

정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조

김선희* · 김종석** · 홍대기**

*전자부품연구원 **상명대학교

Constant-Amplitude Multi-Code Trans-Bi-Orthogonal Modulation

Sun-hee Kim* · Jong-suck Kim** · Dae-ki Hong**

*Korea Electronics Technology Institute **Sangmyung University

E-mail : splineage@naver.com

요 약

본 논문에서는 기존의 직교 변조 방식의 대역폭 효율을 개선하기 위한 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 제안한다. 기존의 일반적인 직교 변조 방식은 대역폭 효율이 지나치게 떨어져서 대용량 데이터의 전송방식에는 적합하지 않다. 따라서 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 사용하여 대역폭 효율을 향상시키고 잉여 비트를 사용하여 신호를 부호화 하여 정 진폭을 유지한 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 제안한다. 또한 본 논문에서는 제안된 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 기존의 직교 변조 방식, 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조방식과 그 성능을 비교한다. 제안된 변조 방식은 기존의 방식에 비해 대역폭 효율이 매우 증가함을 알 수 있으며 고속의 데이터 율을 제공하는 디지털 무선 통신 시스템으로 사용될 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a constant-amplitude multi-code trans-bi-orthogonal modulation scheme by introducing a simple constant-amplitude coding scheme with redundant bits and trans-code, which is a modified orthogonal modulation scheme. Generally speaking, the orthogonal modulation scheme is not appropriate for the high speed data transmission applications because of bad bandwidth efficiency. Therefore, we use the multi-code trans-bi-orthogonal modulation with trans-code for high bandwidth efficiency. Moreover, redundant bits are used for constant-amplitude-coding. Finally, we compare the performance of the proposed scheme with the orthogonal modulation and constant-amplitude multi-code trans-orthogonal modulation by using the computer simulation.

키워드

정 진폭, 트랜스 코드, 대역폭 효율, 비트 오류

제 1 장 서론

최근에 직접 수열 대역 확산(DS/SS : Direct Sequence/Spread Spectrum) 시스템은 간섭에 강한 특성 때문에 주요한 무선 통신 시스템에 사용되고 있다.[1] 그러나 DS/SS 시스템은 대역 확산으로 인해 과도한 대역폭을 점유, 낭비함으로써 고속 데이터 전송을 제공하지 못하는 치명적인 단점을 가지고 있다. 이에 따라 고속 데이터 전송을 제공하는 대역 확산 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

이러한 연구중에서 고속 전송을 제공하기 위한 가장 일반적인 방식은 다중 부호 신호(MC : Multi-code signal)를 이용하는 것이다.[2] 이러한 방식은 기존의 DS/SS 시스템에 비해 높은 대역폭 효율을 얻을 수 있지만 다중 레벨의 신호를 증폭하기 위해 넓은 선형 동작 영역을 갖는 고가의 선형 전력 증폭기를 필요로 한다.

반대로 충분히 넓지 않은 선형 영역을 갖는 전력 증폭기를 사용할 경우에는 증폭기의 비 선형성으로 인해 전체 시스템의 성능에 악영향을 끼치게 된다.[3] 따라서 선형 영역이 좁은 전력 증폭기를 사용하기 위해서는 다중 부호 신호가 정 진폭을 가져야 한다. 이에 따라 정 진폭을 갖는 다중 부호 시스템이 제안되었다.[4] 또한 더 나은 대역폭 효율을 위해 트랜스 직교 부호가 제안되었다.

본 논문에서는 세 가지 기준을 가지고 새로운 시스템을 제안한다. 첫 번째는 다중 부호를 이용한 대역폭 효율의 증가이고 두 번째는 전력 증폭기를 위한 정 진폭 신호의 완성이다. 마지막으로 세 번째는 트랜스 부호를 이용한 대역폭 효율의 증가이다. 이러한 세 가지 기준을 가지고 제안된 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식의 성능을 실험하고 기존의 변조 방식과 그 성능을 비교한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 방식인 단순 직교 변조 방식의 원리에 대해 설명하고, 3장에서는 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조 방식을 설명한다. 4장에서는 본 논문의 주제인 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식에 대해 제안한다. 5장에서는 앞서 제시한 세 가지 변조 방식의 차이점에 대해 기술하고 모의 실험 결과를 통하여 그 성능을 비교해 보도록 한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

