

주파수 선택성 라이시안 페이딩 채널에서 채널 부호화된 OFDM 16-QAM 신호의 성능 해석

김영철, 오정균, 강덕근

요 약

본 논문은 주파수 선택성 라이시안 페이딩으로 모델링되는 다중경로 페이딩 환경에서 수신되는 직교주파수분할다중 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 신호의 오율 성능을 해석하였다. 주파수 선택성 라이시안 페이딩으로는 라이시안의 심도 (K)를 이용하여 three-path 페이딩 모델을 사용하였으며, 성능 개선을 위하여 BCH 채널 부호화 기법을 채용하였다. 수치 해석에 의해, BCH 채널 부호화에 의한 오율 성능의 개선 정도와 에러정정능력에 따른 개선 효과를 확인하였다. 결과적으로 채널 부호화 기법만으로는 무선 멀티미디어 통신에서 요구되는 오율 (10^{-6} 정도)을 얻을 수 없으므로, 새로운 성능 개선 기법을 함께 채용하여야 하겠다.

Performance Analysis of Channel Coded OFDM 16-QAM Signal on Frequency Selective Rician Fading Channel

Young-Chul Kim, Chung-Gyun Oh, Duk-Keun Kang

ABSTRACT

In this paper, we have analyzed the error performance of OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) signal in a multipath fading environment modeled as frequency selective Rician fading. We have used a three-path model as frequency selective Rician fading used Rician parameter K . A BCH channel coding is used in order to improve the performance. From the results of this analysis, we have known the improvement of the error performance and the error correcting capability by the BCH channel coding. From the results, the error performance, about 10^{-6} , required in wireless multimedia communications can not be achieved by using only the BCH channel coding technique so that it should be adopted a new technique together.

Key words : OFDM, 16QAM, Rician fading, BCH coding

1. 서 론

직교주파수분할다중화 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 대역 효율면에서 효과적인 전송 기법으로 알려져 있으며, 잘 알려진 주파수분할다중화 (FDM : Frequency Division Multiplexing)과 OFDM 사이의 차이점은 OFDM에서는 각 부채널의 스펙트럼 사이에 중첩을 허용함으로써 최적의 대역 효율을 얻을 수 있다는 데 있다[1]. 또 다른 주요한 장점은 다중경로 페이딩에 의해 발생하는 인접심볼간의

간섭 (ISI : Intersymbol interference)을 보호구간이라는 약간의 시간간격을 전송 심볼 사이에 삽입함으로써 제거할 수 있으므로, 다중경로 페이딩 채널 상에서 최적의 성능을 얻을 수 있다. 따라서 유럽에서는 디지털 오디오 방송 (DAB : Digital Audio Broadcasting)과 디지털 지상 텔레비전 방송 (DTTB : Digital Terrestrial Television Broadcasting)의 전송 방식으로 OFDM 방식을 채택하였다. 그리고 디지털 이동 통신 방식인 CDMA (Code Division Multiple Access)와

※ 제일저자(First Author) : 김영철, 주소 : 경기도 광주시 역동 181-3, 한국정보통신기술대학 방송통신설비과, 전화 : 031) 760-3336, Fax : 031) 767-0072, E-mail : yckim@icpc.ac.kr
접수일 : 2004년 2월 15일, 완료일 : 2004년 2월 28일
정희원, 한국정보통신기술대학 방송통신설비과

OFDM 방식을 결합하여 차세대 이동 통신 방식으로 사용하려는 연구도 지속적으로 진행 중에 있다[2]~[5].

한편, 고속의 데이터 전송 방식에 유리한 OFDM 방식을 다차 변조 기법을 이용하여 더욱 고효율인 전송 방식으로 활용할 수 있다. QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 변조 방식은 전력과 대역폭 효율 면에서 고효율 변조방식이며, OFDM 방식의 장점을 효과적으로 이용할 수 있다[6],[7].

