

다중 경로 페이딩 채널에서 Bi-orthogonal Modulation을 이용한 Multi-code Parallel Combinatory CDMA System의 성능 개선

임승환, 신요안[†]

승실대학교 정보통신전자공학부

[†]전화 : 02-820-0632 / 팩스 : 02-821-7653

Performance Improvement of Multi-Code Parallel Combinatory CDMA Systems Using Bi-Orthogonal Modulation under Multipath Fading Environment

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 the performance of a multi-code parallel combinatory CDMA system using bi-orthogonal modulation under multipath fading channel. In general, the dynamic range of the amplitude of the transmit signal is very large in conventional multi-code CDMA systems, resulting in severe nonlinear distortion due to high power amplifier and thus significant BER performance degradation. Since the number of simultaneously multiplexed code channels in the proposed system is reduced, the proposed system exhibits reduction of peak-to-average power ratio (PAPR) of the transmit signal amplitude with significant BER improvement. We verify the performance of the proposed system by computer simulations under the Vehicular B multipath fading channel model by ARIB.

1. 서론

현재 3GPP 등의 IMT-2000 시스템에서는 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[1]의 사용을 제안하고 있다[2]. 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[3]. 이러한 문제점을 개선하기 위해 우리는 multi-code parallel combinatory CDMA (MCPC-CDMA) 시스템[4]과 bi-orthogonal modulation을 결합한 새로운 시스템[5]을 제안하여 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN) 채널과 flat 페이딩 채널하에서 기존의 multi-code CDMA 시스템에 비해 더욱 우수한 비트오율(BER) 성능을 나타냄을 확인하였다.

본 논문에서는 ARIB의 Vehicular B 다중 경로 채널 환경하에서, 참고문헌 [5]에서 우리가 제안한 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code parallel combinatory CDMA 시스템과 각 부호 채널마다 길쌈 부호기와 블록 인터리버를 사용하는 기존의 multi-code CDMA 시스템[1] 및 bi-orthogonal 부호를 이용한 multi-code CDMA 시스템[6]과의 성능을 검증하고자 한다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 절에서는 기존의 multi-code CDMA 시스템의 구조 [1] 및 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템의 구조[6]에 관하여 간략히 기술한다. 3 절에서는 제안된 시스템의 구조에 대하여 기술한다. 4 절에서는 ARIB의 Vehicular B 채널 환경하에서 이들 시스템에 대한 모의실험 결과를 확인하며, 마지막으로 5 절에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 Multi-Code CDMA 시스템 및 Bi-Orthogonal 부호를 이용한 Multi-Code CDMA 시스템

그림 1은 각 채널별로 길쌈부호기와 블록 인터리버를 사용하는 기존의 multi-code CDMA 시스템[1] 송신기 구조를 보여준다. 여기서 먼저 비트 간격이 T 인 입력 이진 데이터는 M 개의 부호채널로 병렬화되며, 따라서 각 채널의 데이터 시퀀스는 비트 간격이 $T_w \equiv MT$ 가 된다. 여기서 각 채널별로 M 비트 채널화 부호 (본 연구에서는 Walsh 시퀀스)를 곱한 후 이들 M 개 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.

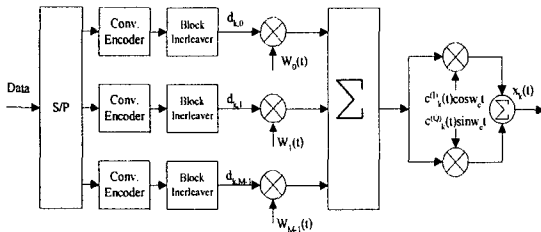


그림 1 : 기존 multi-code CDMA 시스템 송신기 구조.

