

대역폭 효율적인 다중 부호 변조 방식

홍대기^{1*}

¹상명대학교 정보통신공학과

Bandwidth-Efficient Multi-Code Modulation Scheme

Dae-Ki Hong^{1*}

¹Department of Information and Telecommunication Eng., SangMyung University

요약 일반적으로 무선 통신에 널리 사용되는 직교 변조 (Orthogonal Modulation) 방식은 대역폭 효율 (Bandwidth Efficiency)이 지나치게 떨어져 대용량의 데이터를 전송하기에는 부적절하다. 따라서 본 논문에서는 기존의 직교 변조 방식의 대역폭 효율을 증가시키기 위해 다중 부호 전송 개념을 트랜스 직교 변조 방식에 적용하여 대용량 데이터를 전송하는 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조 (Multi-Code Trans-(Bi-)Orthogonal Modulation) 방식을 제안한다. 제안된 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조는 직교 변조에 비해 대역폭 효율 측면에서 2배 이상의 개선을 얻을 수 있고 수신기의 복잡도 측면에 있어서도 2배 이상의 개선을 얻을 수 있다. 제안된 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조 방식은 고속 데이터 전송을 제공해야 하는 디지털 무선 통신 시스템 (멀티미디어 통신 시스템, 고속 무선 개인 영역 네트워크)의 물리층으로 사용될 수 있다.

Abstract As a general rule, the orthogonal modulation scheme which is widely used for wireless communications is not appropriate for the high speed data transmission applications due to the low bandwidth efficiency. Therefore, to increase the bandwidth efficiency of the conventional orthogonal modulation, we propose the multi-code trans-(bi-)orthogonal modulation in this paper. It is the combined scheme of multi-code modulation and trans-orthogonal modulation. We can know that the bandwidth efficiency of the proposed scheme is better than that of the conventional orthogonal modulation. Additionally, the receiver complexity of the proposed scheme is lower than that of the conventional orthogonal modulation. The proposed scheme can be used for the physical layer of the high speed wireless digital data transmission applications such as multimedia communications system and high speed personal area networks.

Key Words : Orthogonal Modulation, Multi-code Trans-(bi-)orthogonal Modulation, Bandwidth Efficiency

1. 서론

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 점유함으로써 고속 데이터 전송을 제공하지 못하는 치명적인 단점이 있다.

이에 따라 고속 데이터 전송을 제공하는 대역 확산 시스템에 대한 연구 및 구현이 진행되어 왔다[2-8]. 고속의

전송 서비스를 지원하는 기술로는 확산 이득을 변화시키는 가변 확산 이득 부호 분할 다중 접속 (VSG-CDMA: Variable Spreading Gain-Code Division Multiple Access) 시스템과 여러 개의 병렬 다중 부호를 사용하는 다중 부호 CDMA (MC-CDMA: Multi-Code-CDMA) 시스템이 가장 보편적인 것으로 알려지고 있다[2-4]. 이 중 MC-CDMA 기술은 확산 이득의 변화가 없고 주파수 효율성을 높임으로써 전송 속도를 올릴 수 있다는 장점이 있어서 차세대 무선 접속 규격으로 주목 받고 있다.

그러나 MC-CDMA 기술은 높은 대역폭 효율

본 논문은 2008년 상명대학교 교내연구지원에 의해 수행된 연구의 결과 임.

*교신저자 : 홍대기(hongdk@smu.ac.kr)

접수일 09년 04월 22일

수정일 (1차 09년 07월 15일, 2차 09년 07월 20일)

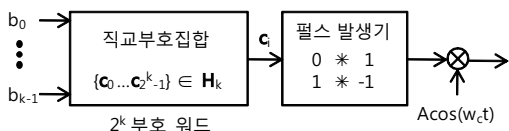
게재확정일 09년 07월 22일

(Bandwidth Efficiency)을 얻을 수는 있지만 다중 레벨 신호의 증폭을 위한 고가의 선형 전력 증폭기를 필요로 한다. 이를 클리핑으로 해결하기 위한 방식이 연구되기도 했다[5]. 이와는 다른 접근 방식으로 IEEE802.11b에 적용된 상보 부호 변조 (CCK : Complementary Code Keying)이 제안되기도 하였다[6]. 언급된 방식 중에서 VSG-CDMA 방식은 3GPP (Third Generation Partnership Project) UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) WCDMA (Wideband CDMA)에서 데이터율을 증가시키는 변조방식으로 사용되기도 하였다 [7,8].

