

# Simplex 부호를 사용한 CDMA 시스템의 다원접속간섭제거<sup>†</sup>

## (The Multi-user Interference Cancellation in CDMA System using SIMPLEX Code)

김 남 선\*  
(Nam-Sun Kim)

**요 약** 본 논문에서는 동기 BPSK 직접확산 부호분할 다원접속(DS/CDMA)시스템에서 발생하는 다원접속 간섭을 제거할 수 있는 시스템을 제시한다. 확산부호로는 오프셋된 PN 부호와 Simplex 부호를 사용하며 임의의 순간에서는 PN 부호 또는 Simplex 부호 중 하나만을 사용하는 것으로 한다. 수신기는 기준 상관수신기를 이용하여 정보를 검출하고 다원접속간섭을 제거하도록 구성한다.

제안된 시스템을 수식적으로 해석하며 이러한 해석 결과로 제안된 시스템은 다원접속간섭을 상당히 제거함을 알 수 있다. 또한 AWGN 환경 및 나카가미 페이딩 하에서 임의의 사용자에서 발생하는 간섭을 해석하고 평균 오류확률을 분석한다.

**Abstract** In this paper, we propose a system to cancel the multi-user interference of synchronous BPSK DS/CDMA systems. In this CDMA scheme, the spectrum of the user's signal is directly spread by means of the Simplex code or the phase offsetted PN code. But in arbitrary bit interval, we use the one spreading code of the Simplex code and the phase offsetted PN code. The receiver cancel the multi-user interference and demodulate information bits by using reference correlator.

This paper presents a interference cancellation model and analyzes this system mathematically. The suggested system show that the interference resulting from other users are remarkably reduced. In AWGN and Nakagami fading environment, we analyze interference generated from other users and compare the resulting performance with that of the conventional receiver in same user side.

### 1. 서 론

급변하는 정보화 사회에서 신속한 정보교류에 대한 필요성에 따라 최근 이동통신서비스에 대한 수요자가 기하급수적으로 증가하고 있다. 국내 이동통신방식으로는 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식이 채택되어 현재 사용되고 있다. DS/CDMA 시스템에서는 모든 사용자가 동일한 주파수 대역을 공유하므로 주파수 효율이 높지만, 확산부호가 완전한 직교성을 갖지 못해서 발생하는 인접 사용자에게 의한 간섭으로 용량이 제한된다[1][2]. 즉, 특정 사용자의 신호를 복조할 때 다른 사용자의 신호는 단지 다중접속간섭(Multi-user Interference :MUI)으로 작용한다. 그러므로 DS/CDMA를 사용하는 시스템에서 인접

사용자 간섭을 해석하고 간섭을 줄이는 것은 매우 중요한 과제이며 이렇게 하므로써 시스템의 성능 및 용량을 증가시킬 수 있다.

이러한 문제의 해결책으로 다중접속간섭에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 한편으로 부호화기법을 통하여 간섭을 줄이려는 연구와 간섭을 제거하기 위한 수신기를 구성하여 간섭을 해석하였다[3][4]. 또한 Yip와 Ng[5]는 완전한 동기 DS/CDMA 시스템을 가정하고 임의의 한 부호로부터 얻은 각기 다른 오프셋부호를 이용하여 실내통신이나 휴대통신시스템에서 다원접속용량(multiple access capacity)이 개선됨을 보였다.

본 논문에서 고려한 동기 DS/CDMA 방식에서, 확산부호로는 같은 부호길이를 갖는 오프셋(offset)된 Pseudo-Noise(PN) 부호와 Simplex 부호를 사용하였다. 여기서 Simplex 부호는 Walsh 부호에 의해 쉽게 얻을 수 있다[6]. PN 부호의 자기상관특성(auto-correlation property)과 발생된 Simplex 부호들 사이의 상호상관특성

<sup>†</sup> 이 논문은 1999학년도 대전대학교 학술연구비지원에 의한 것임

\* 대전대학교 통신공학과 조교수

(cross-correlation property)이 동일하다는 것을 이용하였으며 이러한 특성을 이용하여 두 부호를 DS/CDMA시스템에 사용할 수 있을 것이다. 이러한 확산부호를 사용하는 동기 DS/CDMA 시스템에서 발생하는 다원접속간섭을 제거하기 위해서 임의의 순간에서 오프셋된 PN 부호 또는 Simplex 부호만을 중복되지 않게 할당하여 송신신호를 결정하였으며 수신측에서도 기준 상관수신기를 이용한 상관 수신기들을 이용하여 간섭을 제거하고 정보를 복원하였다.