차세대의 고속 데이터 전송은 이동성과 대용량성을 요구하게 되므로 무선 채널은 더욱 열악한 환경이 될 것이며, 최근의 무선 개인 통신 (PCS : Personal Communication Service) 및 무선 멀티미디어 통신 시스템 분야에서 이를 입증하였다. 따라서 채널 환경을 도심지와 같은 밀집된 지역과 무선 데이터뿐만 아니라 영상 등의 무선 멀티미디어 전송을 위하여, 직접파와 반사파가 혼재하는 주파수 선택성 라이시안 페이딩으로 가정한다. 다중경로는 3개의 경로 (three-path) 를 통하여 들어오는 신호 성분의 구성을 라이시안 파라미터 K 로 나타내었다. 이에 대한 성능개선 기법으로는 채널에서의 에러를 정정, 검출할 수 있도록 채널 부호화한 OFDM 16 QAM 시스템의 성능을 해석한다. 잡음이나 페이딩에 의하여 신호에 에러가 발생하였을 경우에 이를 정정하거나 검출할 수 있는 채널 부호화 기법으로는 BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 부호화 기법을 채용한다. 이 중, 삼중, 사중의 에러정정을 할 수 있는 (63, 51), (63, 45), (63, 39) 부호를 채용하며, 그의 성능개선 정도를 그림으로 나타내고, 분석한다.

2. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서의 OFDM 16 QAM 신호의 오율 해석

2.1 OFDM 16 QAM 신호

그림 1은 OFDM 16 QAM 시스템의 해석 모델이다. 직렬의 송신 신호가 채널 부호기에서 블록 단위로

부호화 된다. 채널 부호기에서는 통신로에서의 잡음이나 주파수 선택성 페이딩에 의하여 열화되어 에러가 발생한 정보를 정정하거나 검출할 수 있도록 하기 위해, 전체 비트, 정보비트, 에러정정개수의 조합이 (63,51,2), (63,45,3), (63,39,4)인 BCH 부호를 선택적으로 사용한다. 채널 부호화 된 비트들은 부호 매핑기의 직/병렬 변환기에서 I -채널과 Q -채널의 신호로 분리된 후 각 2비트씩 4레벨의 PAM (Pulse Amplitude Modulation) 신호로 변환되어 16 QAM 변조된다. 16 QAM 신호는 OFDM 시스템의 주파수 다중화 과정을 위하여, 직/병렬 변환기에 의해 N 개의 부 반송파가 되며 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)에 의하여 직교성 (Orthogonal) 을 갖는 신호로 다중반송파 변조된 후 전송된다.

다음은 송신측의 OFDM 16 QAM 변조기에서 정보 데이터들이 부호 매핑 된 I -채널과 Q -채널의 신호에 의해 16 QAM 변조된 신호를 다음과 같이 나타낸다[6].

$$q(t) = d_I(t) \cos(2\pi f_c t) + d_Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (1)$$

단, $d_I(t)$ 와 $d_Q(t)$ 는 I -채널과 Q -채널의 데이터 심볼로서 각각 $\pm d/2$ 와 $\pm 3d/2$ 중에서 하나의 값을 가지게 된다. 16 QAM 신호는 직교 주파수 신호 변환을 거치기 위하여 직/병렬 변환기에 의하여 직렬 신호에서 병렬 신호로 변환되며 이 신호는 다음과 같이 나타내진다.

$$c(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \{ d_I(t - T_s) \cos(2\pi f_k(t - T_s)) + d_Q(t - T_s) \sin(2\pi f_k(t - T_s)) \} \quad (2)$$

단, $f_k (= f_0 + k/t_s)$ 는 k 번째 부 반송파의 주파수이며, T_s 는 심볼 구간이다. 위의 신호는 IDFT에 의하여 상호 직교성을 갖는 신호로 변환된 후 보호 구간이 삽입되게 된다. 이는 다중 경로 간섭에 의해 발생하는 심벌간 간섭 (ISI : InterSymbol Interference)을 방지하기 위함이다. 이렇게 만들어진 신호는 아날로그 신호로 변환되고, RF (Radio Frequency) 변환을 거친 후 공간으

