

# 적응 블라인드 CMA 어레이를 이용한 간섭 제거 수신기에 관한 연구

정회원 우 대 호\*, 변 윤 식\*

## A Study on Interference Cancelling Receiver with Adaptive Blind CMA Array

Dae-Ho Woo\*, Youn-Shik Byun\*\* *Regular Members*

요 약

DS-CDMA 시스템에서는 다중 접속으로 인하여 다중 접속 간섭 문제가 발생되어진다. 이 문제를 해결하기 위하여 간섭 제거기가 사용되어졌다. 기존 간섭 제거 수신기는 연속 간섭 제거기와 안테나 어레이를 적용한 구조이다. 이 구조에서 가중치 벡터를 갱신하는 방법에 따라서 방법 I 과 II 로 구별되어진다. 본 논문에서는 기존 구조에서 가중치 벡터를 갱신하기 위하여 constant modulus 알고리즘의 비용함수를 사용한 적응 블라인드 CMA 어레이 간섭 제거 수신기를 제안하였다. 모의 실험은 가우시안 환경 하에서 SIR과 BER 곡선에 의해서 제안된 수신기와 연속 간섭 제거기에 안테나 어레이를 확장한 기존 간섭 제거 기술들과 비교하였다. 모의 실험 결과, 제안된 수신기가 기존 수신기 방법 I 보다 SIR 곡선에서 1.5[dB]의 SIR 이득을 지니고, 방법 II보다는 약 0.5[dB]의 SIR 이득을 지닌다. BER 곡선에서는 방법 I 보다는 약 2[dB] SNR 이득을 지니고, 방법 II 보다는 약 0.5[dB] SNR 이득을 지닌다. 따라서 제안된 간섭 제거기가 기존 간섭 제거기들보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 보여 주고 있다.

### ABSTRACT

In the direct sequence code division multiple access system, the problem of multiple access interference due to multiple access is generated. A interference cancelling receiver is used to solve this problem. The conventional interference cancelling receiver is structure of successive interference canceller using antenna array. In this structure, the difference of between method I and method II depends on updating weight vector. In this paper, the adaptive blind CMA array interference cancelling receiver using cost function of constant modulus algorithms is proposed to update weight vector at conventional structure. The simulation compared the proposed interference cancelling receiver with two conventional interference cancelling receivers by signal to interference ratio and bit error rate curve under additive white Gaussian noise environment. The simulation results show that the proposed receiver has about the gain of SIR of 1.5[dB] more than method I which is conventional receiver at SIR curve, and about the gain of SIR of 0.5[dB] more than method II. In BER curve, the proposed IC receiver about the gain of SNR of 2[dB] more than method I and about the gain of SNR of 0.5[dB] more than method II. Thus, the proposed interference cancelling receiver has the higher performance than conventional interference cancelling receivers.

### I. 서론

DS-CDMA 방식을 사용하는 이동 통신 시스템에

서 수신기는 원근 효과에 의해서 성능이 열화 되어진다. IS-95를 바탕으로 하는 시스템에서 역방향 링크에서는 전력 제어를 통하여 이 문제를 해결하고

\* 인천대학교 전자공학과 신호처리 연구실(dhwoo@incheon.ac.kr), \*\* 인천대학교 전자공학과(byun@incheon.ac.kr)

논문번호 : 010049-0329, 접수일자 : 2001년 3월 29일

※ 본 연구는 1999년도 인천대학교 교내연구비 지원과 한국과학재단 지정 멀티미디어연구센터 지원에 의해 수행되었습니다.

자 하였다. 그러나 강한 간섭 사용자들 하에서는 올바른 동작을 하지 못하였다. 이에 이런 문제를 해결하기 위한 방안으로 Verdu에 의해서 최적 다중 사용자 검출기와 준 최적 검출기가 제안되어졌다<sup>[1]</sup>.

이 검출기들은 모든 다중 사용자 간섭의 구조를 알고 있으므로 해서, 전력 제어를 통하지 않고 수신기의 성능을 높일 수 있다. 그리고 제한된 대역폭과 사용자의 증가는 수신기가 알아야 할 사용자들간의 상관 행렬의 복잡도를 증가시킨다. 이는 너무 많은 계산 량을 초래하는 문제를 야기한다. 이에 좀더 현실적으로 접근할 수 있는 간섭 제거 기술이다<sup>[2]</sup>.

