

# Bi-Orthogonal 변조를 이용한 Multi-Code CDMA 시스템의 성능 개선

한재광, 신요안<sup>†</sup>

승실대학교 정보통신전자공학부

<sup>†</sup>전화 : 02-820-0632 / 팩스 : 02-821-7653

## Performance Improvement of Multi-Code CDMA Systems Using Bi-Orthogonal Modulation

Jae-Kwang Han and Yoan Shin<sup>†</sup>

School of Electronic Engineering

Soongsil University

<sup>†</sup>E-mail : yashin@logos.soongsil.ac.kr

### ABSTRACT

In this paper, we present an extension of the multi-code CDMA (code division multiple access) systems based on bi-orthogonal modulation by employing a convolutional encoder and an interleaver before serial-to-parallel conversion in the modulator. Bandwidth expansion by the convolutional encoder can be compensated for by the bi-orthogonal modulation, and the interleaver in the system scrambles the convolutionally encoded data bits so that, after serial-to-parallel conversion, each code channel conveys those bits far apart in time. The result is that the proposed system with several order of magnitude less implementational complexity, achieves quite close performance of the conventional systems comprised of Walsh modulation and multiple convolutional encoders and interleavers in all the code channels.

### 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 전송률의 고속 데이터를 충분한 처리 이득을 확보하면서 전송하기에는 적합하지 않다. 따라서 3 GPP IMT-2000 시스템에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 고속 데이터를 다수의 저속 데이터로 직렬-병렬 변환하여 이들 저속 데이터들을 Walsh 부호의 직교성을 이용하여 서로 다른 부호 채널로 구분 전송하는 multi-code CDMA 방식[2,3,4]의 사용을 제안하고 있다[5]. Multi-code CDMA 방식은 DS-CDMA에서와 같이 Rake 수신기를 사용하여 다중 경로 채널의 주파

수 선택적 페이딩의 영향을 상쇄시킬 수 있는 등 DS-CDMA의 이점들을 그대로 사용할 수 있는 방법이다.

기존의 multi-code CDMA 방식들은 병렬 변환된 각 부호 채널을 별도의 독립적인 채널로 간주하여 이들 각각에 길쌈부호(convolutional code)와 같은 오류 정정부호 및 블록 인터리버(block interleaver)를 사용하여 성능을 개선한다[3]. 그러나 이는 복조기에서 많은 계산량을 요구하는 비터비 복호기(Viterbi decoder) 등을 각 채널마다 사용하므로써 전체 시스템의 복잡도가 부호 채널의 수에 비례하여 크게 증가한다.

본 논문에서 고속 입력 데이터의 직렬-병렬 변환 전에 하나의 길쌈부호와 블록 인터리버를 사용하고, Walsh 부호를 이용하여 부호 채널들을 구분하는 대신 bi-orthogonal 부호를 이용하여 구분하여 전송하는 새로운 multi-code CDMA 방식을 제안하고 이의 성능을 모의 실험을 통해 확인하고자 한다. 제안된 시스템에서는 길쌈부호기를 직렬-병렬 변환 전에 사용하므로써 전송률이 증가하나 이러한 증가는 bi-orthogonal 부호를 이용하여 보상할 수 있다. 또한 각 부호 채널마다 길쌈부호와 인터리버를 사용하는 기존의 방식에 비해 간단한 구조를 갖게 된다.

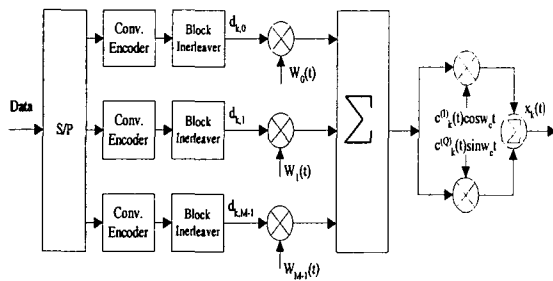
본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음절에서는 기존의 multi-code CDMA 시스템에 대하여 기술하고, 3 절에서는 bi-orthogonal 변조 기반의 새로운 multi-code CDMA 시스템을 제안한다. 4 절에서는 제안된 방식의 성능을 ARIB에서 제안한 IMT-2000용 채널 모델인 vehicular B 모델[5]에 대한 모의 실험을 통해 확인하며, 마지막으로 5 절에서 결론을 맺는다.

