멀티 코드 CDMA의 QAM 전송

QAM Transmission of Multi-Code CDMA

주민철, 홍대기, 김용성, 김선희, 강성진, 조진웅 전자부품연구원
MinChul Ju, Dae-Ki Hong, Young-Sung Kim, Sun-Hee Kim, Sung-Jin Kang, and Jin-Woong Cho
Wireless Network Research Center, Korea Electronics Technology Institute

Abstract

본 논문에서는 멀티 코드 CDMA(Code Division Multi- ple Access)시스템에서 고속의 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 정보 데이터열을 QAM (Quadrature Ampli- tude Modulation) 부호화하는 방법을 제안한다. 송신 구조는 입력 비트를 정진폭 다중 부호 이진직교 변조 (con- stant amplitude code bi-orthogonal modulation: 이하 CACB라 칭함)로 부호화하여 전송 심볼의 크기를 일정하게 하고 이렇게 이진화된 신호를 QAM 부호화하여 전송속도를 높인다. 복조기의 구조는 수신된 신호로부터 QAM 연판정기 블록을 거쳐 생성된 신호를 CACB 복호화기를 거쳐 데이터를 복조해 낸다. 제안된 시스템은 기존의 멀티 코드 방식에 비해 대역폭 효율을 크게 개선시킬 수 있어 전송 속도를 많이 향상시킬 수 있고, 멀티 코드 방식을 기반으로 하기 때문에 디지털 가전기기나 3세대 이동통신과, WPAN과 관련된 무선 네트워크 응용과 같은 미래의 고속의 무선 멀티미디어 서비스를 지원하기에 적합하다.

Keyword - Multi-Code CDMA, QAM, CACB, 연판정기

1. 서 론

다른 시스템으로부터의 간섭 상쇄 효과로 인해 CDMA (code division multiple access) 기술은 많은 주목을 받아왔는데, 그 중에서 고속의 전송 서비스를 지원하는 기술로는 확산이득(spreading gain)을 변화시키는 VSG-CDMA 시스템과 여러 개의 병렬 브랜치를 합산하여 사용하는 멀티 코드 CDMA 시스템이 가장 보편적인 것으로 알려져 있다 [1,2]. 이중에서 멀티 코드를 사용하는 기술은 확산 이득이 변화 없고 대역폭의 증가가 없어 효율적인 주파수사용이 가능하다는 장점이 있어 차세대 무선접속규격으로 주목받고 있다. 이 기술은 소스의 전송률에 따라 다른 개수의 직교코드를 할당하고, 이를 최종 송신단에서 선형합하여 전송하는 형태이다.

고속의 이동성을 제공할 수 있는 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)의 현재 무선접속규격은 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)로 규정되어있다. 하지만, 고속을 요구하는 다양한 서비스를 위해 QAM 변조와 다른 시스템으로부터의 간섭문제로 멀티 코드 CDMA기술도 규격으로 논의되고 있다 [3]. 주파수 효율을 높이고 순방향 링크에서의 고속의 전송이 요구됨에 따라, 멀티 코드 CDMA에 QAM 변조를 동시에 사용하는 방법이 연구되지만, 이러한 두 기술의 조합은 기대치보다 높은 전송률을 지원하지 못하고 있다 [4,5].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 멀티 코드 CDMA의 QAM 변조방법에 대해 간략히 설명하고, III장에서는 멀티 코드 CDMA의 이진 진폭 변조 기술에 대해 설명한다. IV장에서는 제안된 시스템의 송신단과 수신단에 대해 설명하며, V장에서는 모의 실험 결과를 제시한다. VI장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 기존의 멀티 코드 CDMA의 QAM 변조 방법