간섭 제거 기술은 연속적으로 가장 강한 사용자의 신호를 추정하고 다시 발생하여 수신된 신호에서 빼어주는 형태로 동작하는 연속 간섭 제거기와 동시에 간섭을 제거하는 병렬 간섭 제거 기법이 존재한다. 간섭 제거 기술들에 사용자들 사이의 좀더 명확한 구분을 위하여 다중 안테나 시스템을 도입하고자 하였다<sup>[3]</sup>. 이 다중 안테나를 사용한 시스템은 수신된 신호의 공간 샘플들을 사용하여 사용자들은 시공간 영역에서 정합 되어질 수 있다. 또한 안테나 어레이는 간섭 사용자들의 필터 출력으로 사용되어진다. 따라서 검출하고자 하는 사용자에 의해서 나타난 간섭 사용자의 양을 줄일 수 있다. 다중 안테나 시스템을 이용한 IC 수신기는 모든 사용자의 어레이 응답 벡터를 이용할 수 있다면 최적의 성능을 제공한다. 실제 셀룰러 환경에서 수신기 이 값들을 정확하게 알린다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 적응 적인 방법에 의해서 어레이 응답 벡터를 추적할 수 있다<sup>[3]</sup>. 기존의 적응 안테나 어레이가 적응 적으로 빔을 형성하는 방법은 원하는 사용자의 어레이 응답 벡터를 최적의 빔 형성을 위하여 어레이 응답 벡터의 정보를 이용하거나 또는 훈련 열을 이용하여 구하는 것이다<sup>[3]</sup>.

CDMA 환경에서 원하는 사용자의 확산 수열을 이용하고 훈련 열이 필요하지 않는 블라인드 적응 어레이 벡터 응답 수신기를 설계하는 것이다. 이에 본 논문에서는 블라인드 적응 안테나 어레이를 사용하는 간섭 제거기를 연구하고자 하는 것이다. 기존에 참고 문헌<sup>[3]</sup>에서 연구되어진 블라인드 방법 I, II와 제안된 방법을 비교하여 성능을 평가하고자 하였다. 다음절에서는 시스템 모델에 대하여 나타나 있다.

## II. 시스템 모델

이동 통신에서 발생하는 다중 사용자로 인한 간

섭 문제를 해결하기 위해서 다음과 같이 수신된 시스템을 고려하고자 한다. 이에 따라서, 통과 대역 채널에서 동시에  $K$  명의 사용자가 송신을 하는 동기 CDMA 시스템을 고려하고자 한다. 채널 대역폭은 충분히 크다고 가정을 하면 심벌 간 간섭은 무시 될 것이다. 이 전송은  $M$  안테나의 어레이에 의해서 수신되어진다. 안테나 성분들 사이의 전달 지연은 전송 대역폭의 역보다 상대적으로 아주 작다고 가정한다. 따라서  $M$  기저 대역 어레이 출력에서 수신된 신호는 복소 상수 범위 내에서 동일하다. 안테나 어레이에서 수신된 신호는 다음과 같이 모델링이 되어진다<sup>[3]</sup>.

$$x(t) = \sum_{k=1}^K a_k p_k s_k(t) + \sigma n(t) \quad (1)$$

여기서  $x(t) = [x_1(t) \dots x_M(t)]^T$ ,  $a_k = [a_{1k} \dots a_{Mk}]^T$ 는 사용자  $k$ 의 어레이 응답 벡터,  $p_k^2$ 은 에너지,  $s_k(t)$ 는 심벌 간격  $T$ 에 대하여 정규화된 확산 파형이고,  $n(t)$ 는 부가 백색 가우시안 잡음의 벡터이다.  $v(s_k(t))$ 는 실수, 칩 윌  $T_c = T/N$ 을 가지고, 선형적으로 독립이다.

