

논문 2009-46TC-3-1

직교 상보코드 기반의 오프셋누적 확산 CDMA 시스템의 비트오율 성능

(BER Performance of an Offset Stacked Spreading CDMA System Based on Orthogonal Complementary Codes)

김 명 진*

(Myoung Jin Kim)

요 약

DS-CDMA 시스템은 대역폭 효율이 매우 낮아서 고속의 데이터를 전송하는 경우 높은 확산이득을 유지하기 어렵다. 오프셋누적 확산 CDMA는 정보비트를 확산한 코드들을 오프셋을 두고 중첩하여 전송하는 방식이다. 이 시스템은 코드 위상에 오프셋이 있어도 직교성이 유지되는 코드를 필요로 한다. 직교 상보코드는 코드 그룹에 속한 코드간 상호상관함수가 항상 0이 되는 특성이 있어서 오프셋누적 확산 CDMA에 적용이 가능하다. 직교 상보코드 기반의 오프셋누적 확산 CDMA (OCC-OSS CDMA) 시스템에서는 사용자별로 직교 상보코드 그룹을 할당하며, 각 사용자 데이터는 주어진 코드로 확산되고 중첩되어 코드별로 멀티캐리어로써 전송된다. 그러나 OCC-OSS CDMA 시스템은 오프셋을 갖고 중첩된 코드가 누적되기 때문에 심볼 크기가 일정하지 않으며, 확산효율(칩 당 전송되는 정보비트 수)을 높일수록 코드의 중첩도가 높아져서 심볼 레벨의 수가 증가한다. 따라서 누적확산기 출력 심볼을 캐리어 위상으로 매핑하여 전송하는 경우 신호 성상도가 밀집되어 채널의 영향을 쉽게 받는다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 누적확산기 출력 심볼을 일정 크기 이하로 클리핑한 후 캐리어 변조하여 전송하는 방식을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 비트오율 성능을 AWGN 환경에서 분석하였으며, 레벨 클리핑을 하지 않은 시스템과 비교하여 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

Abstract

DS-CDMA system has very low bandwidth efficiency, hence it is difficult to maintain high spreading gain for high speed data transmission. Offset stacked spreading CDMA(OSS-CDMA) is a transmission scheme where spreading codes with chip offsets are overlapped, then transmitted. This kind of system requires a code set that guarantees orthogonality between codes in the set of any chip offset. An orthogonal complementary code set has a property that the crosscorrelation function between codes in the group is zero for all shifts, hence it can be used for an OSS-CDMA system. In an OCC-OSS CDMA system each user is assigned an orthogonal complementary code group. User data bit is spread by the given codes and overlapped, and the code sequences are transmitted with multicarrier. However, the offset stacked spread sequences are multilevel, and the number of symbol levels is increases as the spreading efficiency is increased. When the OSS sequence is transmitted with MPSK mapping, the signal constellation becomes dense, and the system is easily affected by channel impairments. In this paper, we propose a level clipping scheme on OSS sequence before MPSK modulated. Simulations have been carried out to investigate the BER performance of the OCC-OSS CDMA system in AWGN environment. The results show that proposed scheme outperform the scheme without level clipping.

Keywords: 직교 상보코드, 오프셋누적 확산, OSS-CDMA, 확산 효율, 대역폭 효율

I. 서 론

3세대 이동통신 시스템을 위한 무선접속 방식의 선

정에서 CDMA 계열이 주도권을 갖게 되었던 큰 이유는 큰 가입자 용량, 높은 주파수 재사용율, 높은 확산이득으로 인한 멀티패스 페이딩 및 간섭에 대한 내성 등을 들 수 있다. 이 당시의 무선접속 방식에 대한 논의에서 중요한 가정은 이동통신이 음성 통신을 위한 것이며, 데이터는 부가 서비스라는 것이었다. 그 후 이동통신에 대한 동향이 크게 변화하여 이제는 데이터 트래픽

* 정희원, 한국외국어대학교

(Hankuk University of Foreign Studies)

* 이 연구는 2009학년도 한국외국어대학교 교내 학술연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

접수일자: 2008년11월9일, 수정완료일: 2009년3월9일

이 이동통신의 주종을 이루게 되었다. 이러한 변화의 배경에는 인터넷에 대한 의존도가 높아진 것과 IP 기반 네트워크의 발전이 있었다고 볼 수 있다. 이와 같은 차세대 이동통신 시스템은 음성, 데이터, 화상 및 동영상을 포함한 멀티미디어를 전송할 수 있는 버스트 데이터 서비스에 기반하여 동작하도록 요구된다. 이러한 요구 조건 하에서는 CDMA가 다른 방식에 비해 반드시 유리하다고 볼 수는 없다.

4세대 이동통신의 설계에서는 고속 데이터율과 버스트한 트래픽 형태를 지원할 수 있는 무선접속 방식을 선택해야 하며, 이러한 요구조건을 수용하기에 가장 적합한 무선접속 방식에 대해 많은 논의가 진행되고 있다. 기존의 CDMA 기술은 음성과 같이 저속이면서 연속적인 트래픽 전송에는 적합하지만, 고속의 all-IP 무선응용에는 적합하지 않다. 이와 같은 이유로 OFDMA/OFDM과 같은 기술이 4G 이동통신을 위한 무선링크 설계에 있어 CDMA 대신 고려되고 있다. 한편 CDMA 진영에서도 기존의 장점을 유지하면서 단점을 보완한 차세대 CDMA 방식을 연구하여 OFDM 진영과 대립하고 있다.

