

멀티코드에서 고정진폭을 구현하기 위한 방식들의 성능 비교

서근중, 김용철

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Performance Comparison of Constant Amplitude Multicode Systems

Gun Jong Seo, Yong Cheol Kim

Dept. of ECE, University of Seoul

Abstract - 멀티코드 CDMA 시스템은 비선형성 전력증폭기의 왜곡에 의해 영향을 많이 받는다. 이런 현상을 방지하기 위해서 멀티코드에서 전송신호의 레벨을 일정하게 하는 방법으로 프리코딩 방법과 Binary CDMA 방법이 제안되었다. 프리코딩은 정보 비트에 여유비트를 추가하여 코드간 직교성의 손실 없이 전송신호의 진폭을 일정하게 하는 방식으로 Wada의 방법과 CS-CDMA 방법이 있다. Binary CDMA 시스템은 멀티레벨 신호를 이진 클리핑하여 전송하는 방법으로서, 클리핑에 의해 신호의 직교성이 감소하여 성능이 저하될 수 있다. 상관도 평활화 방법은 수신부의 상관도 값이 고르게 분포하도록 하여 Binary CDMA의 성능을 향상시키는 방법이다. 본 논문에서는 프리코딩 방식과 상관도 평활화를 적용한 Binary CDMA 방식을 소개하고 칩당 비트전송율과 BER 성능을 비교한다.

1. 서론

3세대 무선통신 시스템에서 데이터 전송률을 높이기 위한 방법으로 멀티코드 CDMA 방식이 제안되었다. 멀티코드 CDMA는 고속의 데이터를 몇 개의 세그먼트로 나누어 각 세그먼트마다 하나의 채널을 할당하는 방식으로 정보를 고속 전송하는 시스템으로서, 기존 시스템과의 하드웨어적 호환성을 유지하면서 다양한 전송률을 제공할 수 있다[1]. 그러나, 여러 채널의 확산신호가 합해지면서 신호의 크기가 다양한 전송신호를 얻게 되어 전력 증폭기의 선형성이 대단히 중요한 요소가 된다. 특히, 배터리를 사용하는 이동 단말기에서는 선형성이 좋은 증폭기의 사용이 제한되기 때문에 전송신호의 크기 변화를 최대한 줄여야 한다. 그래서, 고정진폭의 전송신호를 얻기 위한 방법으로 프리코딩 방식과 Binary CDMA 방식이 제안되었다.

프리코딩은 정보 비트에 여유 비트를 추가하여 코드간 직교성을 유지하면서 전송 신호의 진폭을 일정하게 하는 방법이다. 프리코딩에 대한 대표적인 연구 결과로는 Wada 방식[2]과 CS-CDMA 방식[3]이 있다. 두 방식 모두에서 전송 신호의 레벨은 일정하다.

Binary CDMA 시스템은 근본적으로 멀티코드 CDMA 시스템이며, 여러 채널의 신호를 합하여 얻은 멀티레벨의 신호를 이진 클리핑하여 전송한다. Binary CDMA에서는 이진 클리핑 과정으로 인해 수신부에서 각 채널의 상관도 값이 랜덤하게 되어 시스템 성능이 저하될 수 있다. 따라서, 수신부의 모든 채널에서 상관도 값을 고르게 얻을 수 있다면,

성능이 나쁜 채널이 사라진다. 즉, 기존의 Binary CDMA는 상관도 평활화 방법을 적용하여 시스템 성능을 개선할 수 있다[4].

본 논문에서는 고정진폭 멀티코드 시스템에서 다음과 같이 두가지 경우에 대해 성능을 비교한다. 첫째로, 동일한 PG(확산 이득)의 값에 대해 전송할 수 있는 정보비트의 수, 즉 칩당 비트 전송율을 비교한다. 둘째로, 통신링크의 랜덤 잡음에 의해 칩 전송 오류가 발생할 때에, 프리코딩 방식과 상관도 평활화 방식의 BER 성능을 비교한다.

