

정 진폭 부호화를 사용한 다중코드 양극 Transorthogonal 변조 방식

Multi-code Bipolar Transorthogonal Code Keying
with Constant Amplitude precoding

김성필, 김명진* 한국정보통신기능대학, 한국외국어대학교*

Sung Pil Kim, Myoung Jin Kim*

Korea Information & Communications Polytechnic College, Hankuk University of Foreign Studies*.

Abstract

Transorthogonal 코드를 블록 단위로 확장해서 얻은 코드 집합을 적절하게 부집합으로 나누고 부호화기의 코드집합으로 할당한다. 이러한 부호화기를 병렬로 구성하고 정보 비트에 의해 선택된 부호화기의 각 출력 코드들을 합산하여 전송하는 다중코드 transorthogonal 변조 방식이 제안되어 있다. 본 논문에서는 다중코드 transorthogonal 변조 시스템의 부호화기로부터의 각 출력 코드를 또 다른 정보 비트로 이진 위상 변조한 후 합산하여 전송하는 시스템을 제안한다. 다중코드 transorthogonal 변조 시스템에서 적용된 정 진폭 부호화 알고리즘과 정 진폭 부호화에 사용된 잉여비트를 이용한 수신 여러 정정 알고리즘을 제안된 시스템에 수정 없이 적용할 수 있으며 다중코드 transorthogonal 변조 방식에 비해 대역폭 효율이 개선됨을 보인다.

Keywords

Transorthogonal Modulation, Orthogonal Modulation, Constant Amplitude Precoding.

I. Introduction

디지털 통신에서 변조 방식을 선택함에 있어 고려할 사항으로 비트오율 확률, 대역폭, 필요 에너지 등을 들 수 있다. 이러한 성능지수가 모두 우수한 절대적인 변조 방식은 없으며 주어진 응용환경에 따라 성능지수 간 타협을 통하여 변조방식을 결정하게 된다. M-ary 변조에서 k 개의 데이터 비트를 받아서 $M = 2^k$ 개의 파형 중 한 개를 발생시킨다. MFSK나 직교 코드를 사용한 orthogonal signaling은 입력 데이터 개수 k 가 증가함에 따라 비트오율 성능이 개선되지만 요구되는 신호 대역폭은 증가한다. MPSK와 같은 nonorthogonal signaling은 입력 데이터 개수 k 의 증가에 따라 대역폭 효율은 높아지나 비트오율 성능이 저하된다. 따라서 가용한 대역폭이 한정되었거나 주파수 자원의 가격이 높은 경우에는 MPSK나 QAM과 같은 변조 방식이 사용되며 주파수 자원은 문제가 되지 않으나 낮은 비트오류 확률이 요구되는 경우에는 MFSK나 orthogonal 변조 방식의 선택이 가능하다.

Walsh 코드와 같은 직교코드를 사용하는

orthogonal 변조 시스템에서는 k 비트의 데이터에 의하여 $M=2^k$ 개의 코드 중 한 개가 선택되어 캐리어에 실려서 전송된다. 출력 코드의 길이는 2^k 개로 대역폭 효율은 $k/2k$ 가 되어 k 의 증가에 따라 효율이 지수적으로 감소한다. Transorthogonal 변조에서 사용되는 코드는 직교코드들의 첫 번째 비트를 삭제하여 만들어진 것이다. 즉 Hadamard 행렬의 첫 번째 열을 삭제하여 만들어진 코드를 사용하여 파형 부호화하여 전송하는 방식으로 코드의 길이는 $2k-1$ 이 된다. 따라서 직교 변조에 비해 약간의 대역폭 효율 증가를 얻을 수 있지만 k 가 커지면 코드의 길이가 지수적으로 증가하여 대역폭 효율 증가 효과는 매우 작다.

Transorthogonal 코드를 블록 단위로 확장시켜서 확장된 코드 집합을 L 개의 부집합으로 분할하였을 때 부집합에서 선택한 임의의 코드 간에는 직교성이 성립하도록 할 수 있다. 이러한 코드 그룹을 사용한 부호화기를 병렬로 구성하고 각 부호화기의 출력 코드를 합산하여 전송하는 방식이 다중코드 transorthogonal 변조 방식으로 제안되어 있다[1]. 이 방식을 사용하면 단일의 부호화기를 사용한 전송 방식에 비해 대역폭 효율을 개선시킬 수 있다. 그러나 다중의 코드를 합산하기 때문에 출력 심볼이 멀티레벨이 되어 증폭기의 높은 선형성이 요구된다. 이동통신에서는 높은 전력 효율을 얻기 위해 비선형 특성을 지닌 증폭기를 주로 사용하는데 신호 진폭이 일정하지 않으면 비선형 왜곡을 겪게 되어 비트오율 성능이 저하된다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 [2]에서는 직교 확장된 transorthogonal 코드 집합을 4 개의 부집합으로 나누어 각 부집합을 각 transorthogonal 부호화기에서 코드 집합으로 사용하고 그 중 1개의 transorthogonal 부호화기를