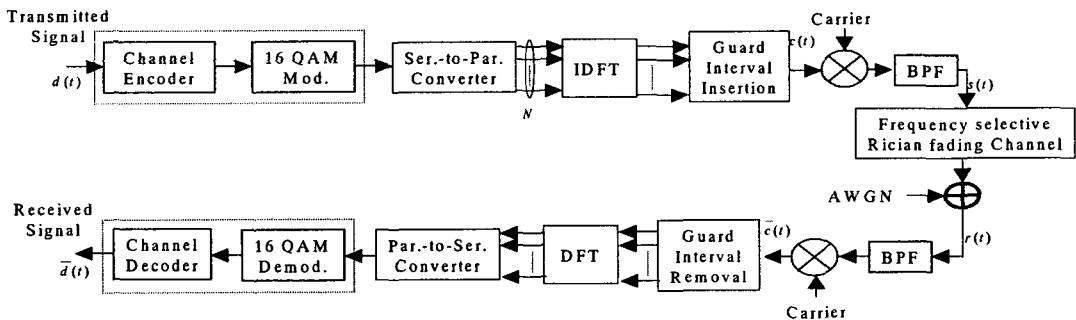


그림 1. OFDM 16 QAM 시스템의 해석 모델

로 전송된다.

전송되는 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다 [8],[9].

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} R[c_{ki} e^{j2\pi f_k(t-iT_s)}] f(t-iT_s) \quad (3)$$

단, f_k : k 번째 부 반송 주파수
 $(f_k = f_0 + k/t_s)$,

f_0 : 반송파의 가장 낮은 주파수.

여기서, $f(t)$ 는 펄스 파형이며 다음과 같다.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (-t_g \leq t \leq t_s) \\ 0 & (t < -t_g, t > t_s) \end{cases} \quad (4)$$

윗 식에서, t_g 와 t_s 는 각각 보호 구간과 유효 심볼 구간이고, 심볼 주기는 $T_s = t_g + t_s$ 이다. 전송 신호 $s(t)$ 는 부가성 가우스 잡음 (AWGN : additive white Gaussian noise)과 주파수 선택성 페이딩에 의하여 열화됨으로 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$r(t) = \int_0^{\infty} s(t-\tau)h(\tau, t)d\tau + n(t) \quad (5)$$

여기서, $h(\tau, t)$ 는 채널 임펄스 응답이며, $n(t)$ 는 부가성 가우스 잡음이다. 식 (5)에서 주어진 시간 t 에서의 채널 임펄스 응답은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(\tau, t) = \sum_{i=1}^{M_1+M_2} h_i \delta(\tau - \tau_i) \quad (6)$$

단, M_1 : 보호 대역 (guard band)내에 들어온 최대 다중 경로 수,

M_2 : 보호 대역과 심볼 주기내에 들어온 최대 다중 경로 수,

$\delta(t)$: Dirac의 델타 함수,

h_i : i 번째 수신된 신호의 응답 특성,

τ_i : i 번째 경로의 전파 지연.

수신기의 출력 시각 iT_s 에서의 m 번째 반송파 출력 r_{mi} 는 다음과 같다.

$$r_{mi} = \frac{1}{t_s} \int_{iT_s}^{t_s+iT_s} r(t) e^{-j2\pi f_m(t-iT_s)} dt \quad (7)$$

수신측의 OFDM 16 QAM 복조기는 수신되어진 각 부채널의 데이터들이 병/직렬 변환기를 거쳐 직렬 데이터가 되고, 직교 복조 방식에 의해 I -채널과 Q -채널

의 기저대역 신호로 분리, 복조 된다. 이 때 I -채널 신호와 Q -채널 신호는 서로 독립이며, 복조 된 I -채널 및 Q -채널의 신호는 레벨 검파기에서 4 레벨의 PAM 신호로 변환된다. 변환된 I -채널 및 Q -채널의 신호는 블록 단위로 버퍼링 된 후 채널 복호기에서 복호되며, 이 때 에러의 정정과 검출이 이루어져 수신 데이터가 복원된다. 복호 된 각 부 채널의 데이터로 원래의 정보 바트를 얻게 된다.

2.2 주파수 선택성 라이시안 페이딩 모델

무선 멀티미디어 전송을 위하여 무선 채널로는 도심 지역을 고려하고, 이동체를 수신 대상으로 하기 때문에 전송된 신호는 다중경로 페이딩을 받게 된다. 가시거리 (line-of-sight) 내에서는 직접파 성분과 주변 건물로부터의 반사파가 함께 존재하며 반사파에 의한 지연성분을 갖게 된다. 본 논문은 3개의 경로 (three-path) 를 갖는 신호 성분으로 회망 신호와 채널간 간섭 (ICI : Interchannel Interference) 신호, 심볼간 간섭 (ISI : Intersymbol Interference) 신호로 구분되는 주파수 선택성 라이시안 페이딩을 고려한다. 수신파의 진폭 R 이 Rice 분포를 하게 되면 R 에 대한 수신 신호 전력의 확률밀도함수 $p_R(\gamma)$ 는 다음과 같이 나타내진다[6],[7].