일반적으로, 디지털 통신을 위한 변조 방식의 선택에 있어서 고려할 사항으로는 비트오류 확률(BER),

대역폭, 필요 에너지(E_b/N_0) 등을 들 수 있다. 그런데, 이들 성능지수가 모두 우수한 절대적인 변조 방식은 없으며, 주어진 응용 환경에 따라 상기 성능 지수간 타협을 통하여 변조 방식을 결정하게 된다. 예컨대, MFSK(M-ary Fre-quency Shift Keying) 또는 직교 코드를 사용한 직교 시그널링(orthogonal signaling)을 채택할 경우, 입력 데이터 비트의 증가에 따라 비트오율 성능은 개선되지만 (필요 E_b/N_0가 감소됨) 신호 대역폭은 증가하므로, 주파수 자원은 문제가 되지 않으나 낮은 비트오류 확률이 요구되는 경우에는 채택할 수 있다. 그리고, MPSK(M-ary Phase Shift Keying) 혹은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)와 같은 비직교 시그널링(nonorthogonal signaling)을 채택할 경우, 대역폭 효율은 향상되지만 비트오율 성능은 저하되므로 가용한 대역폭이 한정되거나 주파수 자원의 가격이 높은 경우에는 이러한 변조 방식이 사용된다.

특히, M-ary QAM 변조의 경우에는 K 개의 입력 데이터 비트에 대응하여 $M = 2^K$ 개의 파형 중 하나의 파형을 발생시키므로 주파수 효율을 극대화 할 수 있는 장점이 있어 고속 데이터 전송 시스템에 많이 채택되고 있다. 신호의 위상만을 변화시키고 진폭을 일정하게 유지하는 MPSK와는 달리 QAM에서는 신호의 위상뿐만이 아니라 진폭도 달리하여 전송한다. 그림 1은 16-QAM의 성상도를 표시한 것이다.

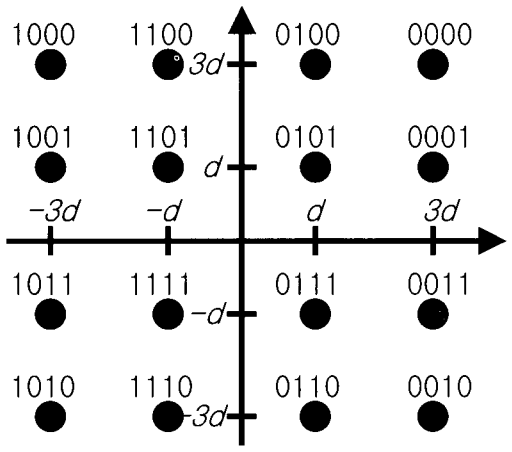

그림 1. 16-QAM 시스템의 성상도와 그때의 비트값을 나타낸 관계도

16개의 신호의 위상과 진폭이 모두 다르고, 한 심볼을 전송함으로써 4비트의 정보를 보낼 수 있음을 알 수 있다. 즉, 2^K-QAM 변조 방식은 2^K개의 신호의 형태를 가지는데 모두 위상과 진폭이 다르고, 한 심볼을 전송할 때 K 비트의 정보를 전달할 수 있다.

종래의 전송 기술로서, 멀티 코드 CDMA 방법에 직접적으로 QAM 변조를 적용한 방식을 살펴보자. M 비트인 입력 데이터열, $I^M = [i_1 i_2 i_3 \cdots i_N]$이며 그 원소인 $i_m \in \{-1, 1\}$을 확산 대역이 N인 Walsh 직교 코드에 의해 대역 확산하면 출력 신호, O^N은 다음과 같이 표현된다.

$$O^N = I^M W_N^M \tag{1}$$

이때 W_N^M은 $N \times N$ Walsh 행렬의 처음 M행을 나타내며, 출력 신호는 $O^N = [o_1 o_2 o_3 \cdots o_N]$이고 그 원소는 $o_n \in \{\pm M, \pm (M-2), \cdots\}$이다.

