

PN 부호 알고리즘의 개선을 통한 사용자간 다원접속간섭 제거에 관한 연구

김나영^{1*}, 김지희¹, 최성민², 손동철³, 김희선¹
¹안동대학교 대학원 멀티미디어공학과, ²공주대학교 대학원 컴퓨터공학과
³백석대학교 정보통신학과

PN Code Algorithm for Improving Interference Cancellation of Multiple Access

Na Young Kim^{1*}, Ji Hee Kim¹, Seong Min Choi², Dong Cheul Son³
and Hee Sun Kim¹

¹Multimedia Engineering, Andong National University

²Computer Science, Kongju National University

³Information Communication, Backseok University

요약 DS-CDMA 방식은 하나의 무선 채널을 다수의 이동국들이 시간과 주파수를 공유하여 사용하게 되는데, 이때 이동국 간의 간섭 최소화를 목적으로 PN 부호(Pseudo-noise Code)를 사용한다. 하지만 PN 부호는 상관 특성으로 시간지연이 0일 때 상관 값이 1이 되지만, 시간지연이 0이 아닐 때는 상관 값이 $1/N$ 이 되어 완전한 상관 특성을 이루지 못하게 된다. 이로 인해 사용자가 증가될 경우 사용자 간의 간섭에 의해 성능 저하 및 시스템 용량 제한 문제가 여전히 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 PN 부호가 이상적인 자기 상관관계를 가지게 하고, 오프셋(offset)을 가진 PN 부호를 사용함으로써 사용자들 간의 다원접속간섭(Multiple Access Interference)을 제거함을 증명하였다.

Abstract In DS-CDMA method, Mobile Stations own jointly one radio channel and are made to use a PN code (Pseudo-Noise Code) for the purpose of minimize interference. However, correlation value of PN code is one when time delay is zero but the correlation value is $1/N$ when time delay is not 0. Therefore correlation characteristic does not fully attained. As a result, when the user increase, the performance degradation and system capacity problem will be able to occur by interference among users. In this paper, the PN code has ideally self correlation. It was proved that PN code could depress interference from other users in multiple access system.

Key Words : PN Code, DS-CDMA, Multiple Access Interface, Self-Noise

1. 서론

이동통신 기술은 1970년 미국에서 개발한 제 1세대 아날로그 셀룰러 방식의 AMPS(Advanced Mobile Phone System)를 시작으로, 80년대 중반 이후 제 2세대 디지털 셀룰러 방식의 GSM(Group Special Mobile)과 IS-95 CDMA 등의 기술로 발전하였다. 아날로그 셀룰러 방식

에서 디지털 셀룰러 방식으로 발전되면서 속도와 서비스 등 아날로그 방식에서의 다수 한계점들이 보완 향상되었고, 그 후 2000년 초 제 3세대 통신인 IMT-2000이 서비스되면서 최대 2Mbps 정도의 빠른 데이터 송수신이 가능해지게 되었다. 이러한 데이터 송수신의 속도 향상으로 인하여 음성 서비스는 물론 영상 등의 대용량 데이터의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 현재 우리

*교신저자 : 김나영(gaenary@paran.com)

접수일 10년 07월 22일

수정일 10년 08월 09일

게재확정일 10년 08월 10일

나라에서는 동기 방식인 IMT-2000의 다중 접속을 위하여 직접확산 부호분할 다원접속(DS-CDMA) 방식을 채택하여 사용하고 있다. [1-4]

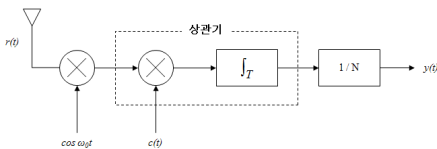
DS-CDMA 방식은 하나의 무선 채널을 다수의 이동국들이 시간과 주파수를 공유하여 사용하게 되는데, 이 때 이동국 간의 간섭을 최소화 하기 위한 확산 부호로 의사잡음(PN; Pseudo-noise) 부호를 사용한다. PN 부호는 상관 특성으로 시간지연이 0일 때 상관 값이 1이 되지만, 시간지연이 0이 아닐 때는 상관 값이 1/N이 되어 완전한 상관 특성을 이루지 못하게 된다. 이로 인하여 사용자가 증가될 경우 다원접속간섭(Multiple Access Interference)에 의해 성능 저하 및 시스템 용량의 제한 발생 등의 문제로 작용할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 DS-CDMA를 사용함에 따라 발생하는 간섭신호를 하드웨어의 큰 수정 없이도 제거가 가능한 수신기 시스템을 제안하고, PN 부호를 사용함에 따라 발생하는 셀프 노이즈(self noise)인 $-1/N$ 의 상관 값을 제거하여 이상적인 자기 상관관계를 갖지 못한 PN 부호가 이상적인 자기 상관 특성을 가지도록 한다. 이에 적용될 DS-CDMA 시스템에 사용되는 PN 부호에는 오프셋(offset)을 두어 이 부호를 확산부호로 사용함으로써 사용자 부호를 할당하는 방안을 적용한다.[5,6]