$$p_R(\gamma) = \frac{(K+1)}{\Gamma} \exp\left\{-K - (K+1)\frac{\gamma}{\Gamma}\right\} I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\Gamma}}\right) \quad (8)$$

단, $\gamma = R^2/(2N)$: 순시 신호 전력 대 잡음 전력비,

$\Gamma = \overline{R^2}/(2N)$: 평균 신호 전력 대 잡음 전력비,

$K = R^2 A^2 / (2\sigma_s^2)$: 직접파 전력 대 반사파 전력비,

$I_0(\cdot)$: 0차의 제1종 변형 베셀 함수.

4. 주파수 선택성 라이시안 페이딩에서 채널 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호의 성능 해석

4.1 주파수 선택성 라이시안 페이딩에서 OFDM 16-QAM 신호의 오율 해석

주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서의 오율 해석은 다음의 2 단계로 이루어진다. 우선 송신 신호에 부가되는 잡음만에 의한 오율 성능을 해석하고, 다음으로 신호 대 잡음 전력비 (CNR) 의 확률밀도함수를 이용하여 평균한다.

잡음이 부가되어 수신된 각 부채널에서 16 QAM 신호의 I -채널이나 Q -채널의 신호는 송신 레벨 성분이 평균값에 해당되는 가우스 분포를 한다. 즉, I -채널의

송신 신호가 16 QAM 격자도의 1상환에 존재하는 $d/2$ 와 $3d/2$ 에 신호점을 가지는 신호인 경우에 I -채널의 수신 신호의 확률밀도함수를 각각 $p_{ns}(z)$ 와 $p_{ni}(z)$ 라고 하면 이들은 각각 다음과 같다[6],[7].

$$p_{ns}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left\{-\frac{\left(z - \frac{d}{2}\right)^2}{2\sigma_n^2}\right\} \quad (20(a))$$

$$p_{ni}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left\{-\frac{\left(z - \frac{3d}{2}\right)^2}{2\sigma_n^2}\right\} \quad (20(b))$$

여기서, σ_n^2 는 부가 백색 가우스 잡음의 전력을 나타낸다. 따라서 I -채널이 송신될 경우, OFDM 16 QAM의 오율식, $P_{NCI}(\gamma_s, \Gamma_o)$ 은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} P_{NCI}(\gamma_s, \Gamma_o) &= \int_{-\infty}^0 p_{ns}(z) dz + \int_{-\infty}^d p_{ni}(z) dz \\ &\quad + \int_d^{\infty} p_{ns}(z) dz \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{\gamma_s}{10}}\right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}} - \sqrt{\frac{\gamma_s}{10}}\right) \\ &\quad + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{9\gamma_s}{10}} - \sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}}\right) \end{aligned} \quad (21)$$

단, γ_s : 순시 신호 전력 대 잡음 전력비,
 Γ_o : 평균 신호 전력 대 잡음 전력비.

그리고 I -채널의 수신 신호와 Q -채널의 수신 신호는 서로 독립이고 동일한 오율 특성을 가지므로 전체 신호점에 대한 OFDM 16 QAM 신호의 최종 평균 오율식은 다음과 같이 하여 구한다.

$$P_{NC}(\gamma_s, \Gamma_o) = P_{NCI}(\gamma_s, \Gamma_o) - 1/4 P_{NCI}(\gamma_s, \Gamma_o)^2 \quad (22)$$

주파수 선택성 라이시안 페이딩에 의해 열화되고 잡음이 부가된 순시 신호 대 잡음 전력비, γ_s 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} p(\gamma_s) &= \left(\frac{K+1}{\Gamma_o}\right) \exp\left(-K - \frac{(K+1)\gamma_s}{\Gamma_o}\right) \\ &\quad \cdot I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma_s}{\Gamma_o}}\right) \end{aligned} \quad (23)$$

단, $\Gamma_o (= [(CNR)^{-1} + (DUR)^{-1}]^{-1})$: 평균 신호 대 잡음 전력비.