본 논문에서는 직교 상보코드(Orthogonal Complementary Code: OCC)와 오프셋누적 확산(Offset Stacked Spreading: OSS)을 이용한 CDMA(이하 OCC-OSS CDMA) 방식을 다루고자 한다. 이 방식의 기본 개념은 Hsiao-Hwa Chen^[1]에 의해 제안되었는데, AWGN 환경에서 사용자간 간섭이 없으며, 기존 CDMA에 비해 주파수 이용 효율이 높다는 장점이 있다. OCC-OSS CDMA 시스템에서는 사용자별로 직교 상보코드 그룹을 할당받아 사용하는데, 코드그룹 내의 코드들은 상호상관함수가 항상 0이라는 특성이 있다. 기존 DS-CDMA 시스템에서는 한 비트의 정보 데이터를 L 칩의 코드로 확산하여 전송하고 나서 다음 비트의 정보데이터를 전송한다. 이에 비해 OSS-CDMA 시스템에서는 한 비트를 확산하여 L 칩의 코드열을 보내는 중간에 다음 비트를 확산하여 전송한다. 따라서 코드가 오프셋을 갖고 중첩되어 전송된다. 이러한 구조를 사용하면 확산효율, 즉 칩당 정보비트 수를 높일 수 있어서 DS-CDMA에 비해 대역폭 효율을 높일 수 있다.

그러나 이 시스템의 기저대역 신호는 오프셋을 갖고 중첩된 코드의 합이므로 멀티레벨이 되어 전력 증폭기의 높은 선형성이 요구되며, 에너지 효율이 낮다는 문제점이 있다. 전송 신호의 진폭을 일정하게 만들기 위하여

오프셋누적 확산된 멀티레벨 신호를 MPSK로 위상천이하여 전송하는 방법을 고려할 수 있다. 그러나 주파수 효율을 높이기 위하여 코드의 중첩율을 높일수록 누적확산기 출력의 레벨 수가 증가하여 MPSK 신호점 간 거리가 줄어들어 채널 잡음에 취약해진다. 본 논문에서는 오프셋누적 확산을 거친 멀티레벨 심볼을 MPSK로 위상천이하기 전에 레벨 클리핑을 하여 전송하는 방식을 제안한다. 누적확산기 출력을 4 개의 레벨로 클리핑한 후 QPSK 심볼로 변환시켜 전송하는 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 본 논문의 구조는 다음과 같다. II장에서는 OCC-OSS CDMA 시스템 모델에 대하여 기술하며, III장에서는 레벨 클리핑을 사용한 OCC-OSS CDMA 시스템에 대해 설명한다. IV장에서는 제안된 시스템의 비트오율 성능을 분석하며, V장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. OCC-OSS CDMA 시스템

그림 1에 본 논문에서 고려한 OCC-OSS CDMA 시스템 모델의 예를 보인다. K 명의 사용자가 있고, 각 사용자는 M 개의 코드로 구성된 코드 그룹 $(c_{k,1}, c_{k,2}, \dots, c_{k,M})$ 을 할당받아 사용한다. 여기서 코드 $c_{k,m}$ 은 L 칩 길이를 가진 직교 상보코드이며, $1 \leq k \leq K, 1 \leq m \leq M$ 이다. 만일 $M = 1$ 이라면 시스템 모델은 기존의 단일(unitary) 코드 기반의 DS-CDMA 시스템이 된다. 각 사용자의 정보 데이터 비트는 M 개의 직교 상보코드로 확산되고, 확산된 데이터열이 캐리어 변조되어 전송된다. M 개의 데이터열이 독립적으로 전송되는데, 그림에서 보인 시스템에서는 서로 다른 캐리어를 사용하여 전송하는 경우를 보이고 있다.

이 시스템은 오프셋누적 확산을 하는 블록이 독특한 구조라 할 수 있다. 기존 DS-CDMA 시스템에서는 한 비트의 정보 데이터를 L 칩의 코드로 확산하여 전송하고 나서 다음 비트의 정보데이터를 전송하는데 비해 OSS-CDMA 시스템에서는 한 비트를 확산하여 L 칩의 코드열을 보내는 중간에 다음 비트를 확산하여 전송한다. 따라서 코드가 오프셋을 갖고 중첩되어 전송된다. 정보 비트를 확산하여 L 칩의 코드열을 보내는 중간에(n 칩의 오프셋을 두고) 다음 데이터 비트를 확산하여 전송하는 경우 m 번째 누적 확산기의 출력은 다음과 같이

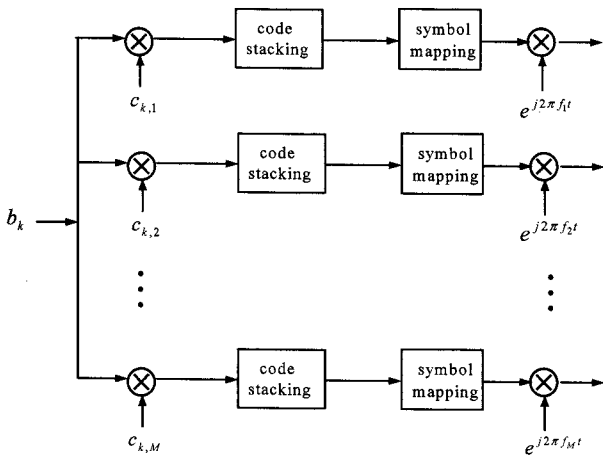


그림 1. 직교 상보코드와 오프셋누적 확산을 이용한 CDMA 시스템

Fig. 1. An orthogonal complementary code based CDMA system with offset stacked spreading.

