

# 차동 부호화된 MultiPhase Clipped MultiCode CDMA 시스템의 수신 성능 개선을 위한 다중 심볼 차동 검출 방식 연구

정희원 이병하\*, 안철용\*, 김동구\*, 조진웅\*\*

## Multiple-Symbol Differential Detection Scheme of Differentially Encoded MultiPhase Clipped MultiCode CDMA System

Byoung-Ha Yi\*, Cheol-Yong Ahn\*, Dong-Ku Kim\*, Jin-Woong Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

MultiCode-CDMA(MC-CDMA) 시스템은 채널수가 증가할수록 신호의 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 증가하게 되어 증폭기의 비선형 특성에 의해 시스템 성능이 열화된다. MultiPhase Clipped MultiCode CDMA(MP-CDMA)[1] 시스템은 이러한 증폭기의 비선형 특성에 의한 시스템 성능 열화를 상쇄한다. 본 논문에서는 변조방식을 MPSK가 아닌 차동 부호화된 MPSK 방식을 사용했고 이렇게 변형된 시스템을 DMP-CDMA 시스템이라고 부를것이다. 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템은 위상 보정을 위한 모듈이 필요없고, 파일럿(pilot) 신호를 위한 추가적인 데이터 전송이 필요 없다는 장점을 가진다. 그러나 동기 검출을 사용한 시스템에 비해서 약 4.0dB의 성능열화를 보인다. 차동 검출 방식을 사용한 DMP-CDMA 시스템의 성능 열화를 보상하기 위해서 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 결과 차동 검출 방식에 비해서 약 3.6dB의 성능 개선 효과를 보았다.

key Words : MultiCode-CDMA; MultiPhase Clipped MultiCode CDMA; Multiple-Symbol differential detection.

### ABSTRACT

MultiCode-CDMA (MC-CDMA) system of chip level MPSK incorporating with clipper (MP-CDMA)[1] shows constant envelope signal which can mitigate the performance degradation due to nonlinear transmit amplifier. In this paper, modulation is modified to carry out differential encoded MPSK rather than MPSK. The modified system is called DMP-CDMA. DMP-CDMA using differential detection has advantages on receiver complexity and pilot overhead. However, it is inferior to coherent detection by about 4.0dB due to inherent power inefficiency of noncoherent detection and the error propagation. Multiple symbol differential detection is employed in order to improve DMP-CDMA using differential detection. As the result, the performance of DMP-CDMA system is improved about 3.6dB compared to differential detection.

[글꼴자(여백:위만2.3mm, 기준위차:쪽, 틀배치:분문과의 배치, 위치:가로-0,세로-0, 서체:분문과 동일 크기:7.5pts)를 만들어 소속기관, e-mail주소, 논문번호, 접수일자 및 연구 지원단체의 이름 등을 아래의 형식으로 넣는다. 참조 후 삭제]

\* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신연구실(nowthis@freechal.com), \*\* 한국전자부품연구원

논문번호 : 020493-1112, 접수일자 : 2002년 11월 13일

※본 연구는 한국전자부품연구원 지원으로 수행되었습니다.

### I. 서론

현재의 통신 시스템은 음성 전송이 대부분인 IS-95 시스템에서 광대역 멀티미디어 서비스를 위한 IMT-2000으로 발전하고 있다. 이러한 발전에 의해 통신 시스템은 고속의 데이터 전송을 필요로 하게 되었다. 기존의 MultiCode-CDMA(MC-CDMA) 방식은 송신시 여러 채널의 신호를 동시에 선형적으로 합하여 전송하므로 채널수가 증가할수록 출력신호의 레벨수가 증가하여 다중 레벨 신호의 형태를 갖게 된다. 신호는 전송시 증폭기를 거치게 되는데 다중 레벨을 갖는 신호는 사용되는 증폭기의 비선형 왜곡 특성에 따라 성능이 크게 저하된다. 고속 데이터 전송을 하기 위해서는 한 사용자가 여러 개의 채널을 동시에 다중 사용하게 되기 때문에 RF단 송신시 선형성이 좋은 증폭기 설계가 요구된다[2][3][4]. 이러한 증폭기의 비선형 특성을 개선하기 위해 전치 왜곡기를 사용하거나 백오프(back-off)를 두는 방식을 적용할 경우 전력 효율이 저하되어 배터리의 수명을 단축시키게 된다. 선형 특성이 좋은 A급 증폭기의 사용은 단말기의 가격을 상승시켜 경쟁력을 약화시키게 된다. 따라서 기존 시스템을 최대한 유지하면서 고속의 데이터 전송을 위해서는 증폭기의 비선형 특성에 의한 왜곡 특성을 극복하기 위한 신호 처리 과정이 요구된다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해서 다중 레벨 신호를 정포락선(constant envelope) 신호로 변환하는 MultiPhase Clipped MultiCode CDMA(MP-CDMA) 방식이 제안되었다. 또한 레벨수가 증가할수록 시스템이 복잡해지는 MP-CDMA 시스템의 단점을 보완하기 위해서 다중 레벨 신호의 일정 레벨 이상은 잘라버리는 클리핑(clipping)방식이 연구되고 있다. 그러나 이러한 연구는 동기 검출 방식에 연구가 집중되고 있다. 동기 검출 방식은 수신단에서 위상 보정을 위한 모듈이 필요하고 파일럿(pilot) 신호를 위한 추가적인 데이터 전송이 요구된다는 단점을 가지고 있다.