2. DS-CDMA 수신기 시스템

2.1 일반적인 DS-CDMA 수신 시스템의 문제점

일반적인 DS-CDMA 시스템의 i 번째 사용자를 기준 사용자로 하여 구성된 상관 수신장치 블록도는 그림 1과 같다.[7,8]



[그림 1] 기존 DS-CDMA 시스템의 수신기 모델

동일한 전송로를 통하여 전송된 n 명의 사용자 가운데 원하는 i 번째 사용자의 정보를 검출하기 위해서, 기저대역으로 변환된 수신신호는 i 번째 사용자에게 할당된 고유의 확산부호로 역확산시켜 정보신호를 검출한다.[9,10]

송신측에서 송신된 PN 부호 $c(t)$ 는 채널을 통과하면서 채널의 임펄스 응답과 컨볼루션(convolution)되어

수신기의 수신신호 $r(t)$ 가 된다.

$$\begin{aligned} r(t) &= c(t) \times h(t) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} c(t - \tau) h(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (1)$$

이때 수신기의 동기가 완전히 이루어졌다고 가정한다면 이 수신신호 $r(t)$ 는 상관기에서 PN 부호 $c(t)$ 와 상관처리되고 정규화 처리되어 다음과 같은 신호가 된다.

$$\begin{aligned} y(t) &= \left(\frac{1}{N}\right) \int_T r(t+a)c(a)da \\ &= \left(\frac{1}{N}\right) \int_T \int_{-\infty}^{\infty} c(t+a-\tau)h(\tau)c(a)d\tau da \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)R_{cc}(t-\tau)d\tau \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 T 는 확산 부호의 한 주기이며, PN 부호 $c(t)$ 의 자기 상관함수는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{cc}(t-\tau) = \left(\frac{1}{N}\right) \int_T c(t-\tau+a)c(a)da \quad (3)$$

식 (3)에서 $c(t)$ 는 PN 부호이므로, 다음과 같은 특성을 갖는다.

$$\int_T c(t-\tau+a)c(a)da = \begin{cases} N & \text{for } t = \tau + nT \\ -1 & \text{for } t = \tau + nT \end{cases} \quad (4)$$

그러므로 식 (4)은 다음과 같이 표현된다.

$$R_{cc}(t-\tau) = \begin{cases} 1 & \text{for } t = \tau + nT \\ -\left(\frac{1}{N}\right) & \text{for } t \neq \tau + nT \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 N 은 PN 부호의 한 주기 동안에 포함되는 칩(chip)의 수이다.

그림 1의 수신장치에서, 원하는 신호에 대하여 $(N-1)$ 개의 간섭신호가 함께 입력되면, 수신신호는 다음과 같다. 여기서, t_i 는 오프셋으로서 $T_c \leq t_i \leq (N-1)T_c$ 이다. T_c 는 한 칩의 시간간격이다.

$$r(t) = a_0c(t) + \sum_{i=1}^{N-1} a_i c(t - t_i), (n-1)T \leq t \leq nT \quad (6)$$

식 (6)의 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되고, 두 번째 항은 (N-1)개의 간섭신호의 합에 해당된다. 확산부호에 확산된 신호 a_0 와 확산된 간섭신호 a_i ($1 \leq i \leq N-1$)는 PN 부호의 한 주기, T 시간동안 일정한 값을 갖는다. 그러면 식 (6)의 수신신호가 수신기 내의 확산부호 $c(t)$ 와 상관된 신호 $y(t)$ 를 확산부호의 정수배 되는 시간에서 샘플을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 y(nT) &= \left(\frac{1}{N}\right) \left[a_0 \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha) c(a) d\alpha \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N-1} a_i \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha-t_i) c(a) d\alpha \right] \\
 &= a_0 R_{cc}(nT) + \sum_{i=1}^{N-1} a_i R_{cc}(nT-t_i) \\
 &= a_0 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} a_i
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

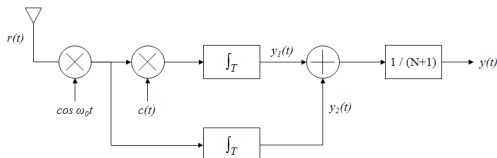
식 (7) 결과의 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되는 것이고, 두 번째 항은 (N-1)개의 간섭신호의 합에 해당된다.