확산 파형을 위한 벡터 표현을 사용하여, 식(1)을 다시  $M \times N$  행렬로서 수신된 신호를 다시 표현할 수 있다.

$$X = \begin{bmatrix} x_1^H \\ \vdots \\ x_M^H \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^K a_k p_k s_k^T + \sigma N \quad (2)$$

## III. 안테나를 이용한 기존 간섭 제거 수신기<sup>[3]</sup>

### 3-1. 다중 성분 간섭 제거기

CDMA 시스템에서 발생하는 다중 접속 간섭 문제를 해결하고 이를 제거하는 연속 간섭 제거기를 사용하였다. 이번 장은 참고 문헌<sup>[3]</sup>에서 제안된 기법인 다중 성분 간섭 제거기에 대하여 설명하고자 한다. 이 간섭 제거기는 연속 간섭 제거 기법을 안테나 어레이에 확장한 구조의 형태를 지니고 있다. 다중 성분 간섭 제거기는 연속 간섭 제거기를 채용하고 있으며, 사용자들 사이에 공간 다이버시티를 이용하여 원하는 사용자의 정보를 검출한다. 아래 그림 1에서 다중 성분 간섭 제거 수신기의 첫 번째 단계의 블록 다이어그램이 나타나 있다.

연속 간섭 제거기의 동작에 대하여 설명하면 다

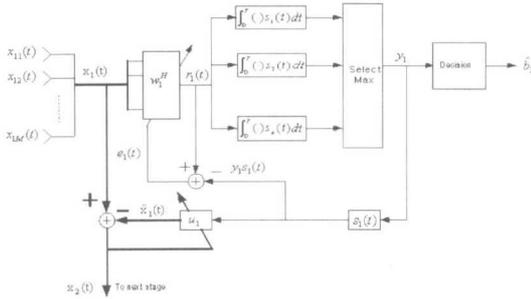


그림 1. 다중 성분 간섭 제거기

음과 같다. 즉, 가장 강한 사용자의 정보 신호를 제일 먼저 검출하고, 수신된 신호로부터 검출된 사용자의 정보 신호를 빼어주면 한 명이 줄어든 수신도 신호가 된다. 즉 사용자가 1명 될 때까지 반복해서 동작을 하게 되면 모든 사용자의 정보 신호를 검출할 수 있다<sup>[1]</sup>.

연속 간섭 제거기에서 가장 강한 사용자는 모든 K 사용자에게 대하여 결정 변수들을 비교함으로써 구할 수 있다. 이들 상관 값은 다른 사용자를 위한 제거의 차수를 찾는데 사용되어진다. 결정되어진 비트는 사용자의 확산 수열에 의해서 다시 확산되어지고 어레이 응답 벡터에 의해서 곱하여진 결과를 수신된 신호로부터 빼어주면 된다. 같은 과정을 모든 사용자가 검출될 때까지 K번 반복해서 실행하면 된다.

만약 M=1인 경우의 시스템은 연속 간섭 제거기로서 동작한다. 아무런 손실도 없다고 가정을 한다면, 모든 사용자들은 수신된 에너지의 강도에 의해서 정렬되어진다고 가정하고, 첫 번째 사용자를 가장 강한 사용자로 또한 가정한다. 사용자 1을 위한 결정 변수는 다음 식(3)과 같다.

$$y_1 = w_1^H X_1 s_1 = (w_1^H a_1) p_1 b_1 + \sum_{k=2}^K p_k b_k \rho_{1k} + \sigma (w_1^H N_1 s_1) \quad (3)$$

여기서  $X_1$ 은 첫 번째 단계에서 수신된 신호이다. 이것은 또한 빔 형성기와 정합 필터의 출력 에너지를 찾는데 유용하다. 첫 번째 단계에서 살펴보면 다음과 같다.

$$E[r_1^H r_1] = w_1^H R_1 w_1, \quad E[|y_1|^2] = w_1^H R_{y1} w_1 \quad (4)$$

여기서,

$$R_1 = A_1 E_1^2 A_1^H + N \sigma^2 I_M$$

$$R_{y1} = A_1 (P_1 Q_1)^2 A_1^H + \sigma^2 I_M$$

$$A_1 = [a_1, \dots, a_k]$$

$$Q_1 = \text{diag}(\rho_{11}, \dots, \rho_{1k})$$

위의 관계들로부터 사용자 1을 제거하는 형태는 다음과 같은 식에서 표현되어진다.

