
정진폭 부호화된 다중부호 이진직교 변조의 QAM 전송방식에 대한 연구

홍대기* · 강성진** · 김선희*** · 김용성*** · 임승옥*** · 조진웅***

A Study on QAM Transmission Schemes for Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal Modulation

Dae-Ki Hong* · Sung-Jin Kang** · Sun-Hee Kim*** · Young-Sung Kim*** · Seung-Ok Lim*** · Jin-Woong Cho***

This research was supported by Ministry Of Commerce, Industry and Energy(MOCIE), Korea as a project, "Technologies development for future home appliance."

요 약

본 논문에서는 기존에 제안되었던 정진폭 부호화된 다중 부호 이진 직교 (CACB: Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal) 변조 방식을 고속화 하는 기술로서 CACB의 구조를 유지하면서 직교 위상 진폭 변조 (QAM: Quadrature Amplitude Modulation) 방식을 적용하여 대역폭 효율 (BE: Bandwidth Efficiency)을 증가시킴으로써 전송률을 높일 수 있는 방식에 대하여 연구한다. 또한 수신단에서 최단 거리 선택 알고리즘 (MDSA: Minimum Distance Selection Algorithm)을 이용한 QAM 연판정 (SD: Soft Decision) 복조기를 통한 성능 개선 방법을 제안한다. 마지막으로 실제 구현시 다중 경로 페이딩 (MPF: Multipath Fading)에서 강한 시스템을 구성할 수 있도록 하는 결정 궤환 등화기 (DFE: Decision Feedback Equalizer)의 적용 방안을 제시한다. 제안된 방식은 향후 고속의 전송을 요구하는 무선 개인 영역 네트워크 (WPAN: Wireless Personal Area Network)의 물리층 (PHY: Physical Layer) 표준으로 사용될 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we investigate the design of the QAM (Quadrature Amplitude Modulation) method for the CACB (Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal) scheme. The modulation method can improve the transmission data rate by increasing the BE (Bandwidth Efficiency). Additionally, we can improve the system performance by using the QAM SD (Soft Decision) method with the MDSA (Minimum Distance Selection Algorithm). Finally, the DFE (Decision Feedback Equalizer) for the CACB-QAM is simulated under the MPF (MultiPath Fading) channel for real implementation. The proposed scheme can be used for the PHY (PHYSical layer) standard of the WPAN (Wireless Personal Area Network) requiring high rate data transmission.

키워드

QAM, 정진폭, 연판정, 결정궤환등화기, WPAN

* 상명대학교 정보통신공학과 전임강사

접수일자 : 2007. 8. 21

** 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수 (교신저자)

*** 전자부품연구원 통신네트워크연구센터

I. 서론

최근 무선 개인 영역 네트워크 (WPAN: Wireless Personal Area Network) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 따른 결과로 미국 전기 전자 학회 (IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineer) 802.11 [1], IEEE 802.15.3 [2], 블루투스 [3], 그리고 HomeRF [4]와 같은 다양한 표준의 제정이 이루어지고 있다. 이에 국내에서도 고유한 WPAN 표준을 제정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 중 하나로서 국내 바이너리 부호 분할 다중 접속 (CDMA: Code Division Multiple Access) 포럼에서는 2.4 GHz 산업, 과학, 의료 (ISM: Industrial, Scientific, and Medical) 밴드에서 동작하는 WPAN으로 바이너리 CDMA 기술을 이용한 KOINONIA 표준의 제정이 이루어진 바가 있다 [5-6].

KOINONIA 표준은 물리층 (PHY: PHYSICAL layer) 기술로서 정칙폭 부호화된 다중 부호 이진 직교 (CACB: Constant Amplitude Coded Multicode Biorthogonal) 변조 방식을 아용하고 있다. CACB 변조 방식은 다중 부호-CDMA (MC-CDMA: Multi Code-CDMA)의 구조를 가지면서도 전송신호의 크기가 일정 하여 저가의 비선형 증폭기를 사용하여 구현 할 수 있는 기술이다 [7]. CACB는 입력 비트열을 부호화하여 직교코드 들이 더해져도 출력 심볼의 크기가 항상 일정하게 되는 전송방식이다. 그러나 이 방식은 현재 전송 속도가 5-6Mbps급이어서 고품질의 비디오 전송에는 부족한 면이 있다.

따라서 CACB 변조방식의 전송 속도를 높이기 위한 다양한 연구가 진행될 수 있다. 첫 번째 로서 CACB 심볼 출력에 대해 직교위상-직교위상 진폭 변조 (Q²AM: Quadrature-Quadrature Amplitude Modulation) [8-9] 또는 직교위상-직교위상 변조(Q²PSK: Quadrature-Quadrature Phase Shift Keying) [10]를 적용하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 그러나 이 방식은 연속적으로 두 번의 반송파 위상을 복구해야하는 문제점이 있기 때문에 상대적으로 복잡한 수신기 구조가 요구된다. 또한 기존에 널리 연구된 방식으로 국내 고유의 지적 재산권 (IP: Intellectual Property)을 획득하기 어려운 문제점도 존재한다.