이와 같은 기존의 수신장치에서는 이상적인 상관특성을 가지지 못하기 때문에 간섭신호가 완전히 제거되지 않는다.

따라서 이상적인 상관특성을 가지지 못하는 수신기 구조에 대해 이상적인 상관특성을 가질 수 있도록 하는 수신기 모델을 그림 2에서 제안한다.

2.2 제안된 DS-CDMA 수신 시스템

그림 2의 상관기는 PN 부호를 한 주기동안 적분하면 “1”이 얻어지는 성질을 이용하여 매 주기마다 “1”을 부가하여 간섭신호를 완전히 제거하는 이상적인 상관특성을 가지는 적분기를 추가하였다.



[그림 2] 제안된 DS-CDMA 시스템의 수신기 모델

그림 2에서의 제안된 수신기 모델은 식 (7)의 간섭신호에 해당되는 두 번째 항 $-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} a_i$ 를 완전히 제거할 수 있다.

다음 3장에서는 제안한 DS-CDMA 수신 시스템의 수

식적인 해석 및 PN 부호의 자기 잡음의 제거에 관한 분석에 대해 설명하였다.

3. 제안된 수신 시스템 성능 분석 및 고찰

3.1 제안된 DS-CDMA 수신 시스템 해석

본 절에서는 제한적인 대역폭에서 다수의 이용자가 동시에 정보를 송수신하는 과정에서 발생하는 다원접속간섭을 제거할 목적으로, 하드웨어 복잡성의 증가 없이 이상적인 상관특성을 가지면서 다원접속간섭을 제거하기 위한 알고리즘이 적용된 시스템을 해석한다.

다원접속방식에서의 송신신호는 다수의 사용자들이 신호를 합쳐져 표시된다. 이 때 사용자들의 수를 n 이라 한다. 그리고 합해진 신호는 동일한 전송로로 전송되고,

평균이 0이고 양 측 전력 밀도가 $\frac{N_0}{2}$ 인 가산성 백색 가우시안 채널을 통과할 경우의 수신신호를 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= A \cdot \sum_{n=1}^N d^{(n)}(t-\tau) \\
 &\quad \cdot c^{(n)}(t-\tau) \cos \omega_c(t-\tau) + n(t)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

위 식에서 $r(t)$ 가 수신신호를 의미한다. 그리고 τ 는 $[0, T]$ 구간에서 임의의 값을 갖는 시간지연으로 모든 사용자에게 동일하게 주어진다.

제안된 수신기는 두 개의 상관기로 구성되어있다. 상단 부분은 원하는 사용자의 정보신호를 검출하기 위해서 송신 측에서 사용한 동일한 확산부호를 갖는 수신부분이며 출력을 $y_1(t)$ 라 한다. 또한 하단 부분은 간섭제거를 목적으로 하는 부분이며 그 출력을 $y_2(t)$ 라 한다.

그림 2에서 수신기의 상관된 신호 $y_1(t)$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 y_1(t) &= \int_T \int_{-\infty}^{\infty} c(t+\alpha-\tau) h(\tau) c(\alpha) d\tau d\alpha \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \int_T c(t+\alpha-\tau) c(\alpha) d\tau d\alpha
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

또한, 그림 2에서 수신기의 상관된 신호 $y_2(t)$ 는 다음과 같다.

$$y_1(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \int_T c(t+\alpha-\tau) d\tau da \quad (10)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) d\tau$$

따라서, $y(t)$ 는

$$y(t) = \left(\frac{1}{(N+1)}\right)(y_1(t) + y_2(t)) \quad (11)$$

$$= \left(\frac{1}{(N+1)}\right) \left(\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \int_T c(t+\alpha-\tau)c(\alpha) d\alpha d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) d\tau \right)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \left[\left(\frac{1}{(N+1)}\right) \left(1 + \int_T c(t+\alpha-\tau)c(\alpha) d\alpha \right) \right]$$

