

상관도 평활화된 Binary CDMA의 BER 개선

서근중*, 정민우*, 정희원 김 용 철*

BER Improvement Correlation-Flattened Binary CDMA

Keun-Jong Seo*, Min-Woo Chong*, Yong Cheol Kim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 일종의 멀티코드 시스템인 Binary CDMA의 성능을 향상시키기 위해 상관도 값을 평활화하는 방법을 제안한다. DS-CDMA 방식과는 달리, Binary CDMA 에서는 멀티레벨 신호를 이진 클리핑하여 전송하므로 선형성이 떨어지는 전력증폭기를 사용해도 무방하다. 그러나, 전송신호가 이진 클리핑되는 과정에서 각 채널 사이의 직교성이 감소하여 수신부에서의 채널별 상관도 값은 랜덤해지며, 가장 작은 상관도 값을 갖는 채널에 의해 시스템의 평균 BER이 결정된다. 본 연구에서는 수신부 상관도 값이 불균형한 분포를 갖지 않고, 전 채널에 대해 고르게 분포하게 하는 상관도 평활화 방법을 적용하여 시스템의 평균 BER을 개선하였다. 여러 종류의 확산 코드를 이용하여 실험한 결과, BER은 낮아지고 가용 채널의 수는 증가하였다.

key Words : 멀티코드 시스템, Binary CDMA, 상관도 값, 상관도 평활화, BER

ABSTRACT

We present a performance improvement of Binary CDMA by flattening the correlation values. A Binary CDMA system, in which multi-leveled transmission signal of multi-code CDMA is clipped into a binary value, is cost-efficient since the strict linearity of the power amplifier is relieved. However, a loss of orthogonality among user channels due to the clipping causes the correlation values at the receiver to have a random distribution. If the correlation value for even a single channel goes too low, the average BER drops considerably. We developed a method of correlation flattening, where the binary chip pattern at the transmitter is adjusted so that the correlation values have averaged magnitude. Experimental results on several spreading codes show that the correlation flattening method increases the number of available channels at reduced BER.

I. 서 론

3세대 무선통신 시스템에서는 다양한 서비스를 제공하기 위해, 높은 데이터 전송률을 구현하기 위한 방법으로 DS-CDMA 기반의 두 가지 방식이 제안되었다.^[1-4] 하나는, 가변 확산이득 CDMA (VGS-CDMA) 방식으로서, 사용자가 원하는 데이터 전송율을 만족시킬 수 있도록 확산이득을 변화시켜가면서 채널을 사용하는 방식이다.^[3] 다른 하나

는 멀티코드 CDMA 방식으로서,^[4] 고속전송 미디어 데이터를 몇 개의 세그먼트로 나누어 각 세그먼트마다 하나의 채널을 할당한다. 두 가지 방법을 비교하면, 페이딩이 없는 환경에서는 두 방식의 전송 용량이 같으며, 페이딩 환경에서는 멀티코드 CDMA 방식이 VGS-CDMA 방식보다 우수한 것으로 알려져 있다.^[5]

DS-CDMA 기반의 멀티코드 시스템에서 전송 신호는 모든 채널의 신호를 더하여 얻어

* 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(kbell3@sidae.uos.ac.kr; mwch@cyberdigm.co.kr; yckim@uos.ac.kr)

논문번호 : 030328-0801, 접수일자 : 2003년 8월 1일

* 이 연구는 2002년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었습니다.

지므로 진폭의 변화가 심하다. 따라서, 송신부에서는 선형성이 우수한 전력증폭기의 사용이 필수적이므로 전체 시스템의 비용이 증가한다.

프리코딩은 정보비트를 부호화하여 코드 사이에 직교성을 유지하면서 일정한 진폭의 전송 신호를 얻는 방법이다. 대표적인 연구로는 Wada 방식^[6]과, CS-CDMA 방식^[7]이 있다. 프리코딩 방식은 다음과 같은 면에서 제약성이 있다. 첫째, 정보 채널의 수가 고정되어 있다. 확산 이득의 값이 4/16/64일 때 Wada의 방식에서 전송할 수 있는 채널의 수는 각각 3/9/27로 고정되며, CS-CDMA 방식에서는 각각 3/9/15로 고정된다. 둘째, 신호의 진폭을 일정하게 유지하기 위해 여유 비트를 사용하므로, PG의 값이 커질수록 전송효율이 감소한다.

Binary CDMA 시스템은 일종의 멀티코드 CDMA 시스템으로서,^[8] 여러 채널의 신호를 합한 멀티 레벨의 신호를 이진 클리핑하여 전송한다. 이 때문에 채널간 직교성이 감소하여 수신부에서의 각 채널의 상관도 값은 DS-CDMA 방식에 비해 작아져, BER 성능은 DS-CDMA 기반 멀티코드에 비해 2~3dB 정도 낮다.^[8,9] 그러나, Binary CDMA 시스템에서는 프리코딩에서 나타나는 정보 채널 수의 제한이나 전송효율의 감소는 발생하지 않는다.