인여 부호화기로 사용하여 여기에 입력되는 데이터를 적절히 부호화하면 출력 심볼의 레벨을 일정하게 유지할 수 있는 정 진폭 부호화를 사용한 다중코드 transorthogonal 변조 방안을 제안하였다. 정 진폭 부호화에 사용되는 이 인여 비트들은 패리티 비트의 특성을 가지며 수신기에서는 복조기의 출력 데이터에 대하여 패리티 검사를 하여 에러 검출을 할 수 있다[2].

본 논문에서는 [1]에서 제안한 시스템을 변형하여 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 제안하고 [2]에서 제안된 방식을 응용하여 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 제안한다. 그리고 정 진폭 부호화에 사용된 인여비트를 이용하여 수신 비트오율 성능 개선 방안을 기술한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 다중코드 transorthogonal 변조 방식과 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 설명하며, 제 3절에서는 정 진폭 부호화 방식과 수신기에서 인여비트를 이용한 성능 개선 방안을 기술한다. 제 4절에서는 제안된 시스템에 대하여 모의실험을 통한 성능 분석 결과를 제시하며 대역폭 효율 측면에서 기존 변조 방식과 비교한다. 제 5절에서 결론을 맺는다.

II. Multi-code Bipolar Trans-orthogonal code Keying

2.1 다중코드 transorthogonal 변조

2.1.1 Orthogonal 및 transorthogonal 변조

단일 Orthogonal 변조에서는 k 비트의 데이터에 의하여 길이가 2^k 인 코드 2^k 개 중 한

개의 코드가 선택되어 반송파에 실려서 전송된다. Walsh 코드가 직교코드로 사용되는 시스템에서는 크기 $2^k \times 2^k$ Hadamard 행렬에서 k 비트의 입력 데이터에 의하여 한 개의 행이 선택되어 펄스 생성기를 거쳐 전송되는 것으로 볼 수 있다. orthogonal 변조 시스템의 송신기 구조를 그림 1에 보인다.

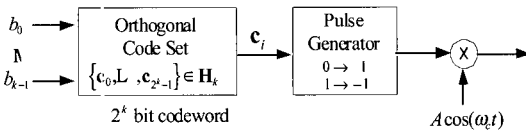


그림 1. 직교코드를 사용한 송신기의 구조.

Hadamard 행렬에 의해 생성된 orthogonal 코드에서 첫 번째 비트를 삭제하여 만들어지는 코드를 transorthogonal 코드, 또는 simplex 코드라 한다[2]. 단일 transorthogonal 변조에서는 k 비트의 정보 데이터에 의하여 생성된 $2^k - 1$ 비트 길이의 코드를 반송파에 실어서 전송한다. 직교 변조에 비해 에너지 효율이 다소 증가(즉, 주어진 비트오율을 얻기 위한 필요 에너지가 감소)하고 약간의 대역폭 효율 증가를 얻을 수 있다. 그러나 k 가 커지면 코드의 길이가 지수적으로 증가하여 대역폭 효율 및 에너지 효율의 개선 효과는 매우 작다.

2.1.2 다중코드 transorthogonal 변조(1)

다중코드 transorthogonal 변조에서는 코드 집합을 여러 그룹으로 분할하고, 정보 데이터 비트열에 의해 각 그룹에서 코드가 선택되도록 하여 다중의 코드를 합산하여 전송한다. 다중코드 transorthogonal 변조에서 사용하는 코드는 다음과 같은 과정을 통해 얻어진다. 4×4

Hadamard 행렬에서 첫 번째 열을 제거하여 식(1)와 같은 크기 4×3 transorthogonal 코드 행렬을 식 (2)의 과정을 반복 수행하여 얻는다.

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

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

직교 확장된 transorthogonal 행렬을 4개의 행을 갖는 L 개의 부행렬로 나누고 각 부행렬의 한 행을 코드로 사용하는 코드 그룹으로 간주할 때 코드들 간의 crosscorrelation 계수는 식 (3)과 같은 값을 가지는 것을 알 수 있다.

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

여기서 i, j 는 코드 인덱스에 해당하는 직교 확장된 transorthogonal 코드 행렬에서의 행 번호이다.

