韓國電磁波學會論文誌 第 15 卷 第 5 號 2004年 5月 論文 2004-15-5-08

# 다중 사용자 CDMA 통신 시스템에서 프리코딩 기법을 사용한 2진 정진폭 시스템 설계

# Design of Binary Constant Envelope System using the Pre-Coding Scheme in the Multi-User CDMA Communication System

김상우 · 유흥균 · 정순기* · 이상태**

Sang-Woo Kim · Heung-Gyoon Ryu · Soon-Key Jung* · Sang-Tae Lee**

요 약

본 논문에서는 기존의 CDMA 시스템에서 다중사용자 데이터 전송에 의해 발생하는 높은 PAPR 문제를 해결하기 위하여 pre-coding 기법을 이용한 2진 constant amplitude CDMA(CA-CDMA) 방식을 새롭게 제안한다. 제안하는 CA-CDMA의 기초인 4-user CA-CDMA 기법은 4명의 사용자에 대해 binary 크기의 신호를 출력하는 시스템이며, 이는 parity 신호를 이용하여 항상 ±2의 크기를 갖고 길이가 4인 신호를 출력한다. Parity 신호는 입력되는 4명의 사용자 신호를 XOR한 신호로써 사용자들의 신호와 함께 전송되므로 별도의 부가채널을 필요로 하지 않으며, 수신단에서 쉽게 복원될 수 있다. 한편, 시스템 사용자 수의 확장은 4-user CA-CDMA를 반복 사용함으로써 이루어질 수 있다. 예로써 16-user의 경우, 4개의 4-user CA-CDMA를 병렬로 배치하고 각각의 4-user CA-CDMA에서 출력되는 신호를 다시 하나의 4-user CA-CDMA에 입력함으로써 쉽게 구현될 수 있다. 이는 각 4-user CA-CDMA의 출력 신호 역시 binary 신호이기에 가능하며, 동일한 방법으로 64-user, 256-user에 대해서도 2진 constant amplitude를 만족하는 출력 신호를 얻을 수 있다. 결국, 본 논문에서 제안하는 CA-CDMA는 코드율이 1이므로 전송속도나 대역폭 변화가 없으며, 항상 constant한 즉, PAPR이 항상 0 dB인 신호의 출력하여, 다중 사용자 전송에서도 비선형 HPA에 의한 왜곡을 방지하고 전력효율을 최대화 할 수 있다. 시뮬레이션 성능확인 결과, 기존의 CDMA가 다중 레벨의 크기를 갖는 신호를 출력하는데 반해, 제안된 2진 CA-CDMA는 항상 binary 레벨로서 신호를 출력함을 알 수 있으며, 비선형 HPA를 고려하였을 때 BER(bit error rate)이 크게 증가하는 일반 CDMA와 달리, 제안된 2진 CA-CDMA의 BER은 전혀 변하지 않음을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, we newly propose the binary CA-CDMA(constant amplitude CDMA) system using pre-coding method to solve the high PAPR problem caused by multi-user signal transmission in the CDMA system. 4-user CA-CDMA, the basis of proposed binary CA-CDMA system, makes binary output signal for 4 input users. It produces the output of binary(±2) amplitude by using a parity signal resulting from the XOR operation of 4 users data. Another sub-channel or more bandwidth is not necessary because it is transmitted together with user data and can be easily recovered in the receiver. The extension of the number of users can be possible by the simple repetition of the basic binary 4-user CA-CDMA. For example, binary 16-user CA-CDMA is made easily by allocating the four 4-user CA-CDMA systems in parallel and leading the four outputs to the fifth 4-user CA-CDMA system as input, because the output signal of

충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

*충북대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Chungbuk National University)

**한국표준과학연구원 인간정보그룹(Ergonomics and Information Technology Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

· 논 문 번 호 : 20040224-022

· 수정완료일자 : 2004년 4월 21일

each 4-user CA-CDMA is also binary. By the same extension procedure, binary 64 and 256-user CA-CDMA systems can be made with the constant amplitude. As a result, the code rate of this proposed CA-CDMA system is just 1 and binary CA-CDMA does not change the transmission rate with the constant output signal(PAPR = 0 dB). Therefore, the power efficiency of the HPA can be maximized without the nonlinear distortion. From the simulation results, it is verified that the conventional CDMA system has multi-level output signal, but the proposed binary CA-CDMA system always produces binary output. And it is also found that the BER of conventional CDMA system is increased by nonlinear HPA, but the BER of proposed binary CA-CDMA system is not changed.

