
룸머 페이딩 환경 하에서 단일 탭 등화기를 사용한 OFDM M-ary QAM 시스템의 성능 분석

심재옥* · 김언곤*

Performance Analysis of OFDM M-ary QAM System with One Tap Equalizer in
Rummler Fading Channel

Jae-Ok Shim* · Eon-Gon Kim*

요 약

본 논문에서는 컨벌루션 부호와 비터비 복호와 단일 탭 등화기를 적용하여 OFDM 시스템의 성능을 분석하였다. DMRS(Digital Microwave Radio System)는 룸머 페이딩 채널로 모델화 된다. 시뮬레이션 결과 룸머 페이딩 채널 환경 하에서 채널 부호를 채용한 시스템이 채널 부호를 채용하지 않은 시스템보다 BER 10^{-3} 에서 16QAM인 경우 감쇠 상수 0.1~0.2인 경우 3.6~10.5dB 개선됨을 알 수 있었고, 64QAM인 경우 감쇠상수 0.1인 경우 19.7dB 개선됨을 알 수 있었고, 감쇠상수 0.2인 경우 10.5dB가 요구되어졌다. 연판정인 경우 16QAM인 경우 감쇠 상수 0.1~0.2인 경우 2~2.9dB 개선됨을 알 수 있었고, 64QAM인 경우 3.3~7.8dB 개선됨을 알 수 있었다. 등화기를 채용한 경우는 13dB 이상일 경우부터 성능 개선 폭이 점점 증가하였다.

ABSTRACT

In this paper, the system performance with the convolution code using a Viterbi decoding and the one tap LMS(Least Mean Square) equalizer applied to the OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system, is analyzed through computer simulation. DMRS(Digital Microwave Radio System) is modeled as Rummler fading channel. In Simulation result, we known that the coding system improved about 3.6dB~10.5dB when BER is 10^{-3} and b is 0.1~0.2 in case of 16QAM(Qurdrature Amplitude Modulation). Also, we known that was improved about 19.7dB when the b is 0.1 and was demanded about 10.5dB when the b is 0.2 in case of 64QAM. we known that the soft decision improved about 2~0.9dB when the b is 0.1~0.2 in case of 16QAM and about 3.3~7.8dB in case of 64QAM. In the equalizer system, efficiency improved from the case of that E_b/N_0 is more than 13dB.

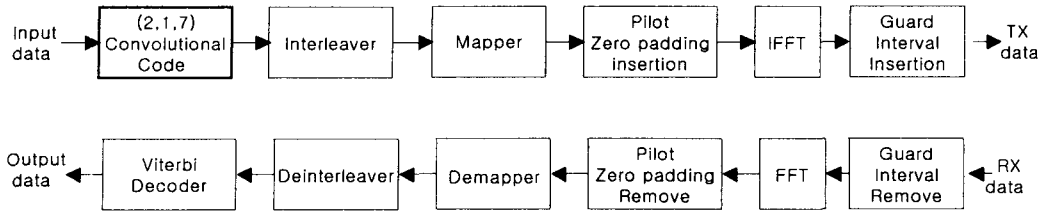


그림 1. OFDM 시스템 블록도
Fig. 1 block diagram for OFDM system

1. 서론

최근 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터 영상을 동시에 수용하는 멀티미디어 통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 멀티캐리어 변조방식으로, 멀티패스(multi-path) 및 이동 수신 환경에서 우수한 성능을 발휘한다. OFDM 방식에서는 상호 직교성을 갖는 복수의 반송파를 사용하므로 주파수 이용효율이 높아 간단한 등화기를 사용하여 채널왜곡을 보상할 수 있는 장점을 가진다. 다중경로 페이딩을 갖는 무선통신채널에서 심벌주기가 짧은 고속 데이터 전송시 단일반송파(Single Carrier) 방식보다 심벌간 간섭(ISI : Inter-symbol Interference)이 줄어들게 된다. 본 논문에서는 차세대 이동통신시스템으로 매우 경제적인 통신망 구축수단인 DMRS(Digital Microwave Radio System)에 적용 가능한 OFDM 시스템을 모델링하여 다중 경로 페이딩 환경에서 그 성능을 분석한다. 성능 개선 방법으로 길쌈부호(Convolution Code)와 비터비 복호 방법을 채용하여 시스템의 성능을 분석한다.