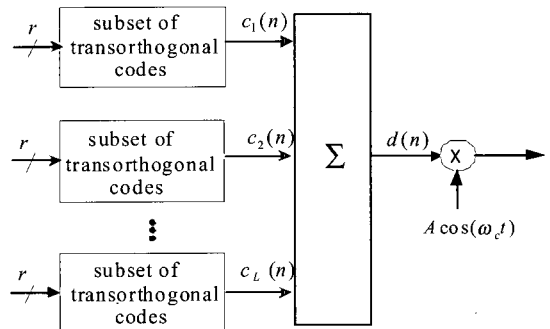


그림 2. 다중코드 transorthogonal 변조기의 구조.

그림 2에 다중코드 transorthogonal 변조 시스템의 송신기 구조를 보인다. 그림 2와 같은 구조의 송신기를 사용하면 단일 transorthogonal 변조 방식에 비해 대역폭 효율을 높일 수 있다[1].

2.2 다중코드 양극 transorthogonal 변조

다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식은 그림 2에 보인 다중코드 transorthogonal 변조의 개념을 사용한다. 다중코드 양극 transorthogonal 변조에서도 직교 확장된 transorthogonal 코드 집합을 L 개의 부집합 코드 그룹으로 나누어 코드 그룹 별 파형 부호화기를 병렬로 구성한다. $r+1$ 개의 비트가 각 블록의 부호화기에 입력되어 r 개의 데이터 비트로는 코드 그룹 속한 2^r 개의 코드 중 한 코드를 선택하고 나머지 1 개의 정보 비트로는 부호화기에서 선택된 코드의 부호 결정에 영향을 준다. 따라서 전체 코드 집합의 크기는 $L \cdot 2^r$ 이 되며 이 시스템에 동시에 입력되는 데이터 비트 수는 $k=L \times (r+1)$ 이 된다. 그리고 각 부호화기의 출력 코드들이 합산되어 전송된다. (그림 3)에는 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템 송신기 구조를 보이고 있다. 정보 비트에 의해 부호화기에서 선택된 코드의 부호가 영향을 받음으로 코드들 간의 crosscorrelation 계수는 식 (4)과 같은 값을 갖는다.

$$z_{ij} = \begin{cases} \pm 1 & \text{for } i=j \\ \pm \frac{1}{3}, 0 & \text{for } i \neq j, i, j \in \text{same group} \\ 0 & \text{for } i \neq j, i, j \notin \text{same group} \end{cases} \quad (4)$$

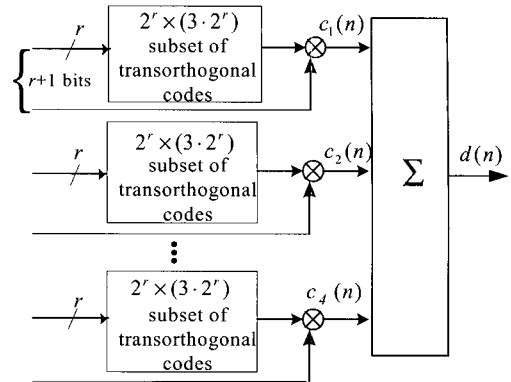


그림 3. 다중코드 양극 transorthogonal 변조 송신기

부호화기에서 선택된 코드가 정보비트에 의해 부호 반전 되었다면 부합하는 코드와의 상관값은 -1이 되고 같은 그룹내의 다른 코드와의 상관값은 1/3 또는 0이 된다. 수신기에서는 Code Select CDMA 시스템에서와 같이 블록 별로 correlator를 구현하여 전송된 코드를 찾아낼 수 있으며 correlation 값의 부호를 가지고 송신기 부호화기에 입력된 부호 비트를 결정할 수 있다[4, 5].

다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 송신기를 사용하면 단일 transorthogonal 변조나 다중코드 transorthogonal 변조 방식 보다 대역폭 효율을 높일 수 있다. 예를 들어 16개의 코드를 갖는 시스템에서 4개의 코드그룹으로 나누고 각 코드 그룹은 4개의 코드를 가지며 두 비트의 데이터 비트에 의해 코드가 선택 되도록 하면 총 12 비트의 데이터에 의하여 12 비트의 코드들이 출력되어 더해져서 전송된다. 이 경우 대역폭 효율은 $12/12=1$ 이 된다. 한편 $k = 12$ 비트의 데이터가 동시에 입력되는 시스템을 단일 직교코드에 의하여 변조하도록 송신기를 구성하면 대역폭 효율이 $3/1024$ 가 되어 제안된 방식에 비하여 상당히 효율이 낮은 것을 알 수 있다.

