

# 정포락선 부호화된 CS-CDMA 송신기의 논리 게이트를 이용한 구현

김성필\*, 류형직\*, 김명진\*, 오종갑\*\*  
\*한국의국어대학교 정보통신공학과, \*\*㈜어필텔레콤

## Logic gate implementation of constant amplitude coded CS/CDMA transmitter

Sung Pil Kim\*, Hyung Jik Ryu\*, Myoung Jin Kim\*, Jong Kap Oh\*\*  
Department of Information and Communications Engineering  
\*Hankuk University of Foreign Studies, \*\*Appeal Telecom Corp.  
E-mail : \*{ship, normalia, mjkim}@san.huhs.ac.kr, \*\*ohjongkap@hanmail.net

### Abstract

Multi-code CDMA is an appropriate scheme for transmitting high rate data. However, dynamic range of the signal is large, and power amplifier with good linearity is required. Code select CDMA (CS/CDMA) is a variation of multi-code CDMA scheme that ensures constant amplitude transmission. In CS/CDMA input data selects multiple orthogonal codes, and sum of these selected codes are MPSK modulated to convert multi-level symbol into different carrier phases. CS/CDMA system employs level clipping to limit the number of levels at the output symbol to avoid high density of signal constellation. In our previous work we showed that by encoding input data of CS/CDMA amplitude of the output symbol can be made constant. With this coding scheme, level clipping is not necessary and the output signal can be BPSK modulated for transmission. In this paper we show that the constant amplitude coded(CA-) CS/CDMA transmitter can be implemented using only logic gates, and the hardware complexity is very low. In the proposed transmitter architecture there is no apparent redundant encoder block which plays a major role in the constant amplitude coded CS/CDMA.

### I. 서론

다양한 전송 속도 및 통신 품질 등의 요구를 만족시키는 시스템으로 가변 확산 이득 CDMA(VSG/CDMA) 시스템[1]과 멀티코드 CDMA(MC/CDMA) 시스템[2]을 들 수 있다. VSG-CDMA 시스템은 입력 데이터 전송률

에 따라 전송속도를 가변적으로 조절하여 확산 이득을 조절할 수 있고 요구되는 통신품질을 만족시키기 위해 전송 전력을 조절할 수 있다. 그러나 고속의 데이터를 전송하는 경우 확산이득이 작아져서 간섭에 대한 내성이 줄어든다. MC/CDMA 시스템은 전송률에 따라서 채널 수를 변화시키므로 확산이득의 감소가 일어나지는 않으나 확산 코드의 선형 합이 전송되므로 전송신호의 크기가 일정하지 않으며, 선형성이 좋은 증폭기의 사용이 요구된다는 단점이 있다.

근래에 제안된 CS/CDMA[3]는 MC/CDMA 와 같이 여러 채널의 직교코드가 더해져서 전송되는 방식인데, 여러 개의 코드 선택 블록에서 입력 데이터에 의해 직교코드가 선택되고, 각 블록에서 선택된 직교코드를 더하여 생성된 다중 레벨 심볼을 칩 단위로 MPSK 변조하여 전송하는 시스템이다. 이 방식에서도 직교코드 합산기 출력 심볼의 레벨 개수를 제한하기 위해 신호를 클리핑하므로 직교성이 손상된다. [4]에서는 시스템에 입력되는 정보 비트열을 적절히 부호화하면 여러 블록에서 출력된 직교코드를 더하더라도 심볼 레벨이 일정하게 되어 레벨 클리핑이 불필요하고 심볼을 간단히 BPSK 로 변조하여 송신할 수 있음을 보이고 있다. 이렇게 정 포락선 부호화기를 적용한 CS/CDMA 시스템을 CA-CS/CDMA 라 부르기로 한다.

