
임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 성능 분석

조성언*, 박기식**, 김언곤***, 오원근*, 조경룡*, 소지영*

Performance Analysis of OFDM/QPSK System in Frequency Selective Rayleigh Fading Channel with Impulsive Noise

Sung-Eon Cho, Ki-Sik Park, Eon-Gon Kim, Won-Geun Oh,
Kyung-Ryong Cho, Ji-Young So

이 논문은 2000년도 순천대학교 공과대학 학술재단 연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 오율 성능을 해석하고, 성능 개선 기법으로 컨벌루션 부호화 기법을 적용하여 성능 개선을 도모하였다. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 채널에서는 보호 구간 길이보다 채널 지연 시간이 짧은 경우에 좋은 오율 성능을 나타내고, 보호 구간 길이를 벗어나면 오율 성능이 현격히 떨어짐을 알 수 있었다. 그리고 채널 상에서 존재하는 강한 임펄스 잡음의 영향을 받으면 오율 성능이 약 10^{-1} 정도로 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서는 부호화 기법을 적용하지 않으면 음성 서비스조차 지원할 수 없는 반면에, 컨벌루션 부호화 기법을 적용하면 데이터 서비스까지 지원할 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we analyze the BER performance of OFDM/QPSK system in frequency selective Rayleigh

* 순천대학교 정보통신공학부

** 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과

*** 대전산업대학교 정보통신·컴퓨터공학부

접수일자 : 2000년 9월 30일

fading channel with impulsive noise and improve its performance by adopting convolutional coding. When the channel delay time is shorter than the guard band, the OFDM/QPSK system shows a good BER performance while, when the channel delay time becomes longer than the guard band, its BER performance is abruptly degraded. Moreover, when the transmitted signal is contaminated by a strong impulsive noise in the channel, the BER performance falls to about 10^{-1} . Also, without channel coding technique, the system doesn't meet even the voice service requirement while it meets the data service requirement with convolutional coding in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

1. 서론

통신의 디지털화는 사용자 또는 제공자에게 많은 이점을 가져다 주었다. 소스 압축 방식, 다중화, 다중 접속, 에러 정정 부호, 효율적인 디지털 변조 기술 등 아날로그 시스템에서는 사용 불가능한 방법들이 디지털 통신 시스템에 도입되어 다양하고 신뢰도 높은 통신 서비스를 사용자에게 낮은 가격으로 제공할 수 있게 된 것이다. 이러한 디지털화의 추세가 방송 시스템에도 도입되고 있다. 즉 기존의 라디오, TV 등 아날로그 방송 매체를 대체할 새로운 DAB (Digital Audio Broadcasting), DVB (Digital Video Broadcasting), ATV (Advanced TV) 등 디지털 방송 시스템이 속속 개발되고 있다. 미국에서 개발이 진행되고 있는 ATV의 전송 방식이 단일 캐리어에 의한 VSB (Vestigial Side Band : 잔류 측파대) 변조 방식인데 반하여, 유럽 각국과 일본에서 개발이 진행되고 있는 지상 디지털 TV 방송의 전송 방식은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 직교 주파수 분할 다중) 변조 방식이다. 특히 OFDM 변조 방식은 유럽과 캐나다에서 실용화가 진행되고 있는 이동체 지향 고품질 디지털 오디오 방송 (DAB : Digital Audio Broadcasting)의 변조 방식으로도 채용되고 있다 [1]. 그러나, 이동체를 지향하는 DAB 방송에서는 방송 신호가 다수의 서로 다른 경로를 전파하여 수신되는 다중 경로 페이딩의 영향을 받게 되어 고품질 디지털 전송의 실현이 곤란하게 된다. 또한 광대역 전송을 행하는 경우에는 다중 경로 전파에 의한 전파 지연을 무시할 수 없게 되어 전송 대역 내의 주파수 특성이 일그러지는 주파수 선택성 페이딩이 발생하게 된다. 그 결과 신호간 간섭 (ISI :

Inter-Symbol Interference)이 발생하고 전송 특성이 현저하게 열화한다[2].

