

다중 경로 페이딩에 의한 64QAM 기반 OFDM 시스템의 성능 분석

정회원 하 은 실*

Performance Analysis of OFDM base on 64-QAM in the Multipath Fading

Eun-sil Ha* *Regular Member*

요 약

6Mbps에서 54Mbps까지의 가변 고속 전송률을 지원하는 IEEE 802.11a는 무선채널 환경 조건에서 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM의 다양한 변조 방식을 제공하는데 본 논문에서는 Ricean 랜덤 변수를 사용하여 모델링 한 후 64QAM 변조 방식과 다른 방식들과의 비교 분석을 통해 처리율을 평가하고 OFDM 시스템에 대한 BER 성능식을 얻어서 각 변조 방식에 따른 코드를 적용하여 물리계층 OFDM 부채널들의 BER 특성을 분석하였고 CSMA/CA 기반의 전송채널에서 발생하는 전송에러를 고려하여 64QAM 방식 전송 채널의 패킷 처리율을 분석한 결과 E_b/N_0 가 증가할 수록 BER이 감소할 수록 처리율은 증가한다는 것을 알 수 있었으며 또한 단말수가 감소하고 패킷 크기가 증가할수록 처리율이 증가함을 알 수 있었다.

Key Words : Wireless LAN, Ricean Fading, 64QAM

ABSTRACT

IEEE 802.11a system supports variable high-speed data rates from 6Mbps to 54Mbps that adopted modulation method as BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. After modeling using Ricean random variable, that compares modulation method based on 64QAM with other method, and explores over with both the BER and E_b/N_0 at the Physical layer and Mac Layer in the 802.11a wireless LAN. By analyzing the throughput with the mandatory data rate of 54 Mbps using 64QAM modulation based on CSMA/CA that considers transmission error, we find the fact that the higher the E_b/N_0 be and the less the BER be, the higher the throughput be. We also find the fact that when the number of stations is decreased and the size of packet is increased, the throughput of DCF protocol is improved.

I. 서 론

1980년대 후반부터 도입되어 초기에 1-4Mbps 정도였던 전송량이 현재는 100Mbps의 Fast Ethernet이 일반적으로 사용되며, 최근에는 1Gbps 및 10Gbps Ethernet에 대한 연구가 활발하게 진행되고

있다^[1].

무선 LAN(IEEE802.11a/g)는 다중 경로 특성에 대한 우수한 점이 있어 사무실이나 가정의 무선 네트워크를 실현하는 시스템 규격을 확정하였으며, 현재 802.11g 규격을 표준화 회의를 통해 결정 중에 있다. 특히 NII 밴드의 5GHz 대역에서 6-54Mbps

* 본연구는 남서울대학교 교비지원에 의하여 수행되었음.

* 남서울대학교 정보통신과 전임강사(hes@nsu.ac.kr)

논문번호 : 07079-1018, 접수일자 : 2007년 10월 18일

의 다양한 전송률을 가지는 802.11a는 OFDM을 전송기술로 사용하고 있으며, OFDM 전송과 5GHz 대역의 사용에 대한 관심의 증가로 인해 다른 무선 LAN 규격에 비해 각광을 받고 있다. 이렇게 무선이 활발하게 사용되고 있는데 반해 무선 환경 특유의 페이딩으로 인해 이용자가 체감하는 전송 속도는 최대 전송 속도에 훨씬 못미치고 있다. 본논문의 2장에서는 무선 채널 환경에서 주어지는 확률 밀도 함수를 갖는 레일리과 라이시안 페이딩의 수신 신호의 크기를 랜덤변수로 표현하며 3장에서는 라이시안 랜덤 변수를 반영하여 54Mbps의 최대 전송 속도를 지원하는 64QAM 기반 OFDM의 물리계층 BER 특성을 BPSK/QPSK와 비교 분석하였고 4장에서는 전송 확률을 고려하여 64QAM (54Mbps)의 MAC 계층에서의 처리율을 시뮬레이션하고 5장에서는 결과를 분석하였다.

