Bi-Orthogonal Modulation을 이용한 Multi-code Parallel Combinatory CDMA System의 성능 개선 및 진폭 변동 감소 방안

임승환, 신요안†
숭실대학교 정보통신전자공학부
†전화 : 02-820-0632 / 팩스 : 02-821-7653

Performance Improvement and Envelope Variation Reduction of Multi-Code Parallel Combinatory CDMA Systems Using Bi-Orthogonal Modulation

Seung-Hwan Lim and Yoan Shin†
School of Electronic Engineering
Soongsil University
†E-mail : yashin@logos.soongsil.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, we present a multi-code parallel combinatory CDMA system using bi-orthogonal modulation to reduce envelope variation and improve bit error rate (BER) performance. In general, the dynamic range of the amplitude of the transmit signal is very large in the case of conventional multi-code CDMA systems, resulting in severe nonlinear distortion due to high power amplifier and thus significant BER performance degradation. The proposed system exhibits reduction of peak-to-average power ratio (PAPR) of the transmit signal amplitudes and significant performance improvement. We verify the performance of the proposed system by computer simulations under AWGN channel and flat fading channel.

1. 서 론

현재 2세대 셀룰라 이동 통신을 위해 널리 사용되고 있는 DS-CDMA 시스템[1]은 3세대 IMT-2000 시스템에서 고려하는 수백 kbps - 수 Mbps까지의 다양한 전송율의 고속 데이터를 충분한 처리 이득을 확보하면서 전송하기에는 적합하지 않다. 그러므로 3GPP 등의 IMT-2000 시스템에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 고속 데이터를 다수의 저속 데이터로 직렬-병렬 변환하여 이들 저속 데이터들을 채널화 부호의 직교성을 이용하여 서로 다른 부호 채널로 구분 전송하는 multi-code CDMA 방식[2]의 사용을 제안하고 있다[3]. Multi-code CDMA 방식은 DS-CDMA에서와 같이 Rake 수신기를 사용하여 다중 경로 채널의 주파수 선택적 페이딩의 영향을 상쇄시킬 수 있으며 소프트 핸드오프와 주파수 재사용 등과 같은 DS-CDMA 시스템의 이점들을 그대로 사용할 수 있는 방법이지만, 병렬 변환된 데이터를 합하여 전송하고 특히 여러 사용자가 다원 접속하는 경우 다중 레벨 진폭 특성을 갖게 되므로 정진폭 특성을 유지하는 시스템에 비해 고출력 증폭기의 비선형성에 의한 심각한 왜곡을 겪게된다[4].

본 논문에서는 multi-code CDMA 시스템의 다중 진폭 레벨 특성을 감소시키는 방안으로 bi-orthogonal modulation을 이용한 multi-code parallel combinatory CDMA 시스템을 제안하고, 각 부호 채널마다 채널 부호를 사용하는 기존의 multi-code CDMA 시스템 및 bi-orthogonal 변조를 이용한 multi-code CDMA 시스템[5]과의 성능을 검증하고자 한다.

이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 절에서는 기존의 multi-code CDMA 시스템의 구조 및 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템의 구조에 관하여 간략히 기술한다. 3 절에서는 이들 기존 시스템의 다중 레벨 진폭 특성 문제점과 이에 대한 해결 방안을 기술하고, 4 절에서는 이러한 해결 방안에 근거한 제안 방식에 대하여 설명한다. 5 절에서는 부가성 백색 가우시안 (AWGN) 채널과 flat fading 채널에 대한 이들 시스템의 모의 실험 결과를 확인하며, 마지막으로 6 절에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 Multi-Code CDMA 시스템 및 Bi-Orthogonal Modulation 기반의 Multi-Code CDMA 시스템

그림 1은 각 채널별로 길쌈부호기와 블록 인터리버를 사용하는 기존의 multi-code CDMA 시스템 송신기 구조를 보여준다. 여기서 먼저 비트 간격이 T인 입력 이진 데이터는 M개의 부호채널로 병렬화되며, 따라서 각 채널의 데이터 시퀀스는 비트 간격이 $T_w = MT$가 된다. 여기서 각 채널별로 M비트 채널화 부호 (본 연구에서는 Walsh 시퀀스)를 곱한 후 이들 M개 부호 채널을 더하고 I-채널 및 Q-채널 PN 부호에 의하여 확산하여 전송한다. 그림 2는 이 시스템의 Rake 수신기 구조로서 다이버시티 결합된 데이터들이 디인터리버와 비터비 복호기와 같은 송신기의 역과정을 거쳐 복호되는 과정을 도시한다.