OFDM 변조 방식은 심볼 전송 시간이 길고, 많은 부반송파로 다중화되기 때문에 임펄스 잡음에 대해 본질적으로 강하다. 즉, 임펄스 잡음에 의한 영향이 심볼 전송 시간의 일부에만 미치고, 아울러 다수의 부반송파에 분산되기 때문이라 할 수 있다. 그러나 고전력의 짧은 버스트성 임펄스는 OFDM 과정에 의해 확장되어 전체 부반송파에 걸쳐 임펄스의 지속 시간에 해당하는 여러 심볼 주기 동안 심각한 간섭을 야기할 수 있으며, 또한 많은 수의 에러를 유발할 수 있다[3].

OFDM 방식은 변복조시에 고속 푸리에 변환 (Fast Fourier Transformation)을 사용할 수 있기 때문에 하드웨어 규모를 작게 할 수 있고, 주파수 이용 효율이 높다는 특징이 있다. 또한, OFDM 방식에서는 보호 구간을 설치함에 의해 보호 구간 길 이보다 지연 시간이 작은 지연파에 의해 발생하는 ISI의 영향을 완전히 제거할 수 있다. 더구나 총 전송 속도가 일정하다는 조건하에서 서브 채널 수를 늘림에 의해 각 서브 채널 당의 전송 속도가 낮아지기 때문에 주파수 선택성 페이딩에 대한 내성을 높일 수 있다. 그러나, OFDM 서브 채널 수가 증가하면 각 서브 채널 전송 속도가 저하하고, 동시에 고전력의 짧은 버스트성 임펄스 잡음의 영향을 받으면 인접 서브 채널간 간섭이 크게 되어 전송 특성이 열화한다[4]-[5].

OFDM 방식의 오율 특성에 관한 기존의 연구로서는 참고 문헌[4]-[5]가 있는데 이들 논문에서는 가우스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩 환경에서 시스템의 오율 특성을 분석하였다. 그러나 DAB 방송 환경은 전력선에서 발생하는 고전력의

비가우시성 (Impulsive) 인공 잡음의 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 영향을 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 DAB 방송 통신로에서 OFDM/QPSK 신호의 오율 특성을 임펄스 지수 (A), 가우시 잡음 전력대 임펄스 잡음 전력비 (I), 정규화된 채널 지연 시간 (τ / T_s), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_o), 회방 신호 전력 대 지연된 비회방 신호 전력비 (D/U)를 파라미터로 하여 해석하고 성능 개선 기법으로 컨벌루션 부호화 기법을 적용하여 성능의 개선 정도를 해석하고자 한다.

II. OFDM/QPSK 시스템과 해석 모델

1. OFDM/QPSK 시스템

OFDM은 높은 전송 속도의 데이터를 낮은 전송 속도의 데이터로 병렬화한 후 복수의 직교 반송파를 사용하여 전송한다. 한 캐리어 당의 전송 속도가 낮기 때문에 주파수 선택성 페이딩의 영향을 감소시킬 수 있다. 따라서 OFDM 방식은 직교성을 유지하는 다수의 반송파를 이용하여 주파수 선택성 페이딩에 강하며 고속의 데이터를 전송할 수 있는 시스템으로써 각 신호의 위상, 진폭에 정보를 실어서 복수의 신호로 다중화하여도 정보가 서로 섞이지 않게 분리할 수 있다는 장점이 있다[5]. OFDM/QPSK 시스템의 송신기와 수신기를 그림 1에 나타낸다.

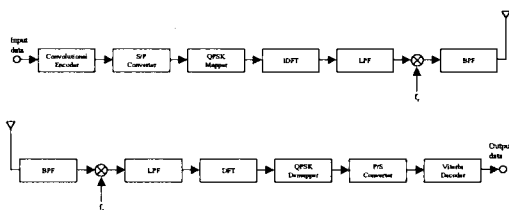


그림 1. OFDM/QPSK 시스템의 송신기와 수신기의 블록 다이어그램

Fig. 1 Block diagram of transmitter and receiver of OFDM/QPSK system.

그림 1 (a)의 OFDM 송신기에서 높은 전송 속도의 입력 데이터는 컨벌루션 부호화된 후, S/P (Serial to Parallel) 변환부에 의해서 낮은 전송 속도의 병렬 데이터로 변환된 출력은 QPSK Mapper를 통해 다시 부호화 되고 이산 푸리에 역변환 (IDFT) 과정을 거쳐서 OFDM 신호가 만들어진다. 다음으로, IDFT 출력을 LPF (Low Pass Filter)를 통과시킨 후 주파수를 RF (Radio Frequency)로 변환하기 위해 반송파 f_c 가 곱해진 신호는 BPF (Band Pass Filter) 거친 후 공간으로 전송된다. 전송된 신호 $s(t)$ 는 다음과 같다[5].