2. 고정진폭 Multicode CDMA 시스템

2.1 Wada 방식

Wada가 제시한 고정진폭 시스템의 기본블록은 4x4 Walsh 코드를 확산패턴으로 이용하며, 3개의 비트와 하나의 여유 비트를 4개의 채널에 실어 전송한다. 여유 비트 b_3 는 식 (1)에 의해 정보 비트 b_0, b_1, b_2 로부터 생성된다. 정보 비트들은 채널 0, 1, 2에 실려 전송되며, 여유 비트는 채널 3에 실려 전송된다.

$$b_3 = \overline{b_0 \oplus b_1 \oplus b_2} \quad (1)$$

b_0, b_1, b_2, b_3 는 원래 1 혹은 0의 값을 가지나, $1 \rightarrow (+1), 0 \rightarrow (-1)$ 로 변환한 후, 각 채널별로 확산 패턴에 의해 곱하여 4 채널의 신호를 모두 합해서

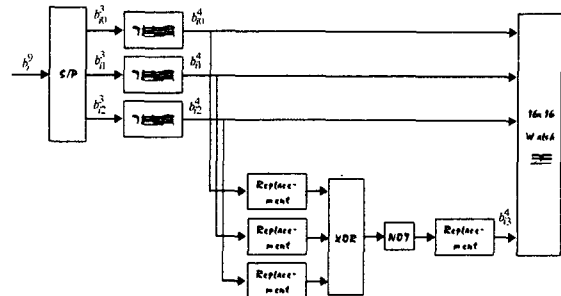


그림 1 Wada 9/16 방식의 블록도

얻는 전송 신호 s 는 ± 2 의 고정진폭을 갖는 4개의 칩 신호가 된다.

그림 1은 16 채널로 확장된 Wada 방식의 블록도이다. 9개의 정보비트는 3비트씩 나누어 기본블록에 입력되고 각 기본블록은 각각 4비트의 신호 b_{i0}, b_{i1}, b_{i2} 를 출력한다. b_{i0}, b_{i1}, b_{i2} 들은 각각

Replacement된 후 식 (1)과 유사한 연산을 거쳐 4 비트로 이루어진 여유 블록 신호 b_{13} 를 생성한다[2].

이렇게 얻어진 16 비트 패턴, $b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}$ 를 16×16 Walsh 코드로 확산하면 ± 4 의 값을 갖는 16개의 고정진폭 칩 신호를 얻는다.

2.2 코드선택 방식 (CS-CDMA)

CS-CDMA 송신기의 기본 블록은 k 개의 입력 비트에 의하여 여러 확산 패턴 중의 하나를 선택하는 구조로 되어있다. (k-1)개의 입력비트는 2^{k-1} 개의 확산 패턴 중 하나를 선택하고 마지막 k 번째 비트는 $1 \rightarrow (+1), 0 \rightarrow (-1)$ 로 변환하여, 선택된 코드에 곱하여 전송한다. 이와 같이 기본 블록에서는 여유비트의 추가없이, 크기가 ± 1 인 고정 진폭의 전송신호를 얻을 수 있다.

그림 2 는 기본 블록 3 개와 여유 블록 1 개로 이루어진 확장 블록이다. 각 기본 블록들은 16×16 Walsh 행렬에서 차례대로 4 열씩의 확산 패턴을 사용한다. 마지막 블록은 고정진폭 전송신호를 얻기 위해서 추가되는 여유블록이다. 여유 블록의 입력 신호 2 비트는 기본 블록의 입력으로부터 식 (2)와 같이 정해지며, 부호결정에 쓰이는 b_3 는 식 (1)에 의해 정해진다.

$$i_q \oplus j_q \oplus k_q \oplus l_q = 0, \quad q = 0, 1 \quad (2)$$

3 개의 기본 블록과 한 개의 여유 블록은 각각 4 비트의 신호를 출력하며, 이를 모은 16 비트를 16×16 Walsh 코드를 사용하여 확산한 출력 신호는 ± 2 의 고정진폭을 갖게 된다[3].