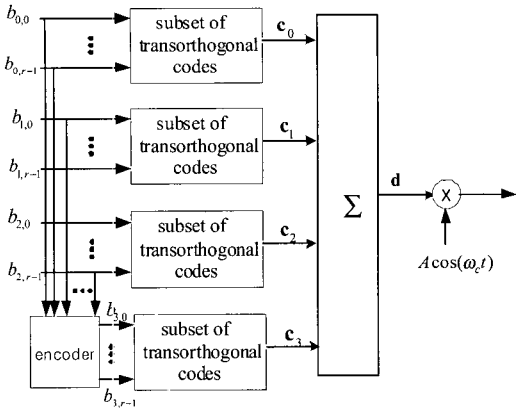


그림 4. 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조기의 구조

III. Multi-code Bipolar Transorthogonal Code Keying with Constant Amplitude Precoding

다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 사용하면 하나의 양극 transorthogonal 부호화기를 사용한 전송 방식에 비해 대역폭 효율을 개선시킬 수 있다. 그러나 다중의 코드를 합산하기 때문에 출력 심볼이 멀티레벨이 되어 증폭기의 높은 선형성이 요구된다. 이동통신에서는 높은 전력 효율을 얻기 위해 비선형 특성을 지닌 증폭기를 주로 사용하는데, 신호 진폭이 일정하지 않으면 비선형 왜곡을 겪게 되어 비트오율 성능이 저하된다.

3.1 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조

Transorthogonal 부호화기 4 개로 다중코드 transorthogonal 변조 시스템을 그림 4와 같이 구성한다. 4 개의 transorthogonal 부호화기 중

한 개를 잉여 부호화기로 사용하고 여기에 입력되는 데이터를 적절히 부호화하면 출력 심볼의 레벨이 일정하게 됨을 보인다. 상위 3 개의 부호화기에는 정보 데이터 비트들이 입력되며, 4번째의 부호화기는 잉여 부호화기로서 여기에 입력되는 데이터는 정보 비트가 아니라 인위적으로 만들어진 데이터로 4 개 부호화기 출력을 합산하였을 때 크기가 일정하게 하는 역할을 한다.

합산기 출력의 진폭을 일정하게 하는 잉여 부호화기의 입력 데이터는 상위 3 개의 부호화기에 입력되는 데이터로부터 만들어진다. 이러한 정 진폭 부호화 방식은 [5]에서 제안된 Code Select (CS-) CDMA에서의 정 진폭 부호화 방식과 동일한 원리가 적용된다. 즉, 잉여 블록에 입력되는 데이터 비트는 나머지 블록에 입력되는 정보 비트들의 패리티 비트가 된다. 식 (5)에 구체적인 정 진폭 부호화 방법을 표현하였다.

$$b_{3,i} = b_{0,i} \oplus b_{1,i} \oplus b_{2,i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, r-1$$

$$\mathbf{d} = \mathbf{c}_0 + \mathbf{c}_1 + \mathbf{c}_2 - \mathbf{c}_3 \quad (5)$$

다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템을 위한 정 진폭 부호화 과정은 다중코드 transorthogonal 변조 방식에서 정 진폭 부호화하는 과정과 동일한 개념을 사용한다. 부호화기에서 코드를 선택하는 각 비트들은 짝수 패리티어야 하며 선택된 코드의 부호를 결정하는 비트들은 홀수 패리티가 되도록 잉여블록에서 부호화하면 전송 신호는 크기 ±2의 일정한 크기를 유지한다[5]. 그림 5에 정 진폭 부호화를 사용한 다중코드 양극 transorthogonal 변조기의 구조를 보인다.

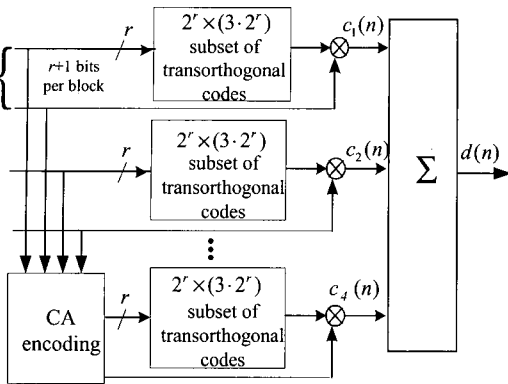


그림 5. 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템

3.2 에러 정정 방법

정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템의 잉여 부호화기에 입력되는 데이터는 신호의 진폭을 일정하게 만들기 위한 것으로 복조할 필요는 없다. 그러나 이 데이터는 패리티 비트의 특성을 가지므로 수신기에서는 복조기에서 출력된 데이터에 대하여 패리티 검사를 하여 복조한 데이터에 오류가 있는지 검출을 하는데 이용할 수 있다. 나아가서 [6]에서 제안된 바와 같이 패리티 검사 오류가 있는 경우 상관기 출력 값들과 데이터 에러 정정 알고리즘을 통하여 비트오율 성능을 개선시킬 수 있다.