표현할 수 있다.

$$d_{k,m}[i] = \sum_{j=0}^{J-1} b_k[i] c_{k,m}[i - jn] \quad (1)$$

여기서 b_k 는 k 번째 사용자의 정보 데이터이며, J 는 중첩되는 코드의 누적회수로서 최대값은

$$\max\{J\} = \left\lceil \frac{L}{n} \right\rceil \quad (2)$$

와 같이 된다. 여기서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작지 않은 최소의 정수를 의미한다. n 은 코드 오프셋으로 $1 \leq n \leq L$ 의 값을 가진다.

이와 같은 누적확산 구조를 사용하면 확산효율을 높일 수 있어서 기존 DS-CDMA에 비해 대역폭 효율을 높일 수 있다. 코드오프셋 n 이 작을수록 확산효율이 높아지며, DS-CDMA는 $n = L$ 이 된다.

2. 직교 상보코드

CDMA 시스템에서 가장 중요한 것은 확산코드라 할 수 있는데, 확산코드의 상관함수 특성이 채널의 영향에 대한 강인함 정도나 사용자의 분리능력 정도를 결정하기 때문이다. 코드간의 상호상관도가 낮을수록 수신기에서 원하지 않는 사용자의 신호를 제거하기가 쉬워진다. PN 코드(예를 들면 m-sequence, Gold code, Kasami code 등)는 직교하지 않으므로 사용자가 증가할 때마다 타사용자에 의한 간섭이 증가한다. 직교코드는 코드간의 상호상관값이 0이므로 타사용자에 의한 간섭이 없다. 그러나 이것은 코드간에 동기가 맞아 있는

경우에만 가능하다. 즉 사용자간에 서로 영향을 주지 않기 위해서는 코드의 동기화가 필요하며, CDMA 시스템에서 역방향 링크에서는 불가능하게 된다. 직교코드 중 가장 많이 사용되는 코드는 Walsh-Hadamard 코드인데, 확산이득이 고정되어 있다. Walsh 코드는 사용자간 동기가 맞지 않은 경우 사용자간 간섭이 있다는 단점이 있는데, Walsh 코드를 직교변환하여 수정된 Walsh 코드를 발생시켜서 비동기식 시스템에서도 사용자간 간섭을 줄이는 기법도 제안되어 있다^[2-3]. 다른 직교코드로 직교 가변 확산이득(Orthogonal Variable Spreading Factor: OVSF) 코드는 다중 데이터 서비스에 사용된다. 이 코드는 코드계보(code tree)를 통해 생성시킬 수 있는데, 하나의 OVSF 코드가 할당되면 그 선조코드나 후손코드는 직교하지 않아서 할당할 수 없는 단점이 있다. 따라서 다중전송률의 데이터 서비스에서 확산코드의 할당이 복잡하다.

직교 상보코드(orthogonal complementary code)에 대한 연구는 상당히 오래 전부터 수행되어 레이더 시스템에 응용된 바 있다^[4-5]. 직교 상보코드를 오프셋누적 확산

표 1. 코드 길이가 $L = 4$ 와 $L = 16$ 인 직교 상보코드의 예

Table 1. An example of orthogonal complementary codes of code length $L = 4$ and $L = 16$.

코드길이 $L=4$ 인 경우	코드그룹 1 (사용자 1용 코드 집합)	$C_{1,1} = +++-$
		$C_{1,2} = -+++$
	코드그룹 2 (사용자 2용 코드 집합)	$C_{2,1} = ++++$
		$C_{2,2} = +---$
코드길이 $L=16$ 인 경우	코드그룹 1 (사용자 1용 코드 집합)	$C_{1,1} = +++++-+-----+$
		$C_{1,2} = +-+++++-----$
		$C_{1,3} = +++-+-----+--$
		$C_{1,4} = +-----+-----$
	코드그룹 2 (사용자 2용 코드 집합)	$C_{2,1} = +++++-+-----+$
		$C_{2,2} = +-+++++-----$
		$C_{2,3} = +++-+-----+--$
		$C_{2,4} = +-----+-----$
	코드그룹 3 (사용자 3용 코드 집합)	$C_{3,1} = +++++-+-----+$
		$C_{3,2} = +-+++++-----$
		$C_{3,3} = +++-+-----+--$
		$C_{3,4} = +-----+-----$
	코드그룹 4 (사용자 4용 코드 집합)	$C_{4,1} = +++++-+-----+$
		$C_{4,2} = +-+++++-----$
		$C_{4,3} = +++-+-----+--$
		$C_{4,4} = +-----+-----$

표 2. 직교 상보코드의 코드 길이와 코드그룹의 크기, 그룹 개수 및 확산이득의 관계

Table 2. Relationship among code length, code group size, number of code groups, and processing gain for the orthogonal complementary codes.

코드길이($L = 4^n$)	4	16	64	256	1024	4096
$PG(L\sqrt{L})$	8	64	512	4096	32768	262144
그룹개수(\sqrt{L})	2	4	8	16	32	64
그룹 크기(\sqrt{L})	2	4	8	16	32	64

산과 결합하면 CDMA에서 대역폭 효율을 높일 수 있다는 결과가 제시되어 있다^[1]. 직교 상보코드는 유일하지 않으며, 여러 종류의 직교 상보코드가 존재한다^[6~7]. 또한 직교 상보코드의 종류에 따라 코드그룹의 크기가 다르다. 참고문헌 [6]에서는 요구되는 자기상관 및 상호상관 특성을 갖는 코드 집합을 대수적인 최적화 기법을 사용하여 발생시키는 알고리즘을 제안하고 있다.