Key words : Binary CA-CDMA, Constant Envelope, Nonlinear Distortion and HPA

## Ⅰ. 서 론

CDMA 기술은 기본적으로 오래 전부터 사용해왔던 대역확산 통신기술을 이용한 것으로, 대역확산 기술이 가지고 있는 모든 장점에 주파수 이용효율을 크게 증가시킨 것이다. CDMA 시스템은 모든 서비스 영역에서 같은 주파수 대역을 사용할 수 있기 때문에 주파수 이용 효율이 다른 방식에 비해서 월등히 높다는 것과, 모든 서비스 영역에서 같은 주파수 대역을 사용할 수 있기 때문에 소프트 핸드오버가 가능하다는 점, 또한 서로 다른 코드를 사용하여 통신을 하기 때문에 무선 구간의 통신 비밀 보호 특성이 매우 우수하다는 장점이 있다. 그러나 CDMA 시스템에 있어서 많은 사용자가 동일 시간에 동시 전송에 의한 다중 레벨 신호를 출력하여 높은 PAPR (peak to average power ratio)이 발생하는 문제를 갖는다. 높은 PAPR을 갖는 신호는 HPA에서 비선형 왜곡이 크게 발생되며 이는 시스템의 성능을 크게 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 다중 사용자 전송에서도 constant amplitude를 갖는 것이 매우 중요하다.

이런 높은 PAPR 문제를 해결하는 방법으로는, 입력되는 다중사용자 신호의 위상을 조절하여 PAPR을 저감하는 PTS 및 SLM 기법[1], 임계치 이상의 출력 신호를 잘라버리는 clipping 기법[2], 다중 사용자의 입력 신호가 WHT(Walsh Hardmard transform) 후에도 일정한 envelop를 갖게 하는 pre-coding을 이용한 constant amplitude CDMA 시스템에 대한 연구 등이 이루어졌다[3],[4]. 그러나, PTS 및 SLM 기법은 신호의 왜곡없이 PAPR을 저감하는 장점을 갖지만 그 저감에 있어서 한계성을 나타내며, 많은 계산량 및 부가 채널을 이용한 side-information의 전송과 같은 단점을 갖는다. 그리고 clipping 기법은 신호 자체를 왜곡시키므로 원하는 만큼의 확실한 PAPR 저감 효과를 갖는 장점이 있지만, clipping된 신호는 수신기에서 완전히 복원하지 못하므로 시스템의 BER이 매우 나빠지는 단점을 갖는다. 한편, pre-coding 기법은 신호를 왜곡하지 않으면서 항상 constant한 신호를 출력하므로 PAPR 저감 성능이 매우 뛰어나다. 그러나 기존의 연구[3],[4]에서 제시한 pre-coding 기법은 다음과 같은 두 가지 큰 단점을 갖는다. 그 하나는 시스템의 사용자의 수가 증가함에 따라 pre-coding을 위해 사용자 정보를 대신해서 사용되는 redundant 채널 신호가 많아져서 발생되는 신호 전송률의 손실이며, 다른 하나는 사용자 증가에 따른 시스템 확장의 어려움이다.

본 논문에서는 기존 pre-coding 기법의 문제점을 개선한, 새로운 pre-coding 기법의 2진 CA-CDMA (constant amplitude CDMA) 시스템을 새롭게 제안한다. 제안된 기법은 coding gain이 1이므로 전송률과 대역폭에 손실이 없으며, 사용자 수의 증가에 따른 시스템의 확장이 용이하다. 본 논문에서 제안하는 2진 CA-CDMA는 4명의 사용자에 대해 길이가 4이고 크기가 ±2인 신호를 출력하는 새로운 2진 4-user CA-CDMA를 기초로 하여, 16-user, 64-user, 256-user 등으로 4배씩 확장될 수 있다. 2진 4-user CA-CDMA는 입력되는 각 사용자의 신호들로써 parity 신호를 생성하여 4번째 사용자의 신호와 곱한다. 이때 parity 신호는 입력되는 4명의 사용자 신호를 XOR한 신호이므로 parity 신호가 곱해진 후 4명의 사용자 신호는 항상 홀수 개의 −1과 +1을 갖는다. 이렇게 변환된 신호들이 WHT(Walsh Hadamard transform)를 거치