## 2. 기존의 multi-code CDMA 시스템

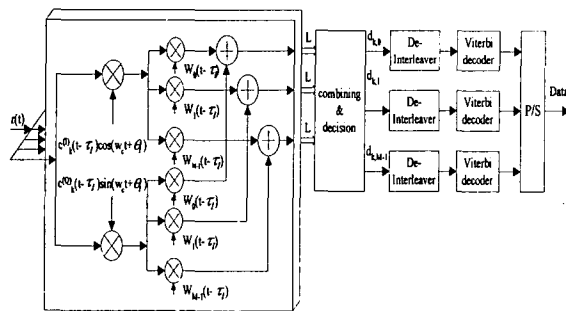
기존의 multi-code CDMA 시스템에서 동시 전송을 위한 다중화 방법은 신호의 직교성에 기반을 두며, 이러한 직교성의 보장을 위하여  $M \times M$  Walsh 부호를 사용한다. Walsh 부호의  $j$ 번째  $M$ -비트 시퀀스  $W_j(t)$  ( $j = 0, \dots, M-1$ )는 각 비트가 +1 또는 -1이며, 비트 간격이  $T$  (sec)일 때 한 주기인  $T_w \equiv MT$  (sec) 동안 식 (1)의 직교 조건을 만족한다.

$$\frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} W_j(t) W_k(t) dt = \begin{cases} 1, & j = k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (1)$$

$(j, k = 0, \dots, M-1)$



(a) 송신기



(b) Rake 수신기

그림 1 : 기존의 multi-code CDMA 시스템 구조.

Multi-code CDMA 방식에서는 먼저 비트 간격이  $T$ 인 입력 이진 데이터를  $M$ 개의 채널로 병렬화 한다. 이 때 각 채널의 데이터 시퀀스는 비트 간격이  $T_w = MT$ 가 되며, 여기서 각 채널별로  $M$ -비트 Walsh 시퀀스를 곱한 후 이들  $M$ 개 부호 채널을 더하고 I 채널 및 Q 채널 PN 부호에 의하여 확산하여 전송한다. 이러한 기본적인 구조에서 성능 향상을 위하여 각 채널별로 Walsh 부호에 의한 변조 전에 길쌈 부호기와 블록 인터리버를 이용하며[3], 그림 1 (a)는 이러한 경우의 송신기 구조를 도시한다. 따라서  $T_w$  동안  $k$ 번째 사용자의 송신 신호  $x_k(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_k(t) = \sum_{j=0}^{M-1} d_{k,j} W_j(t) \times [C_k^{(I)}(t) \cos \omega_c t + C_k^{(Q)}(t) \sin \omega_c t] \quad (2)$$

여기서  $d_{k,j}$  ( $j = 0, \dots, M-1$ )는 병렬 변환된  $j$ 번째 채널에서 길쌈부호기와 인터리버를 통과한 데이터 비트이며,  $C_k^{(I)}(t)$ 와  $C_k^{(Q)}(t)$  각각은 이 사용자에게 할당된 칩 간격이  $T_c$  (sec)인 I 채널과 Q 채널 PN 부호이고,  $f_c \equiv \omega_c / 2\pi$  (Hz)는 반송파 주파수이다.

그림 1 (b)는 이러한 multi-code CDMA 방식의 Rake 수신기 구조를 도시한다. 여기서 특히 블록 디인터리버 (block de-interleaver)와 비터비 복호기와 같은 송신기의 역과정이 각 채널마다 수행됨을 알 수 있다. 이렇게 많은 계산량을 요구하는 비터비 복호기 등을 각 채널마다 사용하지 않으려 기존의 multi-code CDMA 시스템은 구현 시 복잡도가 크게 증가하게 된다.