II. 무선 채널 환경

많은 무선 통신 채널에서 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.무선통신 채널에서 수신된 신호의 크기를 고려하여 다중경로 페이딩은 large-scale fading과 small-scale fading 으로 나눌 수 있다. Small-scale fading이 생기는 두 가지 현상이 있는데, 첫 번째가 다중경로 때문에 생기는 신호의 시간 확산이고 두 번째가 동작에서 생기는 채널의 시간 이동하면서 전송하기 때문에 다중채널 간섭 및 협대역 임펄스성 잡음의 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이 방식에서는 송신단과 수신단 사이의 정확한 동기기가 매우 중요한데 고속 데이터 전송시에는 동기 추출이 어렵다는 단점이 있다.

주파수 선택적 페이딩이 일어날 때 신호의 다른 주파수 성분은 서로 다르게 영향을 받으므로 수신된 신호에는 왜곡이 발생하게 된다. 만약 채널 간섭 대역폭 B_c 가 전송된 신호의 대역폭보다 더 큰 대역폭을 가질 때 전송된 신호는 flat-fading에 영향을 받는다. 만약 아래와 같다면 채널은 flat해진다.

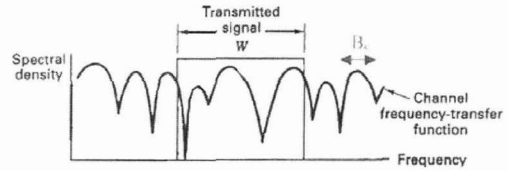
$$B_c > W \tag{1}$$

또한 동등하게,

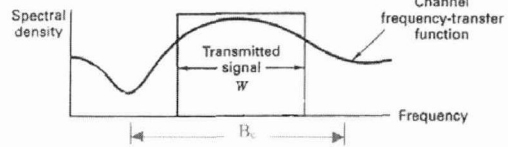
$$T_m < T_s \tag{2}$$

여기서 T_m 은 최대 초과 지연시간이며 채널간섭 대역폭 $B_c \approx 1/T_m$, 전송신호대역폭 $W \approx 1/T_s$ 이며 $R_s = 1/T_s$ 로 심볼 속도이다.

flat-fading의 경우는 그림 1(b)와 같다^[3].



(a) Frequency-selective fading ($B_c < W$)



(b) Flat fading ($B_c > W$)

그림 1. frequency-selective 과 flat fading

송, 수신기의 속도 때문에, 수신된 신호는 fast fading과 slow fading를 겪기 때문에 시간 변화가 생성된다. 이 두 가지 페이딩은 Doppler spread와 간섭 시간에 의한 채널의 시간변화로 나타낼 수 있다.

Doppler 확산 B_d 는 Doppler 스펙트럼이 0이 아닐 때 까지의 주파수 영역으로 정의된다. f_c 의 주파수로 완전한 sine파형이 다중경로 채널에서 전송되어질 때, 수신된 신호 스펙트럼은 $f_c - f_d$ 와 $f_c + f_d$ 의 범위 안에서 값을 가질 것이다. 여기서 f_d 는 Doppler shift이다.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cdot \sin \theta \tag{3}$$

여기서 v 는 송신기의 속도와 기대되는 수신기의 속도와의 관계를 나타내고, λ 는 신호의 파장길이를 나타내고, θ 는 수신기의 속도 방향과 신호의 도착 방향 사이 공간의 각도이다. f_d 는 송신기와 수신기의 움직임 방향과 떨어진 거리에 의존한다. 간섭시간 T_c 는 채널이 변하지 않는다는 가정하에 시간 주기의 통계적 측정을 의미한다. 다시 말해서 간섭시간은 두 개의 수신신호가 크기 상관도가 클 때의

시간 주기를 의미한다고 할 수 있다. 간섭시간과 Doppler 확산과의 관계는 아래와 같다.

$$T_c \approx \frac{1}{B_d} \quad (4)$$

Fast fading은 채널의 간섭시간이 전송된 신호주기보다 작을 때의 상태에서 설명된다. 즉,

$$T_c < T_s \quad (5)$$

또한 똑같이,

$$B_d > W \quad (6)$$

여기서, $T_c \approx 1/B_d$ 이고 $W \approx 1/T_s$, $1/T_s = R_s$ 는 심볼 rate이다. Fast fading 채널에서 채널 impulse 응답은 각각의 심볼이 전송되고 baseband 신호의 외형이 왜곡되는 시간 동안 급격히 변화한다. Fast fading은 매우 낮은 데이터 rate 전송에서 일어난다.