즉, 16×16 확장 블록의 경우 입력 비트 수는 $(3 \text{ 비트/블록}) \times 3 \text{ 블록} = 9$ 비트이다.

2.3 상관도 평활화 Binary CDMA 시스템

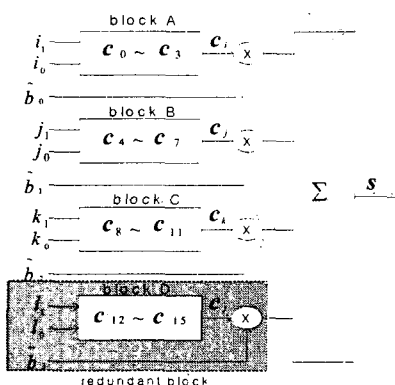


그림 2 CS-CDMA 방식의 블록도

Binary CDMA 은 모든 채널을 통해 합산된 신호를 이진 클리핑하기 때문에 ± 1 인 고정진폭의 전송 신호를 사용한다. 그러나, 기존의 시스템에서는 이진 클리핑의 영향으로 수신부에서 상관도 값이 랜덤하게 나타나기 때문에 전체 시스템 성능이 저하될 수 있다. 상관도 평활화 방법은 수신부의 상관도 값이 고르게 분포하도록 하여 성능을

향상시키는 방법이다.

상관도를 평활화하는 과정은 다음과 같다. 송신부에서는 이진 클리핑된 신호를 전송하기 전에 모든 채널의 W (=수신부의 상관도 값 \times 정보비트) 값을 송신 전에 미리 계산한다. 그 다음 가장 작은 W 를

갖는 채널에서 첫번째 칩부터 차례로 다음과 같은 과정을 수행한다: 클리핑된 칩신호와 그 채널의 확산 패턴의 칩을 곱한 값이 원래의 정보 비트의 부호와 일치하는지 조사한다. 만약 부호가 일치하지 않으면 현재의 칩은 W 를 감소시키므로 송신할 칩 신호의 부호를 반전시킨다. 하나의 칩이 반전되면 모든 채널의 W 값이 변화하므로 다시 크기 순으로 정렬한다. 그 후 위 과정을 마지막 칩까지 차례로 수행한다[4].

3. 성능 비교

3.1 칩당 비트 전송율

칩당 비트전송율의 계산에서는 통신링크에서의 전송오류는 고려하지 않는다. Walsh 코드를 확산패턴으로 사용할 때에는 PG(확산이득)의 값은 사용가능한 전체 채널의 수와 동일하다. 정보비트의 수와 추가되는 여유비트의 수의 합이 PG 보다 작은 경우라 하더라도 남은 여유채널을 정보 전송에 사용할 수는 없다. 그러므로, 동일한 PG 를 갖는 두 고정진폭 시스템의 정보 전송효율은 여유비트의 수와는 무관하게 다음 식 (3)과 칩당 비트전송율로 판단하는 것이 합리적이다.

$$\text{칩당 비트전송율} = \text{정보비트수} / \text{PG} \quad (3)$$

Wada 방식에서는 PG=4 의 경우는 기본 블록에 해당하므로 정보 비트수=3 이다. PG=16 이면 그림 1 에 보인 바와 같이 정보 비트수=9 이다. 또한, PG=64 일 경우도 27 개의 정보비트를 수용하면서 고정진폭의 전송신호를 얻을 수 있다고 알려져 있다.

CS-CDMA 방식에서는, PG=4 일때는 코드의 선택에서 2 비트, 부호의 선택에서 1 비트를 수용할 수 있으므로 정보비트수=3 이다. PG=16 이면 그림 2 와 같이, 블록 A,B,C 에서만 각각 3 비트씩 입력을 수용하므로 정보비트수=9 이다. PG=64 이면 4 개 중의 하나의 블록에서 사용하는 확산패턴의 수가 16 개이므로 이의 선택에 4 비트를 수용하고, 부호의 선택에 추가로 1 비트를 수용한다. 따라서, 정보비트의 수는 $15(=5 \times 3)$ 이다. 표 1 은 프리코딩 방식에서 PG(=N)에 따른 칩당 비트전송율을 정리한 것이다.