DS-CDMA에서는 모든 채널의 상관도 값의 크기는 같고, SNR의 변화가 BER 성능에 미치는 영향은 모든 채널에 대해 동일하다. 반면에 Binary CDMA에서는 이진 클리핑 과정으로 인해 수신부에서 각 채널의 상관도 값이 랜덤하게 나타난다. 따라서, Binary CDMA에서는 전 채널에 대한 평균 BER과 어느 한 채널의 BER은 서로 달라질 수 있으며, 만약 특정 채널이 매우 낮은 상관도 값을 갖게 되면 대부분의 비트 오류는 그 채널에서 발생하게 된다. 따라서 이 특정 채널의 BER 성능을 향상시킴으로써 전체 시스템의 평균 BER을 개선시킬 수 있다.

본 논문에서 제안하는 상관도 평활화 방법은 Binary CDMA 시스템에서 수신부의 모든 채널이 비슷한 크기의 상관도 값을 갖게 함으로써 전체 성능을 개선하는 방법이다. 여러 종류의 확산코드를 적용하여 실험한 결과, 제안하는 방법은 효율적으로 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Binary CDMA의 이진 클리핑 과정을 분석하여 상관도의 평균값을 수학적으로 유도하였다. III장에서는 상관도 평활화 방법을 서술하였고, IV장에서 제안하는 방법을 적용한 실험결과를 제시하였다.

II. Binary CDMA의 상관도 값

그림 1은 Binary CDMA 시스템 송신부를 나타낸 것이다. 송신부에서는 여러 채널을 합한 신호를 이진 클리핑하여 전송한다. K는 멀티코드에서 사용하는 채널의 수이며, N은 확산코드의 길이이다. 이 논문의 분석 과정에서는 K는 홀수로 가정하였다. K개의 사용자 채널로부터의 (+1) 혹은 (-1)의 값을 갖는 데이터를 합한 n번째 칩 신호는 다음과 같은 값 중의 하나가 된다.

$$s(n) \in \{-K, -(K-2), \dots, -1, +1, \dots, K-2, K\}$$

s(n)은 이진 클리핑되어 (+1) 혹은 (-1)의 값을 갖는 $\tilde{s}(n)$ 으로 바뀐다.

Binary CDMA의 수신부는 상관 수신기를 사용하는 일반적인 DS-CDMA의 수신부와 동일하며, 그림 2는 수신부에서 첫번째 채널의 상관도 값을 구하는 과정을 나타낸 것이다. 유도 과정에서 통신 링크에서의 전송 오류는 무시하기로 하며, 사용하는 변수들을 다음과 같이 정의한다.

$$a_k(n) : k\text{-th 채널의 확산코드의 } n\text{-th 칩}$$

$$b_k : k\text{-th 채널의 데이터 비트}$$

수신부에서 $\tilde{s}(n)$ 과 k번째 채널의 확산코드를 곱한 신호 $c_k(n)$ 은 다음과 같다.

$$c_k(n) = \tilde{s}(n) \cdot a_k(n)$$

수신부에서 k번째 채널의 상관도 값은 식(1)과 같이 주어진다. 수신부에서는 Z_k 의 부호로 데이터 비트를 판정한다.

$$Z_k = \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{s}(n) \cdot a_k(n) = \sum_{n=0}^{N-1} c_k(n) \quad (1)$$

수신부에서의 상관도 값의 평균 크기는 채널이나 데이터 비트의 부호와는 관계없이 일정하

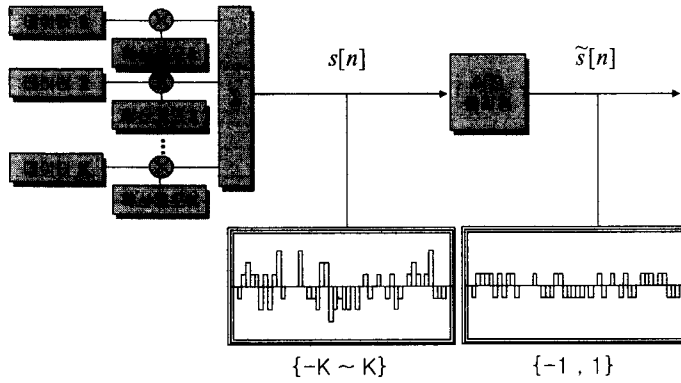


그림 1 Binary CDMA 시스템의 송신부

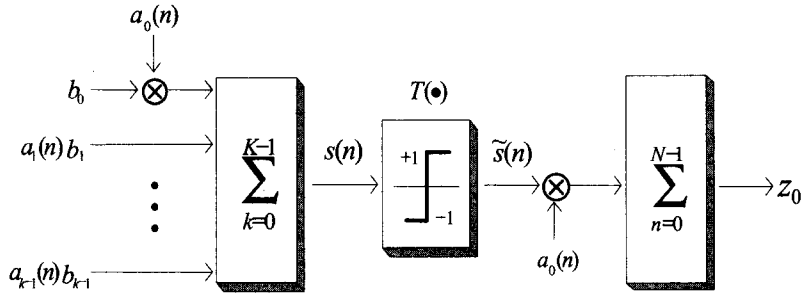


그림 2 수신부에서의 복조과정 (첫번째 채널)

로, 본 논문에서는 첫 번째 채널의 데이터 비트가 +1 ($b_0=1$)일때의 상관도 값 Z_0 의 평균을 유도하기로 한다.