고속데이터 전송을 위한 시스템에서 추가적

인 데이터 전송이 요구된다는 것은 약점으로 지적될 수 있는 것이다. 반면에 차동 검출 방식(DPSK)은 수신단에서 위상 보정을 위한 모듈이 필요없고, 파일럿신호를 위한 추가적인 데이터 전송을 필요로 하지않는다는 장점을 가지고 있다. 이런 장점을 가지는 차동 검출 방식은 동기 검출 방식에 비해서 잡음의 증가로 인해 성능이 열화된다는 단점을 지닌다[5]. 이에 본 논문에서는 차동 부호화한MP-CDMA (DMP-CDMA) 시스템에 동기 검출 방식과 차동 검출 방식을 적용하여 AWGN 환경에서 성능을 비교 분석하였다.또한 차동 검출 방식을 적용함으로써 발생하는 시스템 성능열화를 해결하기 위한 방법으로 다중 심볼 차동 검출(multiple symbol differential detection) 방식을 연구하여 DMP-CDMA 방식에 이를 적용하여 사용 채널수에 따른 성능을 보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DMP-CDMA 시스템의 이론적 분석을 하고 동기 검출 방식과 차동 검출 방식을 모의실험을 통해 비교하였으며, III장에서는 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 모의실험과 그에 따른 결과에 대해 논의하고 IV장에서 결론을 맺는다.

### II. DMP-CDMA 시스템

#### 2-1. 시스템 구성

기존의 MC-CDMA 시스템은 요구되는 전송률에 따라 각 사용자당 하나 이상의 직교 부호

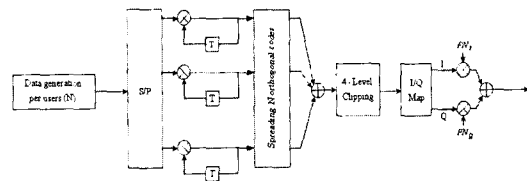


그림 2-1. DMP-CDMA 시스템 송신단 구조

열이 할당된다. 특히 기지국에서는 이러한 모든 사용자들의 신호를 동시에 선형적으로 합하여 전송하게 되므로 출력신호가 다중 레벨 신호의 형태를 갖게 되어 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 증가하게 되므로 증폭기의 선

형성을 필요로 하게된다. MP-CDMA 전송방식은 이러한 증폭기의 비선형 특성에 의한 영향을 최소화하기 위해 다중 레벨 신호를 정포락 선 신호로 변환하는 것이다. 전송률이 높아질 경우 사용 채널 수의 증가로 신호의 레벨수가 증가하게 되며 요구되는 MPSK 심볼수가 많아지게 되어 MPSK 신호의 전송 어려움이 증가하게 된다. 이러한 MP-CDMA 시스템의 단점을 보완하기 위해서 다중 레벨 신호의 일정 레벨 이상은 잘라 버리는 클리핑 방식을 사용하게 된다. 그림 2-1은 본 논문에서 사용된 시스템의 송신단 블럭도이다. 각 채널의 신호를 차동 부호화한후 직교열로 확산한다. 직교열로 확산된

차동 부호화된 n채널의 신호를  $c_n[k]$ 라고 할 때 식 (2-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$c_n[k] = b_n[k]c_n[k-1] \quad (2-1)$$

위 식 (2-1)에서  $b_n[k]$ 는 n번째 채널로 전송되는 이진 데이터 신호를 나타낸다. 직교열로 확산된 N개의 채널신호가 선형적으로 합해진 신호를  $x[i]$ 라 할 때 식 (2-2)과 같이 표현된다.

$$x[i] = \sum_{n=1}^N c_n[k]w_n[i] \quad (2-2)$$

여기서  $w_n[i]$ 는 n번째 채널에 사용되는 직교열이다.  $k = \lfloor i/PG \rfloor$ 이고 PG는 확산이득이다. 다중 레벨 신호가 레벨  $M_c$ 로 클리핑된 신호를  $y(t)$ 라 할 때 식(2-3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p_{T_c}(t-kT_c)(x[i]-\eta[i]) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p_{T_c}(t-kT_c) \left( \sum_{n=1}^N c_n[k]w_n[i]-\eta[i] \right) \quad (2-3)$$