면 출력신호는 항상 ±2의 크기를 나타낸다. 이때 -2와 +2 신호는 항상 홀수 개로 출력되므로, Parity 신호의 구분은 출력 신호의 마지막 비트에 또 다시 parity 신호를 곱해서 parity 신호가 -1이면 +2와 -2 신호를 짝수 개가 되도록 함으로써 이루어질 수 있다. 결국 출력신호는 길이가 4이고 ±2의 크기를 갖는 신호로써 데이터 전송률의 손실이 없으며 항상 constant한 즉, PAPR이 항상 0 dB인 신호를 출력하게 된다. 시스템 사용자 수의 확장은 2진 4-user CA-CDMA를 반복 사용함으로써 이루어질 수 있다. 2진 16-user의 경우 4개의 2진 4-user CA-CDMA를 병렬로 배치하고 각각의 4-user CA-CDMA에서 출력되는 신호를 다시 하나의 4-user CA-CDMA에 입력함으로써 쉽게 구현될 수 있다. 4개의 4-user CA-CDMA에서 출력되는 신호 ±2는 ±1의 2배이며 이 신호들이 하나의 4-user CA-CDMA에 입력되면 ±2의 2배, 즉 크기가 ±4이고 길이가 16인 binary 출력신호를 얻을 수 있다. 같은 방법으로 제안된 2진 CA-CDMA는 64-user, 256-user 등에 대해서도 2진 constant amplitude를 만족하는 출력 신호를 얻는다.

## Ⅱ. Binary 4-user Constant Amplitude CDMA System

### 2-1 송신기 구성

그림 1은 4명의 사용자에 대한 CA-CDMA의 송신기 구성도를 나타낸다. 입력되는 각 사용자의 신호 $b_k$는 ±1로 이루어진 binary 신호라 가정하면 parity 신호는 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$parity = b_0 \oplus b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 . \tag{1}$$

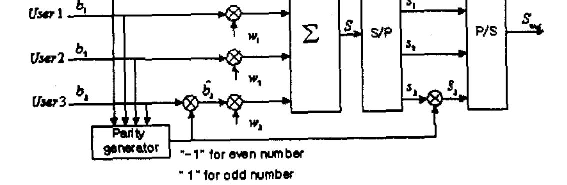



그림 1. 2진 4-user CA-CDMA의 송신기 구성도(4/4 rate)

Fig. 1. Block diagram of binary 4-user CA-CDMA transmitter(4/4 rate).

이렇게 구한 parity 신호는 4번째 사용자의 신호와 곱해짐으로써 각 사용자로부터 입력되는 신호는 항상 홀수개의 +1과 -1을 갖는다.

홀수개의 +1과 -1로 이루어진 신호가 Walsh Hadamard sequence와 곱하여 합쳐진 신호 $S$는 항상 ±2로 이루어진다. 이렇게 얻어진 신호 $S$는 항상 홀수개의 +2와 -2를 갖으므로 parity 신호를 마지막 비트에 곱해줌으로써 최초 입력된 신호를 구분할 수 있다.

예로써 입력신호 $b=[-1 -1 -1 -1]$인 경우를 생각해보면, 각 데이터에 의해 얻어진 parity 신호는 -1이며, parity 신호에 의해 변환된 입력신호는 [-1 -1 -1 1]이 된다. 이러한 과정에 의해 얻어진 신호가 WHT를 거치면 WHT 출력신호 $S$는 [-2 -2 -2 2]이며, 이는 최초 입력이 [-1 -1 -1 1]인 경우와 같은 결과이므로 신호의 구분을 필요로 하게 된다. 이런 두 입력 신호에 대한 구분은 신호 $S$의 마지막 비트에 parity 신호를 또 한번 곱해줌으로써 이루어질 수 있으며, 결국 입력신호 $b=[-1 -1 -1 -1]$에 대한 출력신호는 $S_{out}=[-2 -2 -2 -2]$이다. 다른 입력신호의 경우에도 같은 과정에 의하여 ±2로만 이루어진 출력신호를 얻을 수 있으며, 표 1은 그 각각의 경우에 대한 결과를 기존의 CDMA와 비교하여 나타낸다.