본 논문에서는 기존에 제안되었던 CACB 변조 방식을 고숙화 하는 기술로서 CACB의 구조를 유지하면서 QAM 변조 방식을 적용하여 대역폭 효율 (BE: Bandwidth Efficiency)을 증가시킴으로써 전송률을 높일

수 있는 방식에 대하여 연구한다. 또한 수신단에서 최단 거리 선택 알고리즘 (MDSA: Minimum Distance Selection Algorithm)을 이용한 QAM 연판정 (SD: Soft Decision) 복조기를 통한 성능 개선 방법을 제안한다. 마지막으로 실제 구현시 다중 경로 페이딩 (MPF: Multipath Fading)에서 강한 시스템을 구성할 수 있도록 하는 결정 궤환 등화기 (DFE: Decision Feedback Equalizer)의 적용 방안을 제시한다.

II. 기존 변조 방식의 개요

본 장에서는 MC-CDMA, QAM, 및 기존의 MC-CDMA와 QAM의 결합방식에 대해 설명한다.

2.1 MC-CDMA 시스템

그림 1과 그림 2는 MC-CDMA의 송신단과 수신단 블록도이다. 직렬로 입력되는 데이터 비트 b_1, b_2, \dots, b_M 은 병렬로 변환 되어진 후 대역 확산 코드인 c_1, c_2, \dots, c_M 에 의해 대역확산 된다. 대역 확산된 신호는 선형적으로 합해져 다중 레벨을 출력하게 된다. 수신된 신호는 경판정 (HD: Hard Decision) 된 후 다중 레벨 신호로 역 변환되며 수신단의 대역 확산 코드와 곱해져서 역확산 과정을 거쳐 복원된다.

2.2 QAM 변조 방식

M진 QAM (MQAM: M-ary QAM) 변조의 경우 k개의 입력 데이터 비트에 대응하여 $M = 2^k$ 개의 심볼 중 하나의 심볼을 선택한다. MQAM을 사용하면 하나의 QAM 심볼 당 k개의 비트를 전송 할 수 있으므로 BE를 높일 수 있는 장점이 있다. 신호의 위상만을

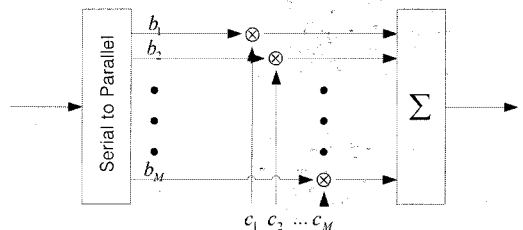


그림 1. MC-CDMA 송신단
Fig. 1. MC-CDMA Transmitter

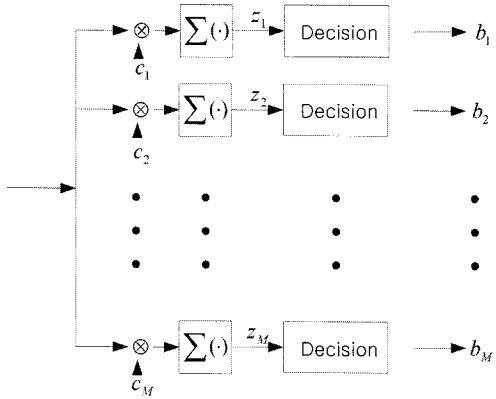


그림 2. MC-CDMA 수신단
Fig. 2. MC-CDMA Receiver

변화시키고 진폭을 일정하게 유지하는 M진 PSK (MPSK: M-ary PSK)와는 달리 QAM에서는 신호의 위상뿐만 아니라 진폭도 달리하여 전송한다.

그림 3은 16QAM의 성상도를 표시한 것이다. 16개의 신호의 위상과 진폭이 모두 다르고, 한 심볼을 전송함으로써 4비트의 정보를 보낼 수 있음을 알 수 있다. 즉, 2^k -QAM 변조방식은 2^k 개의 신호의 형태를 가지는데 모두 위상과 진폭이 다르고, 한 심볼을 전송할 때 k비트의 정보를 전달할 수 있다.

그림 4는 가산성 백색 가우스 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)과 단일 경로 레일리 페이딩에서의 64QAM 변조 방식의 이론적인 비트 오류 (BER: Bit Error Rate) 성능과 Monte Carlo 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 각 채널 환경에서 BER 성능은 식 (1)과 식 (2)와 같다 [11].

$$P_{64QAM}(\gamma) = \frac{7}{24} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{1}{7}\gamma}\right) - \frac{49}{384} \operatorname{erfc}^2\left(\sqrt{\frac{1}{7}\gamma}\right) \quad (1)$$

$$P_{64QAM}^{Ray}(\gamma_0) = \int_0^\infty P_{64QAM}(\gamma) p(\gamma) d\gamma = \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+7/\gamma_0}} \right] \quad (2)$$

여기서 $\gamma = \frac{E_b}{N_0}$, $\gamma_0 = \sigma_r^2 / \sigma_n^2$ (average E_b / N_0) 이다.