$p_{T_c}(t)$ 는 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$p_{T_c}(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < T_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-4)$$

$T_c$ 는 직교열의 칩구간을 나타내고,  $\eta[i]$ 는 클리핑함으로써 발생하는 신호의 오류성분을 나타내며 식(2-5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\eta[i] = \begin{cases} x[i] - M_c, & \text{if } x[i] > M_c \\ x[i] + M_c, & \text{if } x[i] < -M_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-5)$$

본 논문에서 클리핑 레벨  $M_c$ 는 3만이 고려되었으나 다른 클리핑 레벨로 쉽게 확장할 수 있다. 네 개의 레벨로 진폭이 제한된 신호는 그림 2-3과 같이 QPSK 신호로 변환된다. 식 (2-6)에서 QPSK 변환된 신호  $s(t)$ 를 표현하였다.

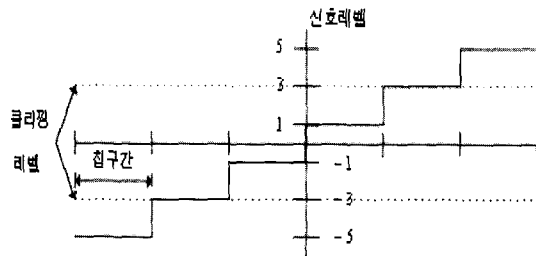


그림 2-2 다중레벨 신호의 클리핑

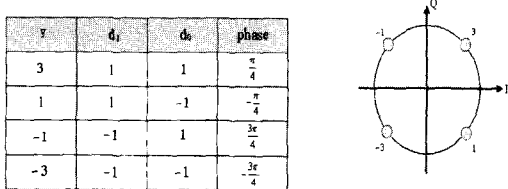


그림 2-3 DMP-CDMA 신호 할당

각 채널의 신호가 합하여진 다중 레벨 신호를 4레벨(3,1,-1,-3)로 클리핑한 후 이를 신호할당 과정을 통하여 QPSK변조하였다. QPSK 변조된 신호의 I 채널 신호와 Q 채널 신호를 수신단에서 구분할 수 있도록 I 채널 신호와 Q 채널 신호 각각에 채널 구분 코드를 곱하여 전송하였다. 그림 2-2는 다중 레벨 신호를 클리핑하는 과정이며, 그림 2-3은 클리핑된 신호의 QPSK 심볼 할당 과정이다.

### 2-2. 동기 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 이론적 분석

$$s(t) = \sqrt{\frac{NP}{2}} (d_I(t)PN_I(t) + jd_Q(t)PN_Q(t)) \quad (2-6)$$

여기서  $NP$ 는 사용 채널 수가  $N$ 인 경우의 총 송신 전력을 나타내고,  $d_I(t)$ ,  $d_Q(t)$ 는 각각 QPSK 변환된 I 채널 신호와 Q 채널 신호를 의미한다.  $PN_I(t)$ 와  $PN_Q(t)$ 는 각각 I 채널과 Q 채널의 채널 구분 코드이다.

채널을 통해 전송된 신호를  $r(t)$ 라 할 때 식 (2-7)과 같이 나타낼 수 있다. 이때  $n_I(t)$ ,  $n_Q(t)$ 는 평균이 0이고 양측전력밀도가  $N_0/2$ 인 복소 AWGN의 실수부와 허수부를 나타낸다. 또한  $\theta(t)$ 는  $-\pi \leq \theta(t) \leq \pi$  구간에 균일 분포되어있다고 가정한다.

$$r(t) = s(t)e^{j\theta(t)} + n_I(t) + jn_Q(t) \quad (2-7)$$

수신된 신호는 정합 여파기를 통과한 뒤 칩 구간  $T_c$ 에서 표본화되어 식 (2-8)처럼 클리핑된 다중 레벨 신호로 복원된다.

$$\begin{aligned} r_d[i] &= 2PN_I[i]r[i] - jPN_Q[i]r[i] \\ &= \sqrt{\frac{NP}{2}} (2d_I[i] + d_Q[i])e^{j\theta[i]} \\ &\quad + 2n_I[i]PN_I[i] + n_Q[i]PN_Q[i] \\ &\quad - j(n_I[i]PN_Q[i] - 2n_Q[i]PN_I[i]) \\ &= \sqrt{\frac{NP}{2}} y[i]e^{j\theta[i]} \\ &\quad + 2n_I[i]PN_I[i] + n_Q[i]PN_Q[i] \\ &\quad - j(n_I[i]PN_Q[i] - 2n_Q[i]PN_I[i]) \end{aligned} \quad (2-8)$$

여기서  $[i]$ 는  $i$ 번째 칩 구간 동안에 표본화된 신호를 의미한다. 복원된 신호는 직교 부호열로 역확산 과정을 거치게 된다. 역확산된  $n$ 번째 채널 신호를  $z_n[k]$ 라 할 때 식 (2-9)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} z_n[k] &= \sqrt{\frac{NP}{2}} \left( PGc_n[k] - \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i]w_n[i] \right) e^{j\theta[k]} \\ &\quad + \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} (2n_I[i]PN_I[i] + n_Q[i]PN_Q[i])w_n[i] \\ &\quad - j \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} (n_I[i]PN_Q[i] - 2n_Q[i]PN_I[i])w_n[i] \end{aligned} \quad (2-9)$$

동기 검출 방식이므로 식 (2-10)에서와 같이 채널 추정을 통한 채널 보상과정이 이루어진다.

