

격자부호를 이용한 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조 방식

김선희* · 김종석** · 홍대기**
*전자부품연구원 **상명대학교
E-mail : splineage@naver.com

Constant-Amplitude Multicode-Trans-Orthogonal Modulation using Product Code

Sun-hee Kim*, Jong-suck Kim**, Dae-ki Hong**
*Korea Electronics Technology Institute **Sangmyung
University

요 약

본 논문에서는 다중 트랜스 신호를 정 진폭으로 전송하는 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조 방식에서 이용할 수 있는 오류 정정 부호 방법을 제안한다. 격자부호를 사용한 다중 트랜스 직교 변조방식이 비트 오류 성능을 높이는 것에 적합함을 보인다. 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조 방식에서는 정진폭을 유지하기 위하여 세로축의 패리티 비트를 이용하여 신호를 부호화시키며, 가로축의 패리티 비트를 부가하여 이것이 격자부호를 이루도록 하여 비트 오류 성능 개선을 최대화 하도록 한다. 제안된 시스템을 이용하여 여러 비트율의 성능을 비교해 보았을 때 시스템의 복잡도의 증가가 거의 없으므로 복조기의 복잡도도 간단히 구현할 수 있으며 격자부호를 사용하지 않은 시스템에 비하여 비트 오류의 성능이 더 개선됨을 알 수 있다.

key word : 격자부호, 트랜스 부호, 정 진폭, 비트 오류 성능

1. 서 론

최근에 직접 수열 대역 확산(DS/SS : Direct Sequence/Spread Spectrum) 시스템은 간섭에 강한 특성 때문에 주요한 무선 통신 시스템에 사용되고 있다.[1] 그러나 이러한 대역 확산 시스템은 대역 확산으로 인해 과도한 스펙트럼을 점유, 낭비함으로써 고속 데이터 전송을 제공하지 못하는 치명적인 단점이 있다. 따라서 간섭 신호에 강인한 대역 확산 특성을 유지하면서 동시에 근거리 통신에서 요구되는 고속 전송을 제공하는 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

이러한 연구 중에서 고속 전송을 제공하기 위한 일반적인 방식은 다중 부호 신호를 이용하는 것이다.[2] 이러한 방식은 기존은 대역 확산 시스템에 비해 높은 스펙트럼 효율을 얻을 수 있지만 다중 레벨

의 신호를 증폭하기 위해 충분히 넓은 선형 동작 영역을 갖는 고가의 전력 증폭기를 필요로 한다. 반대로 충분히 넓지 않은 선형 영역을 갖는 전력 증폭기를 사용할 경우에는 증폭기의 비 선형성으로 인해 전체 다중 부호 시스템의 성능에 악영향을 끼치게 된다. 따라서 선형 영역이 좁은 전력 증폭기를 사용하기 위해서는 다중 부호 신호가 정 진폭을 가져야만 한다. 이에 따라 정 진폭을 갖는 다중 부호 시스템이 제안되었었다.[3] 또한 더 나은 대역폭 효율을 위해 트랜스 직교 부호가 제안되었다. 제안된 구조의 최대 장점은 세로축의 패리티 비트를 이용하여 신호의 정 진폭 특성을 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 제안되었던 시스템들의 성능은 부호화가 포함되어 있지 않기 때문에 성능의 수준이 만족스럽지 못한 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 다중 부호 신호를 정 진폭으로 전송하는 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조방식에서 사용할 수 있는 오류 제어 부

호를 제안한다. 제안된 시스템에서는 세로축 패리티 비트를 사용하여 정 진폭을 유지하며 추가적으로 가로축 패리티 비트를 부가하되 격자구조가 되도록 하여 비트 오류 성능의 개선을 최대화 하도록 한다. 제안된 시스템은 시스템 복잡도의 증가가 거의 없으며 복호기도 매우 간단하게 구현될 수 있다. 실험결과에 의하면 격자부호를 이용하지 않은 시스템에 비하여 상당한 성능 개선이 있음을 알 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 트랜스 직교 부호에 관한 방식을 설명한다. 3장에서는 최적 복조기 대해 알아본다. 4장에서는 격자부호를 이용한 정 진폭 다중 트랜스 직교 변·복조 방식을 제안한다. 5장에서는 격자부호에 관한 실험결과를 제시하며 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 트랜스 직교 부호

Hadamard 행렬에 의해 생성된 직교 부호 단어에서 첫 번째 비트를 삭제하여 얻은 부호를 트랜스 직교 부호, 또는 심플렉스 부호라 한다. 트랜스 직교 변조에서는 k비트의 정보 데이터에 의하여 생성된 $2^k - 1$ 비트 길이의 부호 단어를 반송파에 실어서 전송한다. 따라서 직교 변조에 비해 약간의 대역폭 효율 증가를 얻을 수 있다.