제 2 장. 직교 변조 방식

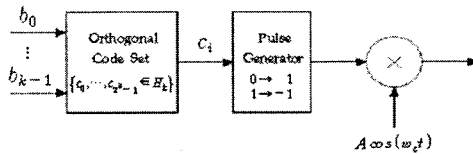


그림 1. 직교 부호를 사용한 송신기의 구조

직교 변조에서는 k비트의 정보 비트에 의하여 2^k 개의, 길이 2^k 비트 부호 단어 중 한 개가 선택되어 반송파에 실려서 전송된다. Walsh부호가 직교 부호로 사용되는 시스템에서는 $2^k \times 2^k$ 크기의 Hadamard 행렬에서 k비트의 입력 정보 비트에 의하여 한 개의 행이 선택되어 펄스 생성기를 거쳐 전송되는 것으로 볼 수 있다. $2^k \times 2^k$ 크기의 Hadamard 행렬은 식(1)과 같이 $2^k \times 2^k$ Hadamard 행렬로부터 반복 연산을 수행하여 발생시킬 수 있다.

$$H_0 = 0 \quad H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & H_{k-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림 1에 직교 변조를 사용한 시스템의 송신기 구조를 보인다. 직교 변조 방식을 사용하고 상관 검출기를 사용하여 복조하는 통신 시스템의 비트 오류에 대한 상한 값은 식 (2)와 같이 주어진다.

$$P_b \leq (2^{k-1}) Q \left(\sqrt{\frac{kE_b}{N_o}} \right) \quad (2)$$

$$BW_{ot} = k/2^k \quad (3)$$

$$DC_{ot} = 2^k \quad (4)$$

직교 변조의 비트 오류 성능은 k값의 증가에 따라 개선되지만 신호의 대역폭은 $2^k/k$ 와 같이 인수로 지수적으로 증가하여 대역폭 효율이 크게 떨어진다는 단점이 있다. 이때 대역폭 효율은 식(3)과 같이 나타날 수 있다. 따라서 대역폭 효율을 개선시킬 수 있는 새로운 변조 방식의 개발이 필요하다. 그리고 직교 변조 방식의 수신기에서는 각각의 부호 마다 상관기가 필요하게 되

므로 상관기의 개수는 식 (4)와 같이 나타난다.

제 3 장. 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조

본 논문에서는 부호 단어 집합을 4개의 그룹으로 분할하고, 정보 데이터 비트열에 의해 각 그룹에서 부호 단어가 선택되도록 하여 다중의 부호 단어를 합산하여 전송하는 방식을 고려한다. 부호의 생성시에는 4×3 트랜스 직교 행렬을 기본으로 하고 부호 단어 개수가 2의 지수가 되도록 블록 단위로 확장한다. 이러한 방법에 따라 블록 확장 트랜스 직교 부호를 발생시키면, 서로 다른 그룹의 부호 단어들은 서로 직교 하는 특성을 갖게 된다. 따라서 다중의 부호를 더해서 전송하더라도 수신기에서 상관을 취하면 각각의 부호를 구별할 수 있게 된다.

다중 트랜스 직교 변조를 부호 생성 방법은 다음과 같다. 먼저 4×4 Hadamard 행렬에서 첫 번째 열을 제거하여 만들어지는 4×3 트랜스 직교 부호 행렬은 식(5)와 같다.

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

따라서 직교 부호보다 코드가 짧아지기 때문에 대역폭 효율이 더 좋아진다는 것을 알 수 있다. 식 (5)의 기본 행렬을 식(6)과 같이 확장시킨 부호를 살펴보자.

$$H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & H_{k-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$H_k = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \\ c_{10} \\ c_{11} \\ c_{12} \\ c_{13} \\ c_{14} \\ c_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 000000000000 \\ 101101101101 \\ 011011011011 \\ 110110110110 \\ 000111000111 \\ 101010101010 \\ 011100011100 \\ 110001110001 \\ 000001111111 \\ 101101010010 \\ 011011100100 \\ 110110001001 \\ 000111110000 \\ 101010010101 \\ 011100100011 \\ 110001001110 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)은 16×12 로 확장시킨 블록 확장 트랜스 직교 부호 행렬의 예를 보인다. 이동통신에서는 높은 전력 효율을 얻기 위해 비선형 특성을 지닌 증폭기를 주로 사용하는데, 신호 진폭이 일정하지 않으면, 비선형 왜곡을 겪게 되어 비트오류 성능이 저하되게 된다. 따라서 이를 해결하기 위한 방안으로 정 진폭이 사용된다.

기존의 다중 트랜스 직교 변조 방식에서 4개의 부호화기 중 한 개를 인여 부호화기로 사용하고 입력되는 정보 비트열을 적절히 부호화하

면 다중 부호 출력 심볼의 진폭을 일정하게 만들 수 있다. 3개의 부호화기에는 정보 데이터 비트들이 입력되며, 4번째의 부호화기는 잉여 부호화기로서 여기에 입력되는 데이터는 정보 비트가 아니라 인위적으로 만들어진 데이터가 들어간다. 위의 3개의 부호화기와 4번째의 잉여 부호화기의 출력을 합산하게 되면 크기가 일정하게 변하게 된다. 이렇듯 합산기 출력의 진폭을 일정하게 하는 잉여 부호화기의 입력 데이터는 다른 3개의 부호화기에 입력되는 데이터로부터 만들어지고 잉여 부호화기에 입력되는 비트들은 정보 비트들의 패리티 비트가 된다. 이는 참고문헌 [5]의 부록의 설명에 자세히 나와 있다.