송신부에서 k 번째 채널의 n 번째 칩 $p_k(n)$ 은 다음과 같이 확산코드와 데이터 비트의 곱으로 얻어진다..

$$p_k(n) = a_k(n) \cdot b_k$$

첫번째 채널을 제외한 나머지 모든 채널의 확산신호를 합한 신호 $s_p(n)$ 은 다음과 같다.

$$s_p(n) = \sum_{k=1}^{K-1} p_k(n)$$

K 는 홀수이므로

$$s_p(n) \in \{-(K-1), \dots, -2, 0, +2, \dots, (K-3), (K-1)\}.$$

첫 번째 채널의 데이터 비트는 (+1)로 가정하였으므로, 모든 채널을 더한 송신 신호의 n 번째 칩 $s(n)$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(n) = b_0 \cdot a_0(n) + \sum_{k=1}^{K-1} p_k(n) = a_0(n) + s_p(n)$$

$s_p(n) = j$ 일 때, $\tilde{s}(n)$ 의 값은 확산코드 $a_0(n)$ 의 값에 따라 다음과 같이 결정된다.

$a_0(n) = (+1)$ 인 경우,

$$\tilde{s}(n) = T[s(n)] = T[(+1) + j] = \begin{cases} +1, & j \geq 0 \\ -1, & j \leq -2 \end{cases} \quad (2)$$

$a_0(n) = (-1)$ 인 경우,

$$\tilde{s}(n) = T[s(n)] = T[(-1) + j] = \begin{cases} +1, & j \geq +2 \\ -1, & j \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$s_p(n)$ 은 $(K-1)$ 개의 독립적인 이진 랜덤변수의 합으로써 이항 분포를 따르므로, $s_p(n) = j$ 일 확률 $f_s(j)$ 는 다음과 같다.

$$f_s(j) = \text{Prob}[s_p(n) = j] = {}_{K-1}C_{\frac{K-1+j}{2}} \left(\frac{1}{2}\right)^{K-1} \quad (4)$$

$c_0(n) = 1$ 일 때의 확률 P_+ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_+ &= \Pr [a_0(n) = +1] \cdot \Pr [\tilde{s}(n) = +1 | a_0(n) = +1] \\
 &\quad + \Pr [a_0(n) = -1] \cdot \Pr [\tilde{s}(n) = -1 | a_0(n) = -1] \\
 &= \frac{1}{2} \sum_{j \geq 0} f_s(j) + \frac{1}{2} \sum_{j \leq 0} f_s(j) \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2} \right)^{K-1} C_{\frac{K-1}{2}} \right\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

수신부에서, Z_0 의 평균은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E(Z_0) &= E \left(\sum_{n=0}^{N-1} c_0(n) \right) \\
 &= \sum_{n=0}^{N-1} [(+1) \cdot P_+ + (-1) \cdot (1 - P_+)] \\
 &= N \cdot (2P_+ - 1) \\
 &= N \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{K-1} C_{\frac{K-1}{2}} \quad (6)
 \end{aligned}$$

N=64일 때 채널의 수 K에 따른 상관도 값의 평균 크기는 표 1과 같다.

표 1 : N=64 일때 채널수에 따른 상관도값의 평균

K	3	5	7	9	11	13	15	17	19
E[Z]	32.00	24.00	20.00	17.50	15.75	14.44	13.41	12.57	11.87

III. 상관도 평활화

Z는 각 사용자 채널의 성능 측정에 있어 중요한 지표이다. 직교 코드를 사용한 DS-CDMA의 경우, Z는 데이터 비트의 부호에 따라 (+N) 혹은 (-N)의 값을 갖는다.