트랜스 직교 부호의 생성 방법은 다음과 같다. 먼저 k=2인 4×4 Hadamard 행렬에서 첫 번째 열을 제거하여 만들어지는 4×3 트랜스 직교 부호 행렬은 식(1)과 같다.

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

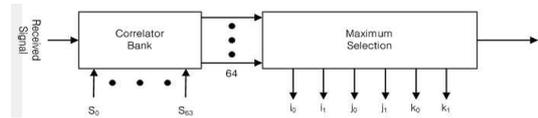
식 (1)의 기본 행렬을 식(2)와 같이 확장시킨 부호를 살펴보자.

$$H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & H_{k-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (3)은 16×12로 확장시킨 블록 확장 트랜스 직교 부호 행렬의 예를 보인다.

$$H_k = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \\ c_{10} \\ c_{11} \\ c_{12} \\ c_{13} \\ c_{14} \\ c_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 000000000000 \\ 101101101101 \\ 011011011011 \\ 110110110110 \\ 000111000111 \\ 101010101010 \\ 011100011100 \\ 110001110001 \\ 000000111111 \\ 101101010010 \\ 011011100100 \\ 110110001001 \\ 000111110000 \\ 101010010101 \\ 011100100011 \\ 110001001110 \end{bmatrix} \quad (3)$$

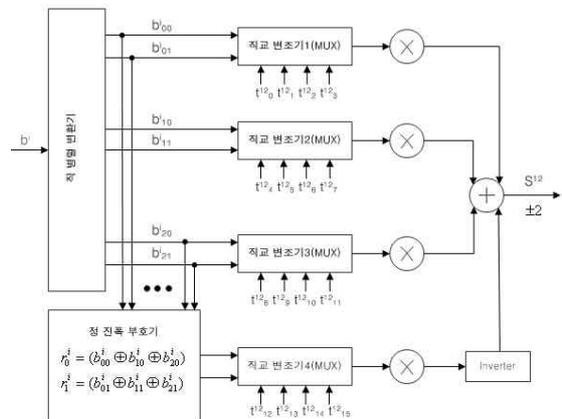
3. 최적 복조기



[그림 1] 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조방식의 최적복조기

그림 1에서는 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조방식을 복조하기 위한 최적 복조기의 구조를 보인다. 이 복조기는 최대 근사 알고리즘을 적용한 것으로 2^k (전송비트의 개수 k)개의 상관기와 최대 값 선택 블록이 필요하다. 이 복조기에서는 수신 신호와 2^k 개의 유사 직교 코드들 사이에 상관값이 최대일 때의 인덱스를 찾아 k비트를 한꺼번에 복조해 내게 된다. 따라서 최적 복조기는 2^k 개의 상관기와 추가적인 블록이 필요하므로 복잡도는 매우 크다고 볼 수 있다. 그러나 비트 오류율은 최적의 성능을 갖는다.[4]

4. 격자부호를 이용한 정 진폭 다중 트랜스 직교 변·복조



[그림 2] 정 진폭 다중 트랜스 직교 변조기의 구성

그림 2는 정 진폭 트랜스 직교 변조방식을 나타내는 개요도이다. 그림 2의 12첩에는 전송비트가 8비트 포함되지만 이 비트들 중에서 6비트만이 정보 비트이고 2비트는 패리티 비트이다. 따라서 대역폭 효율은 6/12이다. 제안된 시스템의 설명을 위해 직렬로 전송되는 6비트의 전송비트 $b^i_{00}, b^i_{01}, b^i_{10}, b^i_{11}, b^i_{20}, b^i_{21}$ 을 가정한다. i^j_0, i^j_1 의 2비트는 전송 비트에 의해 생성되는 정 진폭 변환을 위한 세로축 패리티 비트들이다. 위 그림에서 위 첨자는 6비트로 묶인 데이터의 인덱스를 의미하고 아래 첨자 중 첫 번째, 두 번째 비트는 직교 변조기로 입력되는 비트의 순서를 나타낸다.

