

정 진폭 부호화된 Multi-code Biorthogonal Code Keying 시스템에서 인터리빙과 Q²PSK 를 이용하여

정 진폭 특성을 유지하면서 대역폭 효율을 개선시키는 방안

김성필, *김명진

한국정보통신기술대학, *한국외국어대학교

Multi-code Biorthogonal Code Keying with Constant Amplitude Coding using Interleaving and Q²PSK for maintaining a Constant Amplitude feature and increasing Bandwidth Efficiency

Sung Pil Kim, *Myoung Jin Kim

Abstract

A multi-code biorthogonal code keying (MBCK) system consists of multiple waveform coding blocks, and the sum of output codewords is transmitted. Drawback of MBCK is that it requires amplifier with high linearity because its output symbol is multi-level. MBCK with constant amplitude precoding block (CA-MBCK) has been proposed, which guarantees sum of orthogonal codes to have constant amplitude. The precoding block in CA-MBCK is a redundant waveform coder whose input bits are generated by processing the information bits. Redundant bits of constant amplitude coded CA-MBCK are not only used to make constant amplitude signal but also used to improve the BER performance at the receiver. In this paper, we proposed a transmission scheme which combines CA-MBCK with Q²PSK modulation to improve bandwidth efficiency of CA-MBCK and also uses chip interleaving to maintain a constant amplitude feature of CA-MBCK. bandwidth efficiency of a proposed transmission scheme is increased fourfold. And the BER performance of the scheme is same as that of CA-MBCK.

I. 서론

무선 멀티미디어 통신 서비스에 대한 요구가 늘어남에 따라서 고속 전송 및 각기 다른 통신 품질과 다양한 속도를 지원하는 전송 방식에 대한 요구가 증대되었다. 이런 요구를 만족시키기 위한 시스템으로 가변 확산 이득 CDMA(VSG-CDMA) 시스템[1]과 멀티코드 CDMA 시스템[2], 그리고 국내 원천 기술인 binary CDMA 기술을 들 수 있다[3].

VSG-CDMA 시스템은 입력 데이터 전송률에 따라 전송속도를 가변적으로 조절하여 확산 이득을 조절할 수 있고 요구되는 통신품질을 만족시키기 위해 전송 전력을 조절할 수 있다. 그러나 VSG-CDMA 시스템은 고속의 데이터를 전송하는 경우 확산이득이 작아져서 간섭에 대한 내성이 줄어든다. 멀티코드 CDMA 에서 전송 신호는 다중 직교 코드들의 선형 합이 된다. 멀티코드 CDMA 시스템은 전송률에 따라서 채널 수를 변화시킨다. 따라서 확산이득의 감소가 일어나지는 않으나 확산 코드의 선형 합으로 인해 전송신호의 크기가 일정하지 않으며, 결과로 선형성이 좋은 증폭기의 사용이 요구된다. 이동통신에서는 높은 전력 효율을 얻기 위해 비선형 특성을 지닌 증폭기를 주로 사용하는데, 멀티코드 시스템은 신호 진폭의 변화로

인해 비선형 왜곡을 겪게 되어 비트오율 성능은 상당한 열화를 보이게 된다. Binary CDMA 기술은 데이터 전송률의 변화에 따라 확산이득이 변하지 않는 멀티코드 CDMA 특징을 유지하면서 전송 신호는 일정한 크기를 갖는다. 전송 신호의 크기가 일정하므로 전력 효율이 중요시 되는 이동 단말기를 위한 전송 기술로 고려될 수 있다.

Binary CDMA 기술은 정 진폭을 생성하는 방법에 따라 다양한 기술이 제안되어 있다[3]. Binary CDMA 기술 중 정 진폭 부호화된 Multi-code Biorthogonal Code Keying (CA-MBCK) 기술[4]은 근거리 무선통신을 위한 국내 규격의 하나로 고려되고 있는데, 최근 들어 근거리 무선통신에 위해 요구되는 전송 속도는 날로 커지고 있어 CA-MBCK 시스템의 대역폭 효율을 증가시키는 연구가 필요하게 되었다.