그림 4의 시뮬레이션 결과는 단일 경로 레일리 페이딩 채널에서의 진폭 왜곡과 위상 왜곡 중 위상 왜곡은 수신단에서 완벽하게 복구되었다고 가정하여 얻은 결과이며, 이론적인 BER 성과 거의 유사하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

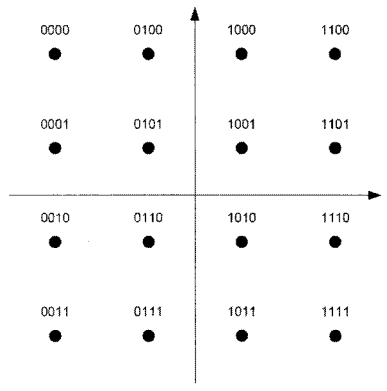


그림 3. 16QAM 성상도
Fig. 3. 16QAM Constellation

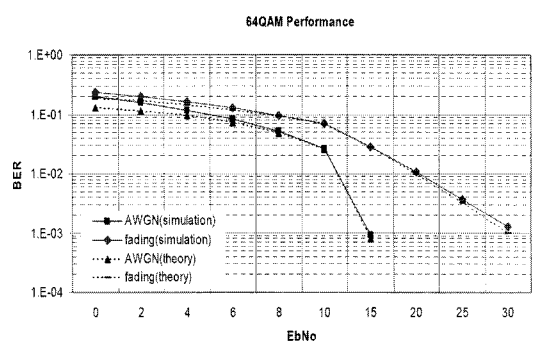


그림 4. 64QAM 변조 방식의 성능
Fig. 4. Performance of 16QAM Modulation Scheme

2.3. 기존 MC-CDMA의 QAM 변조 방식 2.3.1 MC-CDMA-QAM (시스템 모델 1)

그림 5는 MC-CDMA의 QAM 변조 방식에서 대역확산 과정을 거친 후 QAM 변조 방식이 적용된 시스템의 블록도이다. MC-CDMA는 다중 레벨을 가진 칩을 출력하고 이러한 출력 값이 QAM 변조기의 입력으로 들어가 두 개의 칩을 하나의 심볼로 전송하게 된다.

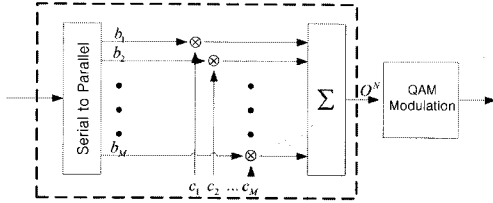


그림 5. MC-CDMA-QAM 시스템 (시스템 모델 1)
Fig. 5. MC-CDMA-QAM System (System Model 1)

M 비트인 입력 데이터열, $B^M = [b_1, b_2, \dots, b_M]$, $b_m \in \{1, -1\}$ 을 코드길이가 N 인 Walsh 직교 코드에 의해 대역 확산하면 출력 신호, O^N 은 다음과 같이 표현된다.

$$O^N = B^M C_N^M \quad (3)$$

이 때, C_N^M 은 $N \times N$ Walsh 행렬의 처음 M 행을 나타낸다. 그리고 출력 신호는 $O^N = [o_1, o_2, \dots, o_N]$ 이고 $o_n \in \{\pm M, \pm(M-2), \dots\}$ 이다.

예를 들어, $M=3$ 일 때, 출력되는 칩은 $o_n \in \{\pm 3, \pm 1\}$ 의 4가지 레벨을 가진다. 이러한 레벨을 가지는 칩을 두 개의 칩씩 묶어 첫 번째 칩을 동상 성분으로 두 번째 칩을 직교위상 성분으로 나누어 16QAM을 사용하면 하나의 심볼로 2개의 칩을 전송할 수 있다. 그리고 $M=7$ 일 때, 출력되는 칩은 $o_n \in \{\pm 7, \pm 5, \pm 3, \pm 1\}$ 의 8가지 레벨을 가진다. 이러한 레벨을 가지는 칩을 두 개의 칩씩 묶어 첫 번째 칩을 동상 성분으로 두 번째 칩을 직교위상 성분으로 나누어 64QAM을 사용하면 16QAM과 마찬가지로 하나의 심볼로 2개의 칩을 전송할 수 있다. 이러한 시스템에서 N 개의 QAM 심볼을 전송하면 직교 코드의 개수 만큼의 비트를 전송할 수 있으므로, N 심볼로 2M 비트를 전송할 수 있다.

2.3.2 QAM-MC-CDMA (시스템 모델 2)

그림 6은 MC-CDMA의 QAM 변조 방식에서 QAM 변조 방식이 적용된 후 대역확산과정을 거치는 시스템의 블록도이다. 입력 데이터 비트는 각 부채널마다 QAM 변조를 하기 위하여 M개의 데이터 스트림으로 나누어진다 [12].

M개의 데이터 스트림으로 나누어진 데이터 $\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_M$ 는 대역확산과정을 거치기 전에 QAM 변조를 수행하게

된다. 복소수 값을 가지는 심볼 $D_n (n=1, 2, \dots, M)$ 은 실수 값을 가지는 Walsh 직교 코드 $c_n (n=1, 2, \dots, M)$ 로 확산된 후 선형적으로 합해진 후 전송된다.