M=3일 때 출력 신호 레벨은 $o_n \in \{\pm 3, \pm 1\}$이므로 in-phase 성분과 quadrature- phase 성분으로 나누어 16-QAM에 직접 매핑할 수 있다. M=7로 고정하면 출력신호의 레벨은 $o_n \in \{\pm 7, \pm 5, \pm 3, \pm 1\}$이므로 이를 in-phase 성분과 quadrature-phase 성분으로 나누어 64-QAM에 직접 매핑할 수 있다. 이러한 시스템에서 N 개의 QAM심볼을 전송하면 직교 코드의 개수만큼의 비트를 전송할 수 있으므로, N 심볼로 $2M$ 비트를 전송할 수 있다.

이러한 방법은 매우 간단하고 직관적으로 멀티코드 CDMA에 QAM 변조 방식을 접합한 형태이다. 하지만 위에서 알 수 있듯이 $2M$ 비트를 전송하기 위해 N 개의 QAM 심볼을 전송해야 하므로 고속의 서비스를 지원하기에는 부적합한 면이 있다. 그래서 다음의 멀티코드 CDMA의 이진 진폭 변조 기술을 이용한다.

3. 멀티 코드 CDMA의 이진 진폭 변조

고속 전송을 제공하기 위한 보편적 방식인 멀티 코드 CDMA 시스템은 기존의 대역확산 시스템에 비해 높은 스펙트럼 효율 (spectral efficiency)을 얻을 수 있지만, 다중 레벨 (multi-level)의 신호를 증폭하기 위

해 넓은 선형 동작 영역(linearity region)을 제공하는 고가의 전력 증폭기(power amplifier)를 필요로 한다. 만약, 전력 증폭기의 선형 영역이 다중 레벨 신호의 출력 레벨을 커버하지 못하면, 증폭기의 비선형성으로 인하여 전체 다중 부호 시스템의 성능에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 선형 영역이 협소한 전력 증폭기를 사용하기 위해서는 다중 부호 신호가 정진폭 특성을 갖는 것이 바람직하다 [6].

이렇게 전송 데이터 채널수의 증가에 따라 다중 부호의 사용으로 인하여 변조 신호의 신호 레벨이 증가하여 발생하는 제반 문제점을 해소시키는 방식으로 PW(Pulse Width)/CDMA, MP(Multi Phas)/CDMA, CACB (일명 CS/CDMA (Code Selection CDMA)) 방식이 제안되어 있다 [7,8].

PW/CDMA은 디지털 합산기 출력심볼 레벨을 일정 값 이상은 잘라내고 (레벨 제한) 남은 레벨 값만을 펄스폭으로 바꾸어 전송하여 신호 파형이 항상 이진(binary) 형태를 갖게 하는 방법이다. 출력 심볼은 펄스발생기에서 레벨 값에 따라 결정되는 폭을 가진 펄스 신호로 변환된다. 변조신호가 이진 형태가 되는 장점이 있으나 잘라낸 변조신호의 레벨 수가 2보다 크게 되는 경우 변조신호의 대역폭이 레벨 수에 비례하여 증가하는 단점이 있다.

MP/CDMA 방식은 다중 레벨의 신호를 일정한 진폭을 갖고 전송되도록 하기 위하여 MPSK 변조를 사용하는데 채널잡음의 영향을 적게 받게 하기 위하여 변조에 앞서 신호의 레벨을 일정 개수로 제한한다. 그러나 이러한 레벨 제한을 하게 되는 경우에는 신호의 직교성이 손상되어 성능이 저하된다. 이러한 방법은 부호 선택 알고리즘이 비트 오율(BER; bit error rate)에 결정적 영향을 미치며, 다중부호 간의 간섭과 클리핑에 의한 손실로 인하여 사용 부호의 개수를 증가시킬 경우(즉, 상당히 높은 스펙트럼 효율을 구현할 경우)에 만족스런 비트 오율 성능을 얻을 수 없는 문제점이 있다.