DS/CDMA시스템에서 특정 사용자의 신호를 복조할 때 다른 사용자의 신호는 단지 다원접속간섭으로 작용하게 된다. 제안된 시스템은 이런 다원 접속간섭을 현저하게 감소시키는 것을 보일 것이며 AWGN 환경 하에서 임의의 사용자에서 발생하는 간섭을 해석하고 평균 오류확률을 구한다.

## 2. PN 부호와 Simplex 부호

본 논문에서는 PN부호의 순회부호(cyclic code)를 사용하였다. 임의의 PN 확산부호는 기본부호(basic sequence)의 순회 위상치환(cyclic phase shift)으로 부터 얻는다. 순회부호를 사용한다는 것이 의미하는 것은 모든 확산부호들이 구조적으로는 동일 하지만 각 부호들의 위상 시작점이 다르다는 것이다. 즉 각 사용자의 신호는 기본부호에서 부호 위상오프셋(code-phase offset)에 의해 결정된다. 즉,  $i$  번째 사용자가 갖는 확산부호  $PN^{(i)}(t)$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )는 기준부호  $PN^{(1)}(t)$ 를  $i$ 번 왼쪽으로 이진시킨 부호이다.

$$PN^{(i)}(t) = (PN_1^i, PN_2^i, \dots, PN_{N-1}^i, PN_N^i) \quad (2.1)$$

Simplex 부호는 Walsh 부호에 의해서 쉽게 얻을 수 있다. Walsh 부호는 이제까지 알려진 유일한 이원 직교부호로서 현재 통신 및 여러 분야에 응용되고 있다. 한 예로, Qualcomm CDMA에서 Walsh 부호는 순방향링크(forward link)와 역방향링크(reverse link)에서 각각 다른 용도로 사용하고 있다[7].

발생된 Walsh 직교부호에서 각 부호들의 첫 번째 자리를 제거한 부호가 Simplex 부호이며, 각 Simplex 부호들 사이의 상호상관특성은 식 (2.2)와 같다. 또한 부호의 길이가 길다면 시스템의 오류성능은 직교부호나 PN부호를 사용한 경우와 동일하기 때문에 기존의 시스템에 응용이 가능할 것이다. 표 2.1은 8비트 길이의 Walsh부호에 의해서

만들어진 7비트 Simplex 부호의 예이다.

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{for } i=j \\ -\frac{1}{N}, & \text{for } i \neq j \end{cases} \quad (2.2)$$

본 연구에서 PN 부호와 Simplex 부호를 동시에 사용하기 위해서  $N(=2^n-1)$  길이의 부호가 필요하다. PN 부호는  $n$ 단 쉬프트 레지스터(shift register)에 의해서  $2^n-1$  길이의 부호가 발생되며 오프셋된 부호  $2^n-1$  개가 얻어진다. <표 2.1>에서와 같이,  $2^n$  길이의 Walsh 부호의 첫 번째 열을 제거한  $2^n-1$  길이의 Simplex 부호는  $2^n$  개가 얻어진다.

<표 2.1> 7비트 Simplex 부호

Simplex 부호	기 호
1 1 1 1 1 1 1	$SM^{(0)}(t)$
0 1 0 1 0 1 0	$SM^{(1)}(t)$
1 0 0 1 1 0 0	$SM^{(2)}(t)$
0 0 1 1 0 0 1	$SM^{(3)}(t)$
1 1 1 0 0 0 0	$SM^{(4)}(t)$
0 1 0 0 1 0 1	$SM^{(5)}(t)$
1 0 0 0 0 1 1	$SM^{(6)}(t)$
0 0 1 0 1 1 0	$SM^{(7)}(t)$

이 Simplex 부호 중에서 모두 1의 값을 가지는 부호,  $SM^{(0)}(t)$ 는 수신기에서 간섭제거를 위한 기준부호 ( $SM_{Ref}^{(0)}(t)$ )로 사용할 것이며 송신단에서는 사용하지 않는 것으로 한다. 그러므로 확산부호로 사용하는 Simplex 부호는 오프셋 PN 부호와 같은,  $2^n-1$  길이의  $2^n-1$  개가 된다.