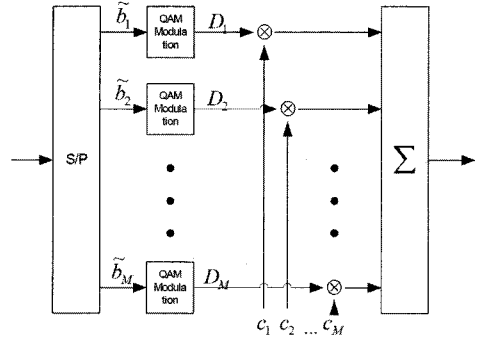


그림 6. QAM-MC-CDMA 시스템 (시스템 모델 2)
Fig. 6. QAM-MC-CDMA System (System Model 2)

III. CACB의 QAM 변조 방식

최근 제안되고 있는 CACB 방식은 CAC 기법을 이용하여 출력을 정 포락선화하는 방법이다.

그림 7은 9/12의 부호율을 가지는 CACB 방식의 시스템 구성도이다. i 번째 입력된 9개의 정보 비트 $b'_{00}, b'_{01}, b'_{02}, b'_{10}, b'_{11}, \dots, b'_{22}$ 들은 3개 비트가 하나의 부호 선

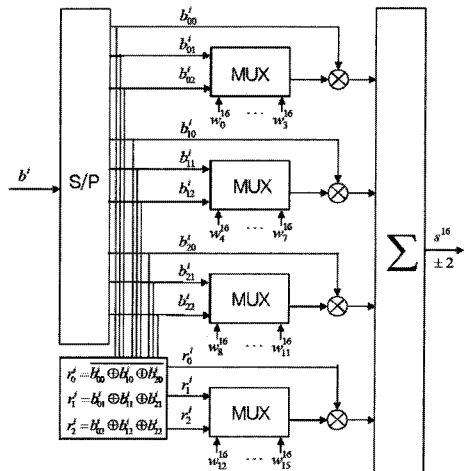


그림 7. CACB 방식의 시스템 구성
Fig. 7. CACB System Configuration

택 그룹을 형성하여 이진 직교 부호 중 하나를 선택하여 대역 확산 된다. 그림 7의 첫 번째 블록의 예에서 보면 b_{0i}, b_{1i} 의 두 비트로 길이가 16인 왈쉬 부호 0-3번 중에서 하나를 선택하고 b_{2i} 비트로 극성을 결정하여 이진 직교 부호를 출력한다.

두 번째 블록에서는 b_{1i}, b_{2i} 의 두 비트로 길이가 16인 왈쉬 부호 4-7번 중에서 하나를 선택하고 b_{10} 비트로 극성을 결정하여 또 다른 이진 직교 부호를 출력한다. 이와 같은 방법으로 9비트에 대한 3개의 이진 직교 부호를 출력하여 선형 결합하면 확산된 각 칩의 레벨은 $\pm 3, \pm 1$ 의 수준을 가지게 된다. 입력된 9비트에 대하여 다음 식 (4)과 같은 방법으로 3개의 잉여 비트 r_0^i, r_1^i, r_2^i 를 생성한다.

$$\begin{aligned} r_0^i &= b_{00}^i \oplus b_{10}^i \oplus b_{20}^i \\ r_1^i &= b_{01}^i \oplus b_{11}^i \oplus b_{21}^i \\ r_2^i &= b_{02}^i \oplus b_{12}^i \oplus b_{22}^i \end{aligned} \quad (4)$$

생성된 3개의 잉여비트로 앞의 방법과 같이 왈쉬 부호 12~15번 중에서 하나를 선택, 극성을 결정하여 이진 직교 부호를 출력하여 더하면 4개의 선형 결합된 16칩의 확산 부호는 각각 ± 2 가 되어 정 포락선 신호가 된다. 실제로 전송하는 9개의 비트에 대하여 부호화에 이용되는 비트는 3개의 잉여 비트를 포함, 총 12개의 비트를 이용하므로 부호율은 9/12가 된다.

그림 8은 이러한 CACB 방식에 QAM 변조 방식을 적용한 블록도이다. CACB 블록의 k 개의 출력 칩은 2^k -QAM 변조기의 입력으로 들어가 하나의 QAM 심볼을 출력한다. CACB 방식에서 출력되는 칩은 두 가지 레벨만을 가지기 때문에 16QAM을 사용하면 하나의 심볼로 4개의 칩을 전송할 수 있고 64QAM에 사용하면 6개의 칩을 전송할 수 있다.