Binary CDMA의 경우에는 수신부에서의 Z의 부호가 데이터 비트의 부호와 반대가 되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, Binary CDMA에서는, 식(7)과 같이 Z와 데이터 비트의 부호를 곱한 W를 성능 지표로 사용하기로 한다.

$$W = (\text{데이터 비트의 부호}) \times Z \quad (7)$$

표 2는 N=64일때 W의 분포의 예를 나타낸다. 표의 열은 사용자 채널의 수이고, 행은 W의 값을

표 2 N=64 일 때의 W 값 분포

#(CH) W	3	5	7	9	11	13	15	17	19
-2	0	0	0	0	0	0.007	0	0	0.002
0	0	0	0	0	0	0.008	0	0	0.007
2	0	0	0	0	0	0	0.009	0.003	0.018
4	0	0	0	0	0	0	0.027	0.028	0.033
6	0	0	0	0	0.023	0	0.034	0.078	0.062
8	0	0	0	0	0.040	0	0.045	0.130	0.119
10	0	0	0	0.028	0	0.040	0.126	0.133	0.178
12	0	0	0	0.223	0.057	0.242	0.226	0.149	0.197
14	0	0	0	0	0.335	0.376	0.223	0.158	0.159
16	0	0	0	0	0.318	0.225	0.137	0.159	0.108
18	0	0	0	0.220	0.040	0.055	0.075	0.103	0.064
20	0	0	1.000	0.529	0.046	0	0.054	0.048	0.033
22	0	0	0	0	0.102	0	0.033	0.011	0.015
24	0	1.000	0	0	0.040	0	0.011	0.001	0.005
26	0	0	0	0	0	0.014	0.001	0.000	0.001
28	0	0	0	0	0	0.025	0	0	0.000
30	0	0	0	0	0	0.007	0	0	0
32	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	32.0	24.0	20.0	17.5	15.8	14.4	13.4	12.6	11.9

나타내었다. 확산코드는 길이 64의 Casuh 코드 (tap=1,6)를 사용하였다. Casuh코드는 길이가 (N-1)인 m-seq의 종단에 '0' 비트를 추가하여 얻은 직교 코드이다. 각 채널에는 $a_0 \sim a_{K-1}$ 의 순서대로 코드를 할당하였다. 여기에서 a_k 는 k번째 코드를 나타낸다. Z의 평균과 표 1의 결과를 비교하면 두 값은 일치함을 알 수 있다. 전체 코드워드 중에서 임의의 조합으로 확산 패턴을 선택하는 경우에도 동일한 평균값을 얻는다.

1. Binary CDMA의 상관도 값

표 3는 N=64 일 때, DS-CDMA 방식의 수신부에서의 각 채널의 상관도 값의 크기를 나타낸 것이다. DS-CDMA에서 W의 값은 모든 채널에서 동일하나, Binary CDMA의 경우에는 전송 과정에서 전혀 칩 오류가 발생하지 않더라도 W가 음의 값을 가질 수 있다. 이러한 경우에 Binary CDMA 시스템의 성능은 결정적으로 저하된다.

표 4의 예를 보면, 12번째 채널의 W의 값이 (-2)가 되어 비트 오류가 발생하는 것을 알 수 있다. 만약 이러한 현상이 0.1의 확률로 발생한다면, BER은 0.07($\approx 1/13$) 보다 크게 될 것이다. 이러한 오류는 채널 잡음의 크기와는 무관한 내재적인 것이므로 SNR을 증가시키더라도 BER 성능은 개선되지 않는다.

2. 상관도 평활화

Binary CDMA 통신시스템에서 모든 채널의

표3 DS-CDMA에서의 W값

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
data	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
Z	64	-64	-64	-64	64	64	-64	64	-64	64	-64	-64	64
W	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64

표4 Binary CDMA에서의 W값

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
data	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Z	-14	-14	18	18	-14	-14	-14	-14	-30	-14	-14	2	-14
W	14	14	18	18	14	14	14	14	30	14	14	-2	14

표5 첫번째 칩의 부호를 반전시킨 결과

W (before)	14	14	18	18	14	14	14	14	30	14	14	-2	14
W (after)	16	12	20	20	12	12	16	12	28	12	12	0	16

표6 상관도 평활화에 의한 최종 개선결과

W (before)	14	14	18	18	14	14	14	14	30	14	14	-2	14
W (after)	18	10	14	14	10	10	10	10	18	10	18	10	18

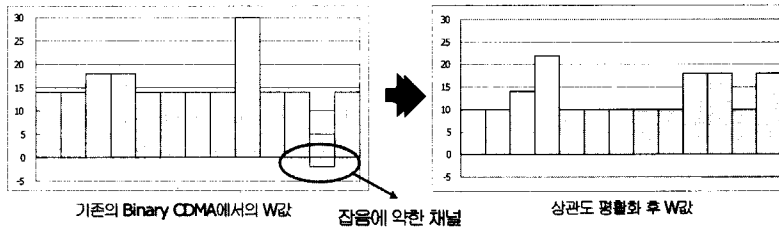


그림 3 상관도 평활화

상관도 값의 크기를 고르게 분포시킬 수 있다면 전체 성능을 개선할 수 있으며, 이의 기본 개념을 그림 3에 나타내었다.