각 직교 변조기의 동작을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 우선 첫 번째, 두 번째 비트인 b_{00}, b_{01} 을 이용하여 트랜스 부호 중 하나를 선택하게 한다. 그리고 2비트의 세로축 패리티 비트를 식(4)와 같이 발생시키게 된다.

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

여기서 \oplus 는 배타적 OR를 의미한다.

이렇게 만들어진 2개의 세로축 패리티 비트들은 앞서 설명한 바와 같이 트랜스 부호 중 하나를 선택하게 된다. 그리고 선택된 부호를 반전시켜서 위에서 만들어진 부호들과 모두 병렬로 더하게 된다. 이렇게 해서 만들어진 신호는 식(5)와 같이 정 진폭을 유지하게 된다.

$$s_q = \pm 2 \quad (5)$$

이제 가산성 백색 가우스 잡음 채널 $n(t)$ 를 가정하자. 이진 위상 변조(BPSK)로 신호를 전송한다고 가정하면 수신기에서 수신되는 신호는 식(6)과 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = s_q(t)\cos(2\pi f_c t) + n(t) \quad (6)$$

복조기에서는 수신된 신호에 포함되어 있는 직교 부호를 검출하고 이에 따른 정보 비트를 판정하게 된다.

[표 1] 변조기에서 사용된 격자부호의 구조

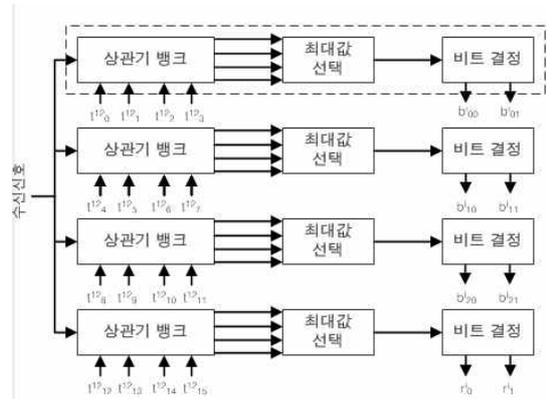
가로축 패리티 비트							
b_{00}^i	b_{01}^i	b_{00}^{i+1}	b_{01}^{i+1}	b_{00}^{i+2}	b_{01}^{i+2}	p_{00}^{i+3}	p_{01}^{i+3}
b_{10}^i	b_{11}^i	b_{10}^{i+1}	b_{11}^{i+1}	b_{10}^{i+2}	b_{11}^{i+2}	p_{10}^{i+3}	p_{11}^{i+3}
b_{20}^i	b_{21}^i	b_{20}^{i+1}	b_{21}^{i+1}	b_{20}^{i+2}	b_{21}^{i+2}	p_{20}^{i+3}	p_{21}^{i+3}
r_0^i	r_1^i	r_0^{i+1}	r_1^{i+1}	r_0^{i+2}	r_1^{i+2}	r_0^{i+3}	r_1^{i+3}
세로축 패리티 비트							

표 1은 격자 부호 검사 단위의 정보 비트 및 패리티 비트를 나타내는 구성도이다. 표 1을 살펴보면, b로 표현된 18비트의 정보를 하나의 격자 부호 단위로 묶고 여기에 p로 표현된 6개의 가로축 패리티 비트를 첨가하였다. 이 가로축 패리티 비트는 아래의 식(7)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} p_{00}^{i+3} &= b_{00}^i \oplus b_{00}^{i+1} \oplus b_{00}^{i+2} & p_{01}^{i+3} &= b_{01}^i \oplus b_{01}^{i+1} \oplus b_{01}^{i+2} \\ p_{10}^{i+3} &= b_{10}^i \oplus b_{10}^{i+1} \oplus b_{10}^{i+2} & p_{11}^{i+3} &= b_{11}^i \oplus b_{11}^{i+1} \oplus b_{11}^{i+2} \\ p_{20}^{i+3} &= b_{20}^i \oplus b_{20}^{i+1} \oplus b_{20}^{i+2} & p_{21}^{i+3} &= b_{21}^i \oplus b_{21}^{i+1} \oplus b_{21}^{i+2} \end{aligned} \quad (7)$$