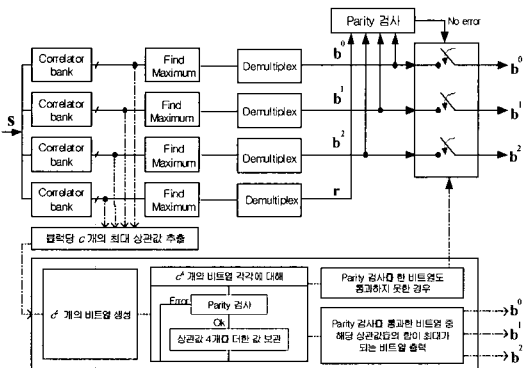


그림 6. 정 진폭 부호화에 사용된 잉여 비트와 상관기 출력 값을 이용한 수신기의 구조

에러 정정을 수행하는 과정은 크게 세 부분으로 나누어지는데, 수신기의 각 상관기 블록에서 상관값이 큰 순서로 블록 당 n 개의 상관값을 취해 $r+1$ 비트로 구성된 비트열 n 개를 추출해 내는 단계, 각 블록 당 n 개의 비트열을 조합하여 n^4 개의 $4 \times (r+1)$ 비트로 구성된 비트열을 생성하고 이들 중 한 개의 비트열이 전송 비트열이라는 가정을 세우는 단계, n^4 개의 정보 비트열에 대해 패리티 검사를 수행함으로써 각 가정을 검증하는 단계로 구성된다.

IV. Performance of Multi-code Bipolar Transorthogonal Code Keying with Constant Amplitude Precoding

4.1 다중코드 transorthogonal 변조 방식과 다중코드 양극 transorthogonal 방식의 대역폭 효율 및 비트오율 성능

다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 사용하면 단일 직교 변조 방식에 비해 대역폭 효율이 증가하는 장점이 있다. 그러나 디지털 변조의 대역폭 대 비트오율의 상관 관계에 따라 제안된 방식의 비트오율 성능이 단일 직교 변조에 비해 떨어질 것은 예상할 수 있다. 이 절에서는 대역폭 효율을 여러 경우에 대해 비교하고 비트오율 성능을 분석해 보기로 한다.

다중코드 transorthogonal 변조 시스템이 4개의 코드 그룹으로 구성되었다고 가정하고, 각 코드 그룹에서 코드를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 이라고 하자. 그러면 각 그룹에는 2^r 개의 코드가 있으며, 따라서 전체 코드의

개수는 4×2^r 개가 된다. 코드의 길이는 3×2^r 비트가 되고, 동시에 입력되는 데이터 비트 수는 $k = 4r$ 이 된다. 그러므로 제안된 시스템의 대역폭 효율은 식 (6)과 같이 된다.

$$\eta = \frac{4r}{3 \times 2^r} \quad (6)$$

다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템이 4 개의 코드 그룹으로 구성되었다고 가정하고, 각 코드 그룹에서 코드를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 하면 코드의 길이는 3×2^r 비트가 되고 각 그룹에는 $r+1$ 개의 정보 비트가 할당되어 동시에 입력되는 데이터 비트 수 $k = 4 \times (r+1)$ 가 된다. 그러므로 시스템의 대역폭 효율은 식 (7)과 같이 된다.

$$\eta = \frac{4(r+1)}{3 \times 2^r} \quad (7)$$

한편 단일 블록의 직교 변조를 하는 경우, k 비트의 데이터에 의해 2^k 비트 길이의 코드가 출력되므로 대역폭 효율은 $k/2^k$ 가 된다. 표 1과 표 2는 여러 k 에 대하여 대역폭 효율을 계산한 결과를 보이고 있다. 표 1과 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 다중코드 transorthogonal 변조를 사용하면 단일 코드의 직교 변조에 비해 대역폭 효율이 상당히 개선되는 것을 알 수 있다.