fast fading과는 반대로 slow fading은 채널의 간섭 시간이 전송된 심볼의 주기보다 큰 상태에서 설명된다. 다른 말로 채널이 baseband 신호 rate보다 더 느리게 변화한다는 것이다. 즉,

$$T_c > T_s \quad (7)$$

또한 똑같이,

$$B_d < W \quad (8)$$

다중경로 환경에서 수신된 신호의 크기는 랜덤변수로 표현되며 대표적인 채널모델은 Rayleigh 페이딩과 Ricean 페이딩이다. 잘 알려진 것처럼 신호의 크기가 급격히 변하는 small-scale의 경우 Rayleigh 모델이 사용되는데 송신단의 신호는 다중경로를 통해서 수신단으로 전송되며 송수신기 사이에서의 LOS가 없는 경우이다. Rayleigh 페이딩 채널에서 수신된 신호의 크기는 아래의 확률밀도함수(pdf)를 갖는 Rayleigh 랜덤 변수로 모델링 된다. 여기서 $2\sigma^2$ 은 산란되고 LOS환경이 아닌수신신호 전력을 나타낸다⁴⁾.

$$f_\lambda(a_c) = \frac{a_c}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a_c^2}{2\sigma^2}\right), a_c \geq 0 \quad (9)$$

Ricean모델에서는 송신단의 신호가 다중경로를 통해서 수신단으로 전송되지만 송수신기 사이에 LOS가 존재하며 전송된 신호의 크기가 다음의 확률밀도함수를 갖는Ricean 랜덤 변수에 의해 모델링 된다.

$$f_\lambda(a_c) = \frac{a_c}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(a_c^2 + \alpha^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\alpha \cdot a_c}{\sigma^2}\right), a_c \geq 0 \quad (10)$$

여기서 $I_0(\cdot)$ 은 제1종0차의 Bessel 함수이다. α^2 은 LOS 환경의 수신신호 전력을 나타내고 $2\sigma^2$ 은 LOS 환경이 아닌 수신신호 전력을 나타낸다. Ricean 페이딩 채널에서 수신신호의 평균 전력은,

$$\overline{S^2(t)} = \overline{a_c^2} = \alpha^2 + 2\sigma^2 \quad (11)$$

이다. $\alpha \rightarrow 0$ 일 때 Ricean pdf는 Rayleigh pdf와 같아지며 평균 수신신호 전력은 $2\sigma^2$ 로 감소하게 된다.

III. 무선 채널 환경하에서 64QAM 기반 OFDM 채널의 BER 특성

LOS 환경의 직접파의 수신 신호 전력(α^2)대 비 LOS환경의 간접파의 수신 신호 전력비($2\sigma^2$)를 ζ 라고 하면 실외의 무선환경인 순수 Rayleigh 페이딩에서는 직접파가 산란되어 $\alpha \rightarrow 0$ 가 되어 $\zeta = 0$ 가 되며 실내 무선 환경에 rayleigh/Ricean의 복합적인 채널 환경이다. 본질에서는 순수 Rayleigh페이딩 ($\zeta = 0$) 및 복합 Rayleigh/Ricean 페이딩 ($0 \leq \zeta \leq 10$) 채널 환경에서 채널 부호화를 적용한 IEEE802.11a 물리계층의 BER 성능을 분석한다.

전송속도가 6 Mbps 및 12Mbps인 OFDM 시스템에서는 코드율 $r = 1/2$ 이 사용되며 코드율이 $r = k/n$ 인 길쌈부호가 적용될 때 비트오율의 상한은 다음과 같다¹¹⁾.

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} B_d P_d \quad (13)$$

여기서 d_{free} 는 길쌈부호의 자유거리(free distance)를 말하고, B_d 는 가중치 d 경로상의 모드 정보비트의 총수를 나타내고, P_d 는 가중치 d 경로가 전송된 시퀀스로써 선택될 확률, 그리고 k 는 단위 클럭당 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 는 [11]에서 찾을 수 있다. 일반적으로 식 (13)에서 지배적인 첫5번째 항까지만 고려하므로 식(14) 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{d_{free}+4} B_d P_d \quad (14)$$

경관정에서는 해밍거리가 매트릭으로 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^[11].