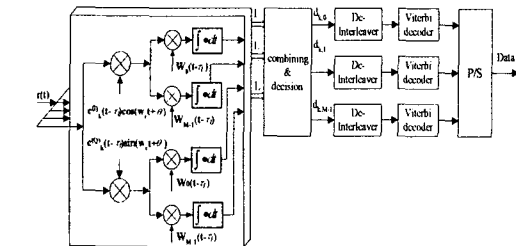


그림 2 : 기존 multi-code CDMA 시스템의 Rake 수신기 구조.

그림 3은 bi-orthogonal 부호를 이용한 multi-code CDMA 시스템[6] 송신기 구조를 도시한다. 직렬-병렬 변환 후 각 부호채널마다 길쌈부호기와 인터리버를 적용하는 기존의 multi-code CDMA와는 달리, 이 시스템은 입력 데이터에 부호율 1/2인 길쌈부호기와 인터리버를 먼저 적용한 후 직렬-병렬 변환을 수행한다. 병렬 변환된 비트 간격 $T_w = M/2 T$ 인 M 개의 병렬 비트들은 M 개 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 확

산되어 해당 직교 반송파에 의해 전송된다[6]. 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.

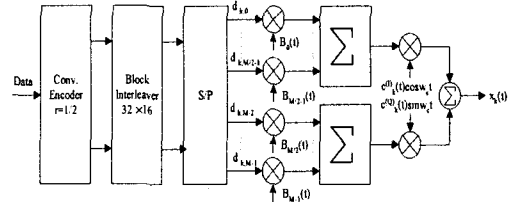


그림 3 : Bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템 송신기 구조.

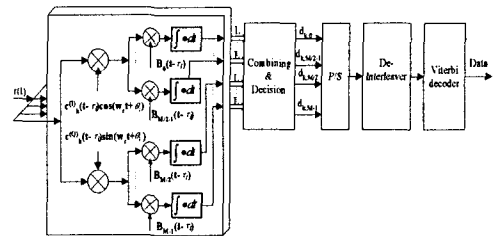


그림 4 : Bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code CDMA 시스템의 Rake 수신기 구조.

그림 4는 이 방식의 Rake 수신기 구조로서 다이버시티 결합된 신호가 병렬-직렬 변환기를 거쳐 최종적으로 디인터리버와 비터비 복호기를 통해 복조된다. 이는 그림 2의 수신기와 차이점이다.

3. Bi-Orthogonal Modulation 기반의 제안된 Multi-Code Parallel Combinatory (MCPC)-CDMA 시스템

그림 5는 참고문헌 [5]에서 우리가 제안하고 본 논문에서 이용하는 MCPC-CDMA 시스템 송신기 구조를 나타낸다. 입력 데이터는 참고문헌 [6]의 방식과 유사하게 부호율 1/2인 길쌈부호기와 인터리버를 거쳐 $2mG$ 개의 부호채널로 병렬화되고, 이들 병렬 데이터는 m 개씩 그룹화 된다. 이들 그룹화된 m 비트 데이터에 하나의 bi-orthogonal 시퀀스가 대응되어 전송된다. Walsh 부호를 할당하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$W_{index}^k = C_0 + 2C_1 + 4C_2 + \dots + 2^{m-1}C_{m-1} + (2^m \cdot k) \quad (1)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots, G-1)$$

이 때 I-채널에 해당하는 k 번째 그룹의 m 비트는 $2^m G \times 2^m G$ Walsh 부호의 하나의 시퀀스가 대응되고, Q-채널에 해당하는 k 번째 그룹의 m 비트는 $2^m G \times 2^m G$ Walsh 부호에 anti-podal한 하나의 시퀀스가 대응된다. 이렇게 각 부호채널 마다 대응된 bi-orthogonal 시퀀스는 I-채널 및 Q-채널 각각 G 개씩 합해져 PN 부호에 의해 확산된 후 해당 직교 반송파에 의해 전송된다. 또한 참고문헌 [6]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.