표 1. 다중코드 transorthogonal 변조의 대역폭 효율

$k(r)$	8 (2)	12 (3)	16 (4)	20 (5)
Orthogonal Modulation	1/32	3/1024	$1/2^{12}$	$5/2^{18}$
다중코드 transorthogonal	2/3	1/2	1/3	5/24

표 2. 다중코드 양극 transorthogonal 변조의

대역폭 효율

$k(r)$	12 (2)	16 (3)	20 (4)	24 (5)
Orthogonal Modulation	3/1024	$1/2^{12}$	$5/2^{18}$	$3/2^{21}$
다중코드 양극 transorthogonal	1	2/3	5/12	1/4

다음에는 비트오율 성능을 살펴 보기로 한다. 비트오율 성능은 백색 가우시안 잡음 환경에서 모의실험을 통하여 분석하였다. 그림 7에 orthogonal 변조기에서 동시에 입력되는 데이터 비트 수 k 값 변화에 따른 비트오율 성능을 보인다. k 값의 증가에 따라 비트오율 성능이 개선되는 것을 알 수 있다. 그러나 신호의 대역폭은 표 1에서 살펴본 바와 같이 k 값의 증가에 따라 $2^k/k$ 의 인수로 지수적으로 증가하여 대역폭 효율이 떨어진다.

4 개의 파형 부호화기를 사용하여 구성된 다중코드 transorthogonal 변조 방식과 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 성능 분석 결과를 그림 8과 그림 9에 각각 보인다. 여기서 r 은 각 블록의 파형 부호화기에 입력되는 데이터 비트 수를 나타내며, k 는 시스템 전체에 입력되는 데이터 비트 수이다. N 은 코드의 길이를 나타낸다.

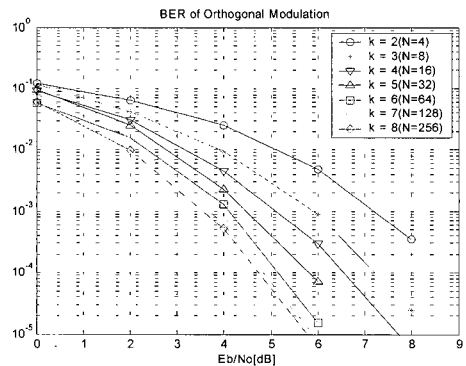


그림 7. Orthogonal 변조기의 비트오율 성능

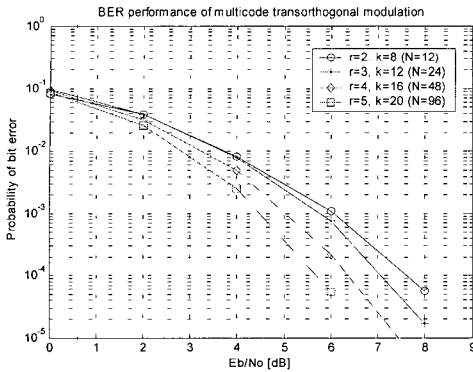


그림 8. 다중코드 transorthogonal 변조 방식의 비트오율 성능

다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식은 단일코드의 직교 변조 방식에 비해 대역폭 효율을 크게 높일 수 있으나 비트오율 성능은 떨어지는 것을 알 수 있다. 동시에 입력되는 데이터 비트 수, 즉 k 가 12인 경우 10^{-3} 의 비트오율을 얻기 위해 필요한 E_b/N_0 [dB]는 제안된 방식이 단일코드의 직교 변조에 비해 약 4 [dB]가 크다. 직교 변조의 특성은 k 에 따라 대역폭 효율이 지수적으로 감소하지만 k 가 크면 원하는 비트오율을 얻기 위하여 필요한 에너지는 크게 감소하지 않는다. 따라서 k 가 클수록 제안된 방식과 기존의 직교 변조 방식의 대역폭 효율 차이는 커지지만 필요 에너지 차이는 줄어들게 된다.

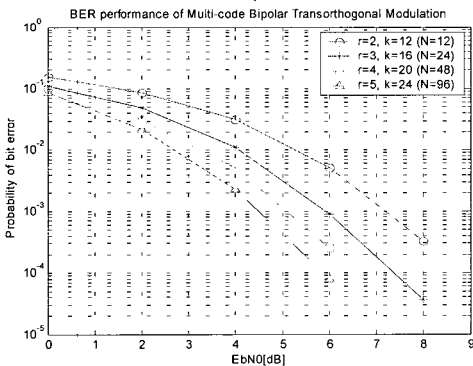


그림 9. 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 비트오율 성능

4.2 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 방식과 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 비트오율 성능

정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조와 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 대역폭 효율에 대해 분석 한다. 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 시스템은 3 개의 정보 비트 전송을 위한 부호화기와 1개의 잉여 부호화기로 구성된다. 각 코드 그룹에서 코드를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 이라고 하면 각 그룹에는 2^r 개의 코드가 있으며 전체 코드의 개수는 4×2^r 개가 되며 코드의 길이는 3×2^r 비트가 되고, 동시에 입력되는 데이터 비트 수는 $k = 3r$ 이 된다. 그러므로 제안된 시스템의 대역폭 효율은 식 (8)과 같이 된다.