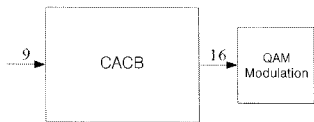


그림 8. CACB의 QAM 변조 방식
Fig. 8. CACB QAM Modulation Scheme

그림 9는 64QAM, 64QAM 변조방식을 사용한 MC-CDMA 시스템 모델 1, 2, 그리고 64QAM 변조방식을 사용한 CACB 송신단 블록도이다. 이 그림에서 64QAM, 64QAM-MC-CDMA (시스템 모델 1), CACB-64QAM 시스템은 8개의 QAM 심볼로 각각 48비트, 7비트, 27비트의 정보량을 전송 할 수 있다. 그리고 MC-CDMA-64QAM (시스템 모델 2)은 16개의 칩으로 42비트의 정보량을 전송 할 수 있다.

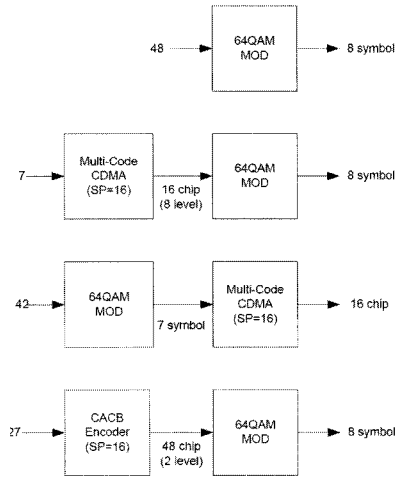


그림 9. 각 시스템의 송신기 블록도 비교
Fig. 9. Comparison of Several Transmitters

표 1은 이러한 네 개의 시스템에서 MC-CDMA의 부채널 수가 k 이고 대역 확산 코드의 길이가 16일 때, 하나의 심볼이 전송할 수 있는 정보량을 나타내고 있다. 이 표에서처럼 QAM, CACB-QAM, QAM-MC-CDMA, MC-CDMA-QAM 순으로 보다 많은 비트를 보낼 수 있다.

그림 10은 64QAM 변조 방식을 이용한 각 시스템의 성능을 AWGN 채널 환경에서 본 것이다. 여기서 대역 확산 코드는 길이가 16인 왈쉬 직교 코드를 사용하였다. 그림에서 BER이 10^{-3} 일 때, 64QAM, 64QAM-MC-CDMA, CACB-64QAM 시스템의 성능이 MC-CDMA-QAM 시스템보다 1dB정도 우수한 성능을 보이는 것을 볼 수 있다.

표 1. 각 시스템에서 심볼당 전송할 수 있는 정보량
Table 1. Spectral Efficiency of Several Systems

시스템 \ 변조방식	16QAM (k=3)	64QAM (k=7)
MC-CDMA + QAM	0.375	0.875
QAM + MC-CDMA	0.75	2.625
CACB + QAM	2.25	3.375
QAM	4	6

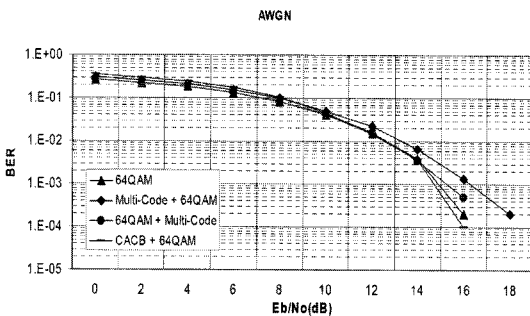


그림 10. 64QAM 변조방식을 이용한 각 시스템의 성능 비교
Fig. 10. Performance Comparison of Several Systems with 64QAM Modulation Scheme

IV. MDSA를 이용한 CACB-QAM의 SD 기법

채널에서 잡음이 더해진 수신신호는 QAM 복조기를 통해 CACB 복호화기에 입력된다. 이 때 수신 심볼을 QAM HD 복조를 할 경우 낮은 E_b/N_0 에서는 정확도가 떨어져 성능이 저하되기 때문에 CACB 복호화 과정에서 높은 이득을 얻을 수가 없다.

그림 11은 MDSA를 이용한 16QAM SD 복조 과정을 나타낸다. (a)에서는 수신단에서 받은 심볼 R과 첫 번째 비트가 0과 1인 성상들과의 거리 값 중 최단 거리 값 m_0 , m_1 을 계산하고 (b)에서는 심볼 R과 성상그룹이 다른 두 번째 비트가 0과 1인 성상들과의 거리 값 중 최단 거리 값 m_0 , m_1 을 계산하는 과정을 보여준다. 그리고 m_0 와 m_1 의 비율 값을 식 5와 같이 구한 후 CACB 복호화기의 입력 값으로 넣어준다. 그리고 위의 과정과 동일한 방법으로 0과 1의 성상그룹이 다른 나머지 비트의 SD값을 구한 후 CACB 복호화기에 입력으로 넣은 후 CACB 복

호화를 수행한다.