직교 상보코드는 자기상관함수가

$$R_{c_i}(k) = 0 \text{ for } k \neq 0 \quad (3)$$

가 되며, 코드그룹 내의 코드간 상호상관함수가

$$R_{c_i c_j}(k) = 0 \text{ for all } k, i \neq j \quad (4)$$

와 같은 특성이 있다^[1]. 직교 상보코드가 기존의 CDMA 코드와 다른 점은 기존 CDMA 코드의 경우 단일 코드간의 직교성을 따지는데 비해, 직교 상보코드에서는 코드 집합 간의 직교성을 따진다. 따라서 직교 상보코드를 사용하는 CDMA 시스템에서 각 사용자는 확산코드로서 여러 개의 기본코드로 구성된 코드집합을 할당받는다. 여러 개의 확산된 데이터열은 서로 다른 채널을 통해 전송되어 상관 수신기에 도달하게 된다. 표 1에 코드 길이가 $L = 4$ 인 경우와 $L = 16$ 인 경우에 대해 직교 상보코드의 예를 보인다^[1]. 이 직교 상보코드의 그룹 크기(즉 그룹 내의 기본코드 개수)는 $M = \sqrt{L}$ 이 되어 각각 $M = 4$ 와 $M = 8$ 이 되며, 확산이득은 각각 $PG = 64$ 와 32 가 된다. 직교 상보코드의 그룹 개수는 그룹 크기와 같이 $M = \sqrt{L}$ 이며, 확산이득은 $PG = L\sqrt{L}$ 이 된다. 표 2에 직교 상보코드의 여러 가지 코드 길이에 따른 코드그룹의 크기, 그룹 개수 및 확산이득의 관계를 보인다.

3. 옴셋누적 확산과 확산효율

DS-SS-CDMA에서 높은 확산이득은 사용자간 간섭이나 멀티패스 페이딩의 영향을 감소시킬 수 있는 효과를 제

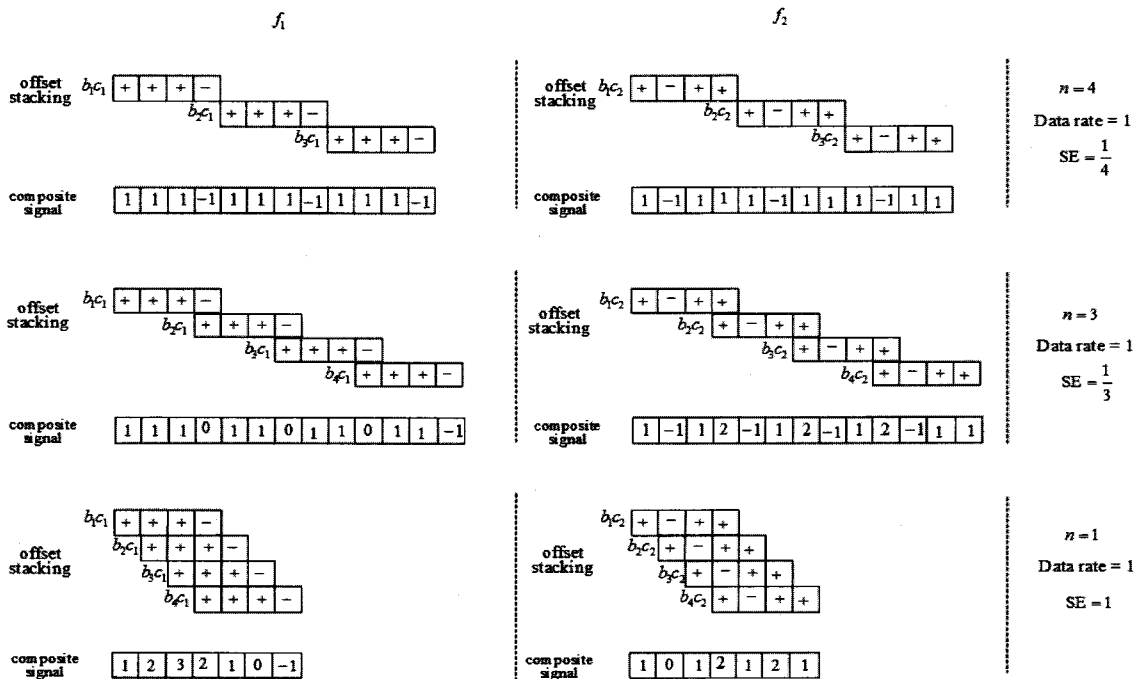


그림 2. 직교 상보코드 기반의 OSS-CDMA 시스템에서 확산효율과 데이터율 및 기저대역 멀티레벨 신호와의 관계

Fig. 2. Relationship among spreading efficiency, data rate, and baseband multilevel signal in an orthogonal complementary code based OSS-CDMA system.

공하는 등 장점이 있지만, 대역폭 효율이 매우 낮다는 단점이 있다. 따라서 대역폭이 정해진 경우(또는 칩 길이가 정해진 경우) 고속의 정보 데이터를 전송하기 위해서는 확산이득을 작게 선택해야 하며, 이 경우 대역 확산 통신의 주요 장점이 희석된다. 확산효율(spreading efficiency: 이하 SE)을 한 칩당 몇 개의 정보 데이터 비트를 전송할 수 있는가로 정의하자. 그러면 칩 길이가 고정된 경우 CDMA 시스템의 대역폭 효율을 알 수 있게 된다. 확산효율이 높을수록 대역폭 효율이 높아진다. 길이가 L 인 확산코드를 사용하는 DS-SS 시스템에서는 한 비트의 정보 데이터를 L 칩의 코드로 확산하여 전송하고 나서 다음 비트의 정보 데이터를 전송하므로 확산효율은 $SE = 1/L$ 이 된다는 것을 쉽게 알 수 있다. 따라서 $PG = L$ 인 기존 DS-SS의 SE는 $1/PG$ 가 된다.