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

여기서 f_k 는 k 번째 반송파 주파수로서

$$f_k = f_0 + \frac{k}{t_s} \dots\dots\dots (2)$$

가 되며, f_0 는 가장 낮은 반송파 주파수이고 $f(t)$ 는 펄스 파형으로서 다음과 같은 값을 갖는다.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (-t_g \leq t \leq t_s) \\ 0 & (t < -t_g, t > t_s) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 t_g 와 t_s 는 보호 구간과 유효 심볼 구간이고 심볼 주기는 $T_s = t_g + t_s$ 로 나타낸다.

전송 신호 $s(t)$ 는 다중 경로 페이딩을 받고 부가성 백색 가우시 잡음 (AWGN)에 의한 영향을 받게되므로 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$r(t) = \int_0^{\infty} s(t-\tau)h(\tau;t)d\tau+n(t) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 $h(\tau;t)$ 는 시간 t 에서의 통신로의 임펄스 응답이고 $n(t)$ 는 협대역 가우시 잡음을 나타낸다. 수신 신호 $r(t)$ 는 국부 반송파에 의해 IF (Intermediate Frequency)로 변환된다. 다음으로 OFDM 복조를 하기 위해 이산 푸리에 변환 (DFT) 과정을 거친 후 QPSK Demapper를 통과시켜 낮은 전송 속도의 데이터를 얻는다. 그 후 P/S (Parallel

to Serial) 변환부와 비터비 복호기 (Viterbi Decoder)를 거쳐 높은 전송 속도의 데이터가 얻어진다.

2. 해석 모델

주파수 선택성 레일리 페이딩과 임펄스 잡음이 공존하는 통신로에서 컨벌루션 부호화 기법을 도입한 OFDM 시스템의 해석 모델을 그림 2에 나타낸다.

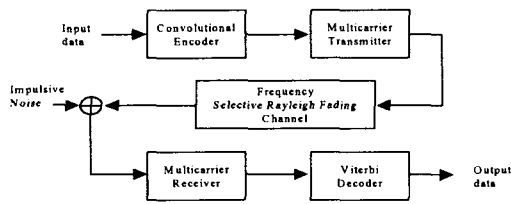


그림 2. 해석 모델
Fig. 2 Analysis model.

그림 2에서 높은 전송 속도의 입력 2진 데이터는 컨벌루션 부호화 과정을 거쳐 OFDM 송신기에서 변조된 후 공간에 방사되어 주파수 선택성 레일리 페이딩 채널을 통과하여 전달된다. 페이딩을 받은 신호에 임펄스 잡음이 가해져서 수신기에 입력되고 OFDM 수신기에서 복조된 후 Viterbi decoder를 거쳐 정보 데이터가 복호된다.

OFDM 변조 방식을 이동체 지향 DAB 방송에 적용하는 경우에는 전송 속도, 보호 구간 길이, 채널의 지연 퍼짐 (delay spread), 캐리어 수 등의 파라미터를 검토할 필요가 있다. 우선, 지연파에 의한 부호간 간섭 및 채널간 간섭을 피하기 위해 보호 구간 길이 Δ 는 다음 조건을 만족할 필요가 있다.

$$\Delta \geq \tau_{\max} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 τ_{\max} 는 채널의 지연 퍼짐을 나타낸다. 참고 문헌[6]에 의하면 실내 환경에서 τ_{\max} 는 200 ns 정도이다. 따라서 Δ 는 200 ns 이상으로 할 필요가 있다.

다음으로 심볼 길이 T_s 는 주파수 선택성 페이딩의 영향 및 임펄스 잡음의 영향을 받지 않도록

하기 위해 다음 조건을 만족할 필요가 있다.

$$\tau_{\max} \ll T_s \ll \frac{1}{f_D} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 f_D 는 페이딩의 최대 도플러 주파수이다. 실내에서의 이동체 이동 속도는 빨라야 5 km/h (사람의 보행 속도) 정도이기 때문에 5 GHz 대를 사용하면 도플러 주파수 f_D 는 12 Hz 정도가 될 것으로 추정된다.

본 논문에서는 이러한 조건을 고려하여 표 1과 같은 모델을 사용한다.

표 1 시스템 모델

Table 1 System model.