그러므로 OFDM 16 QAM 신호의 오율은 다음과 같이 하여 구한다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{NC}(\gamma_s, \Gamma_o) \cdot p(\gamma_s) d\gamma_s \quad (24)$$

식 (24)을 계산하면 다음과 같다[10]~[12].

$$\begin{aligned} P_e &= \sum_{k=1}^3 \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc}\left(B_n \sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-K - B_n^2 \sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}}\right) \right. \\ &\quad \left. \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!} \left(\frac{A_n}{\sqrt{10}}\right)^k H_{k-1}\left(B_n \sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}}\right) \right. \\ &\quad \left. \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2} + 1 + m\right)}{m! \Gamma(m+1)} \left(\frac{K+1}{\Gamma_o}\right)^{2m+2+\frac{k}{2}} K^m \right\} \end{aligned} \quad (25)$$

여기서, $A_1 = B_2 = 1$, $A_2 = B_3 = -1$, $B_1 = 0$, $A_3 = 3$ 이다.

4.2 BCH 채널 부호화

순회 부호의 일종인 BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 부호는 통신로에서의 에러 정정과 검출을 위하여 사용한다. 대표적인 블록 부호 방식인 BCH 부호는 h 개의 정보 비트와 p 개의 패리티 검사 비트로 구성되므로 부호어의 비트 수는 $n = h + p$ 가 되며 BCH (n, h, t) 로 나타내진다. 이때 부호 길이는 $n = 2^r - 1$ 이고 n 비트의 부호로서 정정될 수 있는 에러, 즉 에러정정능력 t 는 다음과 같다[13],[14].

$$t = \lfloor p/r \rfloor \quad (26)$$

BCH 부호간의 최소 거리 (minimum distance) d_{min} 과 에러정정능력 t 사이에는 $2t+1 \leq d_{min}$ 인 관계가 있다. BCH 부호는 에러정정능력 t 가 클수록, 부가되는 비트 수가 증가하므로 정보 데이터가 적어지며, BCH 복호기의 구현도 매우 복잡하게 된다. BCH 부호화를 행하는 경우 복호 오율은 다음과 같이 하여 구한다.

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=7+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \quad (27)$$

단, P_e : 채널 오율 값.

5. 수치해석 결과 및 분석

주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 BCH 채널 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호의 성능을 이론적으로 해석하였다. BCH 채널 부호화 기법으로는 에러정정능력이 이중, 삼중, 사중인 BCH (63,51), (63,45), (63,39) 부호를 이용하였다. 오율 성능의 해석을 위한 파라미터로서는 반송파 신호 대 잡음 전력비 (CNR), 희망 신호 전력 대 비희망 신호 전력비 (DUR), 에러정정능력 (t), 그리고 라이시안 페이딩의 심도 (K)를 이용하였고 그 성능을 그림 2 ~ 그림 5에 나타내었다.

OFDM 16 QAM 시스템의 성능을 구하기 위한 디지털 방송 규격으로는 유럽에서 제안한대로 부 반송파의 수를 2K mode (1705개)로 하였으며 보호 구간 (t_g)을 $7\mu s$ 로, 유효심볼구간 (t_s)를 $231\mu s$ 로 잡았다. 그리고 정규화 된 지연 (Δ/t_g)은 0.05로 놓았다. 또한 희망 신호 전력 대 비희망 신호 전력 비 (DUR)는 희망 신호 전력에 직접파 성분을 포함하고 있기 때문에, three-path로 모델링 되어지는 라이시안 페이딩의 심도 (K)와의 관계를 고려하여 구하였다.

그림 2는 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 OFDM 16 QAM의 오율 성능을 라이시안 페이딩의 심도 (K)와 DUR을 고려하여 나타낸 것이다. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서는 음성 통신에서 요구되는 오율 성능 (10-3)을 달성하지 못하므로 별도의 성능 개선 기법이 요구된다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, 오율 성능 (10-2)에서 페이딩 심도 K 가 30, DUR=35 dB인 경우, CNR은 약 23 dB가 요구된다.