### 2-2 수신기 구성

그림 2는 4명의 사용자에 대한 CA-CDMA의 수신기 구성도이다.

수신된 신호는 직/병렬 변환을 거치며, 병렬 변환된 신호로부터 송신기에서 사용된 parity 신호를 찾

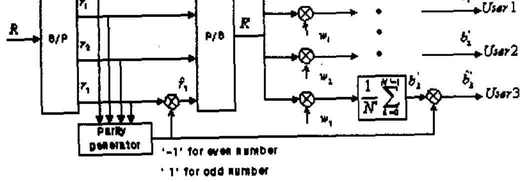



그림 2. 4-user CA-CDMA를 위한 수신기 구성도(4/4 rate)

Fig. 2. Block diagram of 4-user CA-CDMA receiver (4/4 rate).

표 1. 사용자 입력 데이터에 대한 각 출력신호의 비교
Table 1. Comparison of two CDMA signal levels.

| Bit stream $b=b_0b_1b_2b_3$ | Coded output | |
|---|---|---|
| | Conventional CDMA | Binary CA-CDMA |
| -1-1-1-1 | -4 0 0 0 | -2-2-2-2 |
| -1-1-1+1 | -2 -2-2+2 | -2-2-2+2 |
| -1-1+1-1 | -2+2 -2-2 | -2+2-2-2 |
| -1-1+1-1 | 0 0 -4 0 | -2+2-2+2 |
| -1+1-1-1 | -2-2 +2-2 | -2-2+2-2 |
| -1+1-1+1 | 0 -4 0 0 | -2-2+2+2 |
| -1+1+1-1 | 0 0 0-4 | +2-2-2+2 |
| -1+1+1+1 | +2 -2 -2-2 | +2-2-2-2 |
| +1-1-1-1 | -2+2 +2+2 | -2+2+2+2 |
| +1-1-1+1 | 0 0 0 +4 | -2+2+2-2 |
| +1-1+1-1 | 0 +4 0 0 | +2+2-2-2 |
| +1-1+1+1 | +2+2-2 +2 | +2+2-2+2 |
| +1+1-1-1 | 0 0 +4 0 | +2-2+2-2 |
| +1+1-1+1 | +2 -2+2+2 | +2-2+2+2 |
| +1+1+1-1 | +2 +2+2-2 | +2+2+2-2 |
| +1+1+1+1 | +4 0 0 0 | +2+2+2+2 |

아낼 수 있다.

$$parity = r_0 \oplus r_1 \oplus r_2 \oplus r_3. \quad (2)$$

이 parity 신호는 수신된 신호의 마지막 비트에 곱해짐으로써 송신기에서의 신호 $S$와 대응되는 신호 $R'$을 얻는다. 신호 $R'$을 각각의 Walsh Hadamard sequence들에 의해 각 사용자에 대한 수신 신호로 복원되며, 마지막 사용자 정보에 또 다시 parity 신호를 곱해서 최초에 전송된 각 사용자의 정보를 복원할 수 있다.

그러므로, binary 4-user CA-CDMA는 길이가 4이고 출력신호가 ±2로 이루어진다. 따라서 출력 신호의 PAPR은 구형파의 입력 신호를 가정했을 때 항상 0 dB이다. 또한 부가 정보를 따로 전송할 필요가 없으며, constant amplitude CDMA에 대한 이전의 연구들에서 전송률의 손실이 발생하는 것과는 달리 기존의 CDMA와 같은 전송률을 가지므로 매우 효율적인 시스템이라 할 수 있다.

## Ⅲ. Binary CA-CDMA System의 확장

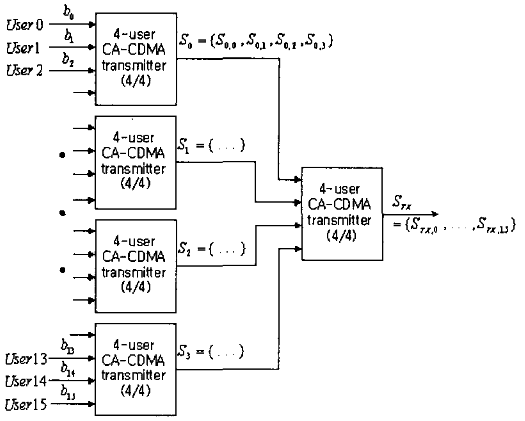



그림 3. Binary 16-user CA-CDMA의 송신기 구성도
Fig. 3. Block diagram of binary 16-user CA-CDMA transmitter.