본 논문에서는 [4]에서 제안된 CA-CS/CDMA 시스템에 대하여, 전송 신호를 정 포락선 부호화를 위한 코딩 블록 없이 생성할 수 있음을 보이고 디지털 논리 게이트를 이용하여 송신기 구조를 단순화할 수 있음을 보인다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서 CS/CDMA 시스템의 구조를 설명하며, 제 3 절에서는 CA-CS/CDMA 시스템의 전송 신호 형태를 살펴본 후 송신기를 디지털 논리 게이트로 구현할 수 있음을 보인다. 제 4 절에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. CS/CDMA 시스템

MC/CDMA에서는 정보 비트를 각 채널마다 독립적으로 할당된 직교코드와 곱하여 확산된 신호를 더한 후 캐리어를 변조하여 전송한다. 이에 반해 CS/CDMA에서는 정보 비트열에 따라 곱해질 직교코드가 선택된다. CS/CDMA 시스템의 기본 블록을 그림 1에 보인다. 기본 블록에서는  $k$  비트의 입력 데이터 중  $k-1$  비트가  $2^{k-1}$ 개의 가능한 직교코드 중에서 한 개를 선택하여 나머지 한 비트의 데이터와 곱하여 입력신호를 확산시킨다. 즉,  $k-1$  정보 비트가 직교코드를 선택하고, 1 비트의 정보 비트가 선택된 직교코드와 곱해진다.

기본 블록에 입력되는 정보 비트가 증가하면 요구되는 코드집합의 크기가 지수적으로 증가하여 실현상 문제점이 있게 된다. 기본블록을 여러 개 사용하도록 시스템을 구성하면 이 문제가 완화된다. 예를 들어 12 비트의 입력을 가지는 경우 한 개의 기본블록만 가진 시스템에서는  $2^{11}$  개의 코드집합이 필요하다. 그러나 4 개의 기본블록을 사용하는 시스템에서는  $2^2 \times 4 = 16$  개의 코드집합만 필요하다. 여러 개의 기본블록으로 구성된 CS/CDMA 시스템에서는 각 기본블록의 출력을 더하여 대역통과 변조를 하여 전송하는데, 문제는 기본블록 출력의 합은 MC/CDMA 처럼 멀티레벨 신호가 된다는 것이다. MP/CDMA 와 같이 기본블록 출력을 더한 신호에 대하여 필요에 따라(레벨 개수를 제한하기 위하여) 레벨 클리핑을 한 후 MPSK 변조를 하여 전송한다.

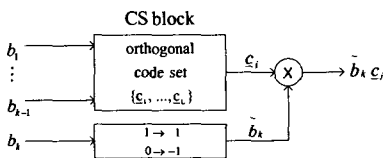


그림 1. CS/CDMA 송신기의 기본블록

## III. CA-CS/CDMA 송신기 구현

### 3.1 CA-CS/CDMA 시스템의 전송 신호

두 비트로 직교코드를 선택하고 한 비트로 부호를 결정하며 4 개의 기본블록으로 구성된, 즉 9 비트 입력을 갖는 CA-CS/CDMA 시스템의 구성도를 그림 2에 보인다. 여기서 상위 3개 블록은 정보 데이터를 전송하며 아래의 1개 블록은 정 포락선 부호화를 위한 코딩 블록이다. 직교코드는 Hadamard 코드가 사용되며 기본블록은 모두 동일한 구조를 갖는다.

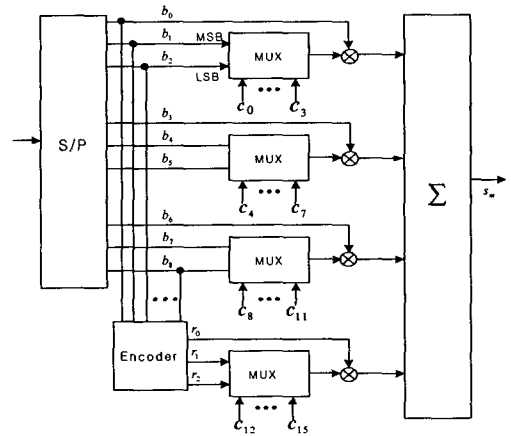


그림 2. CA-CS/CDMA 시스템의 송신기

크기  $M \times M$ 의 Hadamard 행렬은 식 (1)과 같이 표현되며, Hadamard 행렬의 row 벡터를 확산코드로 사용한다. Hadamard 행렬의 원소  $c_{n,m}$ 은 또한 식 (2)와 식(3)으로써 표현할 수 있다.