결국, 동기 검출 방식을 적용한 시스템의 결정식은 식 (2-11)과 같다. 여기서  $Re(x)$ 는  $x$ 의 실수부를 의미한다. 위식은 BER의 이론적 분석을 위해서 식 (2-12)처럼 다시 쓰여 질 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_n[k] &= \sqrt{\frac{NP}{2}} \left( PGc_n[k] - \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i]w_n[i] \right) \\ &\quad + e^{-j\theta[k]} w_n[k] \\ &\quad \left( \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} (2n_I[i]PN_I[i] + n_Q[i]PN_Q[i]) \right. \\ &\quad \left. - j \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} (n_I[i]PN_Q[i] - 2n_Q[i]PN_I[i]) \right) \end{aligned} \quad (2-10)$$

$$D = Re(Z_n[k-1])Re(Z_n[k]) \quad (2-11)$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} [Re(Z_n[k-1])Re^*(Z_n[k]) \\ &\quad + Re^*(Z_n[k-1])Re(Z_n[k])] \end{aligned} \quad (2-12)$$

여기서  $*$ 는 신호의 켈레 복소화를 의미한다. 식 (2-10)에서 잡음부분은 복소 AWGN이다. 따라서 식 (2-12)로부터 Marcum's Q 함수가 들어간 형태의 BER식을 얻을 수 있다[5].

$$\begin{aligned} P_b &= \int \int \int P(e|x, y, z) f_{X, Y, Z}(x, y, z) dx dy dz \\ &= \int \int \int (P(b[k]=1)P(D=-1|b[k]=1) \\ &\quad + P(b[k]=-1)P(D=1|b[k]=-1)) \\ &\quad f_{X, Y, Z}(x, y, z) dx dy dz \\ &= \int \int \int P(D=-1|b[k]=1) f_{X, Y, Z}(x, y, z) \\ &\quad dx dy dz \\ &= \int \int \int (Q_1(a, b) - \frac{1}{2} I_0(ab) \\ &\quad \exp[-\frac{1}{2}(a^2 + b^2)]) f_X(x) f_Y(y) f_Z(z) dx dy dz \end{aligned} \quad (2-13)$$

여기서  $a$ ,  $b$ ,  $x$ ,  $y$ 와  $z$ 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \left| (c_n[k] - \frac{1}{PG} \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i]w_n[i]) \right. \\ &\quad \left. - (c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=(k-1)PG}^{kPG} \eta[i]w_n[i]) \right| \\ &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \\ &\quad \left| (b_n[k]c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i]w_n[i]) \right. \\ &\quad \left. - (c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=(k-1)PG}^{kPG} \eta[i]w_n[i]) \right| \\ &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \left| (z - \frac{x}{PG}) - (z - \frac{y}{PG}) \right| \end{aligned} \quad (2-14)$$

$$\begin{aligned}
 b &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \left( c_n[k] - \frac{1}{PG} \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i] w_n[i] \right) \\
 &\quad + \left( c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=(k-1)PG}^{kPG} \eta[i] w_n[i] \right) \\
 &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \\
 &\quad \left( b_n[k] c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i] w_n[i] \right) \\
 &\quad + \left( c_n[k-1] - \frac{1}{PG} \sum_{i=(k-1)PG}^{kPG} \eta[i] w_n[i] \right) \\
 &= \sqrt{\frac{E_b}{10N_0}} \left( z - \frac{x}{PG} \right) + \left( z - \frac{y}{PG} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2-15}$$

$$x = \sum_{i=kPG}^{(k+1)PG} \eta[i] w_n[i] \tag{2-16}$$

$$y = \sum_{i=(k-1)PG}^{kPG} \eta[i] w_n[i] \tag{2-17}$$

$$z = c_n[k-1] \tag{2-18}$$

2-3. 동기 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 이론적 분석결과와 모의실험 결과 비교

이러한 이론적인 분석을 통해 얻은 식 (2-13)의 BER과 모의실험을 통해 얻은 성능곡선을 비교한 그림이 그림 2-4이다. 본 논문의 모의 표 2-5 DMP-CDMA 시스템 모의실험 변수