### 3-1 Binary 16-user CA-CDMA 송신기

본 절에서는 binary constant amplitude CDMA를 위한 pre-coding 기법에서 가장 문제시되었던 시스템 사용자 확장의 제한성을 binary 4-user CA-CDMA의 반복사용으로 해결한다. 그 예로써 그림 3은 16명 사용자를 위한 binary CA-CDMA의 송신 구성도를 보인다.

그림과 같이 입력되는 16명 사용자의 정보는 각각의 binary 4-user CA-CDMA 송신기에 4명씩 할당되어 입력되며, 각 4-user CA-CDMA 송신기의 출력은 길이가 4이고 ±2로 이루어진 신호이다. 이 4개의 데이터 열은 또 다시 4-user CA-CDMA 송신기에 입력되고, 따라서 출력되는 신호 $S_{tx}$는 길이가 16이고 +4와 -4만으로 이루어진다.

예를 들어 설명하면 다음과 같다.

입력되는 16 사용자 데이터가 아래와 같다고 가정했을 때

$$\begin{aligned} b &= [\, b_0\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ b_6\ b_7\ b_8\ b_9\ b_{10}\ b_{11}\ b_{12}\ b_{13}\ b_{14}\ b_{15} \,] \\ &= [\, -1+1+1+1-1-1+1-1+1+1+1-1-1-1-1+1 \,]. \end{aligned} \quad (3)$$

4개의 4-user CA-CDMA 송신기에 의해 출력되는 신호는

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +2 & -2 & -2 & -2 \\ -2 & +2 & -2 & -2 \\ +2 & +2 & +2 & -2 \\ -2 & -2 & -2 & +2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

이는 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = 2 \times \begin{bmatrix} +1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & +1 \end{bmatrix}. \quad \begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ (1) & (2) & (3) & (4) \end{matrix} \tag{5}$$

식 (5)의 각 세로 열은 하나의 4-user CA-CDMA에 입력되고, 따라서 표 1을 이용한 최종 출력 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_\alpha &= [(+2+2-2-2)(+2-2-2+2)(-2+2-2-2)(-2-2-2+2)]\times 2 \\ &= [(+4+4-4-4)(+4-4-4+4)(-4+4-4-4)(-4-4-4+4)]. \\ & \quad\ \uparrow (1) \qquad\quad \uparrow (2) \qquad\quad \uparrow (3) \qquad\quad \uparrow (4) \end{aligned} \tag{6}$$

최종 출력 신호 $S_\alpha$는 각 사용자 정보 및 각 4-user CA-CDMA에서 사용된 parity 신호를 포함한다. 만약 parity 신호를 사용하지 않는다면 기존의 16 Walsh Hadamard sequence들에 의해 변환된 출력신호와 같다.

### 3-2 Binary 16-user CA-CDMA 수신기

그림 4는 binary 16-user CA-CDMA의 수신기 구성도이다. 그림에서와 같이 수신기의 동작은 송신기의 역으로 이루어지며, 송신기와 마찬가지로 binary 4-user CA-CDMA 수신기를 반복 사용함으로써 간단하게 구현된다.

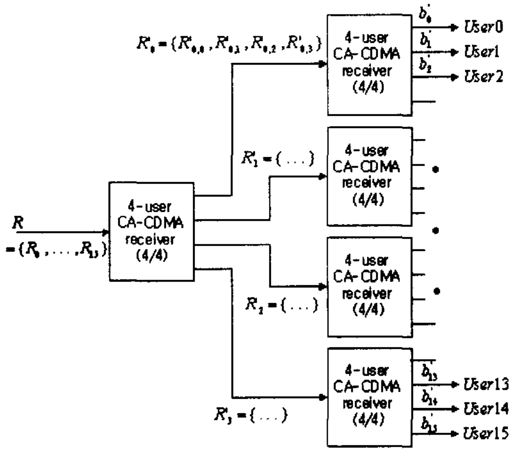



그림 4. Binary 16-user CA-CDMA의 수신기 구성도
Fig. 4. Block diagram of binary 16-user CA-CDMA receiver.