본 논문에서는 직교 변조 (Orthogonal Modulation) 방식을 변형한 트랜스 직교 변조 (Trans-Orthogonal Modulation)에 대해 알아본다. 일반적으로 직교 변조 방식은 그 효율성에 비해 대역폭 효율이 지나치게 떨어져 대용량 데이터의 전송에는 부적절한 면이 있다. 따라서 다중 부호 전송 개념을 트랜스 직교 변조 방식에 적용하여 대용량 데이터를 전송하는 방식을 제안한다. 제안된 방식은 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조 (Multi-Code Trans-(Bi-)Orthogonal Modulation) 방식이라고 명명한다. 또한 본 논문에서는 제안된 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조 방식의 성능을 실험을 통해 제시하고 기존의 직교 변조 방식과 그 성능을 비교한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 방식인 단순 직교 변조 방식의 원리에 대해 설명하고, 3장에서는 트랜스 직교 부호의 원리에 대해 설명한다. 4장에서는 이 부호를 사용하는 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식에 대해 논의한다. 5장에서는 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식에 대해 제안한다. 6장에서는 앞서 제시한 변조 방식들의 차이점에 대해 기술하고 모의 실험 결과를 통하여 성능을 비교해 보도록 한다. 마지막으로 7장에서는 결론을 맺도록 한다.

2. 직교 변조 방식



[그림 1] 직교 부호를 사용한 송신기의 구조.

그림 1에 직교 변조를 사용한 시스템의 송신기 구조를 보인다. 직교변조에서는 k비트의 정보비트에 의해 2^k 개의, 길이 2^k 비트인 부호워드 (Codeword) 중 한 개가 선택

되어 반송파에 실려서 전송된다.

Walsh 부호가 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 아래 식과 같이 $2^k \times 2^k$ Hadamard 행렬로부터 반복 연산을 수행하여 발생시킬 수 있다.

$$\mathbf{H}_0 = 0 \quad \mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

직교 변조 방식을 사용하고 상관 검출기를 사용하여 복조하는 통신 시스템의 비트 오류에 대한 상한 값은 식 (2)와 같이 주어진다[6].

$$P_b \leq (2^{k-1}) Q \left(\sqrt{\frac{kE_b}{N_0}} \right) \quad (2)$$

직교 변조의 비트 오류 성능은 k값의 증가에 따라 개선되지만 신호의 대역폭은 $2^k/k$ 의 인수로 지수적으로 증가하여 대역폭 효율이 크게 떨어진다는 단점이 있다. 따라서 대역폭 효율을 개선시킬 수 있는 새로운 변조 방식의 개발이 필요하다.

3. 트랜스 직교 부호

Hadamard 행렬에 의해 생성된 직교 부호 단어에서 첫 번째 비트를 삭제하여 얻은 부호를 트랜스 직교 부호 (Trans-Orthogonal Code), 또는 심플렉스 부호 (Simplex Code)라 한다. 트랜스 직교 변조에서는 k비트의 정보 데이터에 의하여 생성된 2^k-1 비트 길이의 부호 단어를 반송파에 실어서 전송한다.

부호의 상호 상관 계수 (Crosscorrelation Coefficient)는 식 (3)과 같다[9,10].

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } i = j \\ -1 & \text{for } i \neq j \\ M-1 & \end{cases} \quad (3)$$

따라서 직교 변조에 비해 약간의 대역폭 효율 증가를 얻을 수 있다. 그러나 k가 커지면 부호의 길이가 지수적으로 증가하여 대역폭 효율의 개선 효과는 매우 작다.