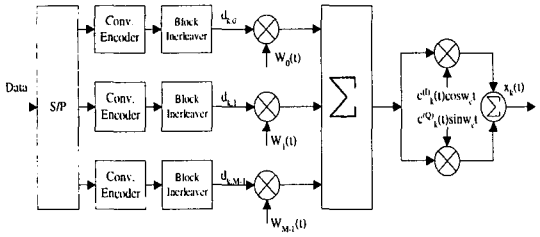

그림 1 : 기존의 multi-code CDMA 시스템의 송신기 구조.

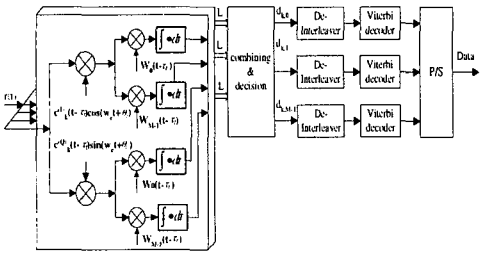

그림 2 : 기존의 multi-code CDMA 시스템의 Rake 수신기 구조.

그림 3은 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템 송신기 구조를 도시한다. 직렬-병렬 변환 후 각 부호채널에 채널 부호를 적용하는 기존의 multi-code CDMA와는 달리, 이 시스템은 입력 데이터에 부호율 1/2인 길쌈부호와 인터리버를 먼저 적용한 후 직렬-병렬 변환을 수행한다. 병렬 변환된 비트 간격 $T_w = M/2\,T$인 M개의 병렬 비트들은 M개 bi-orthogonal 부호 (즉 $M/2$개의 Walsh 시퀀스와 이들에 대한 $M/2$개 anti-podal 시퀀스)에 의해 각각 곱해진 후 직교성을 만족하는 $M/2$개씩 합해져서 각각 I-채널과 Q-채널PN 부호에 의해 확산되어 해당 직교 반송파에 의해 전송된다[5]. 이 시스템은 기존의 multi-code CDMA 방식과 유사한 성능을 보이면서 단 하나의 길쌈부호기 및 인터리버만이 필요하여 구현시 크게 복잡도를 줄일 수 있으나, 역시 다중 레벨 진폭의 문제점을 피할 수 없다.

그림 4는 이 방식의 Rake 수신기 구조로서 다이버시티 결합된 신호가 병렬-직렬 변환기를 거쳐 최종적으로 디언터리버와 비터비 복호기를 통해 복조된다는 점이 그림 2의 수신기와의 차이점이다.

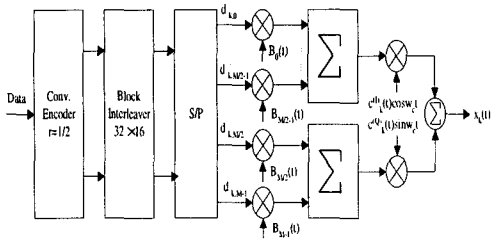

그림 3 : Bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템의 송신기 구조.

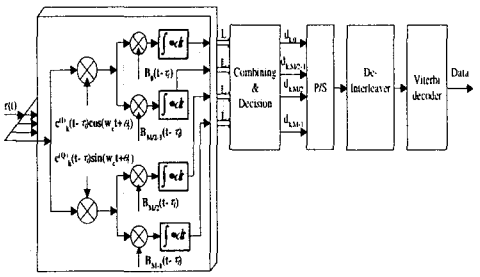

그림 4 : Bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템의 Rake 수신기 구조.