이 중 CACB 방식은 전송되는 데이터를 이용하여 블록으로 할당된 직교코드 중 하나를 선택하여 데이터를 변조한다. 채널 수가 많은 경우 저장해야 할 코드의 개수가 매우 커지기 때문에 CACB 시스템은 여러 개의 블록으로 나누어서 구현하는데, 각 블록에서 출력되는 직교코드들이 더해지기 때문에 변조신호는 역시 다중 레벨 신호가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 입력되는 정보비트열을 적당히 부호화함에 의하여 출력되는 심볼의 크기가 일정하게 되어 레벨제한기가 불필요해지는 시스템이 CACB 이다.

3.1 CACB 기본블록

CACB 기본블록은 이진 직교 변조 방식을 사용한다. 그림 2에 도시된 바와 같이 정보 데이터 3 비트 중 2 비트는 4개의 직교 코드 중 하나를 선택하고, 선택된 코드는 나머지 1비트와 곱한다.

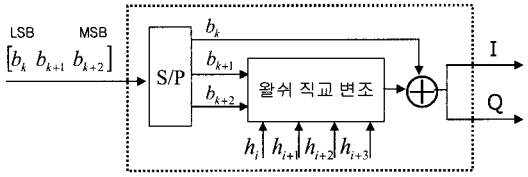

그림 2. CACB 기본블록

3.2 CACB 확장블록

입력되는 정보비트열을 적당히 부호화함에 의하여 출력되는 심볼의 크기가 일정하게 되어 레벨 제한기가 불필요해지는 시스템이 CACB 이다. 그림 3에 도시된 바와 같이 이진 직교 변조 블록 4개를 사용하는데 그 중 3개는 입력되는 정보 9비트를각각 3비트씩 변환하고 나머지 한 블록은 정보 9비트로부터 정진폭 출력을 위해 다음의 식을 통해 변환한다.

$$\begin{aligned} r_k &= \overline{b_k \oplus b_{k+1} \oplus b_{k+2}} \\ r_{k+1} &= b_{k+3} \oplus b_{k+4} \oplus b_{k+5} \\ r_{k+2} &= b_{k+6} \oplus b_{k+7} \oplus b_{k+8} \end{aligned} \tag{2}$$

이때, 4개의 블록으로부터 나온 신호의 합이 ± 2이므로 1/2로 나누어 변조부에 전달한다. N 심볼 전송으로 9비트의 정보를 보낼 수 있고 in-phase와 quadrature-phase를 나누어 보내면 18비트의 정보를 보낼 수 있다.

4. 제안된 시스템의 송수신단

그림 4는 제안된 시스템의 구조도이다. 데이터 비트열이 CACB 부호화기에 의해 정진폭 신호로 만들어지고 이를 I/Q로 나누어 Gray 코드를 이용한 QAM 변조기를 거쳐 송신(s)하면 채널에서 잡음이 섞인 형태로 수신기에 입력(r)되면 QAM 복조기를 통해 수신신호를 복원하고 CACB 복호기를 통해 수신 비트를 결정하는 구조이다.

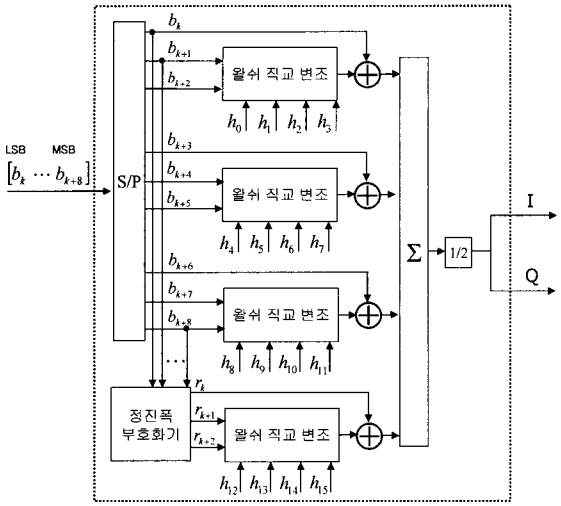

그림 3. CACB 확장블록

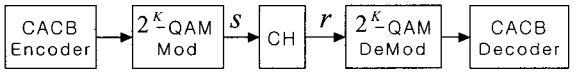

그림 4. 제안된 시스템의 송수신단 구조

4.1 송신단

CACB 부호화기를 거친 다중코드 코드분할 다중접속 신호는 이진 신호로 바뀌었으므로 2^K-QAM 변조기는 한 심볼로 K비트를 전송할 수 있다. 변조기의 매핑 코드는 일반적으로 비트오율을 최소화 하는 것으로 알려져 있는 2차원 Gray 코드를 사용한다. 변조된 신호를 s라 할 때 다음과 같이 표현된다.