대역폭 효율을 하나의 비트의 데이터를 전송하는데 필요한 최소 대역폭으로 정의하면, 직교 변조의 경우 $k/2^k$ [Hz/bit/sec]가 되며, 트랜스 직교 변조의 경우 $k/(2^k-1)$ 가 되어 k 가 큰 경우 대역폭 효율은 개선되지만 여전히 매우 나쁘다는 것을 알 수 있다.

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (4)의 4개 부호 단어 간 상호 상관 계수는 다음과 같이 된다.

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } i = j \\ -\frac{1}{3} & \text{for } i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

4. 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식

본 논문에서는 부호 워드 집합 (Codeword Set)을 4개의 그룹으로 분할하고, 정보 데이터 비트열에 의해 각 그룹에서 부호 단어가 선택되도록 하여 다중의 부호 단어를 합산하여 전송하는 방식을 고려한다. 부호의 생성에서는 4x3 트랜스 직교 부호 행렬을 기본으로 하고 부호 단어 개수가 2의 지수가 되도록 블록 단위로 확장한다. 아래에 제시한 방법을 따라 블록 확장 트랜스 직교 부호를 발생시키면, 서로 다른 그룹의 부호 단어들은 서로 직교하는 특성을 갖게 된다. 따라서 다중의 부호를 더해서 전송하더라도 수신기에서 상관을 취하면 각각의 부호를 구별할 수 있게 된다.

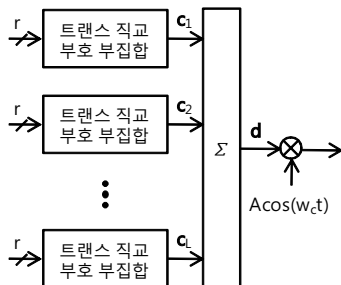
따라서 직교 부호와 비교하여 대역폭 효율이 더 좋아진다는 것을 알 수 있다.

식 (4)의 기본 행렬을 식 (6)과 같이 확장시킨 부호를 살펴보자.

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

그림 2에 이 방식의 송신기 구조를 보인다. 블록 확장 트랜스 직교 부호 집합을 4개의 부분 집합 (Subset) 부호 그룹으로 나누어 부호 그룹별 파형 부호화기를 $L(\leq 4)$ 개를 병렬로 구성한다. 각 블록의 부호화기에 입력되는 데이터 비트 수는 r 이며 각 부호 그룹에는 2^L 개의 부호가 존재한다. 따라서 전체 부호 집합의 크기는 $L \cdot 2^L$ 이 된다. 이 시스템에 동시에 입력되는 데이터 비트 수는 $k=L \cdot r$ 이 되며, r 개의 비트씩 부호화기에 입력되어 부호 단어를 출력하고, 이 부호 단어들이 합산되어 전송된다.

식 (7)에 16x12로 확장시킨 블록 확장 트랜스 직교 부호 행렬의 예를 보인다. 예를 들어 식 (7)과 같은 16x12 행렬을 4개의 4x12 부 행렬로 분할한다고 하자. 이 경우 4개의 부 행렬로 부터 만들어지는 부호 단어 집합은 $\{C_0, \dots, C_3\}$, $\{C_4, \dots, C_7\}$, $\{C_8, \dots, C_{11}\}$, $\{C_{12}, \dots, C_{15}\}$ 가 된다.