$$X_2 = X_1 - y_1 u_1 s_1^T \quad (5)$$

$$= \sum_{k=2}^K a_k p_k b_k s_k + a_1 p_1 b_1 s_1 -$$

$$(w_1^H a_1) p_1 b_1 u_1 s_1^T + \sigma (N_1 - \frac{1}{\sigma} i_1 u_1 s_1^T)$$

식(5)에서  $a_1 p_1 b_1 s_1 - (w_1^H a_1) p_1 b_1 u_1 s_1^T$ 항의 값은 0으로 될 것이다. 결국 사용자 1을 제거하는 성분은 신호 성분과 잡음으로 나타내어질 수 있다.

$$X_2 = \sum_{k=2}^K a_k p_k b_k s_k + N_2 \quad (6)$$

$$N_2 = \sigma (N_1 - \frac{1}{\sigma} i_1 u_1 s_1^T)$$

이를 연속해서 반복하면 모든 사용자의 정보 신호를 검출할 수 있다. 이는 모든 사용자에게 대한 타임밍, 동기, 모든 사용자에게 대한 확산 코드 등 많은 정보가 필요하다.

이에 정보를 필요로 하지 않는 블라인드 간섭 제거 방법에 대하여 연구를 진행하고자 한다. 우선 간섭 성분을 제거하기 위한 기존 방법에 대해서 다음 장에서 살펴보고자 한다.

### 3-2. 적응 블라인드 어레이

위에서 언급한 수신기는 많은 제한적인 환경과 사용자들의 이동성 때문에 수신기에 어느 사용자에게 대한 어느 도착 시간인지를 정확하게 알려 주어야 한다. 이는 실제 수신기에 구현이 매우 어렵다. 이에 이런 정보를 필요로 하지 않는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>[3]</sup>. 참고 문헌<sup>[3]</sup>에서 제안된 기존 블라인드 방법에 대하여 설명하고자 한다.

이 논문에서는 적응 간섭 제거를 하는 두 가지 방법이 존재한다. 우선 이 블라인드 방법은 간섭은 여러 가지 어레이의 정보나 원하는 사용자에게 대한 훈련 열을 필요로 하지 않는다.

그림 1과 같이 적응 다중 요소 간섭 제거 수신기가 나타나 있다. 수신된 신호는 가중치에 위해서 곱하여 지고 재 확산되어진다. 그리고 이는 결정 단계에서 결정되어 출력되어진다. 그리고 또한 수신된 신

호로부터 재 확산된 신호의 정보를 빼어주고 다음 단으로 전개되어진다.

그림 1로부터 오차 신호는  $j$ 번째 사용자의 가중치  $w_j$ 를 적응하기 위해서 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$e_j = w_j X_j - (w_j X_j s_j) s_j^T = w_j X_j (I - s_j s_j^T) \quad (7)$$

이것은 원하는 사용자의 확산 수열에 의해서 스펙트럼 공간에서 빔 형성기의 출력의 직교 투영이다.

만약 빔 형성기의 가중치가 오차 신호 에너지를 최소화하는 값을 선택한다면, 빔 형성기는 간섭하는 사용자의 방향에서 0이 될 것이다.

실험적인 결과를 피하기 위해서는 부가적인 제한 사항들이 요구되어진다. 만약 원하는 사용자의 에러 응답을 알고 있다면, 최적의 해는 원하는 사용자의 방향에서 상수 이득을 가짐으로서 구하여 질 수 있다.