상관도 평활화는 Binary CDMA의 송신부에서 만들어진 이진 전송신호를 칩 단위로 그 부호를 반전시켜서 이루어진다. 어느 한 칩의 부호를 바꿀 때 마다 수신부에서의 각 채널의 상관도 값은 2씩 증가하거나 감소하는데, 이는 송신부에서 미리 계산이 가능하다. 따라서, 송신부에서 W 값이 작은 채널을 미리 파악하고 그 채널의 W 값을 증가시키는 칩들만을 선택하여 부호를 바꾸어 송신한다면 수신부에서의 채널 간의 W 값의 분포는 보다 더 고르게 균형적으로 된다.

어떤 특정 채널의 W 값을 증가시키기 위하여 하나의 칩의 부호를 바꾸면 그 원하는 채널 외의 다른 채널의 W의 값도 랜덤하게 변화한다. 그러나 적절한 레벨에 있는 채널의 W가 상관도 평활화 과정에서 연속적으로 감소하여 매우 작은 값을 갖게 되는 경우는 드물다. 이러한 과정을 표 4~표 6에 예시하였다.

표 4에 나타낸 12번째 채널의 W의 (-2) 값을 (+) 방향으로 증가시키기 위하여, 표 5에서와 같이 첫번째 칩의 부호를 바꾸어 보았다. 그 결과, 12번째 채널의 W값은 (-2)에서 0으로 증가하고 다른 채널의 W는 랜덤하게 2씩 변화한다. 이와 같은 과정을 매 i번째 칩마다 수행하는데 부호 반전 여부의 결정 과정을 그림 4에 상세하게 나타내었다.

그림 4의 순서도에서, 송신부에서는 이진 클리핑된 신호를 전송하기 전에 모든 채널의 W를 미리 계산한다. 가장 작은 W를 갖는 채널에서 i번째 이진 칩신호 $\tilde{s}[i]$ 와 그 채널의 코드의 i번째 칩 $a_k[i]$ 를 곱한 값이 원래의 데이터 부호와 일치하는지 조사한다. 만약 부호가 일치하지 않으면 현재의 칩은 수신부에서 그 채널의 W를 감소시킬 것이므로 송신 신호 $\tilde{s}[i]$ 의 부호를 미리 반전시킨다. 하나의 칩이 반전되면 모든 채널의 W값이 변화하므로 다시 크기 순으로 정렬한 후, 위 과정을 모든 칩에 대해 반복한다.

이러한 과정을 통해 전체 64 칩 중 {1, 6, 8, 9, 14, 22}의 칩이 선택되었으며, 이 칩들의 부호를 반전하여 얻은 결과를 표 6에 나타내었다. 처음에 (-2)이었던 12번째 채널의 W 값은 10으로 증가하였고, 다른 채널들도 10 이상의 W 값을 갖게 되었다. 표 4와 표 6을 비교해 볼 때 상대적으로 큰 W 값 (16 이상)은 평균값 근처로 감소하고 작은 W 값은 안정된 레벨로 증가하였음을 알 수 있다. 따라서, 12번째 채널에서 발생하였던 비트 오류가 사라진다.

전술한 과정은 채널수가 홀수일 때 사용하는 방법이다. 채널수가 짝수일 경우에는, $\tilde{s}[i] = \{-1, 0, +1\}$ 의 값을 갖는다. 그래서, 부호를 반전하는 대신 $\tilde{s}[i] \cdot a_k[i]$ 의 값이 데이터 부호와 일치하지 않으면 칩을 0으로 바꾸고, 0인 경우는 $\tilde{s}[i] \cdot a_k[i]$ 의 부호에 따라 칩을 (+1) 혹은 (-1)로 변환한다. 나머지 과정은 홀수 때와 동일하다.

IV. 실험 결과

실험에서는 두 종류의 직교코드, Casuh 코드와 Walsh 코드를 사용하였으며, Casuh 코드는 N=64, 128일 때, Walsh 코드는 N=64를 사용하였다. 변조방식은 FSK로, 채널 잡음은 전력 스펙트럼이 $N_0/2$ 인 AWGN으로 가정한다.

채널수 K를 3에서 34까지 변화시키면서, 기존의 Binary CDMA와 상관도 평활화를 적용한 경우의 BER 성능의 비교 결과를 그림 5부터 그림 8에 나타내었다. 모든 실험에서 확산패턴은 순서대로 채널에 할당하였다.

그림 5와 그림 6은 Casuh 코드에 상관도 평활화 방법을 적용하여 얻은 결과이다. 그림 5는 N=64일 때의 결과이다. 기존의 시스템에서 K=13 인 경우에는 ($BER > 10^{-2}$)이었으나, 상관도 평활화를 적용하면, SNR이 -3dB 이상일 경우에는 ($BER=0$)의 결과를 얻는다. 또한, 기존의 경우에는 ($K > 17$) 일 때 항상 ($BER > 10^{-3}$)이었으나, 상관도 평활화 방법을 적용하면 K=21에서도 양호한 BER 성능을 얻어, 사용 가능한 채널수가 17채널에서 21채널로 증가한다.