이 되고 여기서,

$$R'_{cc}(t-\tau) = \left(\frac{1}{(N+1)}\right) \left(1 + \int_T c(t+\alpha-\tau)c(\alpha) d\alpha \right) \quad (12)$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{for } t = nT + \tau \\ 0 & \text{for } t \neq nT + \tau \end{cases}$$

이다. 그러므로 $y(t)$ 는 다음과 같다.

$$y(t) = h(\tau) \times R'_{cc}(t) \quad (13)$$

$$= h(t)$$

만약 신호를 수신 시 (N-1)개의 간섭신호가 함께 입력 되면, 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = a_0c(t) + \sum_{i=0}^{N-1} a_i c(t-t_i), \quad (n-1)T \leq t \leq nT \quad (14)$$

여기서, t_i 는 오프셋으로서 $T_c \leq t_i \leq (N-1)T_c$ 이다.

위의 식 (14)에서 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되고, 두 번째 항은 M개의 간섭신호에 대한 합에 해당된다. 확산 부호에 확산된 신호 a_0 와 확산된 간섭신호 $a_i (1 \leq i \leq M)$ 는 PN 부호의 한주기, T 시간 동안 일정한 값을 갖는다.

그림 2에서, $y_1(t)$ 를 확산부호의 정수배 되는 시간에서 샘플을 취하면 다음과 같으며

$$y_1(nT) = \left[\begin{aligned} &a_0 \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha)c(\alpha) d\alpha \\ &\sum_{i=1}^{N-1} a_i \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha-t_i)c(\alpha) d\alpha \end{aligned} \right] \quad (15)$$

$$= Na_0 R'_{cc}(nT) + N \sum_{i=1}^{N-1} a_i R'_{cc}(nT-t_i)$$

그림 2의 제안된 적분기의 출력은 PN 부호를 한 주기 동안 적분하면 “1”이 되므로 $y_2(t)$ 는 식 (16)와 같다.

$$y_2(nT) = \left[\begin{aligned} &a_0 \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha)c(\alpha) d\alpha \\ &\sum_{i=1}^{N-1} a_i \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha-t_i)c(\alpha) d\alpha \end{aligned} \right] \quad (16)$$

$$= a_0 \sum_{i=1}^{N-1} a_i$$

따라서, 최종적으로 검출되는 $y(t)$ 는 다음과 같다.

$$y(nT) = \left(\frac{1}{(N+1)}\right)(y_1(t) + y_2(t)) \quad (17)$$

$$= a_0$$

위 식 (17)의 결과를 통하여 제안된 수신기가 다른 PN 부호 오프셋을 사용하는 사용자에게 대한 (N-1)개의 간섭신호를 완전히 제거할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 성능 분석 및 고찰

제안된 시스템에서는 사용될 PN 부호를 3단, 4단, 6단의 쉬프트 레지스터를 사용하여 구성하였는데, 이 부호의 최장길이는 각각 7(2³-1), 15(2⁴-1), 63(2⁶-1)이며 생성다항식(generator polynomial)은 다음과 같다.

$$p(x) = x^3 + x + 1 \quad (18)$$

$$p(x) = x^4 + x + 1 \quad (19)$$

$$p(x) = x^6 + x + 1 \quad (20)$$

이렇게 PN 부호를 발생시키기 위해 구성된 각각의 초기 값으로 발생된 부호는 표 1과 같다.

[표 1] PN 부호의 초기값 및 발생 부호

최장 길이 (N)	초기값	발생 PN 부호
7	111	1110100
15	1111	111101011001000
63	111110	0111111010101001101110110100100 111000 1011110010100011000010000

각 사용자들의 데이터들은 랜덤하게 발생을 시켰고 표 1의 발생부호에 의해 확산 및 역확산 하였다.

[표 2] PN 부호 발생기에 따른 결과 (초기값 1111)

$c^{(i)}(t)$	Output PN Code
$c^{(1)}(t)$	111101011001000
$c^{(2)}(t)$	011110101100100
$c^{(3)}(t)$	001111010110010
$c^{(4)}(t)$	000111101011001
$c^{(5)}(t)$	100011110101100
$c^{(6)}(t)$	010001111010110
$c^{(7)}(t)$	001000111101011

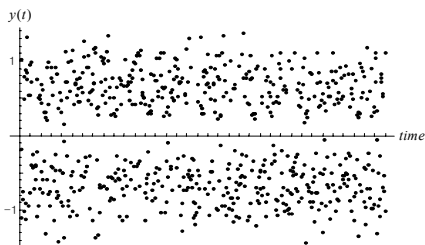
표 2와 같이 발생된 PN 부호는 각 사용자의 데이터 부호를 확산시키고 여러 사용자들의 데이터 부호를 모두 합산시켜 전송한다. 이렇게 전송된 신호에 가우시안 잡음을 가산시켜 기존 수신기와 제안된 수신기에서 수신된 신호의 오류확률을 구한다.