기존 CA-MBCK 시스템에서는 대역폭 효율을 높이기 위해 출력 심볼을 QPSK 변조하여 전송하는데, [5]에서는 CA-MBCK 시스템의 대역폭 효율을 높이기 위해 CA-MBCK 와 quadrature-quadrature PSK(이하 Q²PSK) 변조를 결합하여 대역폭 효율을 4 배 증가시킬 수 있음을 제시했으나 CA-MBCK 시스템의 정 진폭 특성을 잃는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 CA-MBCK 의 출력 비트들이 가지는

특성을 이용하여 적절히 인터리빙 후 Q²PSK 변조함으로써 제안된 시스템의 출력 신호 크기를 일정하게 유지하고 대역폭 효율도 4 배 증가 시킬 수 있음을 보인다. 제 2 절에서 CA-MBCK와 Q²PSK의 전송방식을 설명하고, 제 3 절에서는 CA-MBCK의 출력을 인터리빙한 후 Q²PSK 변조하여 전송하는 시스템 구조를 제안한다. 제 4 절에서는 모의 실험을 통해 얻은 제안된 시스템의 비트오율 성능과 기존 CA-MBCK의 비트오율 성능을 보이며, M-ary 시스템과의 성능을 비교한다. 제 5 절에서 결론을 내린다.

II. CA-MBCK와 Q²PSK의 구조

2.1 CA-MBCK 시스템

CA-MBCK 시스템은 정보 전송을 위해 3 개의 biorthogonal 변조 블록과 정 진폭 부호화를 위한 1 개의 biorthogonal 변조 블록으로 구성되며 직교 코드로는 Walsh 코드를 사용한다. 직교 코드 길이 $N=16$ 인 경우의 CA-MBCK 송신기 구조를 그림 1에 보인다. 정보 전송을 위한 3 개의 biorthogonal 변조 블록에는 각각 3 개의 정보비트가 할당되는데, 2 비트로는 직교코드를 선택하고 1 비트로는 선택된 직교코드의 칩 부호를 결정한다. 정 진폭 부호화를 위한 잉여 블록에는 식 (1)과 같이 결정된 잉여 비트들이 할당됨으로써 모든 biorthogonal 변조 블록의 출력을 더하여 생성된 전송 신호의 크기는 일정하게 된다[4].

$$r_0 = \overline{b_0 \oplus b_3 \oplus b_6}, r_1 = b_1 \oplus b_4 \oplus b_7, r_2 = b_2 \oplus b_5 \oplus b_8 \quad (1)$$

CA-MBCK의 출력 신호를 BPSK 전송할 경우 정보 비트 9 개를 전송하기 위해 16 개의 칩이 사용되므로 대역폭 효율은 $9/16 = 0.5626$ 이며 QPSK 전송할 경우 대역폭 효율은 $9/16 \times 2 = 1.125$ 가 된다.

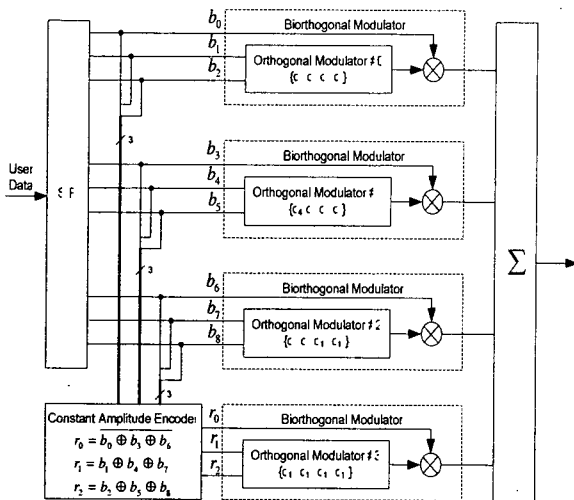


그림 1. CA-MBCK 송신기 구조

그림 2 는 한 개의 biorthogonal 변조 블록에 대한

수신기의 복조 블록을 보이고 있다. 수신 신호와 송신기의 biorthogonal 변조 블록에 할당된 모든 코드와의 상관값을 계산하여 상관값의 절대값이 최대가 되는 코드를 송신기의 변조 블록에서 코드 선택용 정보비트에 의해 선택된 코드로 판단하여 송신기에서 사용된 코드 선택 비트를 결정하고 그 상관값의 부호로 전송 부호 비트를 결정한다. 그림 2 에서 k 는 biorthogonal 변조 블록에 할당된 정보비트 개수 이며 c_k 는 변조 블록에 할당된 코드를 의미한다.

식 (1)에 주어진 정 진폭 부호화에 사용된 잉여 비트들은 수신기에서 복구할 필요는 없다. 그러나 이 잉여 비트들이 데이터 비트에 대한 패리티 비트의 특징을 가지고 있다는 사실을 이용하면 수신기에서 에러 검출에 사용될 수 있을 뿐만 아니라 제한적으로 에러의 정정에 사용될 수 있다. 수신단의 상관기 블록에서 얻은 상관값과 잉여 비트의 패리티 정보를 이용하여 에러를 정정하여 비트오율 성능을 개선시키는 알고리즘이 제안되어 있다[6].