채널구분부호	extended m-sequence
처리이득	64
심볼율	64kbps
비트율	4.096Mcps
채널수	7, 15, 23, 31
전송주파수	2GHz

실험에서 사용된 시스템 변수는 표 2-1에 제시하였다. 채널은 AWGN이 고려되었으며 직교열로 extended m-sequence 가 사용되었고 부호

열의 길이는 64를 고려하였다. 사용한 채널 수는 7, 15, 23, 31이고 비트율은 64kbps, 칩율은 4.096Mcps이다. 그림 2-4에서 실선으로 표시되어있는 것이 모의실험을 수행한 성능곡선이고, 점선으로 표시되어있는 것이 식 (2-13)의 BER 식으로 구한 성능곡선이다. BER 10<sup>-3</sup> 지점에서 채널 수가 7일 때 약 0.4dB 차이를 보이고, 채널 수가 15일때는 약 0.2dB, 채널 수가 23일때는 약 0.1dB의 차이로 이론적인 분석과 모의 실험을 통한 성능이 유사함을 확인 할 수 있다.

2-4. 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템

그림 2-5는 차동 검출 방식을 적용한

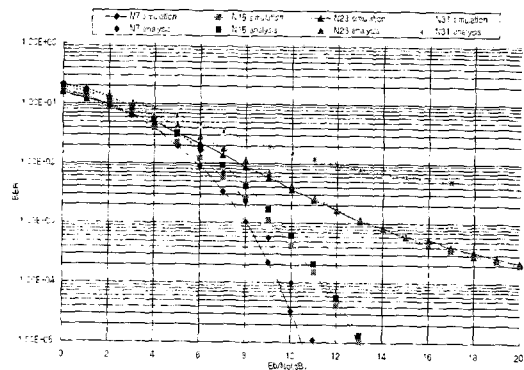


그림 2-4 동기 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 이론적인 분석과 모의실험을 통해 얻은 성능 비교

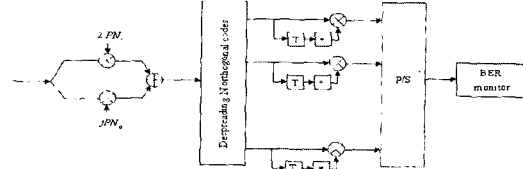


그림 2-5 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템 수신단 구조

DMP-CDMA 시스템의 수신단블럭도이다. AWGN 채널을 통과하여 수신된 신호는 정합 여파기를 통과한 뒤 칩 구간 T<sub>c</sub>에서 표본화되어 식 (2-8)처럼 클리핑된 다중 레벨 신호로 복원된다. 복원된 신호는 역확산 과정을 거쳐 식 (2-9)와 같이 표현된다. 차동 검출 방식이므로

시스템의 결정식은 식 (2-19)식과 같이 된다.

$$D = z_n[k]z_n^*[k-1] \quad (2-19)$$

차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능은 BER수식이 닫힌 구조(closed form)로 구해지지 않으므로 모의 실험으로 구하였다. 그림 2-5의 시스템 구조를 가지고 모의 실험을 수행한 결과가 그림 2-6이다. 실선으로 표시된 것이 동기 검출 방식이고 점선으로 표시되어있는 것이 차동검출 방식을 적용한 것이다. 채널 수가 7일때는 약 1.0dB의 성능차이를 보이나 채널 수가 15일 때는 약 4.0dB의 성능차이를 보인다. 채널 수가 23일때는 에러 플로어(error floor)가 생기는 지점이 동기 검출 방

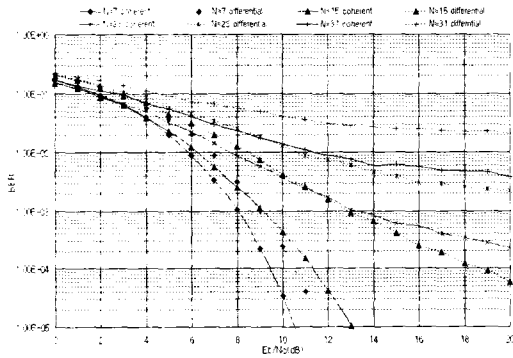


그림 2-6 동기 검출 방식과 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능

식일 때 BER  $2 \times 10^{-4}$ 부근이나 차동 검출 방식은  $2 \times 10^{-3}$ 부근에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 채널 수가 31일때는 동기 검출 방식이 BER  $4 \times 10^{-3}$ 지점에서 플로어가 발생하나 차동 검출 방식은  $2 \times 10^{-2}$ 지점에서 발생한다. 채널 수가 증가할수록 차동 검출 방식은 동기 검출 방식에 비해 급격하게 성능이 열화됨을 볼 수 있다. 이는 차동 검출 방식의 결정식이 현재 신호와 이전 신호의 클레화한 신호의 곱으로 표현되는데 이때 클리핑 오류의 곱의 형태가 발생하기 때문이다. 그러므로 채널이 증가하면 각각의 클리핑 오류가 커지게 되

고 아울러 클리핑 오류의 곱도 커지면서 오류 전파가 많이 발생하기 때문에 채널이 증가할수록 성능 저하가 늘어 나게 된다.