## 3. Bi-orthogonal 변조 기반의 제안된 multi-code CDMA 시스템

본 연구에서 제안하는 multi-code CDMA 시스템에서는 Walsh 부호 대신  $2M$ 개의  $M$ -비트 시퀀스로 구성된  $2M \times M$  bi-orthogonal 부호를 사용하며, 이 때  $j$ 번째 시퀀스  $B_j(t)$  ( $j = 0, \dots, 2M-1$ )는 각 비트가 1 또는 -1의 값을 가지며, 비트 간격을  $T$ 라 할 때  $T_w = MT$  동안 식 (3), (4)의 조건을 만족한다.

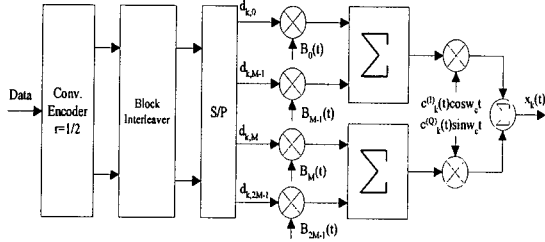
$$B_j(t) = \begin{cases} W_j(t), & j = 0, \dots, M-1 \\ -W_{j-M}(t), & j = M, \dots, 2M-1 \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} B_j(t) B_k(t) dt = \begin{cases} 1, & j = k \\ -1, & j \neq k \text{ and } |j-k| = M/2 \\ 0, & j \neq k \text{ and } |j-k| \neq M/2 \end{cases} \quad (4)$$

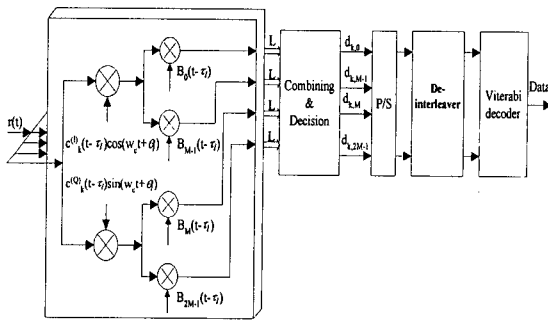
$$(j, k = 0, \dots, 2M-1)$$

따라서, bi-orthogonal 부호의 처음  $M$ 개 시퀀스  $B_j(t)$  ( $j = 0, \dots, M-1$ )와 나머지  $M$ 개 시퀀스  $B_j(t)$  ( $j = M, \dots, 2M-1$ )는 각각 직교성을 만족하며, 이들 시퀀스 군끼리는 anti-podal한 성질을 갖는다. 이러한 bi-orthogonal 부호를 이용하는 그림 2 (a)의 제안된 multi-code CDMA 시스템 송신기에서는 먼저, 비트 간격이  $T$ 인  $M$ 개 입력 데이터 비트를 보호율 (code rate)이 1/2인 길쌈부호기와 블록 인터리버를 이용하여 비트 간격이  $T/2$ 인  $2M$  비트로 부호화한다. 이들 시퀀스는 병렬 변환기를 거쳐 비트 간격

$2M(T/2) = MT = T_w$ 인  $2M$ 개의 병렬 비트로 변환되며, 이 병렬 비트들은  $2M$ 개의 bi-orthogonal 시퀀스에 의해 각기 변조된다. 여기서 주의할 점은, 병렬 변환 전에 길쌈부호기에 의해 비트 간격이 원래의 데이터에 비해 절반만큼 줄어든 시퀀스가 기존 방식과는 달리  $2M$ 개의 병렬 비트로 변환되므로써 실제 병렬 비트들의 비트 간격은 기존 방식과 동일한  $T_w$ 가 된다는 것이다.



(a) 송신기



(b) 수신기

그림 2 : Bi-orthogonal 변조 기반의 제안된 multi-code CDMA 시스템의 구조.