또한 OFDM 시스템은 하나의 탭을 갖는 주파수 영역의 등화기를 사용하여 진폭과 위상에 대한 왜곡을 쉽게 보상할 수 있으므로 단일 탭의 LMS 등화기를 사용한 OFDM 시스템의 성능도 비교 분석한다. 통신 채널 모델은 다중 경로 채널인 룬머(Rummler)모델을 사용하여 OFDM M-ary QAM 시스템의 성능을 알아보고자 한다.

II. OFDM 시스템의 구성 및 원리

OFDM 시스템의 전체 블록도는 그림 1과 같다.

2.1 길쌈 부호 및 인터리빙

OFDM 시스템에서, 신호대 잡음비가 낮은 부채널을 통해 전송되는 신호에는 많은 에러가 발생하게 된다. 그러므로 OFDM 시스템은 채널 부호화가 필수적으로 사용된다. 본 논문에서는 부호율 R=1/2, 구속장 L=7인 부호기를 사용하였고, 부호 생성을 위해 사용된 생성다항식 $g_0(x)$ 와 $g_1(x)$ 는 각각 133_{oct}, 171_{oct}의 8진수로 표현되어진다. 길쌈 부호기는 랜덤 잡음에 매우 강한 채널 부호 방식이지만 버스트에러에 취약하기 때문에 보통 버스트 에러 정정 능력을 가진 인터리버와 결합하여 사용한다.

본 논문에 사용된 블록 인터리빙은 첫 번째 단계는 인접하는 비트가 서로 인접하지 않도록 반반송파에 실리도록 하며, 두번째 단계는 심벌 매핑 성좌도에서 비트 위치를 바꾸어준다^{[1][2]}.

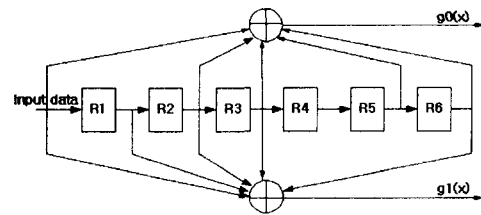


그림 2. (2,1,7) 길쌈 부호기
Fig. 2 convolution encoder

$$i = (N_{CBPS} / 16) (k \bmod 16) + \text{floor}(k/16)$$

$$k = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1 \quad (1)$$

$$j = s \times \text{floor}(i/s) + (i + N_{CBPS} - \text{floor}(16 \times i / N_{CBPS})) \bmod s$$

$$i = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1 \quad (2)$$

여기서 NCBPS는 하나의 OFDM 심볼에 실리는 부호화된 비트수로 변조 방식이 64QAM인 경우에는 288이다. $\text{floor}(\cdot)$ 는 괄호 안의 수를 초과하지 않는 최대 정수, $s = \max(N_{\text{BPSC}}/2, 1)$ 를 나타내며, 여기에서 NBPS는 하나의 부반송파에 실리는 비트수로 16QAM인 경우 4이며, 64QAM인 경우는 6이다.

2.2 비터비 복호

길썩 부호화된 신호의 복호화를 위해 본 논문에서는 최대 우도 복호화(Maximum Likelihood Decoding)을 수행하는 비터비 복호화 알고리즘이다^{[3][4]}. 본논문에서는 룬머 모델과 AWGN 모델을 적용한 무선 통신 채널 환경 하에서 0과 1로 판정하는 경판정 기법과 M레벨로 판정하는 연판정 기법을 사용하였으며, 복호 깊이는 64이며 연판정의 경우에 양자화 비트는 $k = \log_2 M$ 를 사용한다.

2.3 OFDM의 기본원리 및 보호구간 삽입

그림 2는 OFDM 신호를 생성하는 변조기의 블록도를 제시하였다. OFDM의 기본 원리는 고속 전송률을 갖는 데이터 열을 낮은 전송률을 갖는 많은 수의 데이터 열로 나누고, 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다.