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

정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템은 3개의 정보 전송을 위한 부호화기와 1개의 잉여 부호화기로 구성된다. 각 부호화기에서 코드를 선택하는 정보 데이터 비트 수를 r 하면 코드의 길이는 3×2^r 비트가 되고 각 그룹에는 $r+1$ 개의 정보 비트가 할당되어 동시에 입력되는 데이터 비트 수 $k = 3 \times (r+1)$ 가 된다. 그러므로 시스템의 대역폭 효율은 식 (9)과 같이 된다.

$$\eta = \frac{3(r+1)}{3 \times 2^r} = \frac{(r+1)}{2^r} \quad (9)$$

표 3. 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조의 대역폭 효율

$k(r)$	6 (2)	9 (3)	12 (4)	15 (5)
Orthogonal Modulation	$3/2^5$	$9/2^9$	$3/2^{10}$	$15/2^{15}$
정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal	1/2	3/8	1/4	5/32

표 4. 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조의 대역폭 효율

$k(r)$	9 (2)	12 (3)	15 (4)	18 (5)
Orthogonal Modulation	$9/2^9$	$3/2^{10}$	$15/2^{15}$	$9/2^{17}$
정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal	3/4	1/2	$5/2^4$	$3/2^4$

여러 k 값에 대하여 대역폭 효율을 계산한 결과를 보이고 있는 표 3과 표 4에서 알 수 있듯이 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조를 사용하면 단일 코드의 직교 변조에 비해 대역폭 효율이 개선되는 것을 알 수 있다.

정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 방식의 비트오율 성능과 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식의 성능을 분석하기 위하여 백색 가우시안 잡음을 가정하고 앞서 제시한 에러 정정 알고리즘을 적용하여 모의 실험을 행하였다. 에러 정정을 위하여 취하는 블록별 상관값 2개를 선택하여 알고리즘의 복잡도를 낮게 하였다.

송신 신호의 진폭이 일정한 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 방식의 성능이 그림 10와 그림 11에 제시되어 있다. 그림 12에는 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템의 성능이 제시되

어 있다. 정 진폭 부호화를 하면 전송되는 데이터의 1/4이 잉여비트이기 때문에 1.23[dB]의 에너지 손실이 있으므로 그림 8과 그림 9의 결과에 비해 각각 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 성능 분석에서 증폭기의 특성을 반영하면 증폭기 특성에 따라 성능이 반대로 나올 수 있을 것을 예상할 수 있다. 본 논문에서는 증폭기의 특성을 고려하지 않고 분석하였다. 다중코드의 신호를 더해서 만들어지는 멀티레벨 신호를 전송할 때 증폭기의 비선형성이 존재하는 경우 시스템의 성능이 열화되는 것을 분석한 결과가 [7]에 제시되어 있다.

실험 결과를 보면 동시에 입력되는 데이터 비트 수, 즉 코드 집합의 크기가 커짐에 따라 비트오율 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 에러 정정 처리에 의해 비트오율 성능이 상당히 개선되어 선형 증폭기를 사용하고 정 진폭 부호화를 하지 않은 시스템에 근접하는 것을 알 수 있다. 따라서 증폭기의 비선형성 영향이 없는 경우에도 신호의 정 진폭화를 위한 잉여 비트를 전송하여 발생하는 에너지 손실을 수신기에서 보상할 수 있음을 알 수 있다.