### III. 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템

#### 3-1. 다중 심볼 차동 검출 방식

그림 2-6의 결과에서 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 방식은 많은 성능 열화를 보이고 있다. 다중 심볼 차동 검출 방식은 이러한 차동 검출 방식의 성능 열화를 해결하기 위해서 적용되었다. 차동 검출 방식이 두 개의 심볼을 보고 하나의 심볼을 추정하는 방식인데 반해 다중 심볼 차동 검출 방식은 L+1 개의 심볼을 관측한 후 L개의 심볼을 추정하는 방식이다. 관측 구간이 2개의 심볼에서 L+1개의 심볼로 증가함으로 인해서 성능의 향상을 가져 오는 것이다. 식 (2-9)에서  $\theta[k]$ 는 관측 구간에 독립적이라고 가정한다. 관측 구간이 L+1개의 심볼일때  $\mathbf{b}$ ,  $\theta$ 에 대한  $\mathbf{z}$ 의 확률밀도함수를 구해 보면 아래의 수식을 얻게 된다[6].

$$p(\mathbf{z} | \mathbf{b}, \theta) = \frac{\exp\{-\|\mathbf{z} - \mathbf{b}e^{j\theta}\|^2/2\sigma^2\}}{(2\pi\sigma^2)^{L+1}} \quad (3-1)$$

여기서  $\mathbf{b}$ 와  $\mathbf{z}$ 는 각각  $b_n[k], b_n[k+1], \dots, b_n[k+L]$ 과  $z_n[k], z_n[k+1], \dots, z_n[k+L]$ 를 그 구성원으로 하는 벡터를 나타내고,  $\sigma^2$ 은 식(2-9)에서 잡음의 분산값을 의미한다.  $\theta$ 가 균일 분포되어 있다고 가정하였으므로 그때  $\mathbf{b}$ 에 대한  $\mathbf{z}$ 의 확률밀도함수는 식 (3-2)과 같아진다[6].

$$\begin{aligned} p(\mathbf{z} | \mathbf{b}) &= \int_{-\infty}^{\infty} p(\mathbf{z} | \mathbf{b}, \theta) p(\theta) d\theta \\ &= \exp\left(-\sum_{j=0}^L [|z[k-j]|^2 + |b_n[k-j]|^2]/2\sigma^2\right) \\ &\quad * I_0\left(\sum_{j=0}^L |z[k-j]b_n^*[k-j]|/\sigma^2\right) / (2\pi\sigma^2)^{L+1} \end{aligned} \quad (3-2)$$

여기서  $I_0(x)$  함수는 0차 변종 베셀 함수(zeroth order modified Bessel function)이다.  $I_0(x)$ 는  $x$ 값이 증가할수록 증가하는 함수이므로 식 (3-2)의 최대값을 찾는 것은 다음의 식 (3-3)와 같다[6].

$$\max_i \sum_{j=0}^L |z[k-j]b_n^*[k-j]|^2 \quad (3-3)$$

결국, 최대 우도 알고리즘(maximum-likelihood algorithm)를 사용하여 위상정보를 찾는 결정식은 식 (3-4)가 된다[6].

$$\Delta\phi = \arg \max_{\Delta\phi} |z[k-L] + \sum_{j=0}^{L-1} z[k-j]e^{-j \sum_{m=0}^L \Delta\phi}|^2 \quad (3-4)$$

여기서  $\Delta\phi$ 는 결정된 위상 정보를 나타내고  $\Delta\phi_k$ 는 k 번째 위상정보를 나타낸다. 위상정보는 0,  $\pi$ 값만을 가진다.[6]

### 3-2. 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 모의실험

그림 3-1은 DMP-CDMA 시스템에 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 시스템의 구조이다.

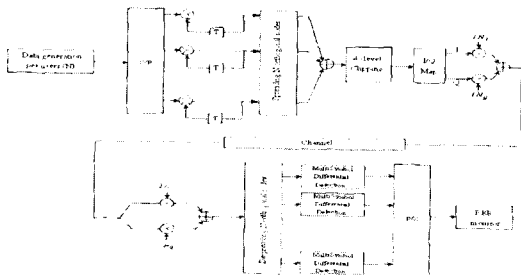


그림 3-1 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 송수신단 구조

다. 2장의 차동 검출 방식을 적용한 시스템에서 차동 검출 블록 자리에 다중 심볼 차동 검출 블록이 들어간 그림이다. 역확산 과정을 거친

수신신호는 다중 심볼 차동 검출 방식을 사용하여 결정되어진다. 그림 3-2, 그림 3-3, 그림 3-4, 와 그림 3-5는 각각 채널 수 7, 15, 23, 31 일 때 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능 곡선 그림이다.