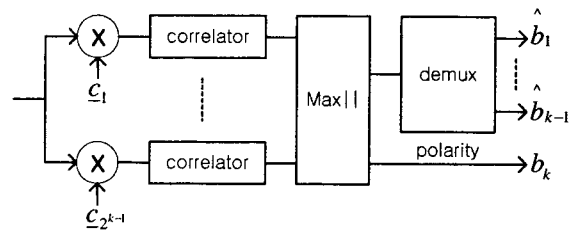


그림 2. Biorthogonal 변조 블록에 대한 수신기

2.2 Q²PSK 시스템

Q²PSK 는 주어진 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 이중 역위상(pairwise quadrature)인 2 개의 펄스 성형 신호와 2 개의 반송파(정현파와 역현파)를 사용하여 다차원 신호공간을 형성한다. Q²PSK의 전송 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 그림 3에 Q²PSK의 송신기 구조를 보이며 그림 4에 Q²PSK의 심볼 타이밍도를 보인다[4].

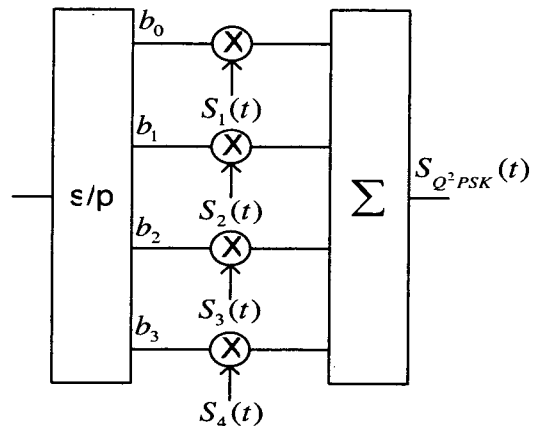


그림 3. Q²PSK의 송신기 구조

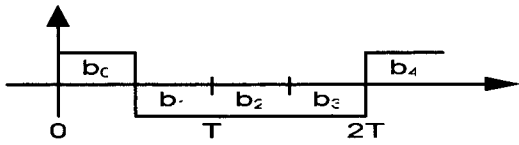


그림 4. Q²PSK의 입력 전송 심볼 타이밍도

$$S_{Q^2PSK}(t) = \sum_{i=0}^3 b_i(t) S_{i+1}(t) \quad (2)$$

여기서

$$S_1(t) = \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t), S_2(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

$$S_3(t) = \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin(2\pi f_c t), S_4(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos(2\pi f_c t)$$

여기서 주파수 f_c 는 반송파 주파수이며, 펄스 성형 신호로는 위상이 서로 직각인 여현파와 정현파를 사용한다. Q²PSK는 4개의 데이터를 동시에 각기 다른 4개의 직교 반송파로 전송하는 구조로도 생각할 수 있기 때문에 대역폭 효율은 4이다.

III. CA-MBCK의 출력비트 인터리빙 후 Q²PSK 변조하는 시스템

CA-MBCK의 출력을 QPSK 전송하면 정 진폭 특성이 유지되지만 시스템의 대역폭 효율은 $9/16 \times 2 = 1.125$ 로 낮은 편이다. 본 논문에서는 CA-MBCK의 전송 구조를 유지하면서 대역폭 효율을 높이기 위해 CA-MBCK의 출력 신호를 Q²PSK 변조하여 전송하는 시스템을 고려하였다.

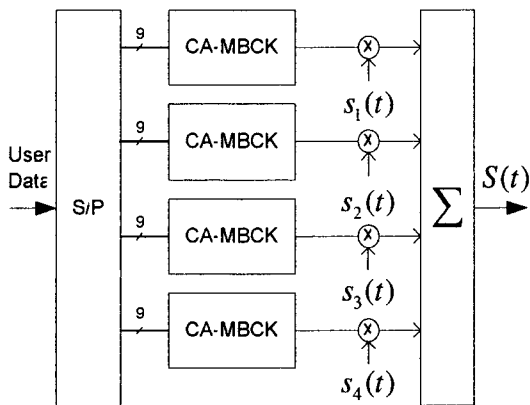


그림 5. 다중 CA-MBCK 출력신호의 Q²PSK 전송

[5]에서 제안한 CA-MBCK와 Q²PSK를 결합한 시스템의 송신기 구조를 그림 5에 보이고 있다. 여러 CA-MBCK로부터 출력된 심볼은 식 (2)와 같이 Q²PSK 변조되어 전송된다. CA-MBCK의 출력은 각각 직교하는 4개의 반송파에 의해 전송되는 것으로 볼 수 있으므로 대역폭 효율은 CA-MBCK의 4배가 된다.