3. Multi-Code CDMA 시스템의 다중 진폭 레벨의 문제점 및 개선 방안

기존의 multi-code CDMA 시스템에서 i번째 사용자의 M개의 데이터 비트열 d_i^M을 식 (1)과 같이 병렬 변환된 이들 각각의 데이터 비트와 Walsh 시퀀스를 곱한 후 더한 송신 신호 s_i^M를 식 (2)로 표현하자.

$$d_i^M = [\,d_{i,0}\;\; d_{i,1}\;\; d_{i,2}\;\cdots\; d_{i,M-2}\;\; d_{i,M-1}\,] \qquad (1)$$

$$s_i^M = [\,s_{i,0}\;\; s_{i,1}\;\; s_{i,2}\;\cdots\; s_{i,M-2}\;\; s_{i,M-1}\,] \qquad (2)$$

표 1은 4×4 Walsh 부호를 사용한 경우 기존의 multi-code CDMA 송신 신호의 진폭 형태와 순시 전력을 보여주며, 이 때 평균 전력은 4 Watt, 최대 순시 전력은 16 Watt가 되므로 최대 순시 전력과 평균 전력의 비인 peak-to-average power ratio (PAPR)는

$$\mathrm{PAPR} = 10\,\log_{10}\frac{16}{4} = 10\,\log_{10} M = 6.02\,[\,\mathrm{dB}\,] \qquad (3)$$

가 된다. 일반적으로 부호수 M이 증가함에 따라 PAPR이 증가하고 고출력 증폭기의 비선형 특성으로 인해 multi-code CDMA 시스템의 성능이 크게 열화되는 요인으로 작용한다[4].

본 연구에서 제안된 시스템은 multi-code 방식의 구현을 위해 데이터를 parallel combinatory 방식[6]으로 부호화하며 따라서 병렬 변환 후 더해지는 신호의 개수를 $1/m$배만큼 줄이므로써 PAPR을 감소시켜 고출력 증폭기의 비선형 왜곡에 대한 시스템 성능 저하를 개선한다.

표 1 : 기존의 multi-code CDMA 시스템 송신 신호의 진폭 패턴과 이 때의 순시 전력 (4×4 Walsh 부호 사용).

i	d_i^M	$s_{i,0}$ $s_{i,1}$ $s_{i,2}$ $s_{i,3}$	순시 전력
0	(0 0 0 0)	-4 0 0 0	16 0 0 0
1	(0 0 0 1)	-2 -2 -2 2	4 4 4 4
2	(0 0 1 0)	-2 2 -2 -2	4 4 4 4
3	(0 0 1 1)	0 0 -4 0	0 0 16 0
4	(0 1 0 0)	-2 -2 2 -2	4 4 4 4
5	(0 1 0 1)	0 -4 0 0	0 16 0 0
6	(0 1 1 0)	0 0 0 -4	0 0 0 16
7	(0 1 1 1)	2 -2 -2 -2	4 4 4 4
8	(1 0 0 0)	-2 2 2 2	4 4 4 4
9	(1 0 0 1)	0 0 0 4	0 0 0 16
10	(1 0 1 0)	0 4 0 0	0 16 0 0
11	(1 0 1 1)	2 2 -2 2	4 4 4 4
12	(1 1 0 0)	0 0 4 0	0 0 16 0
13	(1 1 0 1)	2 -2 2 2	4 4 4 4
14	(1 1 1 0)	2 2 2 -2	4 4 4 4
15	(1 1 1 1)	4 0 0 0	16 0 0 0

4. 제안된 Bi-Orthogonal Modulation 기반의 Multi-Code Parallel Combinatory CDMA 시스템

그림 5는 본 연구에서 제안하는 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code parallel combinatory CDMA (MCPC-CDMA) 방식의 송신기 구조를 나타낸다. 여기서 먼저 입력 데이터는 [5]의 방식과 유사하게 부호율 1/2인 길쌈부호기와 인터리버를 거쳐 $2mG$개의 부호채널로 병렬화되고, 이들 병렬 데이터는 m개씩 그룹화 된다. 이들 그룹화된 m 비트 데이터에 하나의 bi-orthogonal 시퀀스가 대응되어 전송된다. 이 때 I-채널에 해당하는 $k(k=0,\cdots,G-1)$번째 그룹의 m 비트에는 $2^mG\times 2^mG$ Walsh 부호의 하나의 시퀀스가 대응되고, Q-채널에 해당하는 $k(k=0,\cdots,G-1)$번째 그룹의 m 비트에는 $2^mG\times 2^mG$ Walsh 부호에 anti-podal한 하나의 시퀀스가 대응된다. 이렇게 각 부호채널마다 대응된 bi-orthogonal 시퀀스는 I-채널 및 Q-채널 각각 G개씩 합해져 PN 부호에 의해 확산된 후 해당 직교 반송파에 의해 전송된다.

