구축을 위한 실제적인 기초 자료로 활용될 수 있다. CSMA/CA 기반 시스템 외에 RTS/CTS 기반 시스템의 처리율도 검토가 필요하며, 에러율을 감소시키기 위한 에러 제어 기법의 적용, 기존의 DCF 성능을 개선하기 위한 EDCF(Enhanced DCF) 및 HCF(Hybrid Coordination Function) 등 QoS(Quality of Service)

표 2. DCF 처리율 비교($\tau=0.01, n=5$)
Table 2. DCF throughput comparison($\tau=0.01, n=5$).

데이터 전송율	페이로드 크기 (byte)	처리율(Mbps)	
		이상 채널	페이딩 채널 (감소율)
6 Mbps	60	1.585	1.142(28 %)
	576	4.651	4.105(12 %)
	1,500	5.399	5.043(6.6 %)
12 Mbps	60	2.076	1.39(33 %)
	576	8.012	6.618(17.4 %)
	1,500	10.074	9.057(10 %)
24 Mbps	60	2.457	1.56(36.5 %)
	576	12.544	9.536(24 %)
	1,500	17.769	15.05(15.3 %)
54 Mbps	60	2.736	1.673(39 %)
	576	18.295	12.629(31 %)
	1,500	30.867	23.782(23 %)

기술도 연구되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11b, Part 11: *Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification*, 1997.
- [2] IEEE 802.11b, Part 11: *Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification: High-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band*, 1999.
- [3] Upkar Varshney, "The status and future of 802.11-based WLANs", *IEEE Computer*, pp. 102-105, Jun. 2003.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Yang Xiao, Jon Rosdahl, "Throughput and delay limits of IEEE 802.11", *IEEE Communications Letters*, vol. 6, no. 8, pp. 355-357, Aug. 2002.
- [7] 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.
- [8] Juha Heiskala, John Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishing, 2002.
- [9] Jim Geier, *Wireless LANs*, Sams Publishing, 2002.
- [10] J. G. Proakis, *Digital Communications, 4th Ed.*, McGraw Hill, New York, NY, 2001.
- [11] G. C. Clark, Jr. & J. B. Cain, *Error-Correction Coding for Digital Communications*, Plenum Press, New York, 1981.
- [12] Chi-han Kao, *Performance of the IEEE 802.11a Wireless LAN Standard over Frequency-selective, Slow, Ricean Fading Channels*, Naval Postgraduate School, Master Thesis, Sep. 2002.

이 용 식



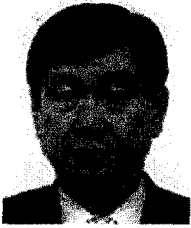
1987년 3월: 공군사관학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 8월: 미국 플로리다공대 (FIT) 전자공학과 (공학석사)
 2003년 8월~현재: 한양대학교 정보통신대학원 박사과정
 1997년 12월: 정보통신기술사
 2002년 5월: 공군소령 전역
 2001년~2002년: 대전산업대, 우송정보대 강사
 2002년: 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원
 2003년 1월~현재: 국방부 서기관
 [주 관심분야] 무선 LAN QoS, 부호 이론 및 에러 제어

이 하 철



1983년 3월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
 1990년 8월: 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학석사)
 1999년 8월: 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학박사)
 1993년 12월: 정보통신기술사
 1983년 3월~1985년 6월: 한국전자통신연구원 연구원
 1985년 6월~1995년 8월: KT 선임연구원
 1995년 9월~현재: 유한대학 정보통신과 부교수
 [주 관심분야] 홈 네트워킹, 컴퓨터 네트워킹, 무선 LAN 및 PAN

이 병 호



1975년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1977년: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년: 일본 국립 지바대학 전기 전자공학과 (공학박사)

1976년~1977년: 한국개발연구원 연구원

구원

1980년~1981년: 한국전자통신연구원 전임연구원

1981년~2001년: 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수

1989년~1990년: 일본 국립 지바대학 객원교수

2000년~2003년: 대한전자공학회 이사, 평의원

2001년~현재: 한양대학교 정보통신대학 정보통신학부 교수

2004년~2006년: 한양대학교 총무처장

2004년~현재: 정보통신부, 한국정보산업연합회, 정보통신연구진흥원 산하 "IT 인력양성 협의회" 회장, 대한전자공학회, 한국정보과학회, 한국정보처리학회, 한국통신학회, 일본 IEICE, 미국 IEEE 각 회원

2006년~현재: 한양대학교 정보통신대학장

[주 관심분야] 차세대 이동 통신 QoS, SDR, SIP, 이동 통신 보안