다음과 같은 최적화 규칙에 의해서 나타내어질 수 있다.

$$\begin{aligned} \min_{w_j} E[e_j^H e_j] \quad (8) \\ \text{subject to} \\ E[|y_j|^2] = 1 \end{aligned}$$

여기서  $E[e_j^H e_j] = w_j^H (R_j - R_y) w_j$ 이다. 이 문제의 해결은 행렬의 최소 고유 치에 해당하는 일반화된 고유 벡터에 의해서 구하여진다. 위의 식(8)과 같이 제한된 방법이 참고 문헌<sup>[3]</sup>에서 제안한 첫 번째 블라인드 방법이다. 그리고, 두 번째 방법의 개념은 빔 형성기 가중치 벡터를 1로 제한하면서 정합 필터의 출력 에너지를 최소화하는 것이다. 최적화 규칙은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \min_{w_j} E[|y_j|^2] = w_j^H R_y w_j \quad (9) \\ \text{subject to} \\ w_j^H w_j = 1 \end{aligned}$$

각 단계에서 원하는 사용자는 가장 강한 사용자이고 정합 필터 출력에서 간섭에 잡음을 더한 성분은 가우시안 분포를 가진다고 가정할 수 있다. 이 방법은 기존 빔 형성기에 접근되어질 수 있다. 해는  $R_y$ 의 최대 고유 치에 해당하는 고유 벡터는 근사적으로 원하는 사용자의 에러 응답 벡터이다.

두 가지 방법 모두는 가장 강한 사용자에 정합

되어진 필터의 출력은 확산 수열에 의해서 다시 확산되어지고 벡터  $u_j$ 에 의해서 곱하여진다. 벡터  $u_j$ 를 다음과 같은 규칙을 통하여 적응 적으로 갱신되어진다.

$$\begin{aligned} \min_{u_j} E[X_{j+1} X_{j+1}^H] \\ = E[(X_j - y_j u_j s_j^T)(X_j - y_j u_j s_j^T)^H] \quad (10) \end{aligned}$$

위의 식(10)으로부터  $u_j$ 의 해를 구하여 보면 다음과 같다.

$$u_j = \frac{R_y w_j}{w_j^H R_y w_j} \quad (11)$$

위의 두 가지 방법을 통계적 강하 알고리즘에 근거한, 최소 평균 제곱 형태의 알고리즘을 적용을 하여 적응 수신기 형태로 구현 가능하다. 즉, 다음과 같이 간단히 구현되어진다.

**방법 I :**

$$\begin{aligned} w_j(n+1) = \\ w_j(n) + \mu_1 y_j^*(n) (X_j(n) X_j^H(n))^{-1} X_j(n) s_j \quad (12) \end{aligned}$$

**방법 II :**

$$w_j(n+1) = w_j(n) + \mu_2 y_j^*(n) X_j(n) s_j \quad (13)$$

여기서  $\mu_1, \mu_2$ 는 step size로서 상수 값을 가진다.

**IV. 제한된 적응 블라인드 어레이 기법**

기존 블라인드 수신기는 오차 성분을 다음 가중치를 갱신하기 위한 갱신 식에서 사용하지 않는다. 이를 사용하여 성능을 향상하고자 하는 방안으로 적응 어레이에 적합한 블라인드 기법 중에서 Constant Modulus 알고리즘을 도입하였다. 그림 1에서 수신된 신호  $X_j$ 로부터 가중치 벡터를 통하여 출력된 신호가 상관기를 통하여 나오게 되면  $y_j(n)$ 이 된다. 이들 관계로부터, 그림 1에서와 같이 가중치  $w_j$ 를 갱신하기 위해서 이차 통계의 비용함수를 사용하였다.

$$J = E[|e(n)|^2] \quad (14)$$

여기서  $e(n)$ 는 오차 신호를 의미한다.

$$e(n) = |y(n)|^2 - \delta \quad (15)$$

여기서  $\delta_n$ 는 검출 하고자 하는 사용자의 전력의 의미한다.

그림 1과 식(14)와 (15)로부터 우리는 일반적으로  $w_j$ 를 갱신하는 방법에 의하여 다음과 같은 갱신식을 얻을 수 있다.

$$w_j(n+1) = w_j(n) - 4 * \mu e y_j(n) X^*(n) s_j \quad (16)$$

여기서  $\mu$ 는 일정한 상수이다. 식(16)을 통하여 올바른 빔이 형성되어 원하는 사용자의 정보 데이터를 검출하게 된다. 모든 사용자가 다 검출될 때까지 다음 단으로 넘어가서 같은 반복과정을 수행하게 된다. 즉 수신된 신호  $X_j$ 로부터 검출하고자 하는 사용자가 식(16)에 의해서 올바르게  $y_j(n)$ 으로부터  $b_j$ 가 결정되어지고,  $y_j$ 로부터 다시 재 확산되어  $\hat{x}_j(t)$ 를 빼어주고 다음 단으로 넘어 간다. 이와 같이 모든 사용자가 검출될 때까지 연속적으로 반복해서 사용자의 정보를 제공하고자 한다.