오프셋 확산의 기본 원리는 한 비트의 정보 데이터를 확산하여 L 칩의 코드열을 보내는 중간에(n 칩의 오프셋을 두고) 다음 데이터 비트를 확산하여 전송한다는 것이다. 따라서 코드가 중첩되어 전송된다. 코드를 중첩하여 전송함으로써 SE가 증가한다는 것을 알 수 있다. 코드오프셋은 $1 \leq n \leq L$ 이 되며, n 이 작을수록 중첩도가 높아져서 SE가 더 커진다. 기존 DS-SS는

$n = L$ 이라고 볼 수 있다. 최대의 SE는 $n = 1$ 일 때 얻어진다. 예를 들어 코드 길이가 $PG = 64$ 인 기존 CDMA의 SE는 $1/64$ 인데 비해 오프셋 확산 CDMA(OSS-CDMA)에서는 SE가 최대($n = 1$ 로 하는 경우) 1이 된다. 그러므로 OSS-CDMA에서는 코드위상 오프셋을 $n = 1$ 로 하는 경우 DS-SS에 비해 L 배의 SE를 얻을 수 있어서 대역폭 효율을 상당히 높일 수 있다.

그림 2에 두 명의 사용자가 있는 환경에서 코드 길이가 $L = 4$ 인 직교 상보코드를 확산코드로 사용하고 오프셋 확산을 하는 OSS-CDMA 시스템에서 정보 비트가 확산되어 전송되는 개념을 보인다. 오프셋 확산을 하면 전송될 기저대역 신호는 멀티레벨이 된다. 칩 오프셋 n 에 따라 확산효율과 기저대역 신호의 레벨 개수가 달라진다. 즉 n 이 작을수록 코드의 중첩도가 높아져서 SE가 커지는 반면 기저대역 신호의 레벨 변화범위가 넓어진다.

OSS-CDMA에 적합한 코드에 대해 검토해 보자. Gold 코드나, Kasami 코드, Walsh 코드, OVFSF 코드와 같은 unitary 코드는 오프셋 확산용으로 부적합하다. 그 이유는 직교코드라 하더라도 오프셋 확산된 두 코드 간의 상호상관 값은 상당히 크기 때문이다. 반면에

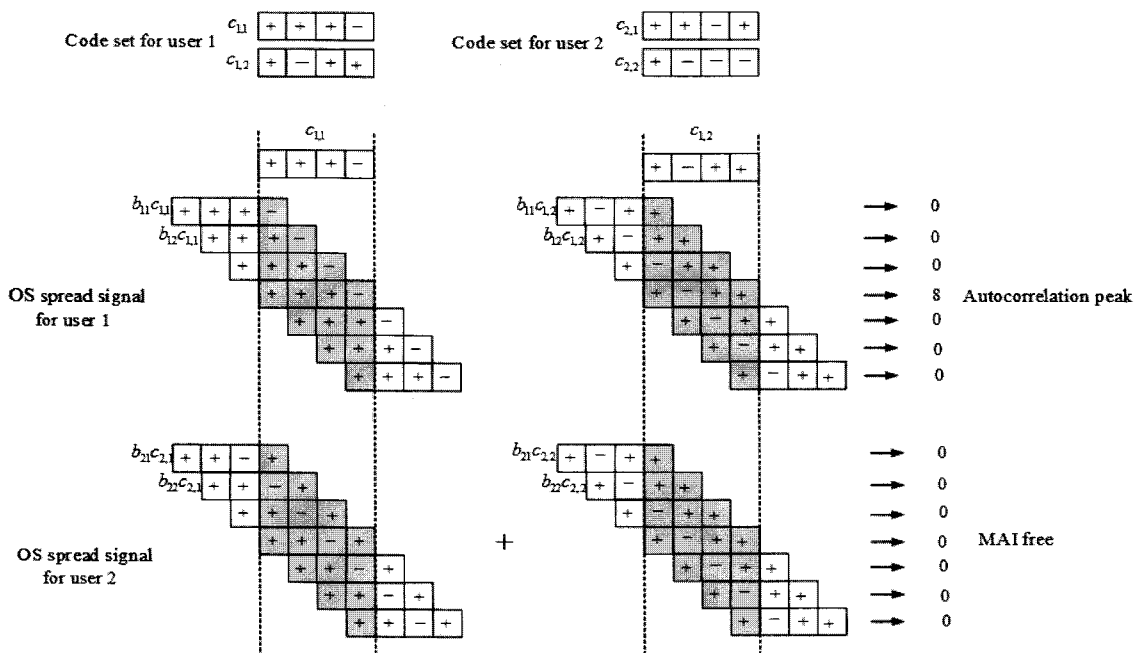


그림 3. 두 명의 사용자 환경에서 직교 상보코드 기반의 OSS-CDMA 시스템에서의 수신 과정(코드 길이가 $L = 4$ 인 경우)

Fig. 3. Receiver processing in an orthogonal complementary code based OSS-CDMA system in a two user environment (when the code length $L = 4$).