$$s = f(c_1, c_2, \cdots c_K) \tag{3}$$

이때 f는 $c_i, i = 1, 2, \cdots, K$,을 QAM 심볼로 변화하는 함수이고, QAM 심볼은 $s \in \{s_1, s_2, \cdots, s_{2^K}\}$에 속하는 성상 포인트의 하나이며, 각각의 s는 모두 등가의 확률을 갖는다. 이때 s는 복소수로 표현되는데 실수 부분과 허수부분의 값은 다음의 집합의 원소이다. K가 짝수일 때 $s_I, s_Q \in \{\pm d, \pm 3d, \cdots, \pm(2^{K/2}-1)d\}$ 이고, 표 1에는 64- QAM과 16-QAM일 때의 값이 제시되어 있다.

16-QAM에서는 입력되는 4비트 중 첫 번째와 세 번째 비트는 in-phase 신호의 비트열로 전해지고 두 번째와 네 번째 비트는 quadrature-phase 신호의 비트열로 전해진다. 분리된 in-phase와 quadrature-phase 신호는 각각이 Gray 코드로 부호화 되는데 00, 01, 11, 10의 비트열은 각각 $3d, d, -d, -3d$ 레벨로 바뀐다.

표 1. QAM 시스템의 in-phase 및 quadrature-phase 신호 (s_I, s_Q)의 레벨과 64-QAM과 16-QAM의 비트 매핑.

s_I, s_Q의 레벨	64-QAM의 비트 매핑	16-QAM의 비트 매핑
$7d$	000	
$5d$	001	
$3d$	011	00
d	010	01
$-d$	110	11
$-3d$	111	10
$-5d$	101	
$-7d$	100	

표 2. N (확산 대역 변수) 심볼 전송으로 보낼 수 있는 정보량 (비트)

변조방법	기존의 방법	제안된 방법	QAM
16-QAM	6	2X18	$4N$
64-QAM	14	3X18	$6N$

그리고 64-QAM에서는 입력 6비트 중 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 비트는 in-phase 신호로, 그리고 나머지 세 비트는 quadrature-phase 신호로 바뀌는데 000, 001, 011, 010, 110, 111, 101, 100의 비트열을 각각

$7d, 5d, 3d, d, -d, -3d, -5d, -7d$의 레벨로 매핑하면 된다. 이렇게 in-phase와 quadrature-phase 신호로 QAM 매핑된 후 RF 신호로 변환되어 수신단에 전해진다.

기존의 방식과의 전송률을 비교해 보면 표 2와 같이 나타난다. 일반적으로 N>9 인 경우에, 제안된 방법은 기존의 방법 보다는 많은 정보를, QAM보다는 적은 정보량을 보낼 수 있다.

4.2 수신단

채널에서의 잡음이 더해진 수신신호를 QAM 복조기를 통해 심볼당 K비트를 복조하여 CACB 복호화기에 입력한다. 이때, CACB 복호화기에 입력되는 레벨에 따라서 QAM 복조값을 binary level로 판단하는 경판정 복조기와 몇 가지의 레벨로 나누는 연판정 복조기 2가지로 나뉜다.