결국 본 논문에서 새롭게 제안하는 CA-CDMA는 시스템의 출력이 언제나 binary 신호로 출력되기 때문에 동일한 시스템 4개의 출력을 하나의 binary 4-user CA-CDMA에 입력함으로써 4배로 확장된 binary CA-CDMA가 됨을 알 수 있다.

## Ⅳ. 성능 확인 및 검토

본 절에서는 사용자 수가 16명일 때, CA-CDMA의 출력 신호가 항상 binary constant amplitude를 만족함을 시뮬레이션 결과를 통해 증명하고 기존의 CDMA와 그 결과를 비교하며, 이에 따른 각 시스템의 비선형 HPA에 대한 BER(bit error rate) 성능을 분석한다.

그림 5는 기존의 16-user CDMA 시스템에서 나타나는 송신기의 출력 진폭 레벨을 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 기존의 16-user CDMA는 $-16\sim+16$ 사이에 많은 레벨의 진폭이 존재함을 알 수 있다.

그림 6은 본 논문에서 제안하는 CA-CDMA 시스템의 진폭 레벨을 나타낸다. 사용자 수가 16일 때 CA-CDMA의 전송신호는 그림 6과 같이 binary신호임을 알 수 있고, 그 크기는 ±4임을 알 수 있다.

이러한 결과는 16-user의 경우뿐만 아니라 64, 256 등 사용자 수가 증가할 때에도 같게 나타나며, 사용자 수가 4배로 증가함에 따라 제안된 CA-CDMA는 2배 크기의 binary 신호를 출력한다.

그림 7은 본 논문에서 제안하는 CA-CDMA와 일반 CDMA의 출력신호가 비선형 HPA를 거치면서 발생하는 성능 저하를 나타내고 있다. AWGN 채널 환

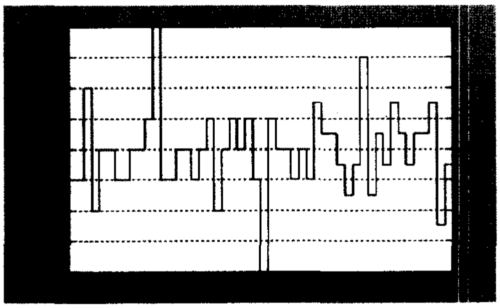


그림 5. 일반 CDMA 출력신호 레벨
Fig. 5. Signal level of 16-user CDMA transmitter.

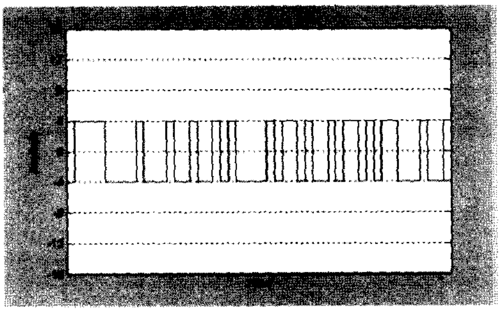


그림 6. 16 사용자의 2진 CA-CDMA 송신기의 출력 신호 레벨
Fig. 6. Signal level of binary 16-user CA-CDMA transmitter.

경에서 사용자 수는 16이며, 사용된 HPA는 SSPA 모델로 평탄도 $p=2$이고, back off의 크기는 0 dB이다. 그림에서와 같이 HPA를 거치지 않았을 때는 제안된 CA-CDMA가 기본적으로 일반 CDMA보다 BER 성능이 조금 떨어지지만, 비선형 HPA를 고려할 때 이들의 성능차이는 크게 반대로 나타난다. 즉, PAPR이 항상 0 dB가 되도록 하는 제안된 CA-CDMA는 비선형 HPA를 거쳐도 시스템의 성능에 전혀 영향을 받지 않지만, 일반 CDMA는 비선형 HPA의 특성에 따른 비선형 왜곡에 의해 그 성능 저하가 크게 나타난다. 결국 제안된 CA-CDMA는 HPA의 비선형 특성에 영향을 받지 않는 보다 안정적이고, 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다.