$$P_d = \sum_{i=\frac{d+1}{2}}^d \binom{d}{i} p_i (1-p)^{d-i} \quad (15)$$

여기서 P 는 채널비트 오율이다. d 가 짝수 일 때, 오류개수가 $d/2$ 을 초과하면 그릇된 경로가 선택되어지고, 만약 오류개수가 $d/2$ 과 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 짝수 일 때 그릇된 경로를 선택할 확률은 다음과 같다^[11].

$$P_d = \sum_{i=\frac{d}{2}}^d \binom{d}{i} p^i (1-p)^{d-i} + \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} p^{d/2} (1-p)^{d/2} \quad (16)$$

$\overline{\gamma}_b = \overline{E}_b / N_o$ 는 평균 수신 단위비트 에너지 당 잡음 전력밀도 이고 r 이 코드율 이라면 IEEE 802.11a 표준 OFDM시스템의 AWGN 환경에서 BPSK/QPSK의 i^{th} 부 채널의 오율은 다음과 같다.

$$P_i = Q\left(\sqrt{2r\overline{\gamma}_{b_i}}\right) \quad (17)$$

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

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad (18)$$

여기서 N 은 48또는 24개의 독립적인 부반송파라고 가정한다. 페이딩이 없다면 (i.e., $\overline{\gamma}_{b_i} = \overline{\gamma}_b$) $P_i = P$ 가 된다. 식(17)를 이용, 식(15) 또는 식(16)에 적용한 결과를 식(14)에 활용하면, AWGN환경에서 BPSK/QPSK의 성능을 얻을 수 있다. 채널 부호화를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\overline{\gamma}_{b_i} = \overline{\gamma}_b \quad (19)$$

따라서 라이시안 페이딩 채널상에서의 BPSK/QPSK i^{th} 부 채널의 채널비트 오율은 다음과 같다[12].

$$p_i \approx \frac{1}{2\sqrt{\pi c_1}} \left(\frac{\zeta_i + 1}{r\overline{\gamma}_{b_i} + \zeta_i + 1} \right)^{c_1} \exp\left(\frac{-d\zeta_i r\overline{\gamma}_{b_i}}{r\overline{\gamma}_{b_i} + \zeta_i + 1} \right) \quad (20)$$

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(20)를 이용, 식(14) 또는 식(15)에 적용한 결과를 식(13)에 활용하면 라이시안 페이딩 채널환경에서 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 검토 하였던 것과 마찬가지로 먼저 16QAM의 부반송파의 성능을 검토해야 하고, 그때 순수 Rayleigh 페이딩 환경과 Rayleigh 및 Ricean 페이딩의 복합적인 환경하에서 16 QAM방식으로 변조된 OFDM시스템의 해석하기로 한다. Ricean 페이딩 채널 환경에서 BPSK/QPSK 경우와 유사한 방식으로 접근하면, MQAM의 i 번째 sub-channel 에서는 다음과 같은 근사된 채널 BER을 얻을 수 있다^[12].

$$p_i \approx \frac{4\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot e^{-d\zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma}_{b_i}}{3qr\overline{\gamma}_{b_i} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{q\sqrt{2\pi c_2} \left[\frac{3qr\overline{\gamma}_{b_i} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)}{2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]^d} - \frac{2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 \cdot e^{-d\zeta_i \left[\frac{3qr\overline{\gamma}_{b_i}}{3qr\overline{\gamma}_{b_i} + 2(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]}}{\pi_2 q \left[\frac{3qr\overline{\gamma}_{b_i} + (M-1)(\zeta_i + 1)}{(M-1)(\zeta_i + 1)} \right]} \quad (21)$$

여기서, $c_2 = 2.6 + 0.1\zeta$ 는 실험치 이고, ζ_i 는 i 번째 sub-channel에서 직접수신된 신호와 산란되어 수신된 신호의 전력비이고, HDD상에서 $d=1$ 이다. 채널 페이딩이 없거나 모든 sub-channel에서 같은 페이딩에 존재한다면 $p_i = P$ 이다. 식 (14)와 식 (15)에 $q \geq 4$ 일 때의 식 (21)을 적용하면 식 (13)을 얻을 수 있고, Ricean 페이딩 채널하에서 HDD방식에 의

한 square MQAM의 성능을 얻을 수 있다^[7].