경판정 복조기에 대해 살펴보면, 일반적으로 수신된 신호에 기반을 한 가장 간단하고 많이 사용되는 복조기로 수신 신호와 송신 신호의 신호 집합 중 거리가 최단인 것을 추출하여 그 신호의 복호값으로 선택하는 방법이다. 이러한 방법을 적용하면 수신신호의 성상도에서 결정영역을 미리 정할 수가 있는데, 수신된 신호가 특정 결정 영역 내에 포함되면 그 복호값으로 매핑하는 방법이다. 그림 5에서는 64-QAM에서의 in-phase 신호와 quadrature- phase 신호의 각 3비트 MSB $(g^0(s_I))$와 중간 비트 $(g^1(s_I))$와 LSB $(g^2(s_I))$의 결정영역을 보여준다. 이러한 경판정 복조기는 구현이 간단하고 계산량도 적어 쉽게 사용할 수 있는 방법이지만 비트성능이 낮아서 좀더 정교한 복조기가 필요하다. 이를 위해 연판정 복조기가 제안되었다.

일반적으로 백색 가산 잡음 환경에서 수신 신호와 송신 신호간의 거리가 최소인 것을 선택하는 것이 최적 수신 구조로 알려져 있다. 부호화된 시스템에서는 수신 구조에서 복조기가 경판정 복조기와 같이 이진화된 신호가 아닌 연속된 신호 또는 여러개의 신호 집합 중 하나의 값으로 복호기에 신호를 넘기게 된다. 그리고 현재 사용되는 코드분할 다중접속 시스템에의 입력 신호는 수신 신호를 이진화한 신호가 아닌 수신 신호 자체, 즉, 연속된 신호를 입력한다.

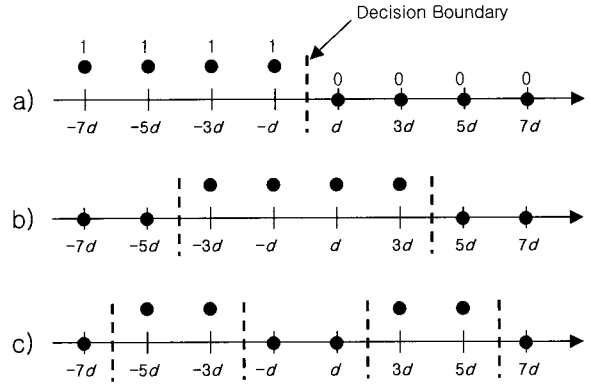

그림 5. 64-QAM 시스템의 In-phase 및 Quadrature- phase 신호의 성상도와 a) 첫 번째 비트 b) 가운데 비트 c) 세 번째 비트 각각의 비트 값과 수신시 결정 영역의 관계도.

QAM 복조기의 연판정기는 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$m_i(r_{I,Q}) = \frac{\sum_{k\in\mathbb{R}} g^i(kd) P\{r_{I,Q} | s_{I,Q} = kd\}}{\sum_{k\in\mathbb{R}} P\{r_{I,Q} | s_{I,Q} = kd\}} \quad (4)$$

이때 $\mathbb{R} = \{-(2^{K/2}-1), \cdots, -1, 1, \cdots 2^{K/2}-1\}$ 이다. 위 식은 확률을 계산해야 하는 복잡한 과정이 포함되므로 좀더 간단한 연판정기가 필요한데 다음과 같다.

$$d^i(r_{I,Q}) = \begin{cases} g^i(-7d), & r_I < -7d \\ G^i(r_{I,Q}), & kd \le r_I < (k+2)d,\ k = -7, -5, \cdots, 5 \\ g^i(7d), & r_I \ge 7d, \end{cases} \quad (5)$$

이때,

$$G^i(r_{I,Q}) = g^i(kd) + \frac{g^i((k+2)d) - g^i(kd)}{2d}(r_{I,Q} - kd) \quad (6)$$

이고 $i = 1, 2, 3$ 이다. 이는 일반적인 선형 보간기의

구조와 같다.