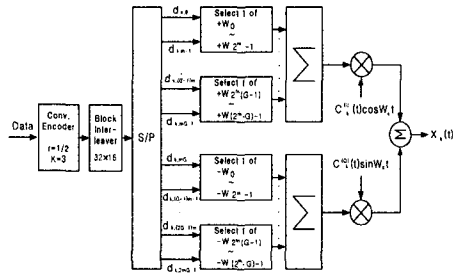


그림 5 : Bi-orthogonal modulation 기반의 제안된 MCPC-CDMA 시스템의 송신기 구조.

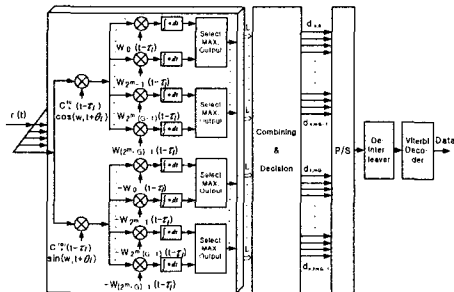


그림 6 : Bi-orthogonal modulation 기반의 제안된 MCPC-CDMA 시스템 Rake 수신기 구조.

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

표 1은 $2mG = 32$ 로 고정시킨 후 각 시스템의 이론

값과 실험에 의해 구해진 PAPR 값을 비교하며, $m=4$ 인 제안된 시스템의 경우 기존의 multi-code CDMA 및 bi-orthogonal 부호를 이용한 다중부호 CDMA 방식보다 약 7.23 dB 및 4.44 dB PAPR이 개선됨을 나타내고 있다.

표 1 : 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

4. 모의실험 결과

제안된 시스템의 성능 평가를 위해 ARIB에서 IMT-2000 채널 모델로 제안한 Vehicular B 채널 모델 [7] 환경 하에서 단일 사용자와 15명의 다중 사용자가 동기식으로 접속하는 경우에 대해 모의실험을 수행하였다. 완벽한 전력 제어 (즉 near-far ratio = 0 dB)를 가정함으로써 E_b/N_0 에 따른 BER의 변화를 추정했으며, 모의실험에서 사용된 시스템 구성은 다음 표 2와 같다.

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 사용 (M=32)	1 개 사용		
Viterbi Decoder	각 채널별로 사용 (M=32)	1 개 사용		
Interleaver (32×16)	각 채널별로 사용 (M=32)	1 개 사용		
PN code	30 (2N)	60 (4N)	15 (N)	30 (2N)
Chip Rate	3.84 Mcps			

모의실험을 위해, 모든 경우에 대해 반송 주파수 1.8 GHz, 이동체 속도 120 Km/h로 가정하였으며, 각 다중 경로 성분의 페이딩 진폭 특성은 Jakes 방법[8]에 의해서 생성하였다. 또한 Rake 수신기에서는 전송 시간 지연, 채널의 크기 및 위상 왜곡을 완벽히 추정했다고 가정하였고, MRC (maximal ratio combining)를 이용

한 다이버시티를 고려하였다. 표 3은 사용된 채널 모델의 탭지연선 파라미터를 정리하여 보여 준다.

표 3 : Vehicular B 채널 모델의 탭지연선 파라미터.

Tap #	Relative delay (nsec)	Average power (dB)	Doppler Spectrum
1	0	-2.5	Classic
2	300	0	Classic
3	8,900	-12.8	Classic
4	12,900	-10.0	Classic
5	17,100	-25.2	Classic
6	20,000	-16.0	Classic

그림 7과 8은 각각 단일 사용자 및 15명의 다중 사용자가 접속하였을 때 BER 성능을 비교한다.

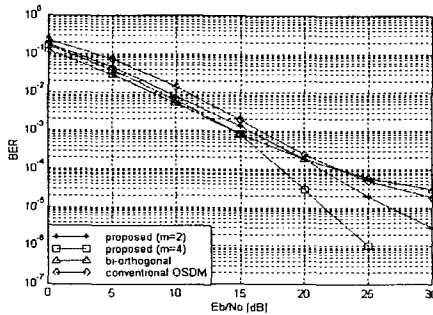


그림 7 : 비트오율 성능 비교 (단일 사용자).