점유 주파수 대역	약 100 MHz
전송 속도	25 Mbps
서브 캐리어 수	32
변조 방식	QPSK
1 심볼당 길이	$\frac{1}{128 \times 10^3}$
보호 구간 길이	237 ns
채널 지연 퍼짐	200 ns

III. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 오율 해석

1. 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 오율 성능

식(4)에서 주어진 시간 t에서의 통신로 임펄스 응답은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$h(\tau, t) = \sum_{l=1}^{M_1+M_2} h_l \delta(\tau - \tau_l) \dots\dots\dots (7)$$

여기서 $\delta(t)$ 는 Dirac의 delta 함수, M_1 은 보호 대역 (guard band)내에 들어온 최대 다중 경로 수, M_2 는 보호 대역과 심볼 주기내에 들어온 최대 다중 경로 수, h_l 은 l 번째 수신된 신호의 응답 특성, τ_l 은 l 번째 경로의 전파 지연을 나타낸다.

수신기의 출력시간 iT_s 에서 m 번째 반송파

출력 r_{mi} 는 식(1)과 식(7)의 컨벌루션에 의해 다음 식과 같이 구해진다[5].

$$\begin{aligned}
 r_{mi} &= \frac{1}{t_s} \int_{iT_s}^{(i+1)T_s} r(t) e^{-j2\pi f_m(t-iT_s)} dt \\
 &= \frac{1}{t_s} \int_{iT_s}^{(i+1)T_s} \left(\int_{-\infty}^{\infty} S(t-\tau)h(\tau;t)d\tau + n(t) \right) e^{-j2\pi f_m(t-iT_s)} dt \\
 &= \left\{ \sum_{l=1}^{M_1} h_l e^{-j2\pi f_m \tau_l} + \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \frac{t_s - \tau_l + t_g}{t_s} h_l e^{-j2\pi f_m \tau_l} \right\} c_{mi} \\
 &\quad - \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\tau_l - t_g}{t_s} h_l e^{-j2\pi f_m \tau_l - j \frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s}} \\
 &\quad \times \text{sinc} \left(\frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s} \right) c_{ki} + \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\tau_l - t_g}{t_s} \\
 &\quad \times h_l e^{-j2\pi f_m (\tau_l - T_s) - j \frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s}} \\
 &\quad \times \text{sinc} \left(\frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s} \right) c_{k(i-1)} + n_{mi}
 \end{aligned} \tag{8}$$

단, c_{mi} ; m 번째 캐리어의 i 번째 심볼의 진폭,
 c_{ki} ; k 번째 캐리어의 i 번째 심볼의 진폭,
 $c_{k(i-1)}$; k 번째 캐리어의 $i-1$ 번째 심볼의 진폭,
 $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$.

식(8)에서 첫번째 항은 희망 신호 성분, 두번째 항은 채널간 간섭 (ICI) 성분, 세번째 항은 심볼간 간섭(ISI) 성분, 네 번째 항은 잡음 성분을 나타낸다.

그리고 $|c_{ki}| = |c_{k(i-1)}| = 1$ 로 하면 수신 전력의 평균치 $E[r_{mi}r_{mi}^*]$ 는 다음 식과 같이 구해진다.

$$E[r_{mi}r_{mi}^*] = b_0 + \sigma_n^2 + \sigma_i^2 \tag{9}$$

여기서 b_0 는 희망 신호 전력, σ_n^2 은 간섭 전력, σ_i^2 은 잡음 전력을 나타내는데 희망 신호 전력은 식(8)로부터 다음 식과 같이 구해지며, p_1 은 1 번째 수신 경로를 통해 들어온 신호 전력을 나타낸다.

$$b_0 = \sum_{l=1}^{M_1} p_l + \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} \left(\frac{t_s - \tau_l + t_g}{t_s} \right)^2 p_l \tag{10}$$

마찬가지로 간섭 전력도 식(8)로부터 다음 식과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 \sigma_i^2 &= \sum_{l=1}^{M_1+M_2} \left(\frac{\tau_l - t_g}{t_s} \right)^2 p_l \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} \text{sinc}^2 \left(\frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s} \right) - \frac{1}{2} \right\} \\
 &\dots\dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

식(10)과 식(11)로 부터 희망 신호 대 비희망 신호의 전력 분산치는 다음 식과 같이 구해진다.

$$\sigma^2 = \left\{ \left(\frac{b_0}{\sigma_n^2} \right)^{-1} + \left(\frac{b_0}{\sigma_i^2} \right)^{-1} \right\}^{-1} \tag{12}$$