직교 상보코드는 윗셋누적 확산되더라도 코드간 직교성이 유지된다. 따라서 OSS-CDMA에 적용할 수 있는 코드는 직교 상보코드이며, 동기식이나 비동기식 링크에서 다중사용자 간섭이 없게 된다.

그림 3에 두 명의 사용자가 있는 환경에서 코드 길이가 $L = 4$ 인 직교 상보코드를 확산코드로 사용하고 윗셋누적 확산을 하는 OCC-OSS CDMA 시스템의 수신 과정을 보인다. 윗셋누적 확산에서 $L = 4$ 이므로 코드 그룹의 크기는 2가 되어 두 개의 기본코드를 사용하여 (사용자 1은 $c_{1,1}, c_{1,2}$ 를 사용하고, 사용자 2는 $c_{2,1}, c_{2,2}$ 를 사용) 확산한다. 사용자 1의 신호를 복조하는 경우 수신기에서 $c_{1,1}, c_{1,2}$ 로 상관을 취한 결과를 같이 보이고 있다. 각 기본코드의 상관기 출력을 더하면 그림에 보인 것과 같은 자기상관 피크가 생기는 것을 알 수 있다. 한편 타사용자 신호는 항상 상호상관이 0이 되어 다중접속 간섭(MAI)이 없다는 것을 알 수 있다. 그림에서는 하향링크와 같이 두 명의 사용자가 동기가 맞아 있는 경우를 보였지만 상향링크처럼 사용자간 동기가 맞지 않은 경우에도 직교 상보코드의 특성으로 인하여 사용자간 간섭이 생기지 않는다는 것을 알 수 있다.

III. 레벨 클리핑을 사용한 OCC-OSS CDMA 시스템

길이가 L 인 직교 상보코드를 사용하는 OSS-CDMA 시스템에서 사용자별 확산기 출력 심볼은 크기가 일정하지 않으며, $n = 1$ 인 경우 최대 L 개의 코드가 누적되어 출력 레벨은 $\{0, \pm 2, \pm 4, \dots, \pm L\}$ 가 가능하다. 즉 가능한 기저대역 신호의 레벨의 개수는 최대 $L+1$ 이 된다. 기저대역 신호의 레벨 범위는 코드의 길이 L 과 OS 확산 과정에서의 상대적인 칩 윗셋값 n 과 관련이 있다. 구체적으로 레벨 개수는

$$D_{oss} = \left\lceil \frac{L}{n} \right\rceil + 1, \quad 1 \leq n \leq L \quad (5)$$

가 된다.

높은 SE를 얻기 위하여 n 을 작게 선택하면 출력 심볼의 레벨 수가 증가한다. 기저대역 신호가 멀티레벨이므로 캐리어 변조는 M-ary 변조를 사용해야 한다. 전송 신호가 멀티레벨인 경우 채널의 진폭 왜곡에 쉽게 영향을 받을 수 있다는 문제점도 있지만 송수신기 자체에서 문제를 일으킬 수 있다. 신호의 진폭 변화가 크면

송신기 전력증폭기의 높은 선형성이 요구되며, 선형성이 높지 않은 경우 성능 저하가 발생하거나 좁은 선형 영역을 사용함으로써 전력효율이 떨어질 수 있게 된다. 따라서 OSS-CDMA에서는 멀티레벨 심볼 문제의 해결이 중요한 과제라 할 수 있다.

가장 간단한 방법은 PAM(pulse amplitude modulation)을 사용하여 캐리어 변조를 하는 것이다. 이때 고려해야 할 사항은 OS 확산기 출력심볼 레벨이 모두 일정한 확률로 발생하지는 않는다는 것이다. 작은 크기의 심볼이 발생할 확률이 높고, 크기가 클수록 발생 확률이 작다. 이러한 고찰을 바탕으로 PAM 정상도에서 신호점의 배치를 균일하지 않게 하면 비트오율 성능을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 멀티레벨 심볼을 MPSK 심볼로 매핑시켜서 전송하는 방안을 고려한다. 이 방법을 사용하면 전송 신호의 포락선이 일정하여 채널에서의 진폭 변화에 영향을 받지 않는다는 장점 외에 송수신기에서의 신호처리 과정에서 발생할 수 있는 진폭왜곡에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그러나 확산효율을 높이기 위해 칩 윗셋값 n 을 작게 선택하면 확산기 출력의 레벨 수가 증가하고, MPSK 신호점 간의 거리가 줄어들어서 잡음에 의한 영향을 쉽게 받는다. 본 논문에서는 일정 레벨 이상의 멀티레벨 심볼을 클리핑한 후 MPSK 심볼로 매핑시키는 방안을 제안한다. 큰 크기의 심볼은 발생 확률이 작기 때문에 클리핑으로 인한 왜곡이 작은 확률로 발생하게 된다. 클리핑으로 인한 왜곡을 감수하는 대신 적은 수의 레벨을 MPSK 심볼로 매핑시킴으로써 신호점 간의 간격을 넓힐 수 있으며, 결과적으로 비트오율 성능이 개선될 것으로 예상할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

OCC-OSS CDMA에서 누적 확산기 출력 심볼을 MPSK로 변조하는 과정에서 MPSK 변조 전에 레벨 클리핑을 하는 경우와 하지 않는 경우에 대해 시뮬레이션을 통해 비트오율 성능을 구해 보았다. 직교 상보코드는 길이가 $L = 16$ 인 코드를 사용하였으며, 확산 효율을 변화시키면서 성능을 분석하였다. 중첩되는 코드의 개수를 $J = 5, 7, 9, 11, 13$ 으로 변화시키면서, 즉 심볼 레벨 수를 6, 8, 10, 12, 14로 변화시키면서 비트오율을 구하였다. 레벨 클리핑을 하는 시스템에서는 누적 확산기 출력으로부터 레벨 수가 4개가 되도록, 즉 레벨이