부호율이 $r=3/4$ 이고 전송속도가 54Mbps인 경우 예식 (21)에서 $q=6$ 인 것을 제외하면 16 QAM과 같은 방식으로 Ricean 페이딩 채널환경에서 64QAM의 성능을 분석할 수 있다. 그림 2는 전송속도가 6, 12, 24, 54 Mbps인 경우 BPSK/QPSK, 16QAM, 방식의 subchannel의 성능을 보여주고 있다. ($0 \leq \zeta \leq 10$)

여기에서 OFDM은 가드 인터벌을 갖는 협대역 반송파를 사용하여 전송하기 때문에 ISI를 피할 수 있다. 멀티패스 페이딩 채널에서 반송파는 다른 크기로 수신단에 도착하게 된다. 사실 얼마의 반송파는 완전한 페이딩에 의해서 소멸된다. 그러므로 대부분의 반송파가 에러 없이 검출될 지라도 총체적인 BER은 비트에러 확률이 0.5에 가까운 작은 크기를 갖는 반송파에 의해서 좌우된다. 약한 반송파에 의해 좌우되는 것을 회피하기 위해서 forward 에러 수정코드는 필수적이다. 반송파를 가로질러 사용되는 코딩에 의해 에러는 코드나 채널상에 의존하는 특별한 제한으로 수정되는 약한 반송파와 관계된다. OFDM 링크의 수행을 의미하는 ‘Powerful coding’은 가장 약한 반송파의 파워보다 평균 수신 파워에 의해 결정된다.

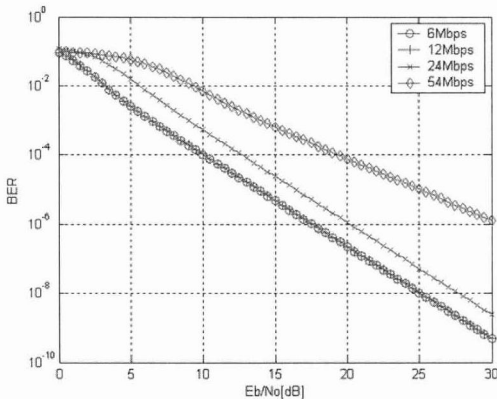


그림 2. Ricean 페이딩환경에서 OFDM 시스템의 sub-channel 성능

IV. 64 QAM 패킷 처리율 시뮬레이션 및 분석

본 절에서는 64QAM의 전송채널에서 발생하는 비트에러를 고려하여 MAC 계층에서의 처리율을 분석하며 특히 64QAM(54Mbps)의 E_b/N_0 의 패킷 크기에 따른 처리율을 분석한다. 단말수 n 은 고정되었다고 가정하고 각각의 단말은 항상 전송패킷을 가지고 있다고 가정한다. 다시 말해, 포화조건 (saturation condition)상에서 동작한다(예를 들면 전

송 큐는 항상 비어있지 않음)고 한다. 그리고 패킷의 길이는 동일하고 채널상에서 비트에러는 P_b 라는 확률로 랜덤하게 발생된다고 가정하고 3개의 부분으로 구분되어 해석된다. 첫째, 백오프 확률상의 비트에러의 영향이 비트에러율 P_b 및 패킷 크기 P 를 기반으로 해서 유도된다. 둘째, 랜덤하게 선정된 슬롯타임 내에서 단말의 패킷전송 확률 τ 가 분석되는데 이 확률은 CSMA/CA 매커니즘에는 직접적으로 관련되어 있지 않지만 패킷 에러율 P_c 와 충돌확률에 관련되어 있다. 결국 CSMA/CA기반의 DCF 처리율은 τ 및 P_b 의 함수로 표현된다^[5].

CSMA/CA기법에서 물리계층 헤더와 MAC계층의 헤더를 포함하는 데이터 패킷은 패킷내부의 어느 한 비트라도 에러가 발생하면 재 전송되어야 한다. 편의상, 변수 P_c 를 패킷내의 에러때문에 백 오프가 발생할 확률로 정의하고 패킷내의 에러는 랜덤하게 발생한다고 가정하면 CSMA/CA에서는 다음과 같이 나타낸다.

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

S 를 채널이 페이로드 비트들을 성공적으로 전송하기 위해 사용된 시간의 비율로 계산되는 시스템의 처리율로 정의한다.