$$c = \frac{m_0}{m_0 + m_1} \tag{5}$$

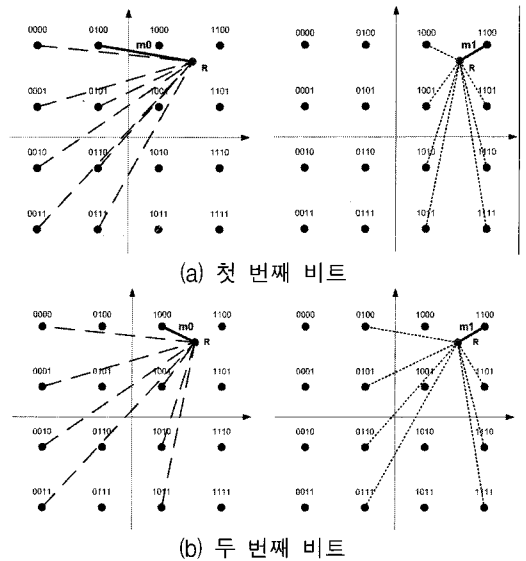


그림 11. 16QAM에서 MDSA
Fig. 11. MDSA in 16QAM

그림 12는 MC-CDMA-64QAM과 CACB-64QAM 시스템에서 MDSA를 이용하여 SD 복조를 수행한 성능을 보여준다. 그림에서 보듯이 CACB-64QAM 시스템에서 SD 복조가 HD 복조보다 2dB정도 우수한 성능을 보이고 MC-CDMA-64QAM 시스템에서는 SD 복조가 HD 복조보다 1dB정도의 성능 향상을 보이는 것을 볼 수 있다. MC-CDMA-64QAM보다 CACB-64QAM 시스템에서 SD에 의한 성능 향상이 더 높은 것은 MC-CDMA-64QAM에서는 심볼의 동상 성분과 직교위상 성분 단위로 SD를 수행하고 CACB-64QAM에서는 심볼의 각각의 비트 단위로 SD가 수행되기 때문이다. 64QAM 과 MC-CDMA-64QAM 시스템 경우 수신단에서 QAM 복조와 판정이 동시에 수행되므로 SD 복조가 불가능하다.

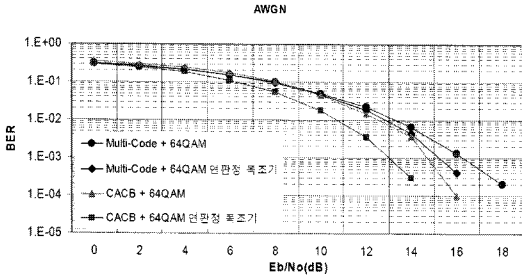


그림 12. MDSA를 수행한 경우의 성능 비교
Fig. 12. Performance Comparison of Several Systems with MDSA

V. CACB-QAM에서 MMSE-DFE 성능

CACB-QAM은 무선 통신 환경에서의 한정된 주파수 자원으로 BE를 높일 수 있는 적합한 변조 방식이다. 그러나 MPF 채널 환경에서의 진폭과 위상 왜곡은 CACB-QAM 시스템 성능을 저하시키는 주요 원인이 된다. 따라서 본 장에서는 이러한 페이딩 왜곡을 극복하기 위한 기술로써 최소 평균 자승 오류-DFE (MMSE-DFE: Minimum Mean Square Error - DFE)에 대해 연구한다 [13]. MMSE-DFE는 이전 심볼에서 발생하는 심볼 간 간섭 (ISI: Inter-Symbol Interference) 성분을 다음 심볼에서 제거한다. 이 과정에서 이전 심볼에 대한 정확한 검출이 이루어져야 한다. 그림 13은 MMSE-DFE의 블록도를 나타내고 있다. 채널을 통과한 수신신호 $y(t)$ 는 다음 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = \sum_m x_m \cdot h(t - mT) + n(t) \quad (6)$$

여기서 $h(t)$ 는 채널의 임펄스 응답을, $n(t)$ 는 AWGN 잡음을 나타내고 있다.

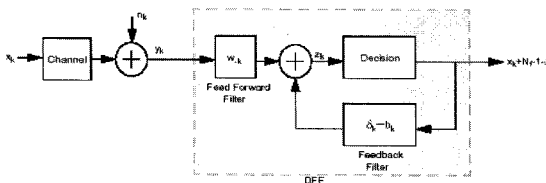


그림 13. DFE (Decision Feedback Equalizer)의 블록도

Fig. 13. Block Diagram of DFE

시스템의 오버샘플링 수를 1이라 하고 채널 메모리의 개수가 v 인 경우 식 (6)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_k = \sum_{m=0}^v h_m \cdot x_{k-m} + n_k \quad (7)$$

k 번째 신호 이후 N_f 개의 수신 신호를 나열하면 식 (7)은 다음과 같이 표현된다.

$$y_{k+N_f-1,k} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}_{k+N_f-1,k-v} + \mathbf{n}_{k+N_f-1,k} \quad (8)$$

여기서 \mathbf{H} 는 채널을 나타내는 행렬로 식 (9)와 같다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_v & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_0 & h_1 & \dots & h_v & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & h_0 & h_1 & \dots & h_v \end{bmatrix} \quad (9)$$

등화기 출력오류는 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$e_k = x_{k+N_f-1,\Delta} - z_k = \tilde{\mathbf{b}}^* \mathbf{x}_{k+N_f-1,k-v} - \mathbf{w}^* \mathbf{y}_{k+N_f-1,k} \quad (10)$$