위식을 자세히 살펴보면 제안된 연판정기는 두개의 순서로 이루어져 있음을 알 수 있다. 먼저, 수신된 신호와 가장 가까운 두 점을 찾는다. 이때, 점들은 2차원에서 가장 가까운 점들이 아니라 1차원에서 고려되는데 송신기에서 in-phase 신호와 quadrature-phase 신호가 독립적으로 부호화되기 때문이다. 두 번째로, 선택된 두 점으로부터 선형 보간을 해서 연판정 값을 구한다. 이렇게 되면 Gray 코드로 이루어 졌기 때문에 두개의 점으로부터 부호화된 세 비트 중 두 비트는 같으므로 정수 값을 가지고 그 중 한 비트만이 보간기에 의해 소수값을 가진다. 예를 들어, 수신된 신호값이 (3.56d, 2.16d)라고 하면, in-phase 신호의 최소거리의 두 점은 3d와 5d이다. 3d의 부호화 값이 011이고 5d의 부호화 값이 001 이므로 두 값의 보간 값은 (0/0.72/1)이 된다. 같은 순서로 구한 quadrature-phase 신호는 (0/1/0.58)임을 알 수 있다. 이렇게 구한 QAM 복조기의 출력 값은 CACB 복호기의 입력으로 전해져 비트값을 복원한다.

5. 모의 실험 결과 및 분석

이 장에서는 제안된 시스템인4멀티 코드 CDMA +QAM의 성능 분석을 위해 SNR측면과 E_b/N_0측면에서 BER 성능곡선을 기존의 QAM 시스템과 비교하였다. 이때 N=16으로 두었다.

먼저, 그림 6에서는 SNR 측면에서 살펴본 제안된 시스템의 수신구조에서 경판정기와 연판정기를 사용했을 때의 결과를 보여주는데 연판정기를 사용했을 때는 경판정기를 사용했을 때 보다 2~3dB 우수한 성능을 보이며 기존의 QAM시스템보다 4~5dB 성능이 뛰어나다. 하지만, 표 2에서 알 수 있듯이 16개의 심볼로 전송되는 정보량은 64QAM이 96비트이고 CACB+64QAM이 54비트로 약 2배정도 차이난다. 이를 E_b/N_0 측면에서 살펴보면 3dB 정도의 손실이 남을 알 수 있다. 이는 그림 7에 잘 나타나 있는데, 제안된 시스템의 수신구조에서 연판정기를 사용했을 때의 결과가 기존의 QAM시스템보다 1~2dB 성능이 뛰어남을 알 수 있다.

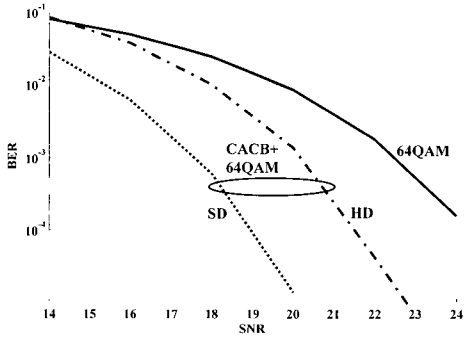

그림 6. SNR 측면에서 살펴본 제안된 시스템인 CACB+ QAM과 기존의 64-QAM의 성능 곡선.

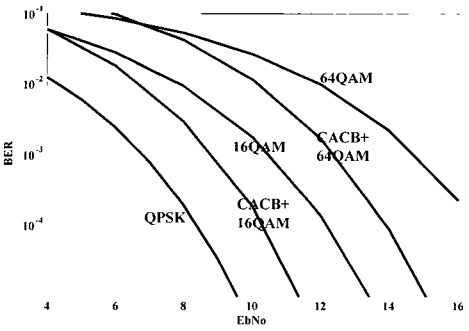

그림 7. E_b/N_0 측면에서 살펴본 제안된 시스템인 CACB+ QAM과 기존의 QAM의 성능 곡선.