따라서 CA-MBCK의 출력을 Q²PSK 전송하는 시스템의 대역폭 효율은 $9/16 \times 4 = 2.25$ 가 된다. 이 시스템은 대역폭 효율은 증가하지만 4개의 CA-MBCK 출력 신호가 합산된 형태의 전송 신호를 생성하므로 전송 신호의 크기는 일정하지 않게 된다.

그러나 Q²PSK 시스템에 동시에 입력되는 4개의 비트가 식 (4)와 같이 홀수 패리티이면 Q²PSK의 출력은 일정한 크기를 갖는다[8]. 이러한 알고리즘을 이용하여 CA-MBCK과 Q²PSK 결합하면 그림 6과 같은 구조의 시스템을 고려할 수 있다.

$$c_3 = c_0 \oplus c_1 \oplus c_2 \quad (4)$$

여기서 c_0, c_1, c_2 는 CA-MBCK 블록의 각 출력 칩을 의미하며 c_3 은 인코더 출력 칩을 의미한다. 이 시스템은 정 진폭 특성을 가지면서 단일 CA-MBCK 시스템보다 대역폭 효율이 3배 증가되었다.

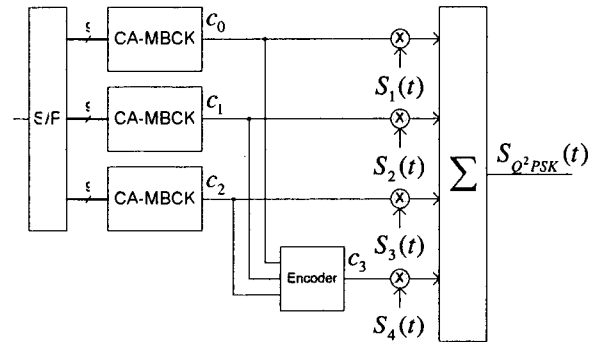


그림 6. 다중 CA-MBCK 출력신호를 정 진폭 부호화하여 Q²PSK 전송

본 논문에서는 CA-MBCK 시스템의 정 진폭 특성을 유지하면서 대역폭 효율을 높이기 위해 [8]에서 제안된 알고리즘을 사용하였다. CA-MBCK에서 사용되는 직교 코드 길이 $N=16$ 인 경우 하나의 CA-MBCK 변조 블록에는 9개의 정보 비트가 입력되고 16개의 칩이 출력되는데 16개의 칩은 식 (5)의 관계가 있다.

$$x_{12+i} = x_i \oplus x_{4+i} \oplus x_{8+i} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$x_0, x_4, x_8, x_{12}, x_1, x_5, x_9, x_{13}, x_2, \dots, x_{14}, x_3, x_7, x_{11}, x_{15} \quad (6)$$

단일 CA-MBCK의 출력 칩을 인터리빙을 하여 식 (6)과 같은 순서로 배열하면 칩은 4개 단위로 홀수 패리티 특성을 갖게 된다. 따라서 Q²PSK 시스템 출력 신호의 크기를 일정하게 하는 입력 조건을 만족하게 된다. 본 논문에서는 단일 CA-MBCK의 출력을 식(6)과 같이 인터리빙 한 후 Q²PSK 변조하는 시스템을 제안한다. 그림 7에는 제안된 시스템의 구조를 보이고 있다. 이 시스템은 CA-MBCK 시스템의 특징인 정 진폭 특성을 유지하면서 대역폭 효율은 $9/16 \times 4 = 2.25$ 의 특징을 보인다.

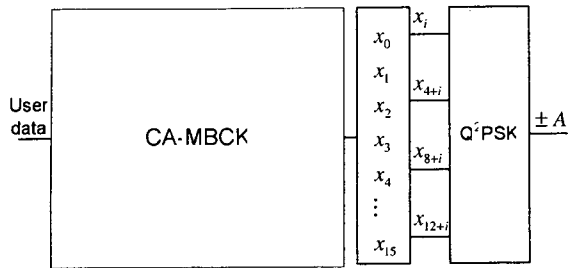


그림 7. 단일 CA-MBCK의 출력을 인터리빙한 후 Q²PSK 변조하는 시스템

IV. 컴퓨터 모의실험

제안된 시스템의 비트오율 성능을 분석하기 위해 백색 가우시안 잡음 환경을 가정하고 모의실험을 실행하였다. 그림 8에 [5]에서 제시한 시스템의 비트오율 성능, 본 논문에서 제안한 CA-MBCK 출력을 인터리빙한 후 Q²PSK 전송하는 시스템의 비트오율 성능, CA-MBCK 출력을 BPSK 전송하는 시스템의 비트오율 성능을 보이고 있다. 그리고 제안된 시스템과 다른 M-ary 변조 방식의 성능을 비교하기 위해 16QAM 시스템을 고려하여 이론적 비트오율 성능을 같이 제시하였다. 제안된 시스템과 CA-MBCK의 출력을 BPSK(또는 QPSK) 전송하는 두 시스템은 백색 가우시안 잡음 환경에서 동일한 비트오율 성능을 보이나 제안된 시스템의 대역폭 효율이 더 높다는 것을 알 수 있다.