여기서 $\tilde{\mathbf{b}}^*$, \mathbf{w}^* 는 각각 전치 (FF: Feedback) 필터와 후치 (FB: Feedforward) 필터의 계수와 같으며 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{\mathbf{b}}^* = [0_{1 \times \Delta} \quad 1 \quad b_1^* \quad \dots \quad b_{N_b}^* \quad 0_{1 \times s}] \quad (11)$$

$$\mathbf{w}^* = [\mathbf{w}_{-(N_f-1)}^* \quad \mathbf{w}_{-(N_f-2)}^* \quad \dots \quad \mathbf{w}_0^*] \quad (12)$$

MSE는 식 (13)과 같이 표현되며 이 MSE값을 최소화 하기 위하여 오류 e_k 와 수신신호 $y_{k+N_f-1,k}$ 로 이 조건에서 식 (14)이 성립된다.

$$\begin{aligned} MSE &= \mathbf{E} \left\{ |e_k|^2 \right\} = \mathbf{E} \left\{ \mathbf{e}_k \cdot \mathbf{e}_k^* \right\} \\ &= \mathbf{E} \left\{ \left(\tilde{\mathbf{b}}^* \mathbf{x}_{k+N_f-1,k-v} - \mathbf{w}^* \mathbf{y}_{k+N_f-1,k} \right) \cdot \left(\tilde{\mathbf{b}}^* \mathbf{x}_{k+N_f-1,k-v} - \mathbf{w}^* \mathbf{y}_{k+N_f-1,k} \right)^* \right\} \quad (13) \end{aligned}$$

$$E\{e_k \cdot y_{k+N_f-1,k}^*\} = 0 \Rightarrow \mathbf{w}^* = \tilde{\mathbf{b}}^* \mathbf{R}_{xy} \mathbf{R}_{yy}^{-1} \quad (14)$$

MMSE의 값은

$$\begin{aligned} MMSE &= \tilde{\mathbf{b}}^* (\mathbf{R}_{xx}^{-1} + \mathbf{H}^* \mathbf{R}_{mm}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \tilde{\mathbf{b}} \\ &= [1 \quad b_1^* \quad \dots \quad b_{N_b}^*] \mathbf{R}_{\Delta} \begin{bmatrix} 1 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{N_b} \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{b}^* \mathbf{R}_{\Delta} \mathbf{b} \end{aligned} \quad (15)$$

와 같이 이차형식 (QF: Quadratic Form)으로 간략화되며 이에 대한 최소 값은 행렬 \mathbf{R}_{Δ} 의 최소 고유값과 같으므로 \mathbf{b} 는 행렬 \mathbf{R}_{Δ} 의 최소 고유값에 대응하는 고유벡터와 같다. 이러한 방법으로 후치 필터의 계수 \mathbf{b} 를 결정하고, 식 (10)을 이용하여 후치 필터의 계수 \mathbf{w} 를 결정할 수 있다.

그림 14와 그림 15는 등거리 시간지연을 가지고 평균 수신 전력이 같은 독립적이고 동일한 분포를 가진 프로파일 (i.i.d.: Independent and Identically Distributed Profile) 특성을 가진 MPF 환경에서 MMSE-DFE를 사용하고 CACB 방식을 적용한 QPSK, 16QAM, 64QAM 변조 방식의 성능을 보여준다. 여기서 경로 수는 5개로 정하였다.

그림 14에서는 위상 왜곡이 없고 진폭 왜곡만 있는 MPF 환경에서 MMSE-DFE의 성능을 나타낸다. BER이 7dB 이상에서는 QPSK, 16QAM, 64QAM 모두 BER이

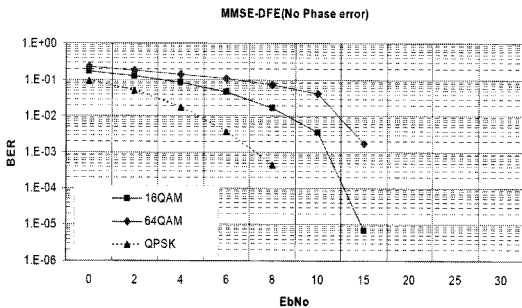


그림 14. 위상 왜곡 없는 MPF에서 MMSE-DFE 성능
Fig. 14. Performance of MMSE-DFE for MPF without Phase Distortion