그림 6은 N=128 인 경우의 BER 성능 결과이다. 기존의 시스템에서는 21 채널 이상을 사용하면 ($BER > 10^{-3}$)이었으나, 상관도 평활화

방법을 적용하면 시스템은 27 채널까지 사용 가능하다.

그림 7은 채널수가 짝수일 때 N=64인 Casuh 코드에 대한 실험 결과이다. 기존의 시스템에서는 사용 가능한 채널수가 18 까지였으나, 상관도 평활화 방법을 적용한 결과 사용 가능한 채널수가 32로 증가하였다.

그림 8은 채널수가 홀수일 때 N=64인 Walsh 코드를 사용하여 얻은 BER 성능 결과이다. Walsh 코드의 경우에도 상관도 평활화 방법을 적용하여, 사용 가능한 채널이 7 채널에서 11채널로 증가하였다.

V. 결론

본 논문에서는 Binary CDMA 수신부에서 상관도 값을 얻는 과정을 유도하여 시스템의 성능을 분석하였다. 수신부에서의 상관도의 평균값을 수식적으로 유도하였으며, Casuh 코드에 대한 실험 결과와 유도된 수식의 값이 일치함을 보였다.

또한 Binary CDMA 시스템의 성능을 향상시키는 상관도 평활화 방법을 제시하였다. Casuh 코드와 Walsh 코드에 대해 실험한 결과, 제안하는 방법은 Binary CDMA 시스템의 BER 성능을 개선하는데 효율적임을 확인하였다.

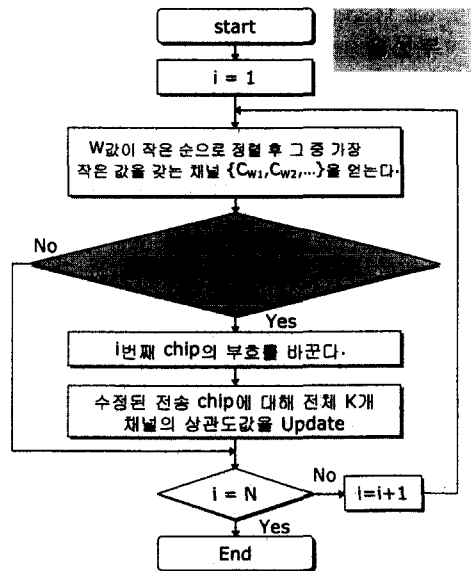


그림 4 상관도 평활화의 알고리즘 설명도

참고 문헌

- [1] T. Ojanpera, *et al.* "Design of a 3rd generation multirate CDMA system with multiuser detection, MUD-CDMA", IEEE 4th ISSSTA, Proc. , pp. 334-338, Sept. 1996
- [2] 박우구, 김민택, 채종석, "W-CDMA 기반의 IMT-2000 시스템 기술 개발", 한국통신학회지, vol. 17, No. 8, 2000
- [3] C.I and K. Sabnani, "Variable spreading gain CDMA with adaptive control for true packet switching wireless network", Proc. ICC, Seattle, June 1995
- [4] C.I and R. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks", Proc. ICC, Seattle, June 1995
- [5] S. Lee, H. Lee, D. Sung, "Capacities of Single-code and Multicode DS-CDMA Systems Accommodating Multiclass Services", IEEE Trans. Veh. Tech., pp. 376-384, March 1999
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 안호성, 류승문, 나성용, "Binary CDMA 소개", 제 12회 JCCI 학술대회, 2002, 제주
- [9] 정민우, 김용철, 문장식, 류승문, "Binary CDMA 시스템에서의 채널 전송성능 추정", 제 12회 JCCI 학술대회, 2002, 제주
- [10] Y. Kim, M. Chong, "Performance Improvement of Correlation-Flattened Binary CDMA", IEEE VTC 2003, vol.2, pp.891-895, April 22-25, Jesu Korea
- [11] S.Kim *et al.*, "Selection of a Code Set for a Binary-Level Clipped Multi-code PW- CDMA" Proceedings of KICS, Autumn, 2001