$$H_M = \begin{bmatrix} H_{M/2} & H_{M/2} \\ H_{M/2} & \overline{H_{M/2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{0,0} & c_{0,1} & \dots & c_{0,M-1} \\ c_{1,0} & \ddots & & \\ \vdots & & c_{n,m} & \vdots \\ c_{M-1,0} & c_{M-1,1} & \dots & c_{M-1,M-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{M-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$c_{n,m} = (-1)^{p(n,m)} \quad (2)$$

$$p(n,m) = \left( \sum_{x=0}^{r-1} n_x \cdot m_x \right) \bmod 2 = n_0 m_0 \oplus n_1 m_1 \oplus \dots \oplus n_{r-1} m_{r-1} \quad (3)$$

여기서  $n_j, m_j$ 는  $n$ 과  $m$ 을 이진수로 표현할 때의 각 비트를 나타낸다. 십진수  $n$ 을  $r$ 비트의 이진수로 표현

할 때의 관계는 식 (4)와 같이 된다.

$$n = (n_{r-1}, \dots, n_1, n_0)_2 = n_{r-1} \times 2^{r-1} + \dots + n_1 \times 2^1 + n_0 \times 2^0 \quad (4)$$

예를 들어  $M=4$  라면  $p(n, m)$  는 표 1 과 같은 값을 가진다.

표 1.  $p(n, m)$  의 값

$n \backslash m$	$(00)_2$	$(01)_2$	$(10)_2$	$(11)_2$
$(00)_2$	0	0	0	0
$(01)_2$	0	1	0	1
$(10)_2$	0	0	1	1
$(11)_2$	0	1	1	0

그림 2 에 보인 CA-CS/CDMA 시스템에서는 각 블록마다 두 비트로 4 개의 코드집합에서 한 개의 코드를 선택하므로 전체 코드 집합은 16 개의 코드를 가진다. 전체 코드집합을 나타내는  $16 \times 16$  크기의 Hadamard 행렬  $\mathbf{H}_{16}$  을 식(5)와 같이 4 개의  $4 \times 16$  크기의 부행렬로 분할하여  $q$  번째 기본 블록에서는  $\mathbf{H}_{4 \times 16}^q$  에서 한 행을 직교코드로 선택하여 사용한다.

$$\mathbf{H}_{16} = [c_{j,k}] \equiv \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{4 \times 16}^0 \\ \mathbf{H}_{4 \times 16}^1 \\ \mathbf{H}_{4 \times 16}^2 \\ \mathbf{H}_{4 \times 16}^3 \end{bmatrix} \begin{matrix} \updownarrow \text{block A} \\ \updownarrow \text{block B} \\ \updownarrow \text{block C} \\ \updownarrow \text{block D} \end{matrix} \quad (5)$$

식(5)의  $\mathbf{H}_{16}$  에서 입력 비트에 따라 행을 선택하는 4 비트 인덱스를  $h_q, q \in \{0, 1, 2, 3\}$  라 하고, 각각의 부행렬,  $\mathbf{H}_{4 \times 16}^q, q \in \{0, 1, 2, 3\}$  에서 행을 선택하는 두 비트 인덱스를  $i, j, k, l \in \{0, 1, 2, 3\}$  라고 하면 서로 표 2 에 나타낸 관계를 가짐을 알 수 있다. 표 2 에서는 직교코드를 선택하는 행 인덱스와 그림 4 의 송신기 모델에서의 입력 정보 비트와 잉여 비트와의 관계를 같이 보이고 있다.

표 2. 코드집합 행렬의 행 인덱스

$h_0 = 0 + i$	$h_0 = 0 + (00i_0)_2 = (00i_0)_2 = (00b_1b_2)_2$
$h_1 = 4 + j$	$h_1 = 4 + (00j_1j_0)_2 = (01j_1j_0)_2 = (01b_4b_5)_2$
$h_2 = 8 + k$	$h_2 = 8 + (00k_1k_0)_2 = (10k_1k_0)_2 = (10b_7b_8)_2$
$h_3 = 12 + l$	$h_3 = 12 + (00l_1l_0)_2 = (11l_1l_0)_2 = (11b_{10}b_{11})_2$