## 3. DS/CDMA 송신 시스템

### 3.1 BPSK 송신 시스템

본장에서는 BPSK변복조 방식을 사용한 DS/CDMA시스템에서 발생하는 다원접속 간섭을 제거하기 위해 기본모델을 제시하고 이를 기초로 하여 정확한 정보가 검출될 수 있는가를 살펴본다. DS/CDMA 시스템에서는 각 사용자에게 고유한 부호계열을 할당하여 사용자간의 신호를 구

별한다. 이때 사용하는 부호계열은 발생하기 쉽고 상관특성이 좋은 의사랜덤계열을 사용한다.

<그림 3.1>은 BPSK 변조방식을 사용한 동기 DS/CDMA 송신 시스템 모델이다. 각 사용자의 정보신호에 따라 할당되는 확산부호는 기준부호를 이용하여 시간축상에서 오프셋된 임의의 PN 부호 또는 Simplex 부호를 사용하여 중복되지 않게 할당한다. 그러나 임의의 순간에서는 확산부호로 PN 부호 또는 Simplex 부호 하나만을 사용하는 것으로 한다. 제안된 시스템의  $k$ 번째 사용자의 송신신호는 식 (3.1)과 같다.

$$s^{(k)}(t) = A \cdot d^{(k)}(t) \cdot c^{(k)}(t) \cdot \cos \omega_c t \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서,  $d^{(k)}(t)$  와  $c^{(k)}(t)$  는 각각  $k$ 번째 사용자가 갖는 정보신호와 고유하게 할당된 확산부호이다. 또한 임의의 순간에서 확산부호로 PN을 사용하였다면  $c^{(k)}(t)$  는  $PN^{(k)}(t)$  로 표시되며, Simplex를 사용하였다면

$c^{(k)}(t)$  는  $SM^{(k)}(t)$  로 표시되며 각각 식 (3.2), (3.3)과 같다.

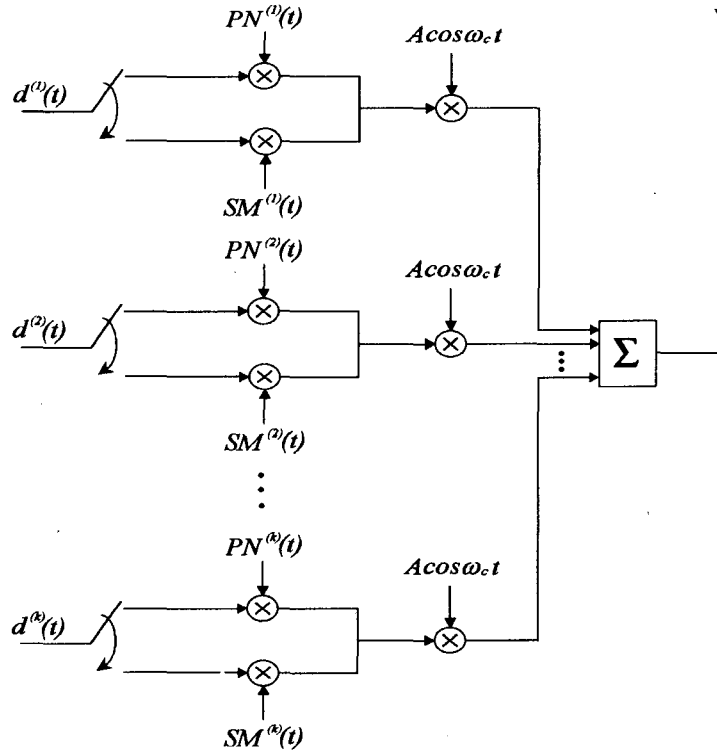
$$s^{(k)}(t) = A \cdot d^{(k)}(t) \cdot PN^{(k)}(t) \cdot \cos \omega_c t \quad (3.2)$$

$$s^{(k)}(t) = A \cdot d^{(k)}(t) \cdot SM^{(k)}(t) \cdot \cos \omega_c t \quad (3.3)$$

### 3.2. BPSK 수신 시스템

확산대역기법을 이용한 CDMA 방식은 모든 사용자의 신호가 동일한 대역을 공유하면서 동시에 전송되므로 특정 사용자의 신호를 복조할 때 인접 사용자에게 의한 간섭은 원하는 정보의 유실뿐 만 아니라 시스템의 용량을 제한시키는 문제점을 유발한다. 이러한 다원접속 간섭을 줄이는 것은 DS/CDMA 시스템에서 매우 중요한 과제이다.