상관도 평활화를 적용한 Binary CDMA 방식은 앞서 설명한 프리코딩 방식보다 정보비트수를 유연하게 적용할 수 있다. 즉, 프리코딩 방식에서는 고정진폭 전송신호를 얻기 위해 3, 9, 15, 27 등으로 정보비트수가 제한되지만, Binary CDMA 시스템에서는 이러한 제한이 없다. 또한, 고정진폭 신호를 얻기 위해 여유비트를 생성할 필요가 없다. 따라서, 채널의 활용도가 매우 높다. 하지만, 일정한 수준의 통신품질을 유지하기 위해 정보비트의 수가 제한된다.

표 1 PG(=N)에 따른 프리코딩 방식의 칩당 비트전송율

	N=4	N=16	N=64	일반식
Wada	3/4	9/16	27/64	$\left(\frac{3}{4}\right)^{\log_4 N}$
CS-CDMA	3/4	9/16	15/64	$\frac{3 + (\log_4 N - 1) \cdot 6}{4 \log_4 N}$

3.2 BER 성능

그림 3 은 PG=16 일때, 그림 4 는 PG=64 일때 SNR 의 변화에 따른 프리코딩 방식의 BER 곡선을 나타낸다. 표 1 에서 예상할 수 있는 바와 같이 PG 가 증가할수록 Wada 방식이 CS-CDMA 방식 보다 BER 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 5 는 PG=16 인 Casuh 코드를 사용할 때, 그림 6 은 PG=64 인 Casuh 코드를 사용할 때 상관도 평활화를 적용한 Binary CDMA 의 BER 성능을 보여준다. 전송하는 정보비트수에 따라 BER 성능은 차이를 갖는다. 그림 5 와 그림 6 에서 보듯이 정보비트수가 증가함에 따라 BER 성능은 점점 나빠지고 어느 한계 이상에서는 SNR 을 증가시켜도 BER 은 낮아지지 않는다. 따라서, 일정한 수준의 통신품질을 유지하기 위해서 정보비트수는 제한된다. 최대 전송 정보비트 수는 그림 5 에서 PG=16 일 때 7 이고, 그림 6 에서 PG=64 일 때 21 임을 알 수 있다.

4. 결 론

전송오류가 없다고 가정할 때, PG=4, 16 일 경우 프리코딩에서 두 방식의 칩당 비트전송율은 동일하다. 하지만, PG=64 이상이 되면 Wada 방식의 정보비트 수가 CS-CDMA 방식보다 훨씬 빠르게 증가하므로 Wada 방식이 CS-CDMA 방식보다 칩당 비트 전송율이 훨씬 높다.

전송오류가 발생할 경우, PG 가 증가할수록 Wada 방식은 CS-CDMA 방식보다 BER 성능이 우수하다. 상관도 평활화를 적용한 Binary CDMA 방식은 수용가능한 채널의 수에 있어서는 프리코딩 방식 보다 유리하지만, 정보 비트수가 증가할수록 BER 성능이 나빠지므로, 일정 수준의 통신품질을 유지하기 위해서는 정보비트수를 제한해야 한다.

[참고 문헌]

- [1] C.I and R. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks", Proc. ICC'95, Seattle, June 1995
- [2] T. Wada, et al. "A constant amplitude coding for orthogonal multi-code CDMA systems", IEICE Trans. Fund., vol. E80-A, pp. 2477-2484, Dec. 1997
- [3] J. Oh, S. Kim, M. Kim, H. Ahn and S. Ryu: 'Orthogonal multi-code CDMA systems with constant amplitude transmission based on level clipping and pulse width modulation', LNCS vol. 2344, pp. 253-264, Springer-Verlag
- [4] Y. Kim, M. Chong and S. Ryu, "BER Improvement of Binary CDMA by Correlation Flattening", North-East Asia IT Symp 2002, Nov. 2002, China
- [5] 정만우, 김용철, 문장식, 류승문, "Binary CDMA 시스템에서의 채널 전송성능 측정", 제 12 회 JCCI 학술대회, 2002. 제주