한편, 가우스 잡음 (AWGN) 환경에서 QPSK 신호의 평균 비트 오류율을 순시 반송파 대 잡음 전력비 (CNR) γ 에 대한 오류율식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_{\text{QPSK}} = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\gamma}{2}} \right) \tag{13}$$

그리고 채널에서의 수신 신호의 γ 의 변화에 대한 확률 밀도 함수로 레일리 분포를 도입하면 $p(\gamma)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$p(\gamma) = \frac{1}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{\gamma}{\sigma^2} \right) \tag{14}$$

따라서 주파수 선택성 레일리 페이딩 채널에서의 QPSK 신호의 평균 비트 오류율은 가우스 잡음 통신로에서의 비트 오류율을 레일리 페이딩의 순시 CNR의 확률 밀도 함수를 이용하여 집합 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{e/\text{QPSK}} &= \int_0^{\infty} P_{\text{QPSK}} \cdot p(\gamma) d\gamma = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{\sigma^2}}} \right] \\
 &\dots\dots\dots (15)
 \end{aligned}$$

2. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 오율 성능

임펄스 잡음이 존재하는 환경에서 M-ary PSK 신호의 심볼 오류율은 다음과 같다[7].

$$\begin{aligned}
 P_{e/\text{Impulsive/M-PSK}} &= e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{2} \text{erfc} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\sigma_i^2/\rho}} \sin \frac{\pi}{M} \right\} \\
 &\dots\dots\dots (16)
 \end{aligned}$$

단, A ; 임펄스 지수 (단위 시간 당 수신된 평균

임펄스 수),

$$\sigma_j^2 = \frac{(j/A + \Gamma')}{(1 + \Gamma')},$$

Γ' ; 가우스 잡음 대 임펄스성 잡음 전력비,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{A_{PSK}^2}{2\sigma_n^2}; \text{ 신호 대 잡음 전력비.}$$

식 (16)으로부터 M=2인 BPSK의 심볼 오류식은

$$P_{e \text{ Impulsive/BPSK}} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{2\sigma_j^2/\rho}} \right) \dots\dots\dots (17)$$

과 같이 구할 수 있으며, M=4 이상인 경우에는 하나의 심벌이 그 심벌을 기준으로 하여 좌우의 두 방향으로 에러가 발생한다. 따라서 심벌 오류는 식 (17)을 2 배로 해주어야 하므로 다음과 같다.

$$P_{e \text{ Impulsive/QPSK}} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{2\sigma_j^2/\rho}} \right) \dots\dots\dots (18)$$

따라서 주파수 선택성 레일리 페이딩 채널에서 OFDM/QPSK 신호의 평균 비트 오류식은 임펄스 잡음 통신로에서의 비트 오류식을 레일리 페이딩의 순시 CNR의 확률 밀도 함수를 이용하여 집합 평균을 취하면 구해지는데 다음과 같다.

$$P_{e \text{ Impulsive/QPSK - Rayleigh}} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left[1 - \sqrt{\frac{1}{1 + 2\sigma_j^2 \left[\frac{\sigma_n^2}{b_0} + \frac{\sigma_1^2}{b_0} \right]}} \right] \dots\dots\dots (19)$$

IV. 성능 개선 기법

본 논문에서는 디지털 셀룰러 시스템의 산업 표준인 부호율 1/2, 구속장 (constraint length) 7인 컨벌루션 부호를 성능 개선 기법으로 사용한다.

컨벌루션 부호의 특징은 부가성 백색 가우스 잡음 (AWGN) 통신로에서 에러 정정 능력이 특히 우수하며 잡음이 연집 특성을 갖는 채널에서도 인터리버/디인터리버를 이용하여 쉽게 연집에러를 정정할 수 있다. 부호율 1/2, 구속장 (constraint length) 7인 컨벌루션 부호로 부호화된 오류식은 다음 식과 같이 주어진다[8].

$$P_c \leq \frac{1}{2} (36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + \dots) \dots\dots\dots (20)$$

여기서 D는 Bhattachayya의 상한식으로서 다음과 같으며, M은 ary의 수를 나타낸다.

$$D = 2\sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1} \right] P_e \dots\dots\dots (21)$$

여기서, P_e 는 임펄스 잡음과 주파수 선택성 페이딩의 영향을 받은 신호의 비트 오류식(19)이다.