6. 결론

본 논문에서는 멀티 코드 CDMA시스템에서 고속의 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 정보 데이터열을 QAM 부호화하는 방법을 제안한다. 송신 구조는 입력 비트를 부호화한 정진폭 다중부호 이진직교 변조를 이용하여 전송 심볼의 크기가 일정하게 하고 이렇게 이진화된 신호를 QAM 부호화하여 전송속도를 높인다. 복조기의 구조는 수신된 신호로부터 QAM 연판정기 블록을 거쳐 생성된 신호를 CACB 복호화기를 거쳐 데이터를 복조한다. 제안된 시스템은 기존의 멀티 코드 방식에 비해 대역폭 효율을 크게 개선시킬 수 있어 전송 속도를 많이 향상시킬 수 있고, 멀티 코드 방식을 기반으로 하기 때문에 디지털 가전기기나 3세

대 이동통신과, WPAN과 관련된 무선 네트워크 응용과 같은 미래의 고속의 무선 멀티미디어 서비스를 지원하기에 적합하다.

[참 고 문 헌]

[1] T. H. Wu and E. Geraniotis, "CDMA with multiple chip rates for multi-media communications," *Proc. Information Science and Systems*, pp. 992- 997, 1994.

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

[3] 3GPP TS25.213 V.3.4.0, "Technical Specification Spreading and Modulation (FDD)," 3GPP TSG- RAN, 2000.

[4] L. B. Milstein and M. S. Lim, "On the performance of a higher order alphabet size in CDMA," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 1, no. 1, pp. 9-11, 1997.

[5] B. Xia and J. Wang, "QAM with interference cancellation for high-speed multicode CDMA," *IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications*, pp. 430-434, 2002.

[6] T. Wada, T. Yamazato, M. Katayama, and A. Ogawa, "A constant amplitude coding for orthog- onal multi-code CDMA mystems," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E80-A, no. 12, pp. 2477-2483, 1997.

[7] 안호성, 류승문, 나성웅, "Binary CDMA 소개," *Joint Conference on Communications and Information*, VI- A.1.1-4, April 2002.

[8] 조진웅, 주민철, 서경학, 류승문, "WPAN 용 Binary CDMA기술," 한국통신학회지, 제19권 5호, pp. 728- 738, 2002.

Biograp

주 민 철

1997년 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1999년~현재 : 전자부품연구원 통신네트워크 연구센터

<주관심분야> 무선 PAN 통신 시스템
<이메일> mcju@keti.re.kr

김 선 희

2000년 이화여자대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 이화여자대학교 정보통신학과 (공학 석사)
2002년~2005년 한국전자통신연구원 기반기술연구소 통신소자모듈팀
2005년~현재 전자부품연구원 통신네트워크 연구센터

<주관심분야> 디지털 통신 시스템, SoC 설계
<이메일> elecsunny@keti.re.kr

홍 대 기

1997년 광운대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1999년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 연세대학교 전기 · 전자공학과 (공학박사)
2002년~현재 : 전자부품연구원 통신네트워크 연구센터

<주관심분야> 무선 PAN/LAN 시스템 설계, 다중사용자검파, 이동통신시스템설계
<이메일> hongdk@keti.re.kr

강 성 진

1992년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년~2000년 ETRI 무선방송기술연구소
2000년~2002년 (주)이노텔리텍
2002년~현재 : 전자부품연구원 통신네트워크 연구센터

<주관심분야> 무선 PAN 통신 시스템, Wireless digital communications
<이메일> sjkang@keti.re.kr

김 용 성

1998년 전남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2001년 전남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2000년~2003년 ㈜ 쎄트리 마이크로시스템
2002년~현재:전자부품연구원 통신네트워크 연구센터

<주관심분야> 무선 PAN 통신 시스템
<이메일> yskim@keti.re.kr

조 진 웅

1986년 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)
1988년 광운대학교 전자통신공학과 (공학석사)
2001년 광운대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1999년 (日本)Electrotechnical Lab. STA fellow 초빙연구원
2002년~현재 : 전자부품연구원 통신네트워크 연구센터 센터장

<주관심분야> 무선 PAN 통신 시스템, DAB 시스템
<이메일> chojw@keti.re.kr