병렬화되는 부호채널의 수가 $2mG$로 동일할 때 기존의 bi-orthogonal multi-code CDMA 시스템[5]은 I-채널 및 Q-채널 각각에 mG개의 채널이 더해져 확산되어 전송되는데 비해, 제안된 시스템에서는 G개의 채널이 더해지게 되어 $1/m$배만큼 감소하고 따라서 PAPR이 줄어들게 된다. 또한 [5]의 기존 방식과 유사하게 I-채널 및 Q-채널 각각에 대해 더해지는 부호채널 데이터들은 Walsh 시퀀스 혹은 이의 anti-podal 시퀀스의 직교성에 의해 구분되며, I-채널과 Q-채널의 전송 신호는 반송파에 의해 직교성이 보장된다.

그림 6은 제안된 시스템의 Rake 수신기 구조를 나타낸다. 하나의 경로를 고려할 때, 수신 신호는 I-채널 및 Q-채널로 나뉘어 해당 PN 부호에 의해 역확산된 후 각 채널마다 2^mG개의 상관기 뱅크 (correlator bank)를 통과한다. 여기서 G개의 그룹 각각마다 주어진 2^m개의 상관기 출력 중 가장 큰 값을 선택하고, 다른 경로 결과와 다이버시티 결합 후 비트 결정하여 디인터리버와 비터비 복호기를 거쳐 최종 복조된다.

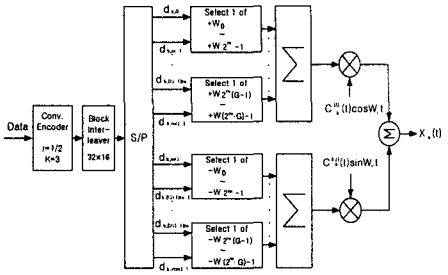

그림 5 : 제안된 MCPC-CDMA 시스템의 송신기 구조.

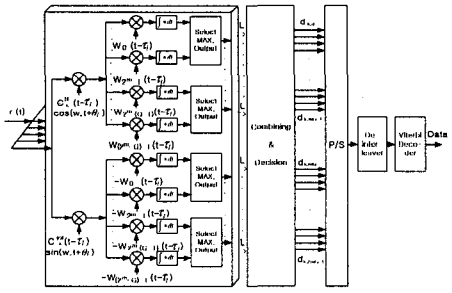

그림 6 : 제안된 MCPC-CDMA 시스템의 Rake 수신기 구조.

5. 모의 실험 결과

성능 평가를 위해 AWGN 채널과 flat fading 채널에 대해 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에서 사용된 시스템 구성은 다음 표 2와 같다. 모든 경우에 대해 반송파 주파수 1.8 GHz, 이동체 속도 120 Km/h로 가정하였으며, 수신기에서 전송 지연 및 채널 진폭/위

상 특성을 완벽히 추정하였다고 가정하였다.

표 2 : 모의 실험에 사용된 각 시스템의 구성.

	기존의 multi-code 시스템	Bi-orthogonal multi-code 시스템	제안 시스템	
			m=4	m=2
Orthogonal Code	32×32	32×16	128×64	64×32
Conv. encoder rate=1/2, K=3	각 채널별로 (M=32) 사용	1 개 사용		
Viterbi decoder	각 채널별로 (M=32) 사용	1 개 사용		
Interleaver (32×16)	각 채널별로 (M=32) 사용	1 개 사용		
PN code	30 (2N)	60 (4N)	15 (N)	30 (2N)
Chip Rate	3.84 Mcps			

표 3 : 각 시스템의 PAPR 비교.