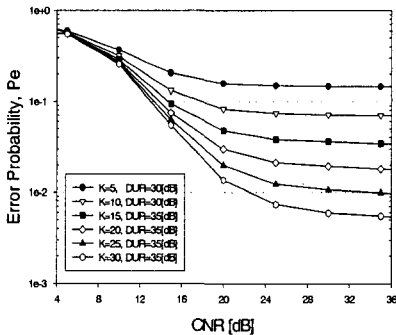


그림 2. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 OFDM 16 QAM 신호의 오율

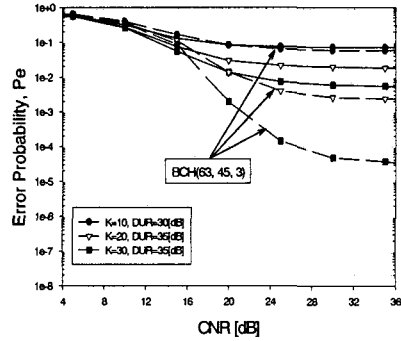


그림 3. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 BCH (63,45,3) 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호의 오율

그림 3과 그림 4는 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 에러정정능력이 삼중과 사중인 BCH 부호에 의해 채널 부호화 된 OFDM 16 QAM의 오율 성능을 나타낸 것이다. BCH 채널 부호화 기법을 채용하면

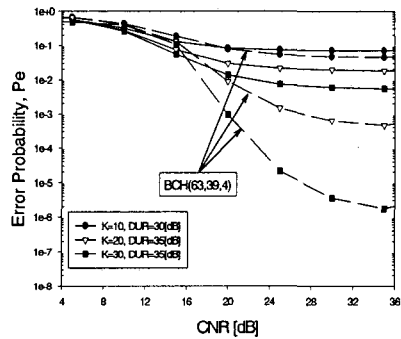


그림 4. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 BCH (63,39,4) 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호의 오율

오율 성능이 개선되지만 무선 데이터 통신에서 요구되는 오율 (10-6)을 얻기 위해서는 에러정정능력이 큰 경우를 선택하여야 한다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, BCH(63,45,3) 채널 부호화의 경우 오율 성능 (10-3)을 달성하기 위해서는 라이시안 페이딩 심도 K 가 30일 때 DUR=35 dB에서 CNR이 약 21 dB 요구되며, BCH(63,39,4)에서는 CNR이 약 20 dB이다. 또한 BCH(63,39,4)에서 K 가 20, DUR=35 dB에서 CNR이 약 26 dB를 요구된다. 그러나 에러정정능력이 큰 부호를 선택할 경우에는 부호화율이 작아짐으로서 전송효

율이 떨어지기 때문에, 시스템에 따라 선택적으로 부호화율을 고려하거나, 다른 성능 개선 기법을 채용하여야만 한다.

그림 5는 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 에러정정능력이 이중과 사중인 BCH 부호에 의해 채널 부호화된 OFDM 16 QAM의 오율 성능을 비교할 수 있도록

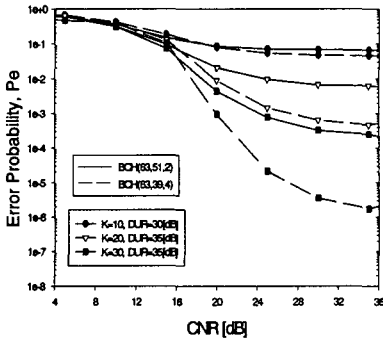


그림 5. 주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 BCH 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호의 오율

나타낸 것이다. 라이시안 페이딩 심도 K 가 커지면 에러정정능력이 이중인 경우에도 성능 개선을 얻을 수 있지만, 에러정정능력이 삼중, 사중인 경우에는 시너지 효과에 의하여 큰 성능 개선을 얻을 수 있었다.

6. 결론

주파수 선택성 라이시안 페이딩 환경에서 BCH 채널 부호화 된 OFDM 16 QAM 신호를 이론 해석하고, 그 결과를 그림으로 나타내었다. BCH 채널 부호화에서는 에러정정능력이 이중, 삼중, 사중인 (63,51), (63,45), (63,39) 부호를 이용하여 오율 성능을 알아보았다.