먼저 AWGN상태에서 각 수신기의 비트오류확률(Bit 표 3은 제안된 수신기와 기존의 수신기의 비트오류확률(BER)을 보인 것이며 여기서 (N = 7)이다.

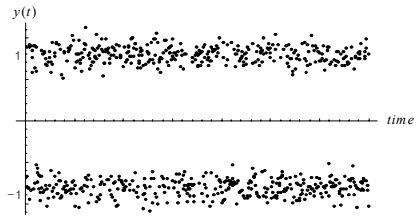
[표 3] 비트오류확률 (N = 7)

SNR (dB)	BER	
	기존 수신기	제안된 수신기
-5	1.6557E-2	8.2142E-3
-4	1.1471E-2	3.4000E-3
-3	8.6142E-3	9.5714E-4
-2	5.9857E-3	3.4285E-4
-1	5.0857E-3	5.7142E-5
0	4.2714E-3	4.2857E-5
1	3.9285E-3	2.8571E-5

그림 3과 그림 4는 잡음 발생을 고려하였을 때의 컴퓨터 모의 실험 결과이다.



[그림 3] 기존 수신기(N = 7), SNR = 5dB



[그림 4] 제안된 수신기(N = 7), SNR = 5dB

그림 3은 기존 수신기 구조를 사용하여 SNR을 5dB, N=7로 하였을 때이며, 그림 4는 제안된 수신기 구조를 사용하였을 때 SNR을 5dB, (N = 7)로 한 결과이다. 그림 4는 그림 3보다 +1과 -1을 중심으로 값이 더 밀집되어 있음을 알 수 있다.

이는 제안된 수신기가 기존 수신기 보다 잡음 측면에서는 $\int_T n(t) dt$ 만큼 성능이 나빠지지만 신호점간의 거리가 2N에서 2(N+1)로 커지고, 간섭신호항 $\sum_{i=1}^{N-1} d_i$ 가 제거되기 때문에 전체적인 성능이 좋아질 수 있음을 보여주는 것이다.

이러한 결과들을 수식적으로 비교해 보면 먼저 $n(t) = 0$ 일 때

$$\begin{aligned}
 y_1 &= Nd_1 - \sum_{i=2}^N d_i & (21) \\
 y_2 &= d_1 + \sum_{i=2}^N d_i \\
 y &= (N+1)d_1
 \end{aligned}$$

식 (21)을 비교하면 $\begin{cases} y_1 = Nd_1 - \sum_{i=2}^N d_i \\ y = (N+1)d_1 \end{cases}$ 임에 따라, y

가 우수함을 알 수 있다. 여기서 d_1 는 원하는 신호이다.

두 번째로 $n(t) \neq 0$ 일 때,

$$\begin{aligned}
 y_1 &= Nd_1 - \sum_{i=2}^N d_i + \int_T n(t)C_1(t)dt & (22) \\
 y_2 &= d_1 + \sum_{i=2}^N d_i + \int_T n(t)dt \\
 y &= (N+1)d_1 + \int_T n(t)(1+C_1(t))dt
 \end{aligned}$$

식 (22)을 비교하면

$$\begin{cases} y_1 = Nd_1 - \sum_{i=2}^N d_i + \int_T n(t)C_1(t)dt \\ y = (N+1)d_1 + \int_T n(t)C_1(t)dt + \int_T n(t)dt \end{cases} \text{로, } y$$

가 y_1 보다 잡음면에서는 $\int_T n(t)dt$ 항 만큼 성능이 나 빠지지만, 원하는 신호가 N 에서 (N+1)로 커지고 간섭신 호항 $\sum_{i=2}^N d_i$ 가 제거됨으로써 전체적인 성능이 향상됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 PN 부호가 이상적인 상관 특성을 가지 지 못함에 따라 사용자 수가 증가할 경우 발생하는 다원 접속 간섭 문제에 대하여 하드웨어의 큰 증가 없이 이를 해결할 수 있는 수신기의 구조를 제안하였다.