10^{-4} 의 비트오율을 위해 단일 사용자인 경우, $m=4$ 인 경우의 제안된 시스템이 다른 시스템에 비해 약 4 - 10 dB 가량의 성능 향상이 있었고, 15명의 사용자인 경우는 E_b/N_0 를 25 dB에 고정시키고 비트오율을 비교하면, 제안된 $m=4$ 인 시스템은 약 10^{-4} 정도의 비트오율 성능을 보여주는 반면, 제안된 $m=2$ 인 경우의 시스템은 약 10^{-2} , 기존의 다중 부호 CDMA 시스템과 bi-orthogonal 부호를 이용한 다중 부호 CDMA 시스템은 각각 약 10^{-1} 근처에서 error floor 현상이 나타나는 것을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 multi-code CDMA 방식의 문제점인 큰 PAPR을 감소함과 동시에 BER 성능을 개선할 수 있는 bi-orthogonal modulation 기반의 multi-code parallel combinatory CDMA (MCPC-CDMA) 방식을 다중경로 채널 환경하에서 평가하였다. 제안된 MCPC-CDMA에서는 병렬화된 부호채널의 그룹화를 통해 PAPR을 감소시킬 수 있으며, bi-orthogonal modulation을 이용하므로써 단지 하나의

길쌈부호기와 인터리버를 사용하고도 각 부호 채널에 이들을 이용하는 기존의 multi-code CDMA 보다 다중 경로 페이딩 채널에서 상당히 우수한 성능을 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 이상적인 고출력 증폭기를 가정하여 각 시스템의 상이한 PAPR이 성능에 미치는 영향을 볼 수 없었으나, 실제 비선형 고출력 증폭기가 사용되면 낮은 PAPR에 의해 본 제안 시스템과 기존 시스템과의 성능 차이가 더욱 크게 나타나리라 기대되며, 추후 이러한 방향으로 연구가 진행될 예정이다.

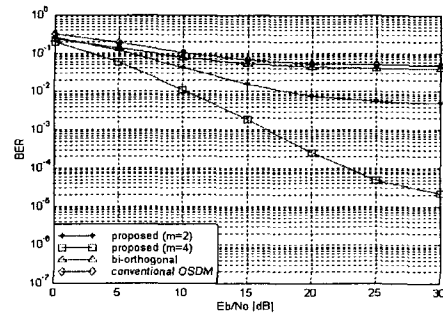


그림 8 : 비트오율 성능 비교 (15명 사용자).

참고 문헌

- [1] C.-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," *Proc. ICC '95*, vol. 2, pp. 1060-1064, June 1995.
- [2] ARIB, *Japanese Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000: W-CDMA*, Proposal submitted to ITU-R, June 1998.
- [3] 김동구, 안철용, 권동승, 박한규, "비선형 증폭기를 고려한 Multi-Code CDMA 시스템의 성능 분석 및 보상," *한국통신학회논문지*, vol. 24, no. 1B, 1999년 1월.
- [4] S. Sasaki *et al.*, "Parallel combinatorial CDMA systems in Rician fading multipath channels," *Proc. MDMC '96*, pp.690-694, July 1996.
- [5] 임승환, 신요안, "Bi-orthogonal Modulation을 이용한 multi-code parallel combinatory CDMA system의 성능 개선 및 진폭변동 감소 방안," *신호처리합동학술대회 논문집*, pp 951-954, 2000년 9월
- [6] 한재광, 신요안, "Bi-orthogonal 변조 이용한 multi-code CDMA 방식의 성능 개선," *대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집*, pp. 29-32, 2000년 6월.
- [7] ARIB, *Evaluation Methodology for IMT-2000 Radio Transmission Technology (Ver. 1)*, June 1998.
- [8] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*, Kluwer Academic Publisher, 1996.