V. 수치 계산 및 검토

본 논문에서는 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 DAB 방송 통신로에서 OFDM/QPSK 신호의 오류 특성을 임펄스 지수 (A), 가우스 잡음 전력대 임펄스 잡음 전력비 (Γ'), 정규화된 채널 지연 시간 (τ/T_s), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0), 희망 신호 전력 대 지연된 비희망 신호 전력비 (D/U)를 파라미터로 하여 해석하고 성능 개선 기법으로 컨벌루션 부호화 기법을 적용하여 성능의 개선 정도를 해석한다.

그림 3은 임펄스성 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 환경에서 OFDM/QPSK 시스템의 정규화된 채널 지연 시간 변화에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다.

그림에서 보호 구간 길이보다 채널 지연 시간이 짧은 경우 ($\tau/T_s \leq 0.3$)에는 좋은 오류 성능을 유지하지만, 보호 구간 길이를 벗어나면 오류 성능이 현격히 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 전력선에서 방출되는 임펄스성 잡음 ($\Gamma=0.1, A=0.1$)의 영향을 받으면 오류 성능이 약 10^{-1} 정도로 떨어짐을 알 수 있다.

그림 4는 임펄스성 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 환경에서 부호화 기법을 적용하지 않은 경우 OFDM/QPSK 시스템의 BER에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다.

그림에서 E_b/N_0 가 40 dB로 고정된 경우 Γ 와 A의 값이 1 이상 (AWGN 환경)이 되면 8 dB 이상

의 DUR에서 음성 서비스를 충분히 지원할 수 있지만, 임펄스성 잡음의 영향을 받은 경우에는 DUR 값이 적어도 18 dB 이상이 되지 않으면 음성 서비스 지원이 되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 임펄스성 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 환경에서 컨벌루션 부호화 기법 적용시 OFDM/QPSK 시스템의 DUR에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다.

가우시안 잡음 환경에 근접한 경우 (Γ 와 A 의 값이 1 이상)에는 2 dB 이상의 DUR이 되면 컨벌루션 부호 자체만으로도 데이터 서비스를 충분히 지원할 수 있지만, 임펄스성 잡음이 존재하는 경우에는 10 dB에서 20 dB 정도의 DUR이 되어야 데이터 서비스를 지원할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 임펄스성 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 환경에서 부호화 기법을 적용하지 않은 경우 OFDM/QPSK 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다.

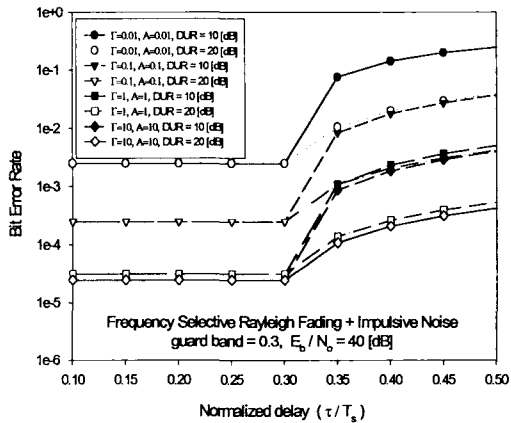


그림 3. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 정규화된 채널 지연 시간 변화에 따른 BER

Fig. 3 BER of OFDM/QPSK system with respect to the normalized channel delay time in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

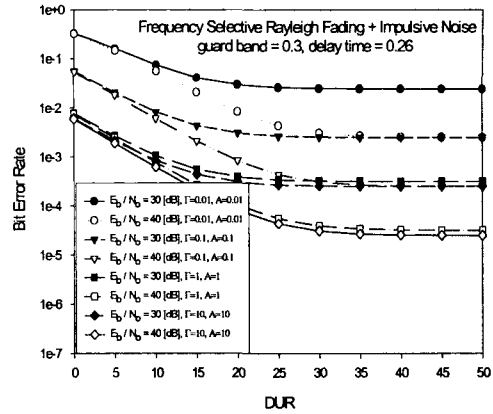


그림 4. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 부호화 기법을 적용하지 않은 경우의 OFDM/QPSK 시스템의 DUR에 따른 BER

Fig. 4 BER of OFDM/QPSK system adopting no coding technique with respect to DUR in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