OFDM의 변조된 신호는 식 4와 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A}{\sqrt{T}} a_{n,i} e^{j2\pi f_i t} g(t-nT_s) \quad (4)$$

여기서 N 은 부채널의 수, A 는 신호의 전력, T_s 는 OFDM 심볼의 주기, $a_{n,i}$ 는 i 번째 부채널을 통해 전송되는 심볼로 QAM 신호이며, f_i 는 i 번째 전송되는 부채널의 주파수로 부채널간의 직교성을 만족하기 위하여 $f_i = i/T$ 의 관계를 갖는다. $g(t)$ 는 펄스 성형 함수로서 식 6과 같다.

$$g(t) = \begin{cases} 1, & T_g \leq t \leq T_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 T_g 는 OFDM 신호의 보호구간이며,

$T = T_s - T_g$ 로 유효 심볼 구간을 나타낸다. 수신된 신호에는 전송 채널의 주파수에 따른 감쇄와 지연 특

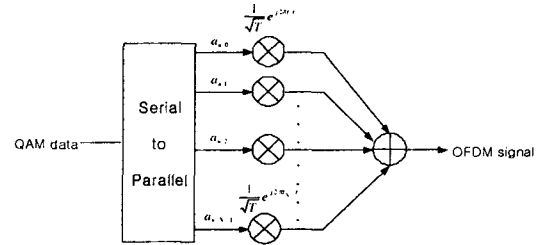


그림 3. OFDM 시스템 변조기
Fig. 3 Modulator for OFDM System

성에 의해 ISI의 영향이 나타나며, 이를 방지하기 위해 송신기에서는 두 연속적인 심볼 사이에 보호구간을 삽입한다. OFDM 심볼의 마지막 부분을 복사하여 심볼의 시작부분에 위치시키게 되는 Cyclic Prefix를 사용하였다.

2.4 단일 탭 등화기

논문에서는 주파수 선택성 페이딩 환경에서의 시스템 복조 성능 개선 방법으로 단일 탭 적응 등화기를 사용하여 성능을 분석하였다. 그림 4와 같은 MMSE (Minimum Mean Square Error)가 기준을 갖는 LMS (Least Mean Square) 등화기를 사용하며 MMSE 조건은 다음과 같다^[6].

$$\min_{W(k)} \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} |Y_m(k)W(k) - X_m(k)|^2 \quad (6)$$

여기에서 $W(k)$ 는 등화기 계수이며, LMS 등화기의 계수 조정식은 다음과 같이 나타낸다.

$$W_{m+1}(k) = W_m(k) + \Delta \varepsilon_m(k) Y_m^*(k) \quad (7)$$

여기에서 Δ 는 학습 조정계수이고, $\varepsilon_m(k)$ 는 다음과 같다.

$$\varepsilon_m(k) = X_m(k) - \widehat{X}_m(k) \quad (8)$$

$$\widehat{X}_m(k) = W_m(k) Y_m(k) \quad (9)$$

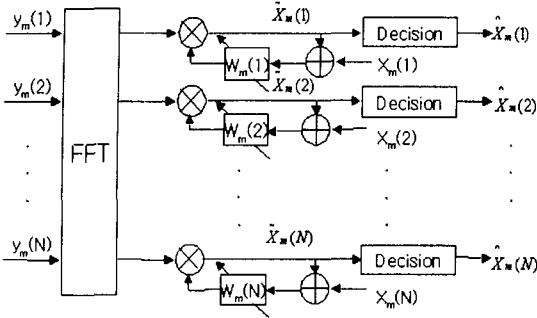


그림 4. LMS 등화기
Fig. 4 LMS Equalizer

III. 롬머 페이딩 채널에서의 OFDM시스템의 성능분석

본 논문에서는 다중경로 및 AWGN 환경에서 OFDM 방식을 적용하여 시스템의 성능을 분석하였다.

디지털 마이크로파 전송 링크에는 송·수신 안테나 사이에 직접 경로가 존재한다. 대부분의 대기 상태에서 직접파와 반이 존재하는 마이크로파 전송 시스템의 경우 에러율은 10^{10} 정도의 낮은 값을 갖지만, 어떠한 대기 조건에서는 대기층에 반사되어 수신되는 지연파가 존재하여 다중경로 전파가 발생하므로 오율이 높아지는 경우가 있다. 이러한 마이크로파 대역의 채널에 대해서는 다경로 전송채널의 모델로 Rummeler가 고안한 two-ray 모델이 주로 사용되고 있다^[7].

two-ray 채널의 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h(t) = \delta(t) + b\delta(t - \tau) \quad (6)$$

여기서 b는 지연신호의 감쇠상수이며 $b < 1$ 이라고 가정한다.