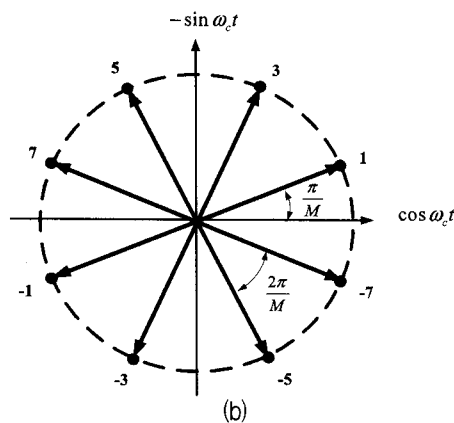
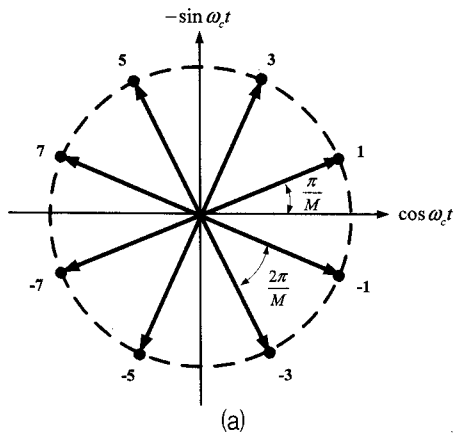


그림 4. 레벨 클리핑을 하지 않는 OCC-OSS-CDMA 시스템에서 누적확산기 출력심볼의 위상 매핑 (M=8인 경우)

Fig. 4. Phase mapping on OS spreader output symbols in an OCC-OSS-CDMA system without level clipping (when M=8).

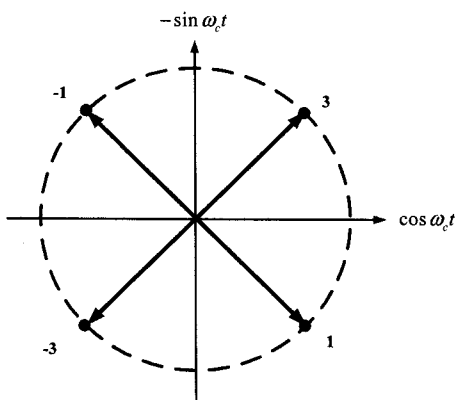


그림 5. 4-레벨 클리핑을 적용한 OCC-OSS-CDMA 시스템에서 누적확산기 출력심볼의 위상 매핑

Fig. 5. Phase mapping on OS spreader output symbols in an OCC-OSS-CDMA system with 4-level clipping.

{-3, -1, +1, +3} 중의 하나가 되도록 하였다. 따라서 레벨 클리핑된 심볼은 QPSK 변조되어 전송되도록

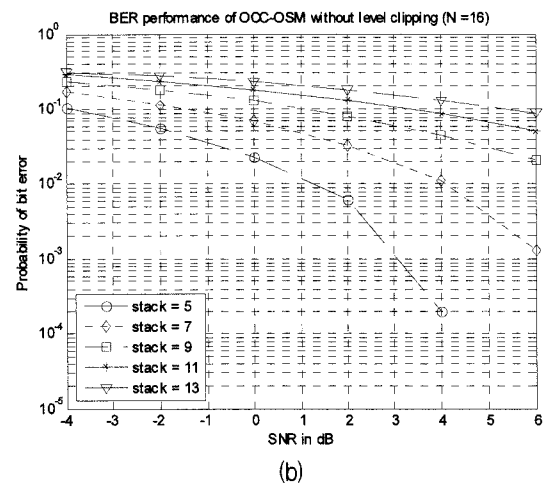
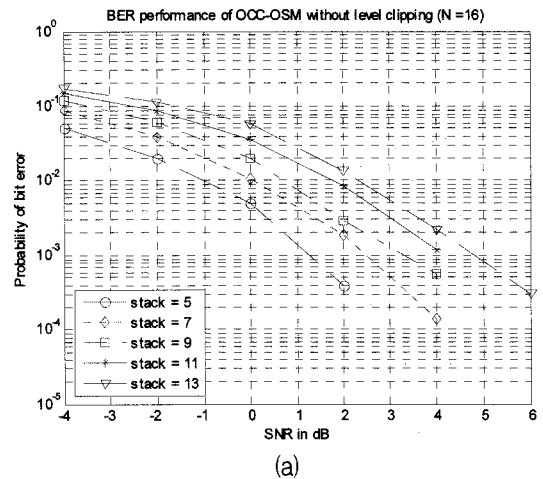


그림 6. 레벨 클리핑을 하지 않는 OCC-OSS-CDMA 시스템에서 그림 4(a), (b)의 MPSK 심볼 매핑을 사용하는 경우의 비트오류 성능

Fig. 6. BER performance of an OCC-OSS-CDMA system without level clipping when MPSK phase mapping of Fig. 4 is used.

하였다.