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

P_r 는 슬롯타임에서 적어도 하나의 전송이 발생할 확률로 하고 채널상에서 n 개의 단말이 경쟁하고 각 단말이 전송할 확률은 τ 이므로 다음식이 성립된다.

$$P_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (23)$$

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

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{P_r} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{1-(1-\tau)^n} \quad (24)$$

슬롯타임에서 성공적으로 전송될 확률은 $P_r P_s$ 이기

때문에 슬롯타임 내에서 페이로드 정보가 성공적으로 전송될 평균정보량은 $P_r P_s P$ 이다, 평균 슬롯타임의 길이는 채널이 휴지상태일 확률 $1 - P_r$, 전송성공 확률 $P_r P_s$, 충돌확률 $P_r (1 - P_s)$ 을 고려하여 구해진다. 그러므로 처리율

$$S = \frac{P_r P_s P}{(1 - P_r)\sigma + P_r P_s T_s + P_r (1 - P_s) T_c}$$

$$= \frac{P}{T_s - T_c + \frac{\sigma(1 - P_r)/P_r + T_c}{P_s}} \quad (25)$$

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

$$\begin{cases} T_s = DIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + SIFS + T_{ACK} \\ T_c = DIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + EIFS \end{cases} \quad (26)$$

IEEE 802.11a의 OFDM 기반 무선 LAN의 DCF 처리율 성능을 분석하기 위해서 사용된 시스템 파라미터는 표1과 같다, 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 하고 802.11a의 전송속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps로 한다. 패킷 크기는 일반적으로 TCP ACK 데이터의 경우 60 바이트, Web Browsing 데이터인 경우 576 바이트, 인터넷의 최대 데이터 크기는 1500 바이트 정도 이므로 이를 대표적인 패킷크기로 사용하였다. 그림3은 단말수 $n=5$ 이고 패킷 크기 P 가 60 바이트 일 때 전송 속도는 54 Mbp에 대한 각각의, E_b/N_0 는 15 dB에서 50dB 까지 증가시키면서 패킷 크기가 증가 함에 BER 및 E_b/N_0 에 따른 처리율 성능을 나타낸다. 그림 4는 전송확률 τ 에 따른 처리율 변화를 나타내는데 전송속도는 54 Mbp로 하여 전송확률에 따른 처리율을 보여준다. 단말수가 5인 경우 $1.6525e+006$ ($\tau = 0.054$), 단말수가 20인 경우 $1.6195e+006$ ($\tau = 0.013$), 단말수가 50인 경우 $1.6133e+006$ ($\tau = 0.005$)가 된다. 그림5는 54Mbps에서 단말수를 5, 20, 50으로 증가시킨 E_b/N_0 에 대한 처리율을 나타내고 있다.

표 1. 시스템 시뮬레이션 파라미터

전송속도	54 Mbps
T_{ACK}	24 μ s
전파지연시간	1 μ s
Slot time	9 μ s
SIFS	16 μ s
DIFS	34 μ s
EIFS	43 μ s