그림 3-2에서 보면 채널 수가 7일 때 한번에 결정되는 심볼수(L)를 1심볼에서 2심볼로 늘렸을 경우 BER  $10^{-3}$  지점에서 약 0.6dB의 성능이 향상됨을 볼 수 있고 L를 다섯 심볼까지 늘렸을 때 약 0.8dB까지 차동 검출 방식에 비해서 성능이 향상됨을 알 수 있다. 다섯심볼이상에서는 거의 같은 성능을 보인다. 이 그림에서 차동 검출 방식의 성능곡선은 L이 한 심볼일때와 같다.

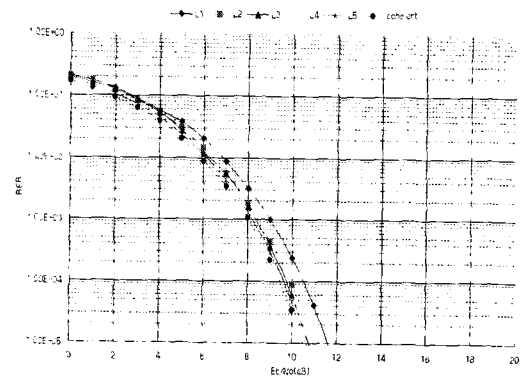


그림 3-2 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능(N=7)

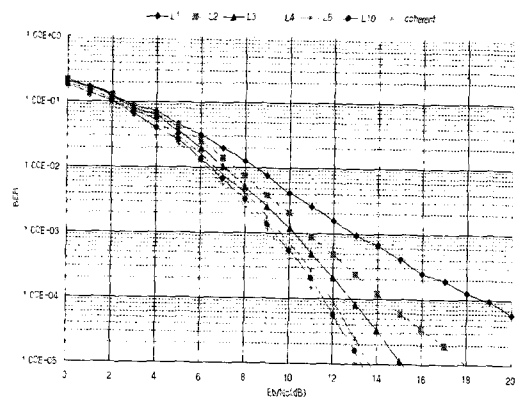


그림 3-3 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능(N=15)

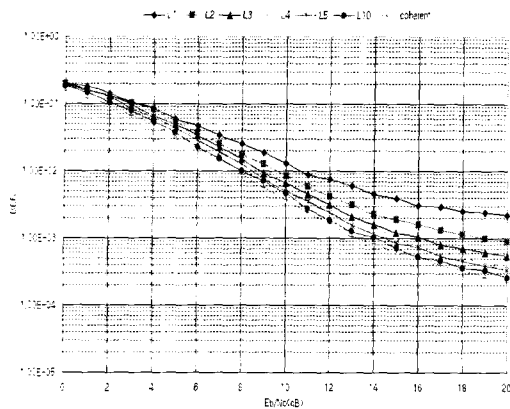


그림 3-4 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능 (N=23)

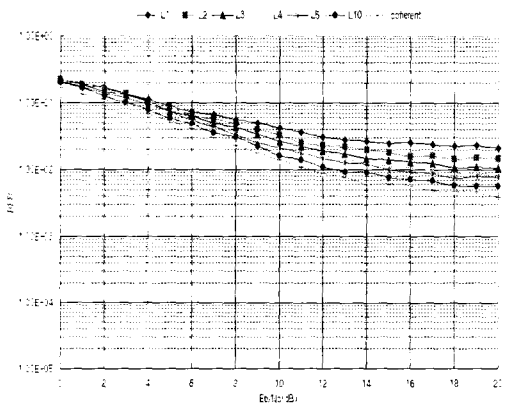


그림 3-5 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능 (N=31)

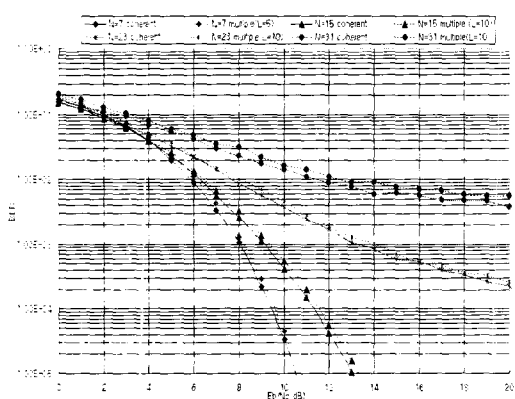


그림 3-6 동기 검출 방식과 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능

그림 3-3은 채널 수가 15 때의 그림인데 L을 한 심볼에서 두 심볼로 늘렸을 경우 BER  $10^{-3}$  지점에서 약 2dB의 성능 향상을 볼 수 있고, L을 3심볼까지 늘렸을 경우는 약 2.8dB까지 성능이 향상됨을 알 수 있다. L을 10심볼까지 늘렸을 경우에는 약 3.6dB의 이상의 성능향상을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 3-4는 채널 수가 23일 때의 성능 곡선이다. L이 1심볼일 때는 에러 플로어가 약  $2.0 \times 10^{-3}$  지점에서 발생하는데 L을 2심볼로 늘렸을 경우에는 에러 플로어가 약  $1.0 \times 10^{-3}$  지점에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 L을 10심볼까지 늘렸을 경우에는 에러 플로어가 약  $1.0 \times 10^{-4}$  지점에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