다원접속방식에서의 송신신호는  $K(1 \leq K \leq M)$  명의 사용자들의 신호의 합으로 표시된다. 이러한 신호들은 동일한 전송로를 통하여 전송되며 평균이 0 이고 two-sided



<그림 3.1> DS/CDMA 시스템 송신기 모델

power spectral density가  $N_0/2$ 인 백색 가우시안 (AWGN) 채널을 통과한 경우 수신신호  $r(t)$ 는 식 (3.4) 과 같다.

$$r(t) = A \cdot \sum_{k=1}^K d^{(k)}(t-\tau) \cdot c^{(k)}(t-\tau) \cdot \cos \omega_c(t-\tau) + n(t) \quad (3.4)$$

여기서  $\tau$  는 수신신호의 시간지연으로  $[0, T_b]$ 에서 모든 사용자에게 동일하게 주어진다.

<그림 3.2>는 동기 시스템에서  $i$ 번째 송신신호를 수신하는 수신 블록도이다. 본 논문에서는 원하는 사용자의 정보를 수신하고 인접 사용자의 간섭을 제거하기 위하여 기준 상관 수신기를 이용한다. 이 기준 상관기에서 사용하는 역확산 부호는 송신측에서 확산부호로 사용하지 않은  $SM_{ref}^{(0)}(t)$  부호이다.

제안된 수신기의 위 브랜치 상관기(upper branch correlator)에는 PN 부호가 역확산 부호로 사용되고 있으며, 아래 브랜치 상관기(lower branch correlator)에는 Simplex 부호가 역확산 부호로 사용되고 있다. 또한 가운데 브랜치(middle branch)는 간섭제거부호를 역확산 부호로 사용하고 있는데, 이것은 임의의 사용자에게 의해서 발생하는 간섭을 제거하기 위한 역할을 수행한다. 가운데 브랜치는 임의의 순간에서 PN 부호 또는 Simplex 부호 중 어떤 부호를 사용하는가에 따라 위 또는 아래로 스위칭 (switching) 하게 된다. 여기서 upper branch, lower

branch와 middle 상관기의 출력을 각각  $Z_U, Z_L, Z_M$ 라 한다.

$K$ 명의 사용자 가운데  $i$  번째 사용자를 기준사용자로 하므로  $r=0$  으로 가정한다.  $i$  번째 사용자가 임의의 순간에 PN 부호를 확산부호로 사용하였다면  $[m, mT_b]$ 구간에서 정보를 검출하기 위한  $Z_U^{(i)}$  와  $Z_M^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{U,m}^{(i)} &= \int_{T_b} r(t) \cdot PN^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \frac{AT_b}{2} \cdot d_m^{(i)} + \sum_{k=1, k \neq i}^K \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot PN^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt + \eta_U \end{aligned} \quad (3.5)$$

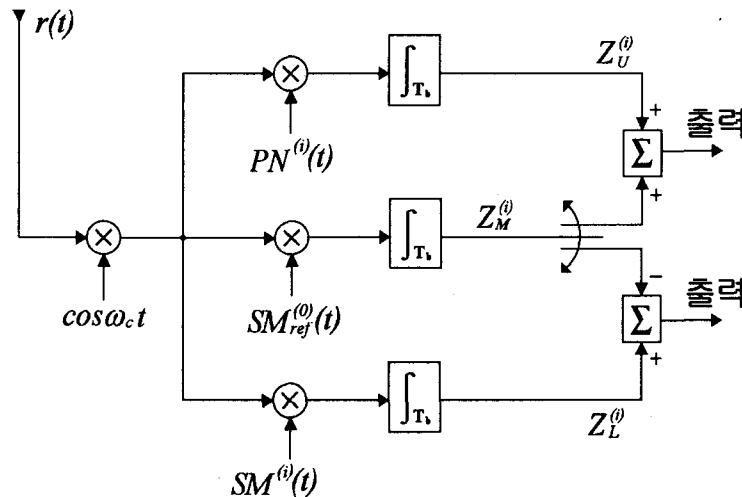
여기서

$$\eta_U = \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} n(t) \cdot PN^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \quad (3.6)$$

$$E[\eta_U] = 0$$

$$VAR[\eta_U] = N_0 T_b / 4$$

이다.  $k$  번째 사용자가  $i$  번째 사용자에게 일으키는 간



<그림 3.2> 기준상관 수신기를 이용한  $i$ 번째 상관 수신기

섭성분을  $I_U(i,k)$  로 표시하면

$$\begin{aligned} I_U(i,k) &= \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot PN^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \frac{A}{2} \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} d_m^{(k)}(t) \cdot PN^{(k)}(t) \cdot PN^{(i)}(t) dt \\ &= -\frac{AT_b}{2N} d_m^{(k)} \end{aligned} \quad (3.7)$$