이러한  $2M$ 개의 부호 채널은 직교성을 만족하는  $M$ 개씩 합해져서 chip 간격  $T_c$ 인 해당 사용자의 PN I 채널 및 Q 채널 부호에 의해 각각 확산되고, 해당 직교 반송파에 의해 전송된다. 따라서, 따라서  $T_w$  동안  $k$  번째 사용자의 송신 신호  $x_k(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_k(t) = \sum_{j=0}^{M-1} d_{k,j} B_j(t) C_k^{(I)}(t) \cos \omega_c t + \sum_{j=M}^{2M-1} d_{k,j} B_j(t) C_k^{(Q)}(t) \sin \omega_c t \quad (5)$$

여기서  $d_{k,j}$  ( $j = 0, \dots, 2M - 1$ )는  $j$ 번째 병렬 데이터 비트이다. 따라서, I 채널 혹은 Q 채널의 각각의  $M$ 개 부호 채널들은 Walsh 부호를 이용하는 경우와 마찬가지로 부호의 직교성을 이용하고, 이들  $M$ 개 부호 채널끼리는 반송파의 직교성을 이용한다.

그림 2(b)의 제안된 시스템의 Rake 수신기의 구조

에서는 병렬-직렬 변환기를 거친 신호가 디인터리버와 비터비 복호기를 거치게 되며, 기존 방식과는 달리 이들 복호 블록이 각각 하나씩 필요하게 되므로,  $M$ 개씩이 필요한 기존 방식에 비해 계산량과 복잡도 측면에서 매우 우수함을 알 수 있다.

여기서 제안된 bi-orthogonal 변조 기반의 multi-code CDMA 시스템은 우리가 이미 제안한 방식 [7,8]에서 길쌈부호기와 직렬-병렬 변환기 사이에 인터리버를 추가한 형태로 구성된다. 하지만, [7,8]의 방식은 채널 부호나 인터리빙을 사용하지 않는 기존의 multi-code CDMA 방식의 성능을 개선하기 위하여 제안되었으며, 본 연구의 경우는 이러한 채널 부호와 인터리빙을 각 부호 채널에 사용하는 기존의 multi-code CDMA 방식의 계산량을 감소하면서 유사한 성능을 얻기 위하여 제안되었다는 차이가 있다.

#### 4. 모의 실험 결과

제안 방식의 성능 평가를 위해 ARIB에서 IMT-2000 채널 모델로 제안한 vehicular B 모델[6]을 이용하여 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에서 사용된 기존 및 제안 multi-code CDMA 시스템의 구성은 다음 표 1과 같다.

표 1 : 모의 실험에서 사용된 기존 및 제안 multi-code CDMA 시스템의 구성.

	기존 방식	제안 방식
직교 부호	$8 \times 8$ ( $M = 8$ ) Walsh 부호	$16 \times 8$ ( $M = 8$ ) Bi-orthogonal 부호
길쌈부호 / 비터비 복호기	각 채널별로 사용 ( $M = 8$ )	1개 사용
인터리빙 ( $32 \times 16$ )	각 채널별로 사용 ( $M = 8$ )	1개 사용
PN 부호	주기 = 31, $g(x) = x^5 + x^2 + 1$ 칩 전송률 = 3.84 Mcps	

표 2 : 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

모의 실험을 위해, 입력 데이터 전송률은 123.87 kbps, 반송주파수는 1.8 GHz, 이동체 속도는 120 km/h로 가정하였으며, 각 다중 경로 성분의 페이딩 진폭 특

성은 Jakes 방법[9]에 의해서 생성하였다. 또한 Rake 수신기에서는 전송 시간 지연, 채널의 크기 및 위상 왜곡을 완벽히 추정했다고 가정하였고, maximal ratio combining을 이용한 다이버시티를 고려하였다. 표 2는 사용된 vehicular B 채널 모델의 탭지연선(tapped-delay-line) 파라미터를 정리하여 보여 준다.