[그림 2] 다중 부호 트랜스 직교 변조기의 구조

다중 부호 트랜스 직교 변조를 위한 부호 생성 방법은 다음과 같다. 먼저 $k=2$ 인 4x4 Hadamard 행렬에서 첫 번째 열을 제거하여 만들어지는 4x3 트랜스 직교 부호 행렬은 식 (4)와 같다:

$$\mathbf{H}_4 = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_0 \\ \mathbf{c}_1 \\ \mathbf{c}_2 \\ \mathbf{c}_3 \\ \mathbf{c}_4 \\ \mathbf{c}_5 \\ \mathbf{c}_6 \\ \mathbf{c}_7 \\ \mathbf{c}_8 \\ \mathbf{c}_9 \\ \mathbf{c}_{10} \\ \mathbf{c}_{11} \\ \mathbf{c}_{12} \\ \mathbf{c}_{13} \\ \mathbf{c}_{14} \\ \mathbf{c}_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이와 같은 부호 단어 그룹에 있는 부호 단어들 간의 상호 상관 계수는 식 (8)과 같은 값을 가지는 것을 알 수 있다.

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } i = j \\ -\frac{1}{3} & \text{for } i \neq j, i, j \in \text{same group} \\ 0 & \text{for } i \neq j, i, j \notin \text{same group} \end{cases} \quad (8)$$

그러므로 그림 2에서와 같이 4개의 블록을 가진 다중 부호 방식의 송신기를 구성하고 각 블록에서는 앞서 기술한 블록 확장 트랜스 직교 부호의 각 그룹에 있는 부호 단어를 사용하도록 하면, 각 블록의 출력 부호 단어들은 서로 직교하게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 각 블록의 출력 부호 단어들을 더해져 전송하더라도 수신기에서 블록별로 상관기를 구현하면 전송된 부호 단어를 찾아낼 수 있으며, 정보 비트들을 복구할 수 있게 된다.

식 (8)에서 알 수 있는 것처럼 동일 그룹 내의 부호 간 상호 상관 값은 음의 값을 갖고 부호 행렬의 크기와 관계없이 $-1/3$ 의 값을 유지한다. 이와 같은 구조의 송신기를 사용하면 대역폭 효율을 높일 수 있다. 대역폭 효율이 높아지게 되는 요인은 트랜스 직교 부호의 블록 확장과 다중 부호의 구조를 사용하는 것이다. 시스템이 4개의 부호 부 그룹으로 구성되었다고 가정하고, 각 부호 그룹에서 부호를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 이라고 하자. 그러면 각 그룹에는 2^r 개의 부호가 있으며, 따라서 전체 부호의 개수는 4×2^r 개가 된다. 부호의 길이는 3×2^r 비트가 되고, 동시에 입력되는 데이터 비트 수는 $k=4r$ 이 된다. 그러므로 시스템의 대역폭 효율은 식 (9)와 같이 된다.

$$\eta = \frac{4r}{3 \times 2^r} \quad (9)$$

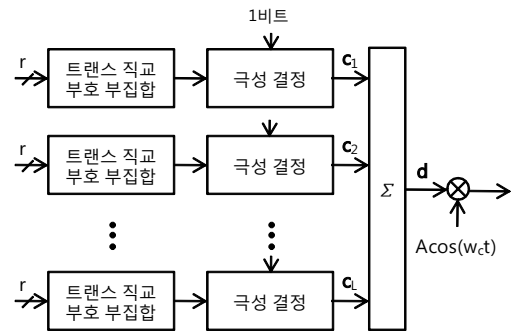
한편 단일 블록을 사용하여 직교 변조를 하는 경우, k 비트의 데이터에 의해 2^k 비트 길이의 부호가 출력되므로 대역폭 효율은 $k/2^k$ 가 된다. 예를 들어 16개의 부호를 갖는 다중 부호 트랜스 직교 변조 시스템에서 각 부호 그룹은 4개의 부호를 가지며 두 비트의 데이터에 의해 부호가 선택된다 ($r=2$). 따라서 총 8비트의 데이터에 의하여 12비트의 부호들이 출력되어 더해져서 전송된다. 이 경우 대역폭 효율은 $8/12=0.67$ 이 된다. 한편 $k=8$ 비트의 데이터가 동시에 입력되는 시스템을 단일 직교 부호에 의하여 변조하도록 송신기를 구성하면 대역폭 효율이 $8/256=1/32$ 가 되어 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식의

효율이 10배 이상 높은 것을 알 수 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 다중 부호 트랜스 직교 변조를 사용하면 단일 직교 변조에 비해 대역폭 효율이 증가하는 장점이 있다.