## V. 결 론

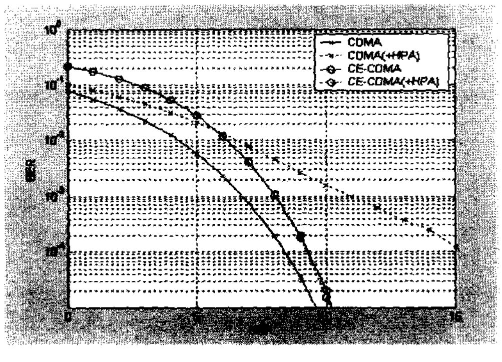



그림 7. CDMA와 CA-CDMA 송신기의 BER 성능 (IBO = 0 dB)
Fig. 7. BER of CDMA and CA-CDMA transmitter (IBO = 0 dB).

본 논문에서는 기존의 CDMA에서 다중 사용자에 의해 발생하는 PAPR 문제를 해결하기 위한 방안으로 다중 사용자에 대한 전송신호가 항상 일정한 크기를 갖는 binary CA-CDMA를 새롭게 제안하였다. 제안된 binary CA-CDMA는 4-user에 대한 CA-CDMA를 기반으로 더 많은 사용자에 대한 binary CA-CDMA로 확장될 수 있으며, 또한 coding gain이 1이므로 전송률과 대역폭에 변화를 주지 않는다. 이는 기존의 다른 연구들에서 제안된 constant amplitude CDMA 시스템의 가장 큰 단점인 확장성의 제한과 전송률의 손실을 모두 해결하므로 매우 효과적인 시스템이라 할 수 있다. 시스템의 성능확인에서 16-user에 대한 binary CA-CDMA의 전송신호는 항상 그 크기가 일정한 binary 신호임을 확인할 수 있으며, 따라서 비선형 HPA를 거친 후에도 제안된 CA-CDMA의 성능은 일반 CDMA와는 달리 저하되지 않는다. 동일한 원리에 의해 64-user, 256-user 등에 대해서도 같은 결과를 예상할 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] K. Sathananthan, C. Tellambura, "Peak-to-average power ratio analysis in multicode CDMA", *Vehicular Technology Conference, 2002, Proceedings, VTC 2002-Fall, 2002 IEEE 56th*, vol. 1, pp. 500-504, Sep. 2002.

[2] O. Vaananen, J. Vankka and K. Halonen, "Effect of baseband clipping in wideband CDMA system", *2002 IEEE Seventh International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, vol. 2, pp. 445-449, Sep. 2002.

[3] T. Wada, T. Yamazato, M. Katayama and A. Ogawa, "A constant amplitude coding form orthogonal multi-code CDMA systems", *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E80-A, no. 12, pp. 2477-2483, Dec. 1997.

[4] S. I. Kim, G. Y. Jung, S. Y. Yoon and H. S. Lee, "Enhancement of constant amplitude coding form multicode wideband CDMA systems", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E83-B, pp. 2550-2555, Nov. 2000.

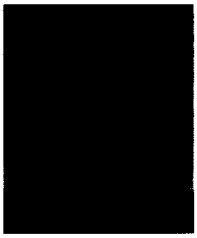
[5] T. Ottosson, "Precoding for minimization of en-

velope variations in multicode DS-CDMA systems", *Wireless Personal Communications*, vol. 13, pp. 57-68, May 2000.

[6] T. Ottosson, T. Palenius, "The impact of using multicode transmission in the WCDMA system", *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1550-1554, 1999.

[7] T. Wada, "Charatecristic of bit sequence applicable to constant amplitude orthogonal multicode systems", *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E83-A, pp. 2160-2164, Nov. 2000.

김 상 우



2003년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] OFDM 통신시스템, UWB 통신 및 무선 LAN 등

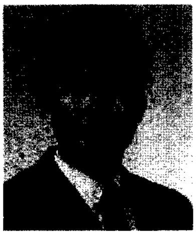
정 순 기

1985년~현재: 충북대학교 컴퓨터공학과 교수
[주 관심분야] 데이터베이스 시스템, 실시간 시스템, 소프트웨어공학

유 흥 균

1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수
1999년~현재: IEEE 논문 심사위원
2002년: 한국전자파학회 학술상 수상
2002년 3월~현재: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

이 상 태



1977년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 8월: 전북대학교 전자 및 통신공학과 (공학석사)
1998년 2월: 전북대학교 전자 및 통신공학과 (공학박사)
1981년~1985년: 국제상사 컴퓨터사업본부
1985년 12월~현재: 한국표준과학연구원 인간정보 그룹장
2001년 3월~현재: 지식경영연구사업단 단장
[주 관심분야] Network Traffic 제어, 원격측정 등