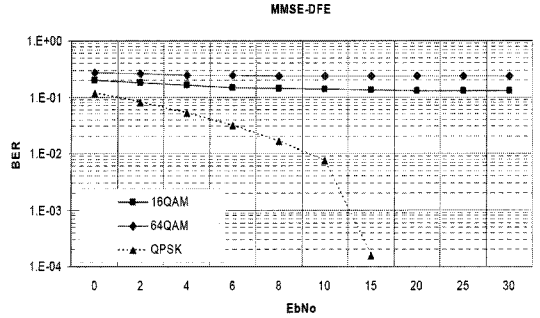


그림 15. MPF에서 MMSE-DFE의 성능
Fig. 15. Performance of MMSE-DFE for MPF

10^{-3} 보다 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 15에서는 위상 왜곡과 진폭 왜곡이 모두 존재하는 MPF 환경에서 MMSE-DFE의 성능을 보여주는데 QPSK의 경우에만 BER이 12~13dB 정도에서 10^{-3} 의 BER 성능을 보일 뿐 16QAM과 64QAM에서는 오류 한계 현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 위의 결과에서 MMSE-DFE의 경우, MPF 채널에 의해 발생하는 진폭과 위상 왜곡에 대해서 진폭 왜곡은 효율적으로 극복할 수 있지만 위상 왜곡에 대해서는 완벽하게 복구하지 못해 QAM 변조 방식에서는 성능 열화가 일어남을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 고속 전송 기술의 방안으로 CACB의 구조와 QAM 변조방식을 적용하여 BER을 증가시킴으로써 전송률을 높일 수 있는 방식에 대하여 제안하였다. 또한 수신단에서 MDSA를 이용한 QAM SD 복조기를 통한 성능 개선 방법을 제안하였다. CACB-64QAM 시스템에서 SD 복조가 HD 복조보다 2dB정도 우수한 성능을 보이고 MC-CDMA-64QAM 시스템에서는 SD 복조가 HD 복조보다 1dB정도의 성능 향상을 보이는 것을 볼 수 있었다. 또한 MPF에서 DFE의 적용방안을 제시하였다. BER이 7dB 이상에서는 QPSK, 16QAM, 64QAM 모두 BER이 10^{-3} 보다 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

본 논문의 연구 결과는 확산이득을 유지하면서 고속 전송에 적합한 WPAN 시스템의 물리계층의 표준기술로 사용될 수 있다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.11 Standard "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1997.
- [2] IEEE 802.15.3 Draft Standard "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)," Oct. 2002.
- [3] Bluetooth SIG Groups "Specification of the Bluetooth System," Ver 1.0 Draft Foundation, July 1999.
- [4] HomeRF "Technical Summary of the SWAP Specification," Feb. 1999.
- [5] 홍대기, 강성진, 주민철, 김용성, 서경학, 조진웅, "정진폭 다중 부호 이진 직교 변조," 한국통신학회 논문지, 제30권, 3C호, pp. 69-76, 2005. 3
- [6] 홍대기, 강성진, 조진웅, "WPAN 구현을 위한 바이너리 CDMA 기술 동향," 주간기술동향, 제1310호, 2007. 8
- [7] 안호성, 류승문, 나성웅, "Binary CDMA 소개," JCCI, VI-A.1.1-4, April 2002.
- [8] 박인재, 김형우, 심수보, "정진폭 변조방식을 이용한 Q2AM에 관한 연구," 한국통신학회 학술발표회 논문집, 제9권, 3호, pp. 47-51, 1990. 1
- [9] 박인재, 김형우, 심수보, "정진폭특성을 갖는 Biorthogonal 부호로 부호화된 Q2AM에 관한 연구," 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제21권, 9호, pp. 2470-2480, 1996. 9
- [10] D. Saha, T.G. Birdsall, "Quadrature-Quadrature Phase-Shift Keying," IEEE Trans. Commun., Vol 37, No. 5, pp. 437-448, May 1989
- [11] Seiichi Sampei, "Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications," Prentice Hall, 1st edition, April 1997
- [12] B. Xia and J. Wang. "QAM with Interference Cancellation for High-Speed Multicode CDMA," IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, Prague, Czech Republic, pp. 430-434, Sep. 2002
- [13] Naofal Al-Dhahir, "MMSE Decision-Feedback Equalizers: Finite-Length Results," IEEE TRANS. INFORMATION THEORY, Vol 41, No. 4, July 1995, pp.961-975

저자소개



홍 대 기 (Dae-Ki Hong)

2002년 1월 전자부품연구원 통신 네트워크연구센터 선임연구원
2006년 9월~현재 상명대학교 공과대학 정보통신공학과 전임강사

※관심분야: 무선통신, 이동통신, WPAN, WLAN



강 성 진 (Sung-Jin Kang)

2002년 9월 전자부품연구원 통신 네트워크연구센터 책임연구원
2007년 3월~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수

※관심분야: 무선통신, 이동통신, WPAN, WLAN



김 선 희 (Sun-Hee Kim)

2002년 3월 전자통신연구원 연구원
2005년 3월~현재 전자부품연구원 전임연구원

※관심분야: SoC, 무선통신, WPAN



김 용 성 (Young-Sung Kim)

2000년 7월 세트리마이크로시스템 주임연구원
2003년 11월~현재 전자부품연구원 통신네트워크센터 선임연구원

※관심분야: 무선통신, WPAN, Modem SoC 설계



임 승 옥 (Seung-Ok Lim)

1999년 이스텔시스템(주) 연구원
2001년~ 현재 전자부품연구원 통신 네트워크센터 책임연구원

※관심분야: 무선통신 네트워크, USN, Active RFID



조 진 웅 (Jin-Woong Cho)

1993년 1월 전자부품연구원 책임연구원
2002년 1월~현재 전자부품연구원 통신네트워크연구센터 센터장

※관심분야: 무선통신, 이동통신, WPAN, WLAN