5. 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조방식

그림 3에 있는 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식은 4장에서 설명한 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식을 좀 더 개선한 방법으로 각 그룹에 해당하는 비트 외에 극성을 결정하는 비트를 추가하는 방식이다. 앞의 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식에서는 각 그룹의 부호 단어를 선택하기 위해서 r 개의 정보 데이터 비트를 사용했다. 하지만 제안된 방식에서는 각 그룹에 1비트씩을 더 추가하여 $r+1$ 개의 정보 데이터를 전송할 수 있다. 추가된 하나의 비트는 r 개의 비트에 의해 선택된 부호 단어의 극성을 결정한다. 동시에 입력되는 정보 데이터 비트 수는 $k=L \cdot (r+1)$ 이 되며 r 개의 비트씩 부호화기에 입력되어 부호 단어를 출력하고 추가된 하나의 비트에 의해서 극성이 결정된 후 합산되어 전송된다.



[그림 3] 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조기의 구조

다중 부호 트랜스 직교 부호 방식과 같이 서로 다른 그룹의 부호 단어들은 서로 직교하는 특성을 갖게 되기 때문에 수신기에서 상관을 취하면 각각의 부호를 구별할 수 있는 상관 계수를 구할 수 있게 된다. 다른 점은 식 (10)과 같이 추가된 하나의 비트가 만약 0이라면 부호 단어의 극성이 바뀌었기 때문에 상관 계수가 -1 이 나오게 된다. 상관 계수의 부호에 따라서 추가된 하나의 비트 값을 추정하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{if } s_{bit} = 1, z_{ij} &= \begin{cases} 1 & \text{for } i = j \\ -1 & \text{for } i \neq j \\ \frac{1}{M-1} & \end{cases} \\ \text{if } s_{bit} = 0, z_{ij} &= \begin{cases} -1 & \text{for } i = j \\ 1 & \text{for } i \neq j \\ \frac{1}{M-1} & \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 s 비트는 부호 단어의 극성에 할당된 비트이다. 예를 들어 식 (7)과 같은 16×12 행렬을 4개의 4×12의 부행렬로 분할한다고 하자. 동시에 입력되는 정보 데이터 비트 수는 k=4r+4이고, 부호 단어의 길이는 3×2^r 비트가 되므로 이 시스템의 대역폭 효율은 식 (11)과 같다.

【표 1】 변조 방식에 따른 대역폭 효율

k (정보비트수)	8	12	16	20	24
직교 변조	1/2 ⁵	3/2 ¹⁰	1/2 ¹²	5/2 ¹⁸	3/2 ²¹
다중 부호 트랜스 직교 변조	2/3	1/2	1/3	5/24	1/8
다중 부호 트랜스 이진 직교 변조		1	2/3	5/12	1/4

※ 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조에서 8비트 데이터 전송 불가능

$$\eta = \frac{4r + 4}{3 \times 2^r} \quad (11)$$

16×12의 블록 확장 트랜스 직교 부호를 사용할 경우, 4장의 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식과 대역폭 효율을 비교 하면 0.67이 나오지만, 본 장에서 제안된 방식은 1이 나오는 것을 알 수 있다. 따라서 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식의 효율이 2배 정도 높은 것을 알 수 있다.

6. 실험 결과

본 장에서는 먼저 앞서 소개되고 제안된 각 변조 방식의 대역폭 효율을 비교해본다. 또한 수신기의 비트 오류 성능을 비교한다. 마지막으로 수신기의 복잡도를 비교하도록 한다.

6.1 대역폭 효율 비교

이번 장에서는 앞서 설명한 변조 방식들의 대역폭 효율을 비교해 보기로 한다. 표 1은 전체 정보 데이터 비트 수 k에 대하여 변조 방식들의 대역폭 효율을 계산한 결과

를 보이고 있다.