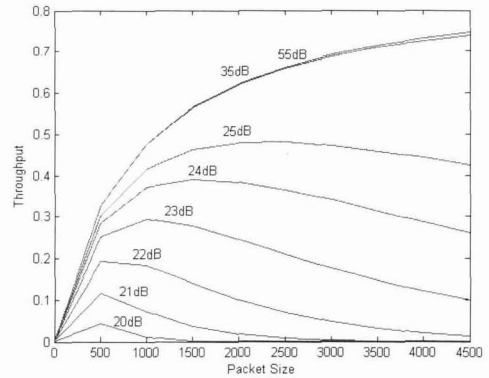


그림 3. E_b/N_0 에 따른 패킷크기 Vs 처리율

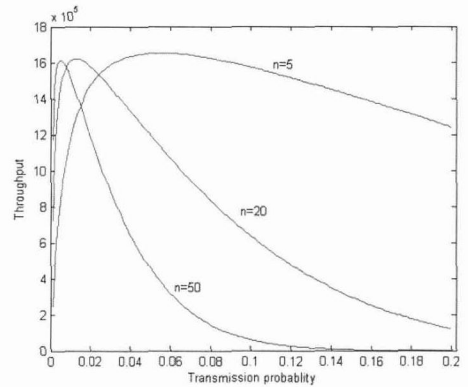


그림 4. 전송확률 vs. 처리율

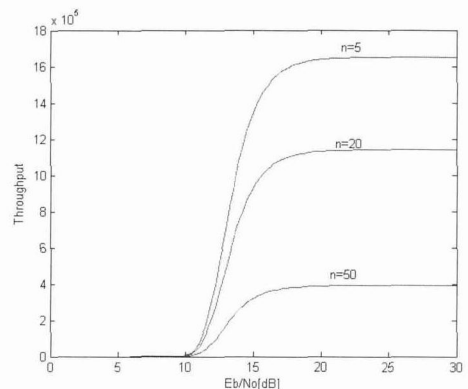


그림 5. 단말수에 따른 E_b/N_0 에 대한 처리율

또한 처리율을 분석하는 데 전송확률 및 MSDU를 고려하였으며 IEEE 802.11a의 최대 전송속도인 54Mbps급에 대하여 검토한 결과 Eb/No가 증가할 수록 BER이 감소할수록 처리율은 증가한다는 것을 알 수 있었으며 또한 단말수가 감소하고 패킷의 크기가 증가할수록 처리율이 증가함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN의 64QAM 방식의 PHY 와 MAC(Medium Access Control) 계층에서의 64QAM은 BPSK나 16QAM 방식에 비해 빠른 속도로 데이터를 전송 할 수 있는 변조방식이다. 본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에서 주파수 선택적이고 완만하게 변하는 Ricean 페이딩 채널환경을 고려하여 64QAM을 중심으로한 물리계층에서 OFDM 의 데이터 rate의 증가는 기존의 데이터 rate와 비교 할 때 데이터의 질의 증가로도 간주된다. 그러나 이경우 BPSK,QPSK 방식들도 에러 수정코드를 적합하게 사용할 경우 같은 파워 레벨에서 같은 품질을 가져올 수 있고 낮은 Eb/No를 갖는 같은 에러확률 가지도록 돕는다. 높은 데이터 rate를 얻거나 많은 용량을 얻기 위해 회로의 구성에 따른 가격이 비싸지는 단점과 함께 대역폭은 증가하게 된다. 또한 Eb/No 및 BER에 따른 MAC(Medium Access Control) 계층의 CSMA/CA 기반 DCF(Distributed Coordination Function) 처리율을 분석하였다. 또한 처리율을 분석하는 데 전송확률 및 MSDU를 고려하였으며 IEEE 802.11a의 최대 전송속도인 54Mbps급에 대하여 검토한 결과 Eb/No가 증가할 수록 BER이 감소할 수록 처리율은 증가한다는 것을 알 수 있었으며 또한 단말수가 감소하고 MSDU의 크기가 증가할수록 처리율이 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 무선 LAN이 유선 LAN을 대체한다는 기존의 이용 개념을 넘어 공중 무선망과 맥내 무선망 등으로 그 영역이 점차 넓어지는 시점에서 구내 및 공중 무선 LAN 설계와 구축 업무에 활용될 수 있다. CSMA/CA 기반 시스템외에 RTS/CTS 기반 시스템의 처리율도 검토가 필요하며 어려움을 감소시키기 위한 에어제어기법의 적용, 기존의 DCF 성능을 개선하기 위한 EDCF(Enhanced DCF) 및 HCF(Hybrid Coordination Function)도 고려해야 될 것으로 사료되고 이는 향후의 연구방향이기도 하다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11a, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999.
- [2] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.
- [3] U. Varshney, "The Status and Future of 802.11-based WLANs," *IEEE Computer*, pp. 102-105, June 2003.
- [4] K. K. Leung, B. McNair, L. J. Cimini, J. H. Winters, "Outdoor IEEE 802.11 Cellular Networks: MAC Protocol Design and Performance," *IEEE*, pp. 595-599, 2002.
- [5] Yang Xiao, J. Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," *IEEE Communications Letters*, Vol. 6, No. 8, pp. 355-357, August 2002.
- [6] J. Jun, P. Peddabachagari, M. 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.
- [7] J. Heiskala, J. Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishing, 2002.
- [8] J. Geier, *Wireless LANs*, Sams Publishing

하 은 실 (Eun-sil Ha)

정회원



1987년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)

1995년 2월 서강대학교 정책대학원(이학 석사)

2005년 8월 성균관대학교(공학 박사)

1987년~1995년 대우통신 연구소

TDX 교환연구실

2006년~현재 남서울대학교 정보통신과 전임강사
<관심분야> OFDM, 임베디드 시스템, 이동통신