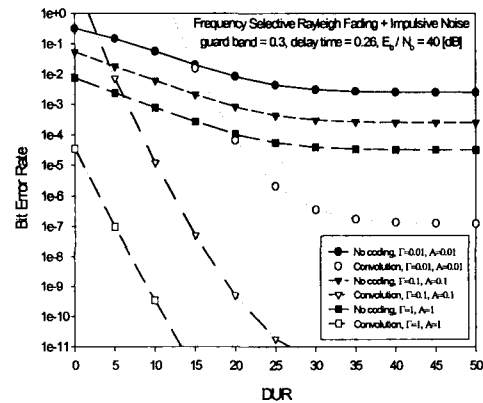


그림 5. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 컨벌루션 부호화 기법을 적용하는 경우의 OFDM/QPSK 시스템의 DUR에 따른 BER

Fig. 5 BER of OFDM/QPSK system adopting convolutional coding technique with respect to DUR in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

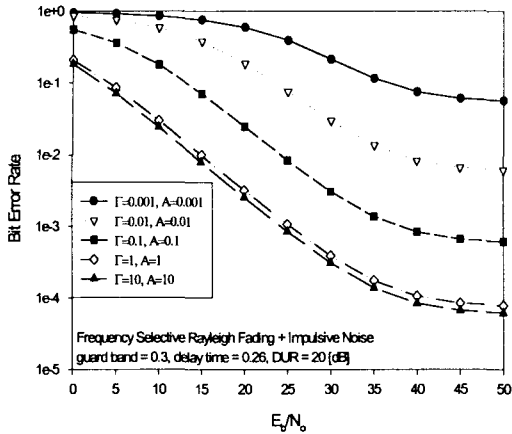


그림 6. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 OFDM/QPSK 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER

Fig. 6 BER of OFDM/QPSK system with respect to E_b/N_0 in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

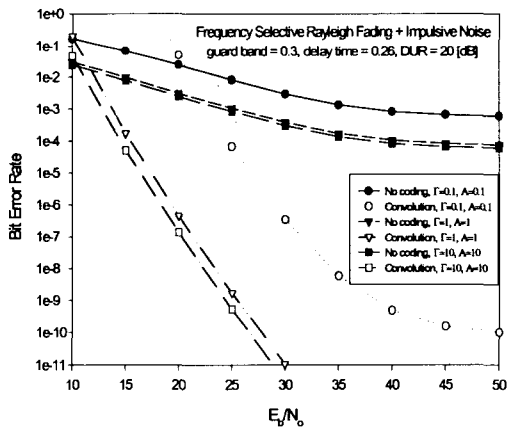


그림 7. 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 통신로에서 컨벌루션 부호화 기법을 적용하는 경우의 OFDM/QPSK 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER

Fig. 7 BER of OFDM/QPSK system adopting convolutional coding technique with respect to E_b/N_0 in frequency selective Rayleigh fading channel with impulsive noise.

가우시안 잡음 환경에서는 음성 서비스의 최대 허용 BER을 만족시키기 위해 25 dB 정도의 E_b/N_0 가 요구되는 반면에, 임펄스성 잡음의 영향을 받은 경우에는 성능 개선 기법을 적용하지 않는 한 허용 BER 값을 만족시킬 수 없음을 알 수 있다.

그림 7은 임펄스성 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 환경에서 컨벌루션 부호화 기법 적용시 직교 멀티캐리어 QPSK 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다.

가우시안 잡음 환경에서는 약 17 dB의 E_b/N_0 에서 데이터 서비스를 지원할 수 있는 반면에, 임펄스성 잡음의 영향을 받은 경우에는 적어도 27 dB 정도의 E_b/N_0 가 요구됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 DAB 방송 통신로에서 OFDM/QPSK 신호의 오율 특성을 임펄스 지수 (A), 가우스 잡음 전력대 임펄스 잡음 전력비 (Γ), 정규화된 채널 지연 시간 (τ/T_s), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0), 희망 신호 전력 대 지연된 비희망 신호 전력비 (D/U)를 파라미터로 하여 해석하고 성능 개선 기법으로 컨벌루션 부호화 기법을 적용하여 성능 개선 정도를 해석하였다.

성능 해석 결과, 임펄스 잡음과 주파수 선택성 레일리 페이딩이 공존하는 채널에서는 보호 구간 길이보다 채널 지연 시간이 짧은 경우 ($\tau/T_s \leq 0.3$)에 좋은 오율 성능을 나타내고, 보호 구간 길이를 벗어나면 오율 성능이 현격히 떨어짐을 알 수 있었다. 그리고 채널상에서 존재하는 강한 임펄스성 잡음 ($\Gamma=0.1, A=0.1$)의 영향을 받으면 오율 성능이 약 10^{-1} 정도로 열화됨을 알 수 있었다.