가 된다. 결과적으로 upper branch 상판 수신기의 출력은 식 (3.8)과 같다.

$$Z_{U,m}^{(i)} = \frac{AT_b}{2} \cdot d_m^{(i)} + \sum_{k=1, k \neq i}^K I_U(i,k) + \eta_U \quad (3.8)$$

또한 middle branch 에서도 upper branch 와 동일하게 해석하면, 결정변수  $Z_{M,m}^{(i)}$ 는 식 (3.9)와 같다.

$$\begin{aligned} Z_{M,m}^{(i)} &= \int_{T_b} r(t) \cdot SM_{ref}^{(0)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \sum_{k=1}^K I_M(R,k) + \eta_M \end{aligned} \quad (3.9)$$

여기서

$$\eta_M = \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} n(t) \cdot SM_{ref}^{(0)}(t) \cos \omega_c t dt \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} I_M(R,k) &= \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot SM_{ref}^{(0)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \frac{AT_b}{2N} d_m^{(k)}(t) \end{aligned} \quad (3.11)$$

이다. PN 부호를 사용하였을 때 upper branch 와 middle branch가 동시에 동기가 이루어진 상태에서,  $i$  번째 사용자의 정보신호를 결정하기 위한 수신기의 출력  $Z_m^{(i)}$ 는 식 (3.8)과 (3.9)의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_m^{(i)} &= Z_{U,m}^{(i)} + Z_{M,m}^{(i)} \\ &= \frac{AT_b}{2} \cdot d_m^{(i)} + I_M(R,i) + \eta \\ &= \frac{AT_b}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) \cdot d_m^{(i)} + \eta \end{aligned} \quad (3.12)$$

여기서  $\eta = \eta_U + \eta_M$

$$E[\eta] = 0$$

$$\text{Var}[\eta] = \frac{N_o T_b}{2}$$

가 된다. 결과적으로 수신기출력  $Z_m^{(i)}$ 를 관찰 하므로써  $i$  번째 사용자의  $m$  번째 정보신호,  $d_m^{(i)}$  를 검출할 수 있다.

$$\begin{cases} d_m^{(i)} = 1 \text{ 인 경우} \\ Z_m^{(i)} = \frac{AT_b}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta \\ d_m^{(i)} = -1 \text{ 인 경우} \\ Z_m^{(i)} = -\frac{AT_b}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta \end{cases} \quad (3.13)$$

또한  $i$  번째 사용자가 임의의 순간에 Simplex 부호를 확산부호로 사용하였다면  $[m, mT]$ 구간에서 정보를 검출하기 위한  $Z_L^{(i)}$  와  $Z_M^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{L,m}^{(i)} &= \int_{T_b} r(t) \cdot SM^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \frac{AT_b}{2} \cdot d_m^{(i)} + \sum_{k=1, k \neq i}^K \\ &\quad \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot SM^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &\quad + \eta_L \end{aligned} \quad (3.14)$$

여기서

$$\begin{aligned} \eta_L &= \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} n(t) \cdot SM^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ E[\eta_L] &= 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\text{VAR}[\eta_L] = N_o T_b / 4$$

이다.  $k$  번째 사용자가  $i$  번째 사용자에게 일으키는 간섭성분을  $I_L(i,k)$  로 표시하면

$$\begin{aligned} I_L(i,k) &= \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot SM^{(i)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= \frac{A}{2} \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} d_m^{(k)}(t) \cdot SM^{(k)}(t) \cdot SM^{(i)}(t) dt \\ &= -\frac{AT_b}{2N} d_m^{(k)} \end{aligned} \quad (3.16)$$

가 된다. 결과적으로 lower branch 상관 수신기의 출력은 식 (3.17)과 같다.

$$Z_{L,m}^{(i)} = \frac{AT_b}{2} \cdot d_m^{(i)} + \sum_{k=1, k \neq i}^K I_L(i,k) + \eta_L \quad (3.17)$$

이 경우 middle branch 에서도 lower branch 와 동일하게 해석하면, 결정변수  $Z_{M,m}^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{M,m}^{(i)} &= \int_{T_b} r(t) \cdot SM_{ref}^{(0)} \cos \omega_c t dt \\ &= \sum_{k=1}^K I_M(R,k) + \eta_M \end{aligned} \quad (3.18)$$