표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 다중 부호 트랜스 직교 방식과 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식은 직교 변조 방식에 비해 대역폭 효율이 현저히 향상된 것을 확인할 수 있다. 전송하려는 정보 비트의 수가 많아질수록 그 차이는 지수적으로 증가한다. 이는 다중 부호 트랜스 직교 변조의 대역폭 효율이 기존의 직교변조에 비해서 매우 뛰어나다는 것을 증명해준다. 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조는 다중 부호 트랜스 직교 변조보다 두 배 더 좋은 대역폭 효율을 갖는다. 극성을 결정하는 비트의 추가로 인해 트랜스 직교 부호의 길이가 두 배 줄어드는 효과가 있기 때문이다.

예를 들어, 12비트의 정보 비트를 다중 부호 트랜스 직교 변조와 이진 직교 변조 방식을 사용하여 전송 할 때, 트랜스 직교 변조의 경우 2³×3/4×4=24 비트 길이의 부호 단어가 필요하지만, 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조의 경우 각 블록의 극성을 결정하는 4개 비트를 제외한 8개 비트의 정보 비트만이 트랜스 직교 부호의 선택에 영향을 주게 된다. 따라서 2²×3/4×4=12 비트 길이의 부호 단어가 필요하게 된다. 결국 다중 부호 트랜스 직교 변조는 12비트의 정보 비트를 24비트 길이의 부호 단어로 전송하게 되고 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조는 12비트의 부호 단어로 전송하게 된다. 그러나 이러한 대역폭 효율의 개선은 전송 전력을 희생하여 얻은 결과이다.

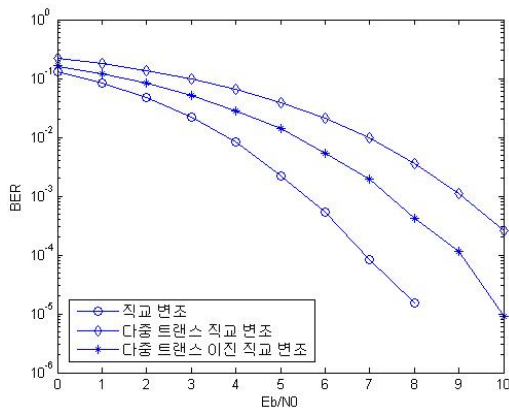
대역폭 효율이 좋다는 의미는 전송하는 주파수 대역폭이 같다면 같은 시간에 더 많은 정보 비트를 전송 가능하므로 같은 대역폭을 사용할 경우 더욱 빨리 정보 데이터를 전송 가능함을 뜻한다. 반대로 똑같은 정보 비트를 전송할 때 대역폭 효율이 좋으면 적은 대역폭을 사용하게 된다. 동일한 정보 비트를 전송할 경우 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식은 다중 부호 트랜스 직교 변조 방식보다 2배 더 적은 대역폭을 사용한다.

6.2 비트 오류 비교

비트 오류를 비교하기 위해서 본 연구에서는 C언어를 이용하여 시뮬레이터를 구성하였으며 가산성 백색 가우시안 잡음 채널에서 성능을 평가하였다. 그림 4는 앞서 소개한 세 가지 변조 방식의 비트 오류를 비교한 그림이다. 부호 단어의 길이를 되도록 비슷하게 하기 위해서 직교 변조는 4비트의 정보 데이터, 16비트 길이의 부호 단어를 이용하여 시뮬레이션 하였고, 다중 부호 트랜스 직교 변조, 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조는 각각 8비트 정보 데이터, 12비트 부호 단어와 12비트 정보 데이터, 12비트 부호 단어를 이용해서 시뮬레이션 했다.