그림 4 (a), (b)에 레벨 클리핑을 적용하지 않은 시스템의 MPSK 신호 정상도를 보인다. 일반적으로 MPSK 변조에서는 심볼 위상에 코드를 할당하는 과정에서 Gray 코드를 사용한다. 심볼 발생 확률이 동일한 경우에는 이 방법의 성능이 우수하다. 그러나 OCC-OSS-CDMA에서와 같이 심볼 확률이 동일하지 않은 경우에는 Gray 코드가 적절하지 않다. 레벨 클리핑을 하지 않은 OCC-OSS-CDMA 시스템의 비트오류 성능분석 시물레이션에서는 그림 4 (a), (b)와 같이 심볼-위상 매핑을 사용하였다. 레벨 클리핑을 적용한 OCC-OSS-CDMA 시스템의 성능분석에서는 레벨 수를 4로 제한하고 그림 5와 같이 심볼-위상을 매핑시켜 시물레이션

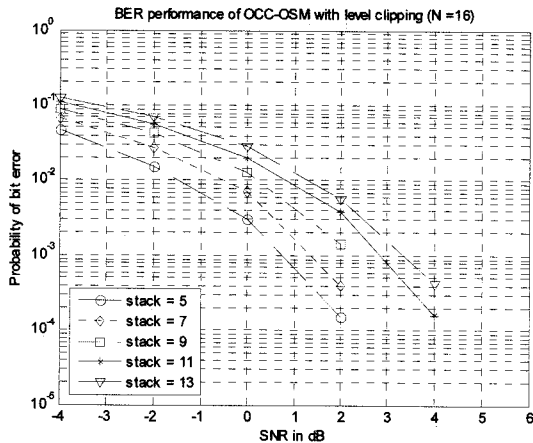


그림 7. 레벨 클리핑을 적용한 OCC-OSS-CDMA 시스템에서 그림 5의 QPSK 심볼 매핑을 사용하는 경우의 비트오율 성능

Fig. 7. BER performance of an OCC-OSS-CDMA system with level clipping when QPSK phase mapping of Fig. 5 is used.

을 수행하였다.

그림 6과 그림 7에 각각 레벨 클리핑을 적용하지 않은 OCC-OSS-CDMA 시스템과 레벨 클리핑을 적용한 시스템의 비트오율 성능을 보인다. 그림 6(a), (b)는 각각 그림 4(a), (b)와 같은 MPSK 심볼 매핑을 사용한 결과이다. 레벨 수가 동일한 경우에도 MPSK 성상도에 따라 성능이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 심볼 레벨의 발생 확률을 고려하여 성상도를 재배치하면 성능을 더 높일 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그림 7은 누적 확산기 출력 심볼을 $\{\pm 1, \pm 3\}$ 으로 클리핑하고 QPSK 변조하여 전송한 결과이다. 그림 6과 비교하면 성능이 더 우수하다는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

직교 상보코드를 다중접속 코드로 사용하고 코드간 옵셋을 가지고 누적확산을 하는 OCC-OSS-CDMA 시스템의 비트오율 성능을 분석하였다. 이 시스템은 AWGN 환경에서 사용자 간 간섭이 없으며, 기존 DS-CDMA에 비해 주파수 이용 효율이 높다는 장점이 있지만 누적확산에서 코드간 중첩율이 높을수록(즉 확산효율을 높일수록) 확산기 출력의 심볼 수가 증가하여 MPSK로 심볼을 변조하여 전송하는 경우 채널의 영향을 쉽게 받는다는 단점이 있다. 본 논문에서는 누적확산기 출력 심볼을 레벨 클리핑하여 적은 수의 심볼레벨을 MPSK 변조하여 전송하는 방안을 제안하였다. 제안

된 방식을 레벨 클리핑하지 않는 시스템과 비교하여 비트오율 성능을 분석하여 타당성을 확인하였다. 제안된 방식을 사용하면 기존 DS-CDMA의 단점인 매우 낮은 대역폭 효율을 개선할 수 있으므로 확산에 의한 장점을 유지할 수 있으므로 고속의 데이터 서비스를 제공하는 무선통신 시스템에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] H. H. Chen, J. F. Yeh, and N. Seuhiro, "A Multicarrier CDMA Architecture Based on Orthogonal Complementary Codes for New Generations of Wideband Wireless Communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 10, Oct. 2001, pp. 126-135.
- [2] B. J. Wysokcki and T. A. Wysokcki, "Orthogonal binary sequence with wide range of correlation properties," *ISCTA'01*, Ambleside, Lake District, U.K., 2001.
- [3] 이원창, 김명진, "비동기식 DS-CDMA 시스템을 위한 변형 Walsh 코드의 상호상관 특성과 다중 사용자 환경에서의 성능 분석", *대한전자공학회 추계 학술발표대회*, 제30권, 제2호, 2007년 11월
- [4] M. J. E. Golay, "Complementary Sequences," *IRE Trans. Info. Theory*, vol. IT-7, 1961, pp. 82-87.
- [5] R. Turyn, "Ambiguity Function of Complementary Sequences," *IRE Trans. Info. Theory*, vol. IT-9, 1963, pp. 46-47.
- [6] H. H. Chen, H. W. Chiu, and M. Guizani, "Orthogonal Complementary Codes for Interference-Free CDMA Technologies," *IEEE Wireless Commun.*, Feb. 2006, pp. 68-79.
- [7] H. H. Chen et. al., "Generalized Pairwise Complementary Codes With Set-Wise Uniform Interference-Free Windows," *IEEE JSAC*, vol. 24, no. 1, Jan. 2006, pp. 65-74.

저 자 소 개



김 명 진(정회원)
 1982년 서울대학교 제어계측 공학과 (학사)
 1984년 서울대학교 제어계측 공학과 (석사)
 1992년 University of Minnesota 전기공학과 (박사)

<주관심분야 : 이동통신, WPAN, 통신신호처리>