그림 3과 4는 각각 단일 사용자 및 9명의 다중 사용자가 동기식 접속하였을 때, 두 시스템의 비트오율(bit error rate; BER) 성능을 비교한다. 이들 결과로부터, 제안 시스템은 기존 시스템에 비해 약  $M=8$ 배 가량의 계산량 및 복잡도를 감소시키면서 동일한 비트오율에 대해 기존 시스템에 비해 최대 약 2 dB 가량의 성능 열화만이 발생하는 유사한 성능을 얻을 수 있다.

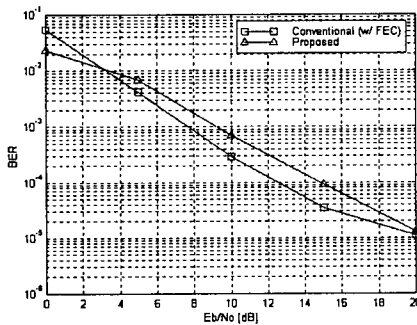


그림 3 : 단일 사용자에 대한 기존 및 제안 시스템의 비트오율 성능 비교.

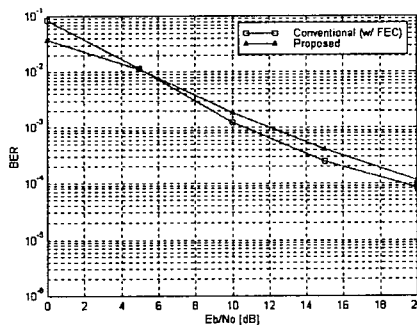


그림 4 : 9명의 다중 사용자가 동기식 접속하였을 때에 대한 기존 및 제안 시스템의 비트오율 성능 비교.

## 5. 결 론

본 논문에서 고속 입력 데이터의 작렬-병렬 변환 전에 하나의 길쌈부호기와 블록 인터리버를 사용하고, Walsh 부호를 이용하여 부호 채널들을 구분하는 대신 bi-orthogonal 부호를 이용하여 구분하여 전송하는 새로운 multi-code CDMA 방식을 제안하였다. 제안된

방식의 성능은 각 부호 채널별로 길쌈부호와 인터리버를 사용하고 Walsh 변조를 수행하는 기존의 multi-code CDMA 방식과 모의 실험을 통해 비교되었으며, 제안 방식이 최대 약 2 dB 가량의 적은 성능 열화가 있지만 시스템 구성의 복잡도 및 계산량은 제안 방식이 약  $1/M$ 로 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 추후 연구 방향으로, 이러한 제안 방식의 성능에 대한 정성적 해석이 필요하리라 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.
- [2] H. Zhang and D. Rutkowski, "Orthogonal sequence division modulation - A novel method for future broadband radio services," *Proc. Veh. Tech. Conf. (VTC '95)*, vol. 2, pp. 810-814, Chicago, USA, July 1995.
- [3] C.-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," *Proc. Int'l Conf. Commun. (ICC '95)*, vol. 2, pp. 1060-1064, Seattle, USA, June 1995.
- [4] 김연진, 김남수, "멀티미디어 전송을 위한 다중부호 CDMA 시스템의 성능분석," *한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집*, pp. 36-39, 1996년 11월.
- [5] ARIB, *Japanese Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000: W-CDMA*, Proposal submitted to ITU-R, June 1998.
- [6] ARIB, *Evaluation Methodology for IMT-2000 Radio Transmission Technology (ver. 1)*, June 1998.
- [7] K.-B. Kim and Y. Shin, "An improved OSD (orthogonal sequence division modulation) multiple access system," *Proc. Int'l Workshop Mobile Multimedia Commun. (MoMuc '97)*, pp. 64-67, Seoul, Korea, Sep. 1997.
- [8] 김기범, 신요안, "길쌈 부호와 이원 직교 부호에 의한 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 개선," *한국통신학회논문지*, 제23권, 제7호, pp. 1659-1666, 1998년 7월.
- [9] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*, Kluwer Academic Publisher, 1996.