위의 격자부호 단위는 가로축 패리티 비트를 포함한 24비트에 대하여 정 진폭 부호화를 위해 식(4)에서 나타난 바와 같이 세로축 패리티 비트를 추가하여 32비트로 전송하게 된다. 이렇게 되면 세로축 방향 패리티와 가로축 방향 패리티로 둘러싸이게 되

어 격자부호를 구성할 수 있게 된다.



[그림 3] 정 진폭 다중 트랜스 직교 복조기의 구성

그림 3은 기존의 정 진폭 다중 트랜스 직교 복조기의 구조를 보여주고 있다. 여기서 한 경로의 직교 복조기에서는 먼저 수신신호와 직교 부호의 상관값이 최대일 때 직교 부호의 인덱스를 선택한다. 이 인덱스로부터 각각의 경로는 2비트의 데이터를 복조할 수 있게 된다. 이 복조기에서는 16개의 상관기와 추가적인 블록이 요구된다. 따라서 시스템 복잡도는 그리 크지 않다.

[표 2] 격자 부호 방법

오류비트								
b_{00}^i	b_{01}^i	b_{00}^{i+1}	b_{01}^{i+1}	b_{00}^{i+2}	b_{01}^{i+2}	p_{00}^{i+3}	p_{01}^{i+3}	← 가로축 오류
b_{10}^i	b_{11}^i	b_{10}^{i+1}	b_{11}^{i+1}	b_{10}^{i+2}	b_{11}^{i+2}	p_{10}^{i+3}	p_{11}^{i+3}	
b_{20}^i	b_{21}^i	b_{20}^{i+1}	b_{21}^{i+1}	b_{20}^{i+2}	b_{21}^{i+2}	p_{20}^{i+3}	p_{21}^{i+3}	
r_0^i	r_1^i	r_0^{i+1}	r_1^{i+1}	r_0^{i+2}	r_1^{i+2}	r_0^{i+3}	r_1^{i+3}	
세로축 오류								

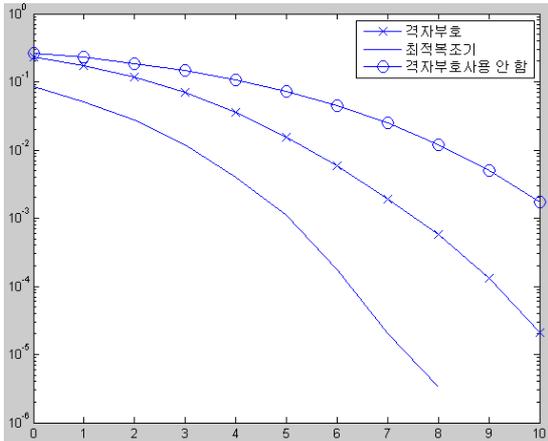
표 2는 제안된 오류 비트에 대한 격자복호 방법을 나타내는 구성도이다. 표 2에 표시된 바와 같이, 수신단에서 수신된 12칩의 신호는 다시 4개의 직교 부호로 검출되고 검출된 부호를 이용하여 정보 비트를 얻게 된다. 또한 가로축의 오류 검출을 위한 패리티 비트를 얻을 수 있고 세로축 오류를 검출할 수 있는 패리티 비트를 얻을 수 있다. 그런 후 위의 검출된 정보 비트를 이용하여 다시금 세로축 패리티 비트와 가로축 패리티 비트를 생성한다. 재생성된 가로축 비트와 세로축 비트와 전송되어 복조된 신호와 비교하여 그 결과를 확인한다. 세로축 패리티 비트가 일치하지 않을 경우 세로축 오류를 검출할 수 있으며, 가로축 패리티 비트가 일치하지 않을 경우 가로축 오류를 검출할 수 있다. 따라서 가로축 오류와 세로축 오류가 검출 되었을 경우 격자 모양으로 전송되는 전송 비트의 오류를 검출할 수 있게 된다.