비트 오류의 성능은 직교 변조에서 가장 좋은 결과가

나왔고, 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조, 다중 부호 트랜스 직교 변조 순서로 나타난 것을 알 수 있다. 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식이 직교 변조에 비해서 비트 오류 성능은 떨어진다. 즉 동일한 비트 오류 성능을 얻기 위해서 더 많은 신호 전력이 필요하다. 예를 들어 10^{-3} 의 비트 오류에서 다중 트랜스 이진 직교 변조의 경우에 약 2dB의 신호 전력이 더 필요하다. 제안된 변조 방식의 같은 비트 오류 성능을 위해 신호전력이 2dB 정도 더 필요하지만 앞서 대역폭 효율 비교에서 얻어진 결과와 같이 대역폭 효율에서 10배 이상의 개선을 얻을 수 있기 때문에 대역폭 효율적인 통신방식임을 알 수 있다.



[그림 4] 세 가지 변조 방식의 복조기 성능.

[표 2] 변조 방식에 따른 수신기의 복잡도

변조 방식	상관기	최대값검출기
직교 변조	2^k	1
다중 부호 트랜스 직교 변조	$2^{k/4+2}$	4
다중 부호 트랜스 이진 직교 변조	$2^{k/4+1}$	4

6.3 수신기의 복잡도 비교

표 2는 세 가지의 변조 방식에 쓰이는 상관기와 최대값 검출기를 정보 데이터 비트 ($k \geq 12$)를 기준으로 도식화 한 표이다. 세 변조 방식의 최대값 검출기를 보면 직교 변조의 구조가 더 간단해짐을 알 수 있다. 그러나 정보 데이터 비트의 길이가 길어질수록 상관기의 숫자가 크게 증가하게 된다. 정보 데이터 비트의 길이가 20 이상이 되면 상관기의 개수가 상대적으로 적어지므로 다중 부호 트랜스 이진 직교 변조 방식의 복조기 구조가 비교적 간단해지게 된다.

7. 결론

본 논문에서는 기존의 직교 변조 방식을 변형한 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변조 방식을 제안하고, 그 성능을 실험을 통해 제시하였다. 실험 결과에 의하면 제안된 방식은 10^{-3} 의 비트 오류에서 약 2dB의 신호 전력이 더 필요했지만 대역폭 효율에서 10배 이상의 개선을 얻을 수 있었다. 제안된 다중 부호 트랜스 (이진) 직교 변/복조 방식은 고속 데이터 율을 제공해야 하는 디지털 무선 통신 시스템 (멀티미디어 통신 시스템, 고속 무선 개인 영역 네트워크)의 물리층으로 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] H. Holma and A. Toskala, 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. Chih-lin and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA Wireless Personal Communications Networks," in Proc. ICC'95, pp. 1060-1064, Seattle, June 1995.
- [4] N. Guo and L. B. Milstein, "On Rate-variable Multidimensional DS/SSMA with Dynamic Sequence Sharing," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 17, No. 5, pp. 902-917, May. 1999.
- [5] Y. H. You, C. H. Park, D. K. Hong, S. J. Kang, K. H. Seo and J. W. Cho, "Multi-phased VSG CDMA with Level Clipping for High-rate Transmission Systems," IEEE Communications Letters, Vol. 48, No. 2, pp.159-161, Apr. 2003.
- [6] C. Andren and M. Webster, "CCK Modulation Delivers 11Mbps for High Rate 802.11 Extension," in Wireless Symposium/Portable by Design Conference, Spring 1999.
- [7] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Wiley, 2000.
- [8] Henrik Schulze and Christian Luders, Theory and Applications of OFDM and CDMA: Wideband Wireless Communications, Wiley, 2005.
- [9] W. C. Lindsey and M. K. Simon, Telecommunications Systems Engineering, Prentice- Hall, 1973.
- [10] B. Sklar, Digital Communications : Fundamentals and Applications, Prentice-Hall, 2001.

홍 대 기(Dae-Ki Hong)

[종신회원]



- 1991년 3월 ~ 1997년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 1999년 3월 ~ 2003년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사
- 2002년 1월 ~ 2006년 8월 : 전자부품연구원 선임연구원
- 2006년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

무선통신, 정보통신, 이동통신, 무선 LAN/PAN