본 논문에서 고려한 주파수 선택성 라이시안 페이딩은 도심지역에서의 전파 환경을 나타내며 이는 미약한 직접파 성분에 다중경로 페이딩에 의하여 시간지연된 신호가 합성되는 three-path로 모델링 하였다. BCH 채널 부호화 기법을 채용하면 에러정정능력이 클 때는 상대적으로 성능 개선이 크게 이루어지나, 전송 속도가 떨어지게 된다. 또한 페이딩의 심도가 알수록 전체적으로 성능 개선이 크게 이루어지지만, 멀티미디어 무선 데이터 통신에서 요구되고 있는 오율 (10⁻⁶ 정도)을 얻을 수가 없다. 따라서 채널 부호화 기법과 새로운 성능 개선 기법을 채용하여 함께 사용하는 것이 바람직스럽

겠다.

참고 문헌

- [1] R. W. Chang, "Synthesis of bandlimited orthogonal signals for multichannel data transmission," Bell Syst. Tech. J., vol. 45, pp. 1775-1796, Dec. 1996.
- [2] L. J. Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, pp. 665-675, July 1985.
- [3] Y. Wn and B. Caron, "Digital television terrestrial broadcasting," IEEE Commun. Magazine, vol. 32, pp. 46-52, May 1994.
- [4] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Commun. Magazine, vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [5] N. Yee, J. Linnartz, and G. Fettweis, "Multicarrier CDMA in indoor wireless radio networks," in Proc. IEEE Int. Symp. on PIMRC (PIMRC'93), pp. 109-113, Sep. 1993.
- [6] 주윤환, "디지털 무선 통신 시스템의 설계를 위한 성능의 이론 해석과 시뮬레이션", 한국항공대학교 석사학위 논문, 1996년 2월.
- [7] E. G. Kim, B. J. Ko, C. Y. Choi, and S. J. Cho, "Performance of 16 QAM signal with optimum code mapping and optimum threshold detection in Rician fading channel," IEEE Vehc. Technol. Conf., Atlanta, USA pp. 993-997, April 1996.
- [8] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, "Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission system," IEICE Trans. Commun., vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.
- [9] S. Hara, K. Fukui, M. Okada, and N. Morinaga, "Multicarrier modulation technique for broadband indoor wireless communication," Proc. 4th Int. Symp. PIMRC, Yokohama Japan, pp. E1.2.1-E1.2.5, 1993.
- [10] 김연곤, "개인 휴대 통신에서 최적의 부호 매핑과 검파 기법을 채용하는 16 QAM 시스템의 성능 해석", 한국항공대학교 박사학위 논문, 1997년 2월.
- [11] W. Magnus, F. Oberhettinger, and R. P. Soni, Formulas and Theorems for the Special Functions of Mathematical Physics. 3rd ed., New York : Springer-Verlag, 1966.
- [12] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Tables of Integrals of Series and Products. New York : Academic Press, 1980.
- [13] L. Hanzo, R. Steele, and P. M. Fortune, "A subband coding BCH coding, and 16-QAM system for mobile radio speech communications," IEEE Trans. Vehc. Technol., vol. 39, no. 4, pp. 327-339, Nov. 1990.
- [14] S. Lin and D. J. Costello, Error Control Coding :

Fundamentals and Applications. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1983.



김영철

1993년 2월 동신대학교 정보통신공학과 공학사

1995년 2월 동신대학교 대학원 전자공학과 공학석사

2002년 2월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 공학박사

2000년 8월 - 2004년 3월 인하공업전문대학 정보통신과 초빙교수

2004년 2월 - 현재 한국정보통신기술대학 방송통신설비과 전임강사

주 관심분야 : 무선인터넷, UWB, 디지털방송기술



오정균

1988년 2월 서울산업대학교 전자공학과 공학사

1990년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사

2001년 3월 - 현재 인천대학교 대학원 전자공학과 박사수료

2003년 2월 - 현재 한국정보통신기술대학 이동통신설비과 학과장

관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로설계, RF 모듈 및 고효율 MMIC 설계



강덕근

1985년 8월 서울산업대학교 전자공학과 공학사

1988년 8월 연세대학교 공학대학원 전자공학전공 공학석사

2004년 2월 중부대학교 대학원 명예공학박사

2001년 1월 정보통신부 중앙전파관리소장

2003년 2월 정보통신부 전남체신청장

2003년 5월 - 현재 한국정보통신기술대학 초대학장

주 관심분야 : 전파·방송 정책, 주파수자원관리기술, 전자파 인체 보호