여기서 수식 표현의 일관성을 얻기 위하여 잉여비트를  $b_9 \equiv r_0, b_{10} \equiv r_1, b_{11} \equiv r_2$  와 같이 표현하였다. 1 과 0 의 값을 가지는 비트 값을 1 과 -1 로 변환하여 나타내기 위해  $\tilde{b}_i \equiv (-1)^{b_i}$  로써 표현하면 전송 신호는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{s} = [s_0 s_1 \dots s_{15}] = \tilde{\mathbf{b}} \begin{bmatrix} c_{h_0} \\ c_{h_1} \\ c_{h_2} \\ c_{h_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{b}_0 & \tilde{b}_3 & \tilde{b}_6 & \tilde{b}_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{0+i} \\ c_{4+j} \\ c_{8+k} \\ c_{12+l} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$0 \leq h_0 \leq 3, 4 \leq h_1 \leq 7, 8 \leq h_2 \leq 11, 12 \leq h_3 \leq 15$$

Hadamard 행렬의 성질을 이용하면 전송신호의  $m$  번째 칩에서의 값이 식(7) 같이 표현되는 것을 알 수 있다.

$$-s_m = (-1)^{h_0} c_{h_0, m} + (-1)^{h_1} c_{h_1, m} + (-1)^{h_2} c_{h_2, m} + (-1)^{h_3} c_{h_3, m} \quad (7)$$

$$= (-1)^{h_0 + p(h_0, m)} + (-1)^{h_1 + p(h_1, m)} + (-1)^{h_2 + p(h_2, m)} + (-1)^{h_3 + p(h_3, m)}$$

또한 표 1 의 성질을 이용하면 식 (7)은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$-s_m = (-1)^{p_0} + (-1)^{p_1} + (-1)^{p_2} + (-1)^{p_3} \quad (8)$$

여기서  $P_q \triangleq b_{(3,q)} \oplus p(h_q, m) \in \{0, 1\}, q \in \{0, 1, 2, 3\}$  이다.

식(8)과 같이 표현되는 전송 신호는 CS 블록에서부터 나온 정보 신호와 코딩 블록에서 나온 잉여 신호의 합이다. 정보 비트에 의한 신호와 코딩을 위한 신호를 구분하여 전송 신호를 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$-s_m = (-1)^{p_0} + (-1)^{p_1} + (-1)^{p_2} + (-1)^{p_3} = -d_m + (-1)^{p_3} \quad (9)$$

여기서

$$-d_m \triangleq (-1)^{p_0} + (-1)^{p_1} + (-1)^{p_2} \quad (10)$$

이며 정보 비트 성분에 의한 신호들의 합이다.

### 3.2 정 포락선 부호화된 CS/CDMA 송신기 구현

CA-CS/CDMA 시스템에서 출력 심볼의 크기를 일정하게 하는 부호화의 조건은 아래 식 (11)과 같이 주어진다[4].

$$\begin{cases} b_0 \oplus b_3 \oplus b_6 \oplus b_9 = 1 \\ p(h_0, m) \oplus p(h_1, m) \oplus p(h_2, m) \oplus p(h_3, m) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

식 (11)이 만족되도록 부호화한다는 것은 식 (12)가 만족되도록  $P_3$  를 만들어낸다는 것과 동일하다.

$$\begin{aligned} D &\triangleq P_0 \oplus P_1 \oplus P_2 \oplus P_3 \\ &= (b_0 \oplus b_3 \oplus b_6 \oplus b_9) \\ &\quad \oplus (p(h_0, m) \oplus p(h_1, m) \oplus p(h_2, m) \oplus p(h_3, m)) \\ &= 1 \oplus 0 = 1 \end{aligned} \quad (12)$$

표 4 에는 위의 정포락선 부호화에 따른 출력 심볼값과

정보비트 성분에 의한 신호의 합  $d_m$ 의 관계를 보인다.

표 4. 부호화에 따른  $s_m$ 과  $d_m$ 의 값

$P_3$	$P_2$	$P_1$	$P_0$	$D$	$s_m$	$d_m$
0	0	0	1	1	-2	-1
0	0	1	0	1	-2	-1
0	1	0	0	1	-2	-1
0	1	1	1	1	+2	+3
1	0	0	0	1	-2	-3
1	0	1	1	1	+2	+1
1	1	0	1	1	+2	+1
1	1	1	0	1	+2	+1

표 4로부터  $s_m$ 과  $d_m$ 은 서로 같은 부호를 갖는다는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (10)에 의하여 결정되는  $d_m$ 만 가지고 출력 심볼 값  $s_m$ 을 발생시킬 수 있다. 즉, 표 5와 같이  $X_m$ 을 발생시킨 후 양극성 심볼로 변환하여 전송하면 된다.