동일 채널에서 부호화 기법을 적용하지 않은 경우, 가우시안 잡음 환경에 근접 (Γ 와 A의 값이 1 이상)하면 음성 서비스의 최대 허용 BER를 만족시키기 위해 25 dB 정도의 E_b/N_0 가 요구됨을

알 수 있었고, 임펄스성 잡음의 영향을 받는 경우에는 성능 개선 기법을 적용하지 않는 한 요구되는 BER 값을 만족시킬 수 없음을 알 수 있었다. 동일 채널에서 부호화 기법을 적용한 경우, 가우시안 잡음 환경에서는 약 17 dB의 E_b/N_0 에서 데이터 서비스를 충분히 지원할 수 있는 반면에, 임펄스성 잡음의 영향을 받은 경우에는 적어도 27 dB 정도의 E_b/N_0 가 요구됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] 이기형, 구현서, 조재희, “디지털 오디오 방송과 데이터 서비스,” *KMT TECHNOLOGY*, pp. 32-46, 1997년 1월.

[2] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, “Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.

[3] T. S. Rappaport, “Indoor radio communications for factories of the future,” *IEEE Trans. on Electromag. Compt.*, vol. 25, pp. 15-24, May 1989.

[4] S. Hara, M. Mouri, M. Okada, and N. Morinaga, “Transmission performance analysis of multicarrier modulation in frequency selective fast Rayleigh fading channel,” *Wireless personal communications*, vol. 2, pp. 335-356, Jan.-Feb. 1996.

[5] S. Hara, K. Fukui, M. Okada, and N. Morinaga, “Multicarrier modulation technique for broadband indoor wireless communication,” *Proc. 4th Int. Symp. PIMRC*, pp. E1.2.1-E1.2.5, 1993.

[6] A. D. M. Saleh, R. A. Valenzuela, “A statistical model for indoor multipath propagation,” *IEEE J. Sel. Area in Commun.*, vol. SAC-5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.

[7] D. Middleton, “Statistical-physical models of electromagnetic interference,” *IEEE Trans. Electromag. Comapt.* vol. EMC-19, no. 3, pp. 6-126, Aug. 1977.

[8] A. J. Viterbi, “Error bounds for convolution codes and asymptotically optimum decoding algorithm,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, April 1967.



조 성 언(Sung-Eon Cho)

1989. 2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (공학사)
1991. 2 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업 (공학석사)

1997. 2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업 (공학박사)
1991. 3 ~ 1992. 2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 조교
1997. 3 ~ 현 재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수
2000. 3 ~ 현 재 (국립) 순천대학교 공과대학 전자계산실 실장
관심분야 : Wireless communication, 전자파환경공학



박 기 식(Ki-Sik Park)

1991년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (학사)
1996년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업 (석사)

2000년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업 (박사)
1996년~현재 (주)세영통신 책임연구원
관심분야 : 멀티미디어전송, 무선 광통신, Wireless communication



김 언 곤(Eon-Gon Kim)

1982.2 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업 (공학사)

1985.2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업

(공학석사)

1997.2 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업 (공학박사)

1984.12 - 1995.1 삼성전자(주)통신연구원 선임연구원

1995.2 - 현재 (국립) 대전산업대학교 정보통신·컴퓨터공학부 조교수

관심분야 : Wireless communication



오 원 근(Won-Geun Oh)

1989. 2 한양대학교 전자통신공학과 졸업 (공학사)

1991. 2 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업 (공학석사)

1997. 2 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업 (공학박사)

1997. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

관심분야 : 신호처리, 신경망, 비선형시스템, 마이크로프로세서 응용



조 경 룡(Kyung-Ryong Cho)

1987. 2 숭실대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1989. 2 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1995. 2 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1990.12 ~ 1996. 2 한국이동통신(주) 중앙연구원 선임연구원

1996. 3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

관심분야 : 이동통신, 채널코딩, 통신방식



소 지 영(Ji-Young So)

1983. 2 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1985. 2 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)

1990. 2 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)

1990.3 ~ 현재 (국립) 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 부교수

관심분야 : 센서재료, 전자세라믹재료, 유전체재료