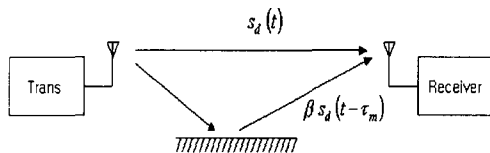


그림 5. 롬머 페이딩 채널 모델
Fig. 5 Channel model for Rummeler Fading

수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = S_d(t) + \beta S_d(t - \tau_m) + n(t) \quad (7)$$

여기서 $S_d(t)$ 는 수신된 직접파 신호이고 $n(t)$ 는 평균이 0이고, 양면 전력 밀도가 $N_0/2$ 인 복소 백색 정규 잡음이다. τ 는 채널상의 delay로서 통계적인 수치에 의하여 $8.3[\text{nsec}]$ 이다^{[8][9]}.

본 논문에서는 지연시간 τ 는 $8.3[\text{nsec}]$ 인 경우에 대해서 감쇠 상수 값(β)을 변화시켜 가면서 시스템의 전반적인 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. BER 10^{-3} 에서 16QAM일 경우 감쇠상수 값이 0.1일 때, 무부호화인 경우 11.6dB, 경판정일 경우 8dB, 연판정일 경우 6dB, 등화기를 채용한 경우 무부호화일 경우 11.1dB, 경판정일 경우 8dB, 연판정일 경우 6.2dB, 감쇠상수 값이 0.2일 때 무부호화인 경우 20.5dB, 경판정일 경우 10dB, 연판정일 경우 7.1dB, 등화기를 채용한 경우 무부호화일 경우 14dB, 경판정일 경우 10dB, 연판정일 경우 7.5dB가 요구되었다.

64QAM일 경우 감쇠상수 값이 0.1일 때, 무부호화인 경우 30dB, 경판정일 경우 10.3dB, 연판정일 경우 7dB, 등화기를 채용한 경우 무부호화일 경우 18.5dB, 경판정일 경우 12.5dB, 연판정일 경우 9.5dB, 감쇠상수 값이 0.2일 때 무부호화인 경우와 경판정일 경우는 성능을 얻을 수 없었고, 연판정일 경우 18.3dB, 등화기를 채용한 경우 무부호화일 경우는 성능을 얻을 수 없었고, 경판정일 경우 22.5dB, 연판정일 경우 14.2dB가 요구됨을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 DMRS(Digital Microwave Radio System)용 64QAM/OFDM 변조 방식에 대하여 성능을 분석하였다. 본 시스템에서 다중 경로 페이딩 환경에서 감쇠 상수의 변화에 따른 길쌈 부호에 대한 부호화 이득과 복호화 기법인 연판정, 경판정 기법과 단일 탭 등화기를 적용하여 시스템 성능 개선 정도를 살펴 보았다. 시뮬레이션 결과 롬머 페이딩 채널 환경 하에서 채널 부호를 채용한 시스템이 채널 부호를 채용하지 않은 시스템보다 BER 10^{-3} 에서 16QAM인 경우 감쇠 상수 0.1~0.2인 경우 3.6~10.5dB 개선됨을 알 수

있었고, 64QAM인 경우 감쇠상수 0.1인 경우 19.7dB 개선됨을 알 수 있었고, 감쇠상수가 0.2인 경우 10.5dB가 요구되어졌다. 연판정일 경우 16QAM인 경우 감쇠 상수 0.1~0.2인 경우 2~2.9dB 선됨을 알 수 있었고, 64QAM인 경우 3.3~7.8dB 개선됨을 알 수 있었다. 등화기를 채용한 경우는 13dB 이상일 경우부터 성능 개선폭이 점점 증가하였다. 따라서 등화기를 채용하여 페이딩을 보상하려는 경우 만족할 만한 성능개선을 기대하기 위해서는 충분한 E_b/N_0 의 수신레벨이 보장되어야 한다.