여기서

$$\eta_M = \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} n(t) \cdot SM_{ref}^{(0)}(t) \cos \omega_c t dt \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} I_M(R,k) &= \int_{mT_b}^{(m+1)T_b} s^{(k)}(t) \cdot SM_{ref}^{(0)}(t) \cos \omega_c t dt \\ &= -\frac{AT_b}{2N} d_m^{(k)}(t) \end{aligned} \quad (3.20)$$

이다. 그러므로 Simplex 부호를 사용하였을 때 lower branch 와 middle branch가 동시에 동기가 이루어진 상태에서,  $i$  번째 사용자의 정보신호를 결정하기 위한 수신기의 출력  $Z_m^{(i)}$ 는 식 (3.17)와 반전된 식 (3.18)의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_m^{(i)} &= Z_{L,m}^{(i)} - Z_{M,m}^{(i)} \\ &= \frac{AT_b}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) \cdot d_m^{(i)} + \eta \end{aligned} \quad (3.21)$$

여기서  $\eta = \eta_L + \eta_M$

$$E[\eta] = 0$$

$$\text{Var}[\eta] = \frac{N_o T_b}{2}$$

가 된다. 결과적으로 수신기출력  $Z_m^{(i)}$ 를 관찰 하므로써  $i$  번째 사용자의  $m$  번째 정보신호,  $d_m^{(i)}$ 를 검출할 수 있다.

$$\begin{cases} d_m^{(i)} = +1 \text{ 인 경우} \\ Z_m^{(i)} = \frac{AT_b}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta \\ d_m^{(i)} = -1 \text{ 인 경우} \\ Z_m^{(i)} = -\frac{AT_b}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta \end{cases} \quad (3.22)$$

#### 4. 성능분석 및 고찰

본 절에서는 백색 가우시안 잡음(AWGN)이 존재하는 환경에서 제안된 DS/CDMA 시스템에서 임의의 한 사용자의 평균 비트 오류확률을 구한다.

$K(1 \leq K \leq N)$ 명의 사용자 신호가 평균이 0이고 two-sided power spectral density가  $N_o/2$ 인 백색 가우시안 채널을 통과한 경우  $i$  번째 사용자의 정보신호가 +1로 주어졌다면, 상관수신기의 출력  $Z_m^{(i)}$ 는 식 (3.13), (3.22)에서

$$Z_m^{(i)} = \frac{AT_b}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right) + \eta$$

(4.1)

이며, 여기서

$$E[\eta] = 0$$

$$\text{Var}[\eta] = \frac{N_o T_b}{2}$$

이다. 임의의  $i$  번째 사용자를 고려할 때 오류확률(error probability)은  $i$  번째 사용자의  $m$  번째 정보신호  $d_m^{(i)}$ 가 +1로 주어졌을 때의 조건부 확률(conditional probability)로 구할 수 있다. 즉,

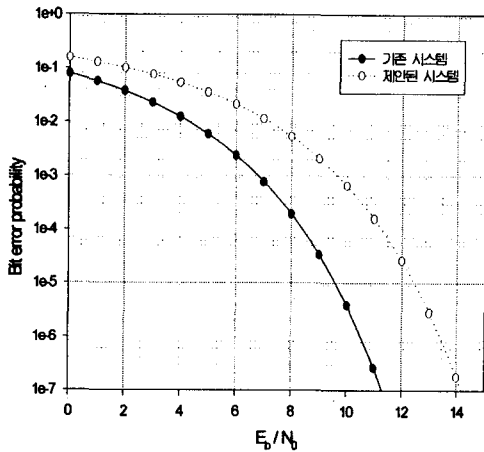
$$\begin{aligned} P_b(e) &= P[Z_m^{(i)} < 0 \mid d_m^{(i)} = +1] \\ &= P\left[\eta < -\frac{AT_b}{2} \left(1 + \frac{1}{N}\right)\right] \end{aligned} \quad (4.2)$$

이다. 결과적으로 제안된 시스템의 오류확률은 다음 식으로 주어진다.

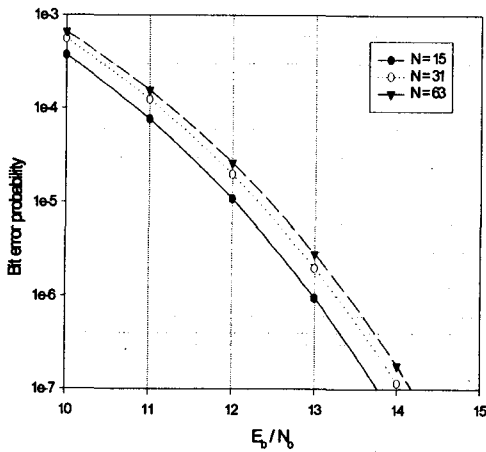
$$P_b(e) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_o}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)\right) \quad (4.3)$$

여기서  $\text{erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function이며  $E_b = A^2 T_b / 2$  이다.