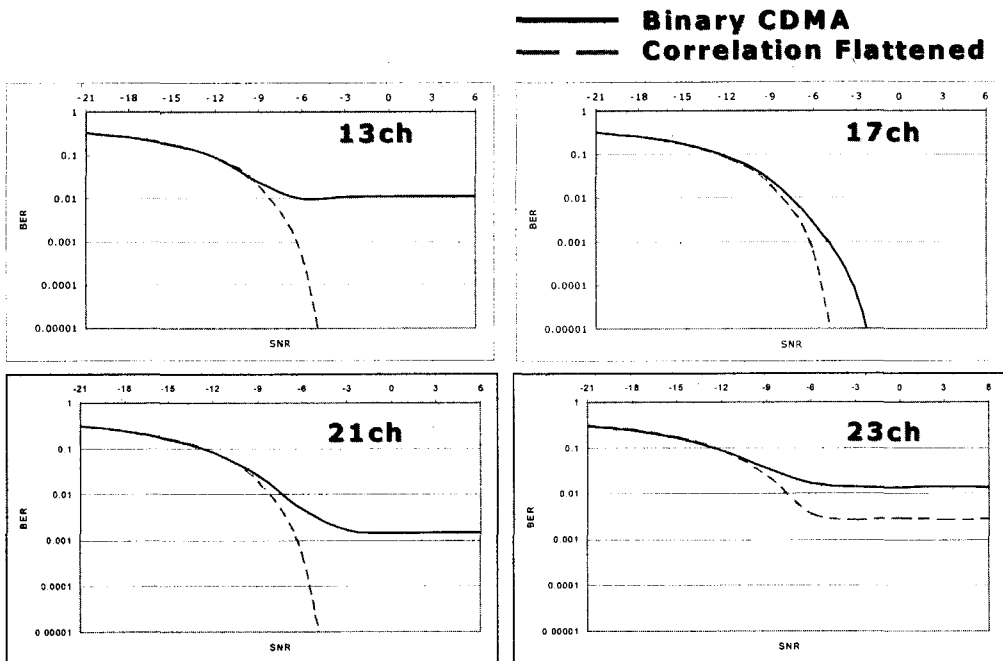


그림 5 Casuh 코드 사용시 성능개선 (N=64, K=홀수)

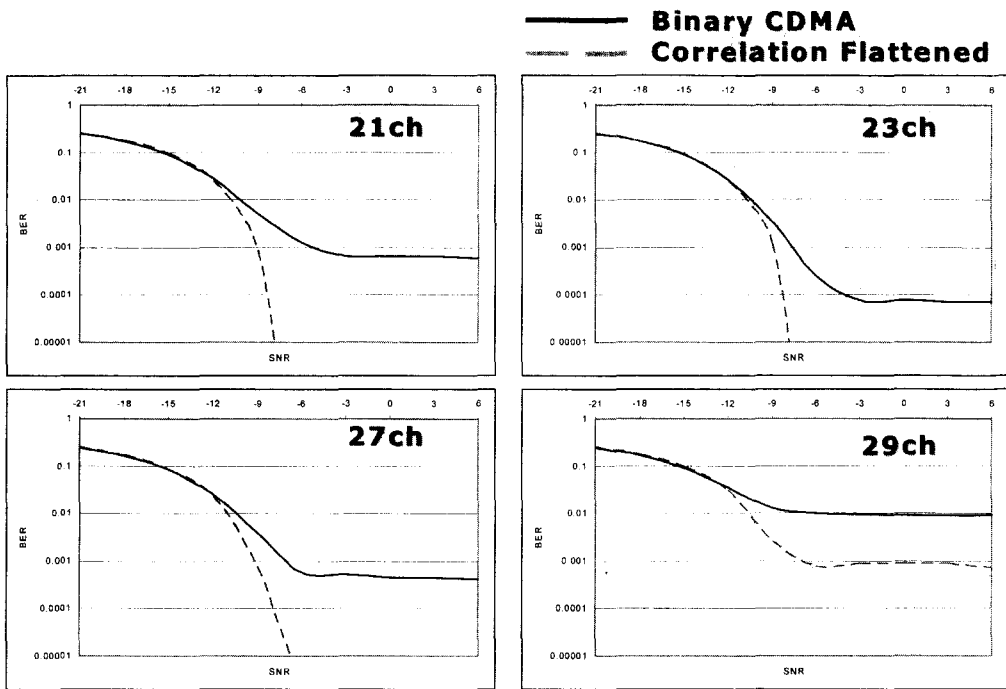


그림 6 Casuh 코드 사용시 성능개선 (N=128, K=홀수)