이와 같은 변조 방법의 대역폭 효율은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다. 이 시스템이 4개의 코드 그룹으로 구성되었다고 가정하고 3개의 코드 그룹에서 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 이라고 하면 코드의 길이는 3×2^r 이 된다. 그리고 입력되는 데이터의 비트 수 $k=3r$ 이 된다.

$$BW_{\infty} = \frac{3r}{3 \times 2^r} \quad (8)$$

또한 수신기 복잡도는 3개의 상관기 뱅크로 구성되어 있다고 가정한다면 상관기 뱅크를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 이라고 하면 각 그룹마다 2^r 개의 상관기가 필요하게 된다. 그리고 상관기 뱅크의 개수와 같은 최대값 선택 블록과 판정 블록이 필요하게 된다. 그리하여 식(9)와 같은 상관기 복잡도를 가지게 된다.

$$DC_{\omega} = (3 \times 2^r) + 3 + 3 \quad (9)$$

제 4 장. 정진폭 다중 트랜스 이진직교 변조

본 장에서는 3장에서 설명한 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조 방법에 이진 직교 변조 방식을 사용하는 원리를 가진다.

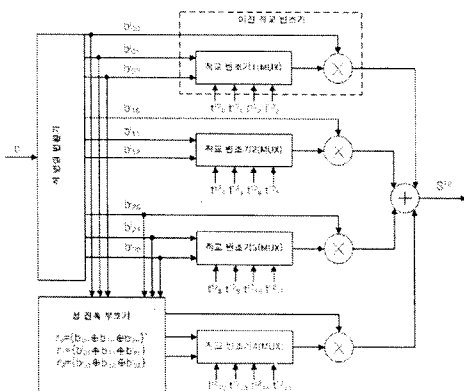


그림 2. 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조

그림 2는 정 진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 나타낸다. 제안된 변조 방식은 사전에 부호화 된(3장에서 사용한 트랜스 코드) 다중 부호 시스템이다. 위 그림의 시스템은 9비트의 전송비트를 $\{b_{00}^i, b_{01}^i, b_{02}^i, b_{10}^i, b_{11}^i, b_{12}^i, b_{20}^i, b_{21}^i, b_{22}^i\}$ 을 가진다. r_0^i, r_1^i, r_2^i 의 3 비트는 전송 비트에 의해 생성되는 정 진폭 변환을 위한 패리티 비트들이다. 위 표기에서 아래 첨자 0,1 은 트랜스 부호를 선택하는데 사용되며 (직교변조) $b_{00}^i, b_{10}^i, b_{20}^i, r_0^i$ 는 트랜스 부호의 극성을 결정하는데 사용한다. (이진 직교 변조) 그리고 9비트의 전송 비트와 생성된 3개의 패리티 비트를 변조하기 위한 4개의 이진 직교 변조기 그리고 4개의 직교 부호를 더하여 정 진폭을 만드는 덧셈기로 구성된다. 패리티 비트는 식 (10)과 같은 방법으로 생성된다.

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

여기서 \oplus 는 배타적 OR를 의미한다. 아래 첨자 0,1에 의해 선택된 각각의 트랜스 부호는 합산기에 의해 4개의 트랜스 부호를 모두 병렬로 더하게 된다. 병렬로 더해져서 생성된 신호는 $S^{12} = \pm 2$ 와 같이 정 진폭을 유지하게 된다. 이제 가산성 백색 가우시 잡음 채널(AWGN) $n(t)$ 을 가정하자. 이진 위상 변조(BPSK)로 신호를 전송한다고 가정하면 수신기에서 수신되는 신호는 식(11)과 같이 표현될 수 있다.[6]

$$r(t) = s_q(t) \cos(2\pi f_c t) + n(t) \quad (11)$$

제안된 변조 방법의 대역폭 효율은 식(12)와 같다. 식(8)의 값에 이진 직교 방식을 적용하여 코드 그룹의 수마다 극성 결정 비트가 들어가기 때문에 코드 그룹의 수를 더해 준다. 식(8)에서 코드 그룹의 수는 3개로 가정하였다.

$$BW_{\omega} = \frac{3r+3}{3 \times 2^r} \quad (12)$$

수신기 복잡도는 식(9)에서 나온것과 같은 복잡도를 가지며 단지 부호의 극성을 판별하는 블록만을 더 가지면 된다.