<그림 4.1>은 제안된 시스템과 종래의 동기 BPSK 시스템의 평균오류확률을 보인 것이며  $N=63$  이다. 또한 <그림 4.2>는  $N$  에 따른 비트 오류확률을 보여준다.



<그림 4.1> 비트오류확률



<그림 4.2>  $N$  에 따른 비트오류확률

$N$  이 증가함에 따라 오류성능은 종래의 BPSK 시스템보다 3dB 정도 감소 하지만, 제안된 시스템에서  $N$ 이 증가한다는 것은 수용할 수 있는 사용자가 증가할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 어느 일정  $N$  이후에는 오류확률

이 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있으며  $N$ 이 클 때에는 식 (4.4)로 근사화 시킬 수 있다.

$$P_b(e) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{2 N_0}} \right) \quad (4.4)$$

## 5. Fading 채널

이동무선통신의 특성상 다중경로를 통해 신호를 수신하므로 통신 시스템의 성능을 저하시키는 페이딩 현상이 일어난다. 실제상황에서 페이딩현상은 레일리페이딩 또는 라이시안 페이딩채널로 모델화하여 시스템의 성능을 분석하고 있다. 하지만 실제 통신채널에서는 주변환경에 따라 페이딩의 정도가 레일리 페이딩의 경우보다 강할때와 약할때가 존재한다. 그러므로 이들의 무선채널 환경을 해석할 때에는이들을 종합적으로 다룰 필요가 있다. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 페이딩모델 중 페이딩지수  $m$  값에 따라 변하는 나카가미 페이딩(Nakagami Fading)모델[8]을 채택하였다. 또한  $m$ -분포 페이딩 채널 하에서 제안된 시스템에서 오류확률을 분석한다.

다중경로에 의해 수신된 신호  $r(t)$ 는 다음과 같다고 한다.

$$r(t) = A(t) \cdot \cos(2\pi ft + \phi_1) + n(t), 0 \leq t \leq T \quad (5.1)$$

여기서 진폭  $A(t)$ 는 다중경로에 의해서 생기는 랜덤변수이며  $\phi_1$ 은  $[0, 2\pi]$ 에서 균일분포(uniform distribution)를 갖는 위상이고  $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력 밀도가  $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음이다. 여기서 진폭  $A(t)$ 의 확률 밀도함수  $P_f(A)$ 는 식(5.2)로 표시된다.

$$P_f(A) = \frac{2m^m A^{2m-1}}{\Gamma(m) A_0^m} \exp \left[ -\frac{mA^2}{A_0} \right] \quad (5.2)$$

단  $\Gamma(\cdot)$ 는 Gamma 함수이며  $m(m \geq 1/2)$ 은 페이딩 지수이다. 또한  $A_0$ 는  $A$ 의 평균전력이며  $E[A^2]$ 이다. 지수  $m$ 값에 따른  $m$ -분포 확률밀도함수의 특성은 다음과 같다.

- ①  $1/2 \leq m < 1$  : 레일리 페이딩보다 강한 상태

- ②  $m=1$  : 레이리 페이딩 상태
- ③  $m>1$  : 레이리 페이딩보다 약한상태
- ④  $m=\infty$  : 페이딩이 없는 상태

가우시안 잡음환경하에서 수신된 신호는 신호레벨(SNR)의 함수이다. 그러나 다중경로에 의해 수신된 신호는 한개의 일정한 SNR에 기초를 둘 수 없다. 그러므로 식(5.2)를 평균된 SNR( $\Gamma$ )의 식으로 변환하면 다음과 같다.

$$P_f(\Gamma) = \frac{1}{\Gamma} \frac{m^m}{\Gamma(m)} \left[ \frac{R}{\Gamma} \right]^{m-1} \exp \left[ -\frac{mR}{\Gamma} \right] \quad (5.3)$$

제한된 시스템이 나카가미 페이딩의 영향을 받을 때 평균된 오류율은 식(4.3), (5.2)에 의해 다음으로 표시된다.

$$P_b(\Gamma) = \int_0^\infty P_b(e) \cdot P_f(A) dA$$

$$= \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{m^{m-1}}{\Gamma^m} \left( \frac{\sqrt{2}N}{N+1} \right) \quad (5.4)$$