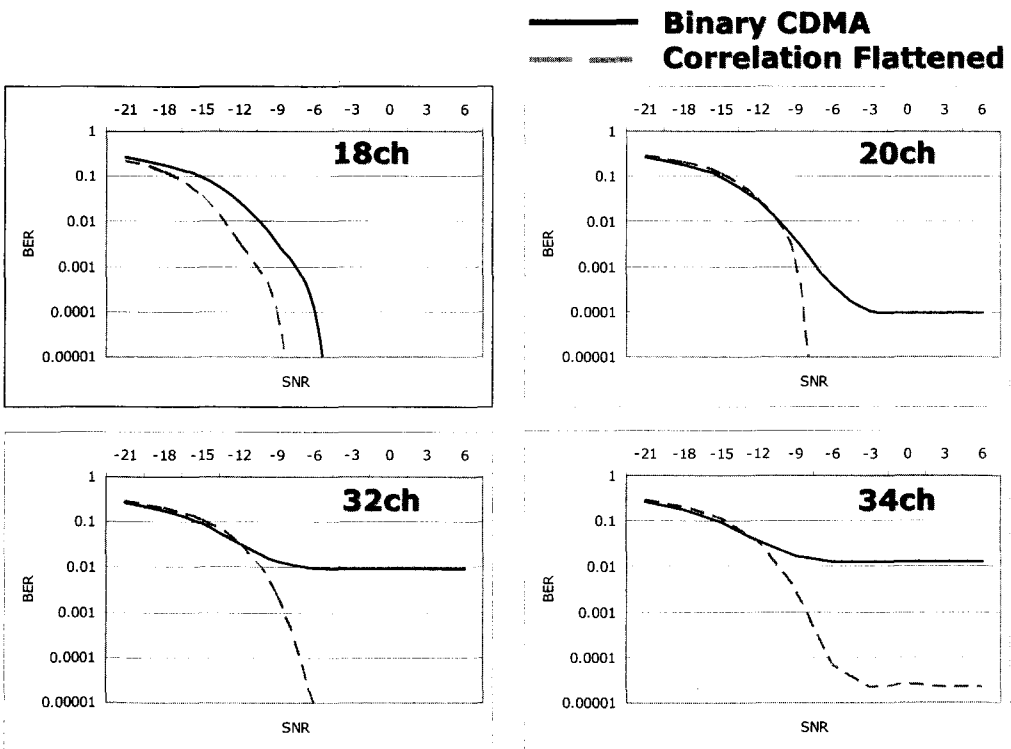


그림 7 Casuh 코드 사용시 성능개선 (N=64, K=짝수)

**Binary CDMA
Correlation Flattened**

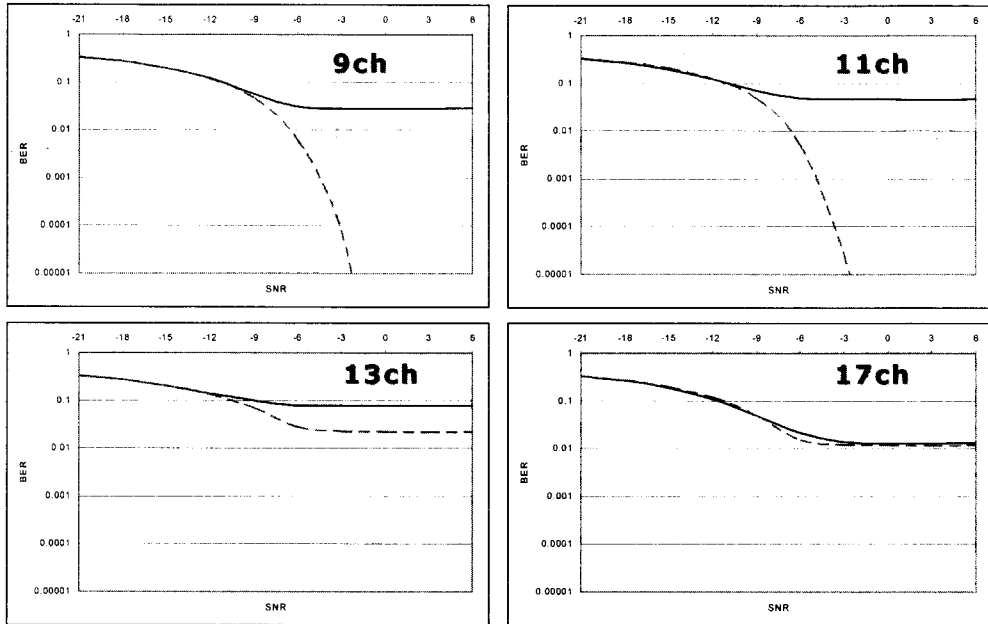
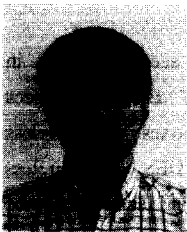


그림 8 Walsh 코드 사용시 성능개선 (N=64, K=홀수)

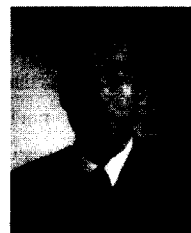
서근중 (Keun-Jong Seo)



2003년 2월 : 서울시립대학교
전자 전기컴퓨터공학부(학사)
2003년 2월~현재
: 서울시립대학교 전자전기
컴퓨터공학부 석사 재학 중
<주관심분야> 이동통신

김 용 철 (Yong Cheol Kim)

정회원



1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 졸업 (학사)
1983년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과 졸업 (석사)
1993년 Univ. of Southern
California 졸업 (Ph.D.)

정민우 (Min-Woo Chong)



2001년 2월:서울시립대학교
전자전기공학부 졸업(학사)
2003년 2월:서울시립대학교
전자전기컴퓨터공학부 졸업
(석사)
2003년 2월~현재
: (주)사이버다임
<주관심분야> 이동통신

1993년~1996년 : LG 이노텍 연구소 전문팀장

1996년~현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터
공학부 부교수

<주관심분야> 컴퓨터비전, 이동통신, 워터마킹