이렇게 오류가 검출되면 그곳의 신호를 반전 시켜서 오류를 정정하도록 한다.

5. 실험 결과

본 장에서는 본 논문에서 제안된 변조 방식을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비트 오류율을 검증해 보도록 한다.

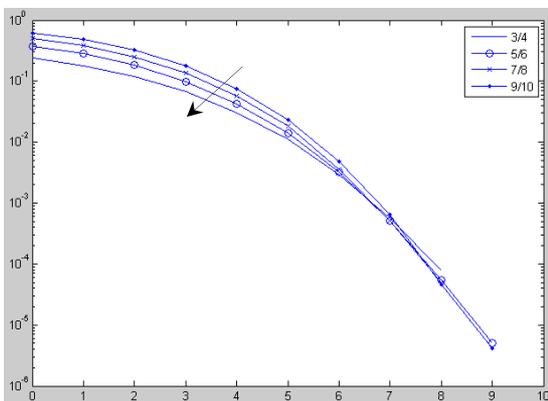
1. 비트 오류 비교



[그림 4] 최적복조기/격자부호 사용/격자부호 사용 안 했을 때 비트 오류

그림 4는 최적복조기를 사용한 경우와 제안된 격자부호 방법을 사용한 경우 사용하지 않은 경우의 비트 오류율을 그래프로 나타낸 것이다. 최적복조기의 경우는 비트 오류 성능이 매우 좋은 것으로 나오지만 시스템의 복잡도 또한 매우 증가한다는 것을 앞의 3장에서 확인하였다. 그리고 제안한 격자부호를 사용하지 않을 때 사용하지 않고 복호화를 하였을 경우보다 비트 오류 성능이 상당히 증가한다는 것을 알 수 있다.

2. 다양한 부호율 적용시



[그림 5] 다양한 부호율에 따른 성능

그림 5의 실험에서는 18비트 당 6비트의 패리티 비트를 부가 하였으나 경우에 따라서 6, 12, 18, 24, ... (6n, n=1, 2, ...)비트 당 6비트의 패리티 비트를 추가할 수 있다. 이것은 많은 비트를 부가 할수록 부호율이 낮아지게 되어 더 효율적인 시스템을 구현할 수 있게 된다는 것을 말한다. 따라서 그림 7에서는 다양한 부호율에 따른 격자 부호의 성능을 비교해 보았다. 실험결과인 그림을 보면 부호화율을 높이면 E_b/N_0 가 낮은 경우 더 낮은 성능을 갖지만 어느 정도의 E_b/N_0 를 넘게 되면 성능은 거의 비슷해진다는 것을 볼 수 있다. 그렇기 때문에 적당한 E_b/N_0 를 갖게 된다면 더 높은 부호율을 사용해 대역폭을 더 폭넓게 사용할 수 있게 된다.

6. 결론

본 논문에서는 격자부호를 사용한 정진폭 다중트랜스 직교 변조를 제안하였다. 이는 전송받은 신호를 이용하여 오류를 검출하여 정정하는 격자부호 방식을 적용한 방법이다. 제안된 방식은 격자부호를 사용하지 않은 경우에 비해 상당한 비트 오류율의 성능 향상을 확인할 수 있었다. 최대의 비트 오류율을 얻을 수 있는 최적복조기도 함께 비교해 보았지만 최적복조기는 수신단의 복잡도 또한 매우 크게 증가한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 제안된 방식은 기존의 방식에 비해 복잡도의 증가도 거의 없을 뿐만 아니라 비트 오류율의 성능을 크게 향상시킬 수 있는 방식이다. 이는 신뢰성을 중요시 여기는 무선통신에서 유용하게 사용될 수 있다.

참고문헌

- [1] H. Hloma and A. Toskala, WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons, 2000.
- [2] I. Chin-lin and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA Wireless Personal Communications Networks," in Proc. ICC'95, pp. 1060-1064, Seattle, June 1995.
- [3] 홍대기, "격자부호를 이용한 정진폭 다중부호 이진직교 변조방식," 한국산학기술학회논문지. 8권 pp. 552-527, 2007
- [4] 홍대기, 강성진, 주민철, 김용성, 서경학, 조진웅, "정진폭 다중 부호 이진 직교 변조," 한국통신학회논문지. 30권 pp. 69-76, 2005