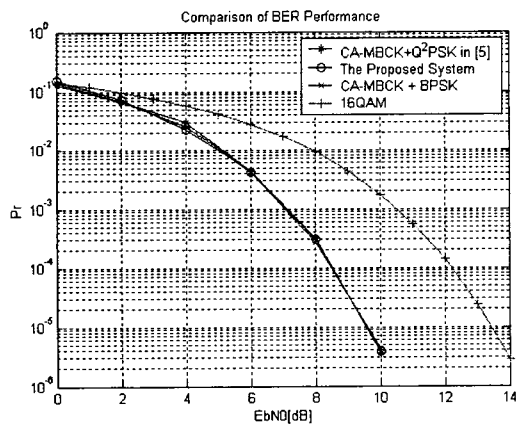


그림 8. 제안된 시스템과 16QAM과의 비트오율 성능 비교

표 1. 16QAM과 제안된 시스템의 성능 비교

	16QAM	제안된 시스템
대역폭 효율	4	2.25
10 ⁻⁵ 에서 Eb/N0[dB]	약 13.5[dB]	약 9.5[dB]
PAP[dB]	약 2.55[dB]	0[dB]

표 1에는 제안된 시스템과 16QAM 시스템의 특징을 비교하였다. 제안된 시스템은 16QAM 시스템 보다는 낮은 대역폭 효율을 갖지만 백색 가우시안 잡음 환경에서는 동일한 비트오율, 예를 들어 10⁻⁵의

비트오율 성능을 얻기 위해 필요한 비트 에너지는 약 4[dB] 적다. 따라서 백색 가우시안 잡음 환경에서는 제안된 시스템이 보다 강인한 특성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 전송 신호의 크기가 일정하므로 고 선형 증폭기의 사용을 요구하지 않는다.

V. 결론

정 진폭 부호화된 MBCK(CA-MBCK)는 WPAN을 위한 국내 규격의 하나로 고려되고 있다. 본 논문에서는 CA-MBCK의 대역폭 효율을 높이기 위해 CA-MBCK의 출력 심볼을 인터리빙한 후 Q²PSK 변조하여 전송하는 방식을 제안하였다. 제안된 시스템은 정 진폭 특성을 가지며 기존 CA-MBCK 전송 방식과 비교하여 백색 가우시안 잡음 환경 하에서 동일한 비트오율 성능을 가지면서 대역폭 효율은 4배로 증가하는 효과를 얻을 수 있었다.

References

- [1] C-L. I and K. K. Sabnani, "Variable spreading gain CDMA with adaptive control for ture packet switching wireless network," Proc. ICC'95, Seattle, June 1995.
- [2] C-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," Proc. ICC'95, Seattle, June 1995.
- [3] H. S. Ahn, S. M. Ryu, and S. W. Ra, "Intorduction to Binary CDMA," JCCI 2002 VI-A.1, April 2002.
- [4] Myoung Jin KIM, Sung Pil KIM, Jin-Woong CHO, "A Multi-Code Biorthogonal Code Keying with Constant Amplitude Coding," IEICE Trans. Commun., vol. E88-B, No. 7 pp. 2928-2936, Jul. 2005.
- [5] 김성필, 권민성, 김명진, "정 진폭 부호화된 Multi-code Biorthogonal Code Keying 시스템에서 Q²PSK를 이용한 대역폭 효율 개선 방안," 대한전자공학회 하계학술대회, 2005년 6월.
- [6] 김성필, 류형직, 김명진, "정 포락선 부호화를 사용한 CS/CDMA 시스템에서 잉여 비트 정보와 상관기 출력값을 이용한 수신기 성능 개선 방법," 한국통신학회 하계학술발표대회, 2003년 7월.
- [7] D. Saha, "Quadrature-quadrature phase-shift keying," IEEE Trans. Commun., vol. 37, No. 5, May 1989.
- [8] 박인재, 김형우, 심수보, "정 진폭 변조를 이용한 Q²PSK에 관한 연구," 추계 통신 학회 논문, 1990.