제 5 장. 실험결과

본 장에서는 4장에서 제시한 내용들을 실험을 통하여 대역폭 효율과 수신기 복잡도 비트 오류율을 비교해 보도록 한다.

1. 대역폭 효율 비교

K(r)	8(2)	12(3)	16(4)	20(5)
직교 변조	1/2 ⁵	3/2 ¹⁰	1/2 ¹²	5/2 ¹⁸
정진폭 다중 트랜스 직교 변조	1/2	3/8	1/4	5/32
정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조	3/4	3/4	3/8	8/32

표1. 대역폭 효율 비교

표 1에서는 식(3), (8), (12)를 이용하여 직교 변조에서 전송하는 비트수 K와 코드 그룹에서 선택에 사용되는 정보 데이터 비트수(r)를 이용하여 보내지는 비트의 양에 따라 각 대역폭 효율을 비교한 것이다. 동일하거나 비슷한 정보 데이터를 전송할 때 대역폭 효율은 제안된 정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식이 가장 좋은 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다.

2. 수신기 복잡도 비교

K(r)	8(2)	12(3)	16(4)	20(5)
직교 변조	2 ⁸	2 ¹²	2 ¹⁶	2 ²⁰
정진폭 다중 트랜스 직교 변조	18	30	64	102
정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조	21	33	67	105

표2. 수신기 복잡도 비교

표2에서는 식(4), (11)을 이용하여 수신기 복잡도를 수치로 표현하였다. 표현된 수치는 필요한 상관기의 개수이며 정진폭 다중 트랜스 직교 변조에 비해 제안된 정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조는 각 그룹의 극성을 확인하는 블록들이 추가되어 조금 더 복잡하다는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 추가적인 블록들이 있다 하더라도 시스템의 복잡도가 매우 커지지는 않게 된다.

3. 비트 오류율 비교

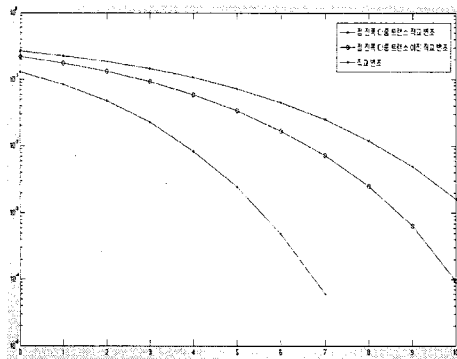


그림 3. 비트 오류율 비교

그림3 에서 보이는 바와 같이 단일 직교 변조의 성능이 가장 좋은 것을 볼 수 있다. 하지만 이것은 디지털 변조의 대역폭 대 비트 오류율의

상관관계에 의한 것이다. 이러한 단점은 데이터율이 높아짐에 따라 발생하기 때문에 어느 정도의 성능저하는 발생할 수 있다. 하지만 기존의 정진폭 다중 트랜스 직교 변조방식보다 정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식이 더 좋은 비트 오류율을 갖는 것을 볼 수 있다. 이것은 기존의 방식보다 대역폭 효율뿐만 아니라 비트 오류율까지 더 좋은 성능을 갖는 것을 의미한다.

제 6 장. 결론

본 논문에서는 정진폭 다중 트랜스 이진 직교 변조 방식을 제안하였고 실험을 통해 그 성능을 제시하였다. 비트 오류율에 있어서는 기존의 단일 직교 변조 방식에 비해 그 성능이 다소 떨어지지만 대역폭 효율은 매우 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한 정진폭을 사용하여 수신기 복잡도 또한 그리 복잡하지 않음을 알 수 있었다. 이러한 제안된 변조 방식은 고속의 데이터 율을 제공하는 디지털 통신 시스템에 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] H. Hloma and A. Teskala, WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons, 2000.
- [2] T. H. Wu and E. Geraniotis, "CDMA with Multiple Chip Rates for Multi-media Communications," in Proc. Inforscience and Systems, pp.992- 997, 1994.
- [3] I. Chin-lin and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA Wireless Personal Communications Networks," in Proc. ICC'95, pp. 1060-1064, Seattle, June 1995.
- [4] 홍대기, "격자부호를 이용한 정진폭 다중부호 이진직교 변조방식," 한국산학기술학회논문지. 8권 pp. 552-527, 2007
- [5] 홍대기, 강성진, 주민철, 김용성, 서경학, 조진웅, "정진폭 다중 보호 이진 직교 변조," 한국통신학회논문지. 30권 pp. 69-76, 2005
- [6] Hiroshi Harada and Ramjee Prasad, "Simulation and Software Radio For Mobile Communications," Artech House, pp. 58-60, 2002.