	기존의 multi-code 시스템	Bi-orthogonal multi-code 시스템	제안 시스템	
			m=4	m=2
데이터 수	1,000,000			
최대 순시 전력 (이론치)	1024+1024	256+256	16+16	64+64
평균 전력	64	32	8	16
최대 순시 전력 (실험치)	1352	356	32	128
PAPR [dB]	13.25	10.46	6.02	9.03

표 3은 각 시스템의 PAPR 이론치와 실험에 의해 구해진 값을 비교하며, $m=4$인 제안 시스템의 경우 기존의 multi-code CDMA 및 bi-orthogonal CDMA 방식보다 약 7.23 dB 및 4.44 dB ($M=32$) 개선된 사실을 알 수 있다. 그림 7과 8은 각각 AWGN 채널과 flat fading 채널에서 15명의 사용자가 동기식으로 다원 접속 시 각 시스템의 BER 성능을 비교한다. 이 결과로부터, $m=4$인 제안된 시스템이 다른 시스템들에 비해 월등히 좋은 BER 성능을 나타냄을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 multi-ocde CDMA 방식의 큰 PAPR을 감소함과 동시에 BER 성능을 개선할 수 있는 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code parallel combinatory CDMA (MCPC-CDMA) 방식을 제안하였다. 제안된 MCPC-CDMA에서는 병렬화된 부호채널의 그룹화를 통해 PAPR을 감소시킬 수 있었으며, bi-orhtogonal modulation을 이용하므로써 단지 하나의 채널부호기와 인터리버를 사용하고도 각 부호채널에 이들을 이용하는 기존의 multi-code CDMA 보다 AWGN 채널과 flat fading 채널에서 더욱 우수한 성능을 얻을 수 있었다. 본 논문의 모의 실험에서는 이상적인 고출력 증폭기를 가정하여 각 시스템의 상이한 PAPR이 성능에 미치는 영향을 볼 수 없었으나, 실제 비선형 특성을 갖는 고출력 증폭기가 사용되면 낮은 PAPR에 의해 본 제안 시스템과 기존 시스템과의 성능 차이가 더욱 크게 나타나리라 기대되며, 추후 이러한 방향으로 연구가 진행될 예정이다.

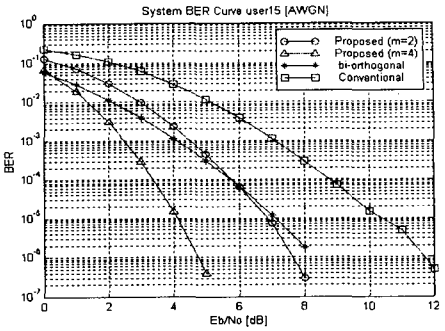

그림 7 : 15명 사용자가 동기식 다원 접속하였을 때 AWGN 채널에서 각 시스템의 BER 성능 비교.

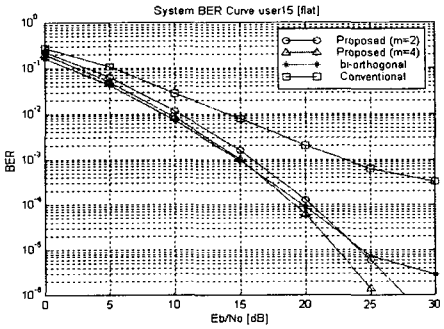

그림 8 : 15명 사용자가 동기식 다원 접속하였을 때 flat fading 채널에서 각 시스템의 BER 성능 비교.

참 고 문 헌

[1] A. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.

[2] C.-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," *Proc. ICC '95*, vol. 2, pp. 1060-1064, June 1995.

[3] ARIB, *Japanese Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000: W-CDMA*, Proposal submitted to ITU-R, June 1998.

[4] 김동구, 안철용, 권동승, 박한규, "비선형 증폭기를 고려한 Multi-Code CDMA 시스템의 성능 분석 및 보상," *한국통신학회논문지*, vol. 24, no. 1B, 1999년 1월.

[5] 한재광, 신요안, "Bi-orthogonal 변조 이용한 multi-code CDMA 방식의 성능 개선," *대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집*, pp. 29-32, 2000년 6월.

[6] S. Sasaki *et al.*, "parallel combinatorial CDMA systems in Rician fading multipath channels," *Proc. MDMC '96*, pp.690-694, July 1996.