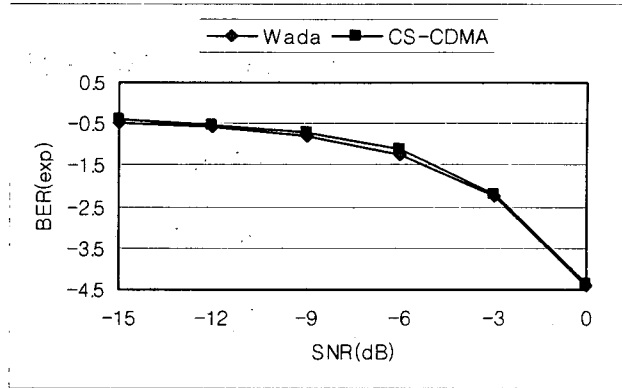


그림 3 PG=16 일때 프리코딩 방식의 BER 성능

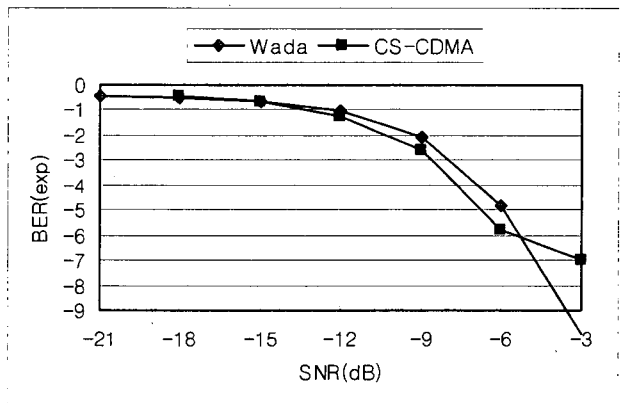


그림 4 PG=64 일때 프리코딩 방식의 BER 성능

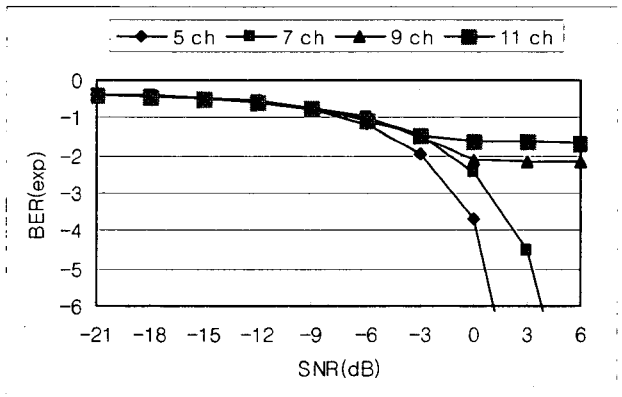


그림 5 PG=16 일때 상관도 평활화 방법의 BER 성능

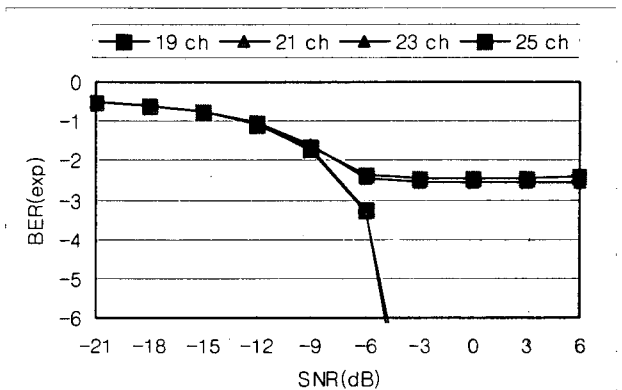


그림 6 PG=64 일때 상관도 평활화 방법의 BER 성능