그림 3-5는 채널의 수가 31일 때의 성능 곡선이다. L이 1심볼일 때는 에러 플로어가 약  $2.0 \times 10^{-2}$ 에서 발생하는데 비해서 L을 10심볼까지 늘렸을 경우 에러 플로어가 생기는 지점이 BER  $2.0 \times 10^{-3}$  지점으로 성능 곡선 자체가 많이 좋아지고 있다. 채널 수 15, 23, 31에서는 L이 10이상일때 거의 같은 결과를 보인다. 결과적으로 L을 1심볼에서 2심볼로 늘렸을 경우가 상대적으로 9에서 10으로 늘렸을 경우보다 성능향상효과가 더 있는 것으로 판단할 수 있다.

그림 3-6은 동기 검출 방식과 다중 심볼 차동 검출 방식의 비교한 것으로 채널 수가 7일 때는 L을 5심볼로 나머지 15, 23, 31채널은 L을 10심볼로 한 결과이다. 채널 수가 7일 때는 약 0.2dB의 성능 차이를 보이며, 채널 수 15일 때는 약 0.4dB, 채널 수 23일 때는 약 0.6dB의 성능 차이를 보인다. 이는 차동 검출 방식을 적용했을 때에 비해서 성능이 상당히 개선된 것으로 거의 동기검출 하였을 때 얻을 수 있는 시스템의 성능 곡선과 동일함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 AWGN 환경에서 동기 검출



방식을 사용한 DMP-CDMA 시스템의 이론적인 분석을 하였고, 차동 검출 방식과 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능을 보았다. 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템은 위상 보정을 위한 모듈이 필요하지 않고 파일럿 신호를 위한 추가적인 데이터가 필요로 하지 않는 장점을 가진다. 그러나, 동기 검출 방식을 적용한 시스템에 비해서 약 4.0dB의 성능 열화를 보인다. 이에 이러한 차동 검출 방식의 성능 열화를 보상하기 위한 방법으로 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용하였다. 다중 심볼 차동 검출 방식을 적용한 DMP-CDMA 시스템의 성능은 한번에 결정되는 심볼수(L)가 증가함에 따라 동기 검출 방식을 사용한 DMP-CDMA 시스템에 비하여 채널 수가 7일 때 약 0.2dB, 채널 수가 15일 때 약 0.4dB, 그리고 채널 수가 23일 때 약 0.6dB의 성능 열화를 보였다. 그러므로 다중 심볼 차동 검출 방식을 사용한 DMP-CDMA 시스템은 위상 보정을 위한 추가적인 모듈이 필요로 하지 않고 파일럿 신호를 위한 추가적인 데이터가 필요로 하지 않는다. 게다가 이 시스템은 차동 검출 방식을 사용한 DMP-CDMA 시스템의 성능 열화도 보상한다.

### 참 고 문 헌

[1] Cheol Yong Ahn, Dong Ku Kim, Chi Hun Ahn, and Seung Moon Ryu, "Multi Phased MC-CDMA System for Transmitting the High Rate Data", *the 6th CDMA International Conference*, November 2001, pp.81

[2] K. Ben Letaief, J. C-I Chuang, and R. D. Murch, "Multicode high-Speed Transmission for Wireless Mobile Communications", *Proceedings of the IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, 1996, pp.1835-1839.

[3] C-L I, G. P. Pollini, Larry Ozarow, and Richard D. Gitlin, "Performance of Multi-Code CDMA Wireless Personal Communi-

cations Networks", *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, 1995, pp. 907-911.

[4] Jinkang Zhu, Hongbin Zhang and Yucong Gu, "Principle and Performance of Variable Rate Multi-code CDMA Method", *Proceedings of the IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, 1995, pp. 256-259

[5] John G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed. McGraw-Hill, 1995.

[6] Dariush Divsalar, Marvin K. Simon, "Multiple-Symbol Differential Detection of MPSK", *IEEE Transactions on communications*, pp.300-308, March 1990.

이 병 하(Byoung-Ha Yi)

정회원



2001년 2월 : 연세대학교 전과

공학과 졸업

2003년 2월 : 연세대학교 전기

전자 공학과 석사

2003년 3월 ~ 현재 : 삼성전자

통신연구소