표 5. 전송신호의 부호와  $P_0, P_1, P_2$ 와의 관계

$P_2$	$P_1$	$P_0$	$X_m(s_m)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

정보 비트에 의하여 결정되는 신호  $d_m$ 의 부호는  $P_0, P_1, P_2$ 에 의해 결정되는데, Karnaugh 맵을 사용하여 간략화하면 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$X_m(d_m) = P_1 \cdot P_0 + P_2 \cdot (P_1 \oplus P_0) \quad (13)$$

또한 식 (13)을 식 (3)과 표 2를 이용하여 다시 쓰면  $m$ 번째 칩에서의 전송 신호는 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_m(d_m) &= P_1 \cdot P_0 + P_2 \cdot (P_1 \oplus P_0) \\ &= (b_0 \oplus b_2 m_0 \oplus b_1 m_1)(b_1 \oplus b_3 m_0 \oplus b_4 m_2) \\ &\quad + (b_5 \oplus b_6 m_0 \oplus b_7 m_1 \oplus m_3) \\ &\quad \times (b_0 \oplus b_3 \oplus (b_2 \oplus b_5)m_0 \oplus (b_1 \oplus b_4)m_1 \oplus m_2) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서  $m_j$ 는  $m$ 을 이진수로 표현할 때의 각 비트를 나타낸다. 칩율과 동기가 일치하는 펄스에 대한 4-비트 카운터를 사용하여  $m_j$ 를 얻으면 전송신호의 부호인 식 (14)의  $X_m$ 을 디지털 gate와 카운터로 구성할 수 있다. 그림 4의 송신기 모델을 식 (14)의  $X_m$ 을 이용하여 논리 게이트와 카운터로 단순화한 모델을 그림 3에 보이고 있다.

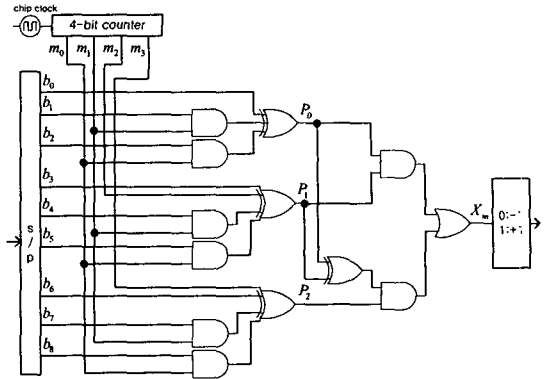


그림 3. 논리 게이트로 구현한 CA-CS/CDMA 송신기

## IV. 결론

CS/CDMA에서는 정보 데이터에 따라 직교 코드가 선택되어 전송된다. 선택된 직교코드를 더하여 생성된 멀티레벨 신호의 레벨 개수를 제한하기 위해 신호를 클리핑하여 칩 단위로 MPSK 변조하여 전송하는데 클리핑으로 인해 직교성이 손상되어 성능이 저하된다. 그러나 정보 데이터를 적절히 부호화하면 전송 신호의 크기를 일정하게 만들 수 있다. 정 포락선 부호화 과정에서 코딩블록이 요구되는데, 본 논문에서는 정 포락선 코딩된 CS/CDMA 시스템의 전송 신호를 코딩 블록을 사용하지 않고 정 포락선 특성을 가지도록 생성할 수 있음을 보였고 정 포락선 코딩된 CS/CDMA 송신기를 디지털 논리 게이트를 이용하여 구현할 수 있음을 보였다.

## 참고문헌

- [1] C-L. I and K. K. Sabnani, "Variable spreading gain CDMA with adaptive control for true packet switching wireless network," Proc. ICC'95, Seattle, June 1995.
- [2] C-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," Proc. ICC'95, Seattle, June 1995.
- [3] S. M. Ryu, Code Select CDMA Modulation and Demodulation Method and Device Thereof, Korea Patent, No. 10-2001-0061738, Oct. 2001.
- [4] Sung Pil Kim, Myoung Jin Kim, "A Constant Amplitude Coding for Code Select CDMA System," TENCON'02, Oct. 2002.