위의 결과로부터 향후 DMR용 롬머 페이딩 채널에서 OFDM/64QAM 시스템에서 요구되는 성능을 만족하기 위한 감쇠상수, 성능 개선을 위한 등화기 적용시 수신 E_b/N_0 등을 파악할 수 있는 자료로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

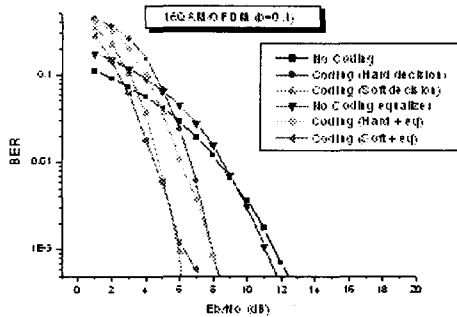


그림 6. OFDM/16QAM의 성능($\beta=0.1$)
Fig. 6 The performance of OFDM/16QAM

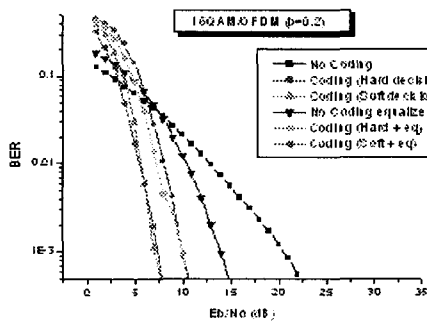


그림 7. OFDM/16QAM의 성능($\beta=0.2$)
Fig. 7 The performance of OFDM/16QAM

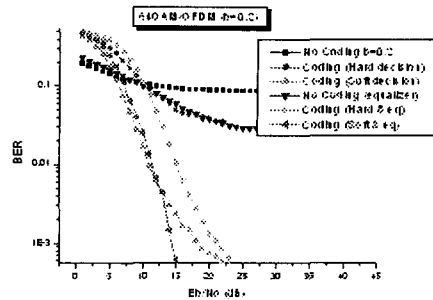


그림 8. OFDM/64QAM의 성능($\beta=0.1$)
Fig 8. The performance of OFDM/64QAM

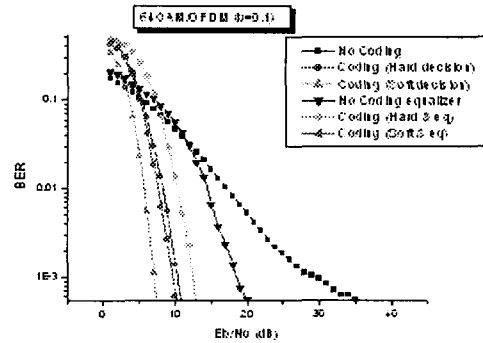


그림 9. OFDM/64QAM의 성능($\beta=0.2$)
Fig 9. The performance of OFDM/64QAM

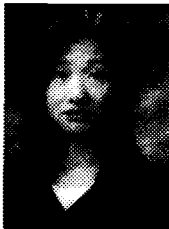
참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11a, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification : High speed Physical Layer in the 5GHz band. 1999.
- [2] RICHARD VAN NEE, RAMJEE PRASAD, OFDM for Wireless Multimedia Communications, 2000.
- [3] 이문호 저, 실용 디지털 통신, 영일 출판사, pp. 297-342, 1998
- [4] John G. Proakis, Digital Communication,

McGraw-Hill, 1999

- [5] 정송모, 이상욱, "다경로 페이딩 채널에서 OFDM의 성능 분석", 한국통신학회 논문지, Vol.21, No.11, pp.2923-2941, Nov, 1996
- [6] BERNARD SKLAR, Digital Communications, Prentice Hall, 1988
- [7] R. E. Ziemer and W. H. Tranter, Principles of Communications, Wiley, pp. 497-504 1995
- [8] P. Balaban and V.P. Dewal "Statistical distribution of parameters in a variable delay two-ray propagation model" GLOBECOM '89, IEEE, 1989, vol.1 pp. 59-64.
- [9] Jack Kurzweil, An introduction digital communications, Wiley, 1999

저 자 소 개



심재옥(Jae-Ok Shim)

1996~2000 대전산업대학교 정보통신공학과(공학사)
2000~2002 한밭대학교 정보통신공학과(공학석사)

※ 관심분야 : 디지털 무선통신시스템, 이동통신



김언곤(Eon-Gon Kim)

1978~1982 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
1982~1985 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사)
1992~1997 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1984~1995 성전자통신연구소 선임연구원

1995~현재 한밭대학교 정보통신공학과 부교수

※ 관심분야 : 이동통신, 디지털 무선통신 시스템, 통신이론