이러한 동기 DS-CDMA 시스템에서 대역 확산을 위한 PN 부호는 시간 지연이 0일 때는 그 상관 값이 존재하지만, 0이 아닐 때에는 그 상관 값이 0을 가지지 못하는 이 상적이지 못한 자기상관 특성을 가진다. 따라서 먼저 이 러한 PN 부호가 이상적인 상관 특성을 지니도록 시간지 연이 0이 아닐 때에 상관 값이 0이 되도록 하는 알고리즘 과 이러한 알고리즘을 PN 부호를 사용한 DS-CDMA 시 스템에서 발생하는 간섭신호를 제거하기 위한 수신기의 구조를 제안하였다. 제안된 수신기 구조는 PN 부호뿐만 아니라 GMW 부호, Legendre 부호 등 2-레벨 자기상관 특성을 갖는 시스템에도 적용이 가능하다. 또한 이상적인 자기상관 특성을 갖도록 한 PN 부호가 적용된 수신기의 구조는 이밖에 이러한 부호를 이용하여 정확한 채널 측 정이 필요한 시스템들의 채널 임펄스 응답 측정에도 적 용이 가능하다.

PN 부호의 이상적인 자기상관 특성을 위한 수신기 구 조에서는 PN 부호의 특성상 발생하는 셀프 노이즈인 $-1/N$ 의 상관 값을 PN 부호에 오프셋을 두어 확산 부호로 이용하여 제거하는 방식을 제안하였고, 이러한 방식을 적 용한 수신기 구조를 수학적 해석과 모의실험을 통하여 검증하였다. 검증 결과 본 논문에서 제안한 모델은 실질 적인 환경에서는 오프셋을 delay spread 이상으로 가져가 야 하는 문제점이 발견되었다. 본 검증 작업에서는 동기 적 DS-CDMA 시스템을 대상으로만 이루어졌지만, 본 논 문에서 목적으로 다룬 문제점들을 동기 시스템뿐만 아니 라 비동기 시스템에도 해결될 수 있는 적합한 알고리즘 의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] R. Prasad and T. Ojanpera, "An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA", IEEE Communications Surveys. <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, Fourth Quarter 1998.
- [2] M. Juntti and S. Glisic, "Avanced CDMA for Wireless Communications" in Wireless Communications TDMA versus CDMA, S. G. Glisic and P. A. Leppanen, Eds., Kluwer Academic Publishers, pp.447-490, 1997.
- [3] E. Nikula, A. Toskala and A. Klein, "Frames Multiple Access for UMTS and IMT-2000" IEEE Pers. Commun, 1998
- [4] Vijay K. Garg, "IS-95 CDMA and CDMA 2000" , Prentice Hall, 1999.
- [5] Z. Xie R. T. Short and C. K. Rushforth, "A Family of Suboptimum Detector for Coherent Multi-User Communications" IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.8, No.4, pp.683-690, 1990.
- [6] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System" IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.12, No.5, pp.796-807, 1994.
- [7] B. Sklar, "Digital Communication" Prentice Hall, Inc, 1988.
- [8] R. E. Ziemer and R. L. Peterson, "Digital Communications and Spread Spectrum Systems" Macmillian, 1985.
- [9] 김남신, "간섭제거를 갖는 이중전송률 MC / MC-CDMA 시스템의 성능분석", 한국산학기술학회논 문지, Vol 10. No.4, pp 830~837, 2009.
- [10] 민소연, "이동통신용 음성부호화기에서의 LSB 계산 시간 감소에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지, Vol 8. No.3, pp 563~568, 2007.

김 나 영(Na Young Kim)

[준회원]



- 2009년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 대학원 멀티미디어공학과 석사과정

<관심분야>
정보통신, 멀티미디어

김 지 희(Ji Hee Kim)

[준회원]



- 2009년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 대학원 멀티미디어공학과 석사과정

<관심분야>
정보통신, 멀티미디어

김 희 선(Hee Sun Kim)

[정회원]



- 2001년 8월 : 경북대학교 컴퓨터학과 박사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 멀티미디어 공학과 부교수

<관심분야>
멀티미디어, 모바일 웹, HCI

최 성 민(Seong Min Choi)

[준회원]



- 2008년 2월 : 백석대학교 정보통신학부 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야>
멀티미디어, 영상처리, 3D

손 동 철(Dong Cheul Son)

[정회원]



- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2001년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 박사
- 1985년 3월 ~ 2001년 8월 : ETRI 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학과 교수

<관심분야>
정보통신, 멀티미디어, 지능정보, 운영체제