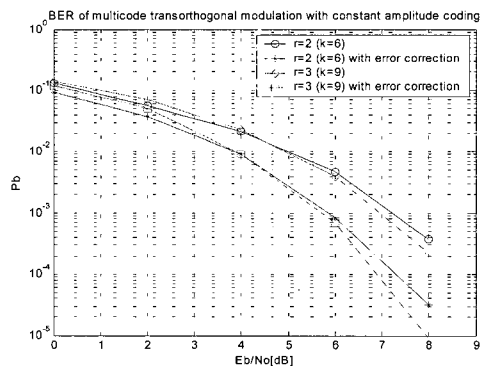


그림 10. 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 시스템의 비트오율

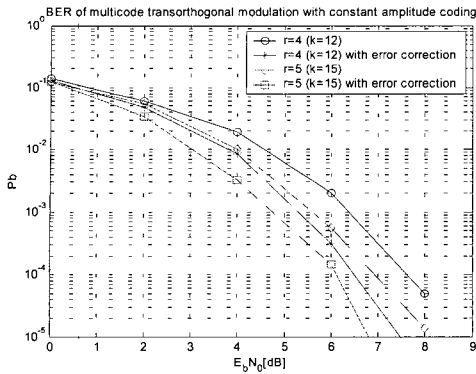


그림 11. 정 진폭 부호화된 다중코드 transorthogonal 변조 시스템의 비트오율

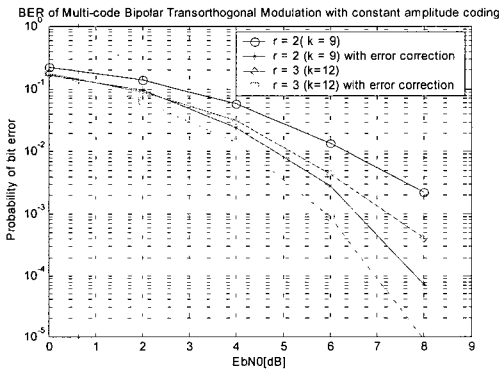


그림 12. 정 진폭 부호화된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 시스템의 비트오율

V. Conclusions

여러 개의 부호화기를 사용하여 다중의 코드를 합산하여 전송하는 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식을 제안하였다. 다중코드 transorthogonal 변조 방식에서 적용되었던 정진폭 부호화와 정진폭 부호화에 사용된 잉여비트를 이용한 수신 비트 에러 검출 및 정정 알고리즘이 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식에 적용될 수 있음을 보였다. 다중코드 transorthogonal 변조 방식은 단일 직교 변조

또는 단일 transorthogonal 변조 방식에 비해 대역폭 효율이 높아진다. k 가 큰 경우 원하는 비트오율 성능을 위해 필요한 에너지의 차이는 크게 차이가 나지 않는다. 따라서 다중코드 transorthogonal 변조 방식은 높은 비트오율 성능이 요구되고 대역폭은 넓으나 지나치게 대역폭이 넓어지는 것이 바람직하지 않은 경우 유용할 것으로 판단된다. 제안된 다중코드 양극 transorthogonal 변조 방식은 다중코드 transorthogonal 변조에 비해 동일한 비트오율 성능을 위해 필요한 에너지는 다소 증가하지만 대역폭 효율은 높다.

■ REFERENCE

- [1] 김성필, 김명진, 조진웅, "Transorthogonal 코드를 사용한 변조에서 코드의 순차적 확장과 다중코드 전송 구조에 의한 대역폭 효율 개선 방법," 한국통신학회 하계학술 발표대회, 2004년 7월.
- [2] 김성필, 김명진, "정진폭 부호화를 사용한 다중코드 Transorthogonal 변조 방식," 한국통신학회 하계학술발표대회, 2004년 7월.
- [3] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1988.
- [4] H. S. Ahn, S.M. Ryu, and S.W. Ra, "Introduction to Binary CDMA", *JCCI* 2002 VI-A.1, April 2002.
- [5] S. P. Kim, and M. J. Kim, "A Constant Amplitude Coding for Code Select

CDMA System," *TENCON*, Oct. 2002.

- [6] 김성필, 류형직, 김명진, "정 포락선 부호화를 사용한 CS/CDMA 시스템에서 잉여 비트 정보와 상관기 출력 값을 이용한 수신기 성능 개선 방법," 한국통신학회 하계 학술발표대회, 2003년 7월.

- [7] S. P. Kim, H. J. Ryu, M. J. Kim, E. K. Hong, and J. W. Cho, "Multi-code Biorthogonal Modulation Schemes and Their Performance with Amplifier Nonlinearity," *Proc. of CCCT* Jul. 2003.

Biography



김 성 필(金盛必)

1997년 한국외국어대학교 제어계측공학과 졸업
1999년 한국외국어대학교 전자.제어공학과 (공학석사)
2004년 한국외국어대학교 컴퓨터및정보통신공학과 (공학박사)

2004년 2월 ~ 현재 한국정보통신기능대학 정보통신설비과 전임강사

<주관심분야> WPAN, Homenetwork

<e-mail> ship@icpc.ac.kr



김 명 진(金明珍)

1982년 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1984년 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)
1992년 University of Minnesota 전기공학과 (공학박사)

1984년 ~ 1996년 8월: 한국전자통신연구원 이동통신기술연구단 책임연구원

1996년 9월 ~ 현재: 한국외국어대학교 컴퓨터및정보통신공학부 교수

<주관심분야> 이동통신, WPAN, UWB, 통신신호처리

<e-mail> mjkim@hufs.ac.kr