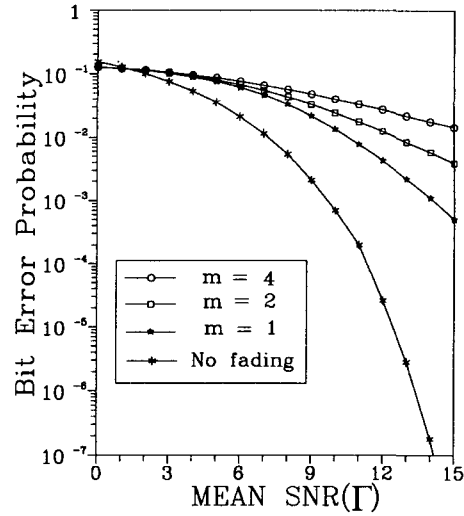
$$\cdot {}_2F_1 \left( m, m + \frac{1}{2}; m+1; -\frac{m}{\Gamma} \left( \frac{\sqrt{2}N}{N+1} \right)^2 \right)$$

여기서  ${}_mF_n(a_1 \dots a_m; \beta_1 \dots \beta_n; x)$ 는 초기함수(hypergeometric function)이다.

## 6. 결 론

직접 대역확산기법을 이용한 CDMA 디지털 이동통신시스템은 다수의 가입자가 동일한 반송파에 서로 다른 코드를 사용하여 각자의 정보를 동시에 주고받으므로 수신하고자 하는 신호 이외의 신호는 간섭성분으로 작용한다. 이러한 간섭은 시스템의 성능 및 용량을 제한하는 중요한 요소이다.

본 연구에서는 동기 DS/CDMA 시스템에서 발생하는 인접 사용자들에 의해 발생하는 다중접속간섭을 제거하기 위한 방법을 제시하였다. 발생된 Simplex 부호들 사이의 상관특성이 PN 부호의 자기상관특성과 동일하기 때문에 Simplex 부호와 PN 부호를 DS/CDMA 시스템의 확산부호로 사용하였으며, 이러한 시스템에서 발생하는 다중접속간섭을 기저대역에서 해석하였고 이러한 간섭을 해석하기 위한 시스템을 제시하였다.



<그림 5.1>  $m$ 에 따른 비트 오류확률

일정한 부호길이와 동일한 사용자수를 가정한 후, 제안된 시스템과 PN 부호를 사용하는 기존의 동기 시스템과 성능을 분석한 결과 제안된 시스템의 성능이 우수한 것을 알 수 있었다. 또한 부호의 길이가 길어질수록 제안된 시스템의 성능이 좋아짐도 알 수 있었다.

제한된 방식은 완전한 동기가 보장되지 않는 상황하에서는 성능감소가 필연적이며 이를 보상하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] M.B.Pursley, D.V.Sarwate and W.E.Stark, "Error probability for direct-sequence spread-spectrum multiple-access communication-part I: upper and lower bounds," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 975-984, May 1982.
- [2] E.A.Geraniotis and M.B.Pursley, "Error probability for direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications-part II: approximations," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 985-995, May 1982.
- [3] L.D.Gottesman and L.B.Milstein, "The effect of a narrowband interference rejection filter on coarse acquisition in direct sequence spread spectrum,"



*IEEE GLOBECOM*, pp. 307.1.1 - 307.1.5, Dec. 1990.

- [4] M.Kawabe, T.Kato, A.Kawahashi, T.Sato and A.Fukasawa, "Advanced CDMA Scheme Based on Interference Cancellation," *IEEE 43rd VTC*, pp.448~451, May, 1993
- [5] K.W.Yip and T.S.Ng, "Code phase assignment -a technique for high capacity indoor mobile DS-CDMA communication," *IEEE 44nd VTS conference*, vol. 3, pp. 1586-1590, 1994.
- [6] B.SKLAR, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, 1988.
- [7] Qualcomm, *Proposed EIA/TIA Interim Standard Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System Dual-Mode Mobile Station- Base Station Compatibility Standard*, 21, Apr. 1992.
- [8] M.Nakagami, "The m-distribution - a general formula of intensity distribution of rapid fading ," in W. G. Hoffman(Ed.) : Oxford, England , Pergamon Press, 1960



김 남 선 (Kim Nam-Sun)

1995년 8월 한양대학교 대학원 전자통신과(공학박사)  
1996년~현재 대진대학교 통신공학과 조교수 재직