### V. 시뮬레이션 및 결과

사용된 시뮬레이션 조건은 참고 문헌<sup>[3]</sup>과 동일하다. 총 사용자는 6명이고, 확산 코드의 길이는 7,  $M=3$  안테나를 고려하였다. 사용된 환경은 가우시안이다. 가장 약한 사용자를 기준으로 하여 신호 대 잡음비를 설정하였다. 아래 그림 2는 가우시안 환경 하에서 기존 수신기와 제안된 수신기의 신호 대 간섭 비를 나타낸 것이다. 설정된 SNR은 8[dB]로 하였다. 그림 2를 살펴보면 가장 제일 아래에 있는 곡선은 참고논문<sup>[3]</sup>에서 제안된 방법 I, 그리고 바로 위가 방법 II이다. 마지막으로 가장 위쪽에 있는 곡선이 제안된 수신기의 신호 대 간섭비 곡선이다.

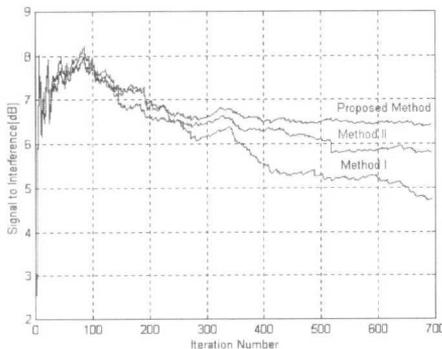


그림 2. 가우시안 환경하에서 SIR 평가

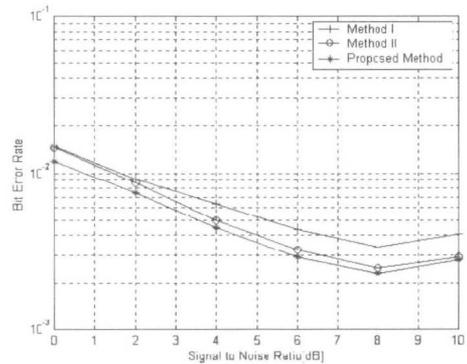


그림 3. 가우시안 환경하에서 BER 평가

그림 2에서 알 수 있듯이 정상 상태로 가면서 신호 대 간섭 비는 약 6.5[dB]를 향하고 있으며, 다른 수신기들은 그 아래에서 곡선들이 형성되어 있다. 그림 2를 통하여 우리는 제안된 검출기가 기존 수신기보다 더 나은 신호 대 간섭비를 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 2에서 제안된 수신기는 반복 횟수가 증가됨에 따라서 안정된 상태를 유지하고 기존 블라인드 간섭 수신기들은 곡선이 아래로 점점 감소함을 알 수 있다. 또한, 아래 그림 3은 가우시안 환경 하에서 신호 대 잡음비를 0[dB]부터 10[dB]까지 변화시키면서 비트 오류를 계산한 것이다. 그림 3에 BER 값 중에서  $7 \times 10^{-2}$ 을 기준으로 하여 각 수신기를 SNR을 비교하여 보면, 이는 단지 방법에 대한 비교 기준으로서 설정한 값이다. 따라서 이 기준선을 기준으로 보아, 기존 방법 I 수신기보다는 제안된 수신기가 약 2[dB]의 SNR의 이득이 있음을 보여 주고 있다. 기존 방법 II 수신기보다는 제안된 수신기가 약 0.5 [dB] 정도의 SNR 이득이 있음을 보여 주고 있다. 따라서 모의 실험 결과 기존 수신기보다 제안된 수신기가 더 나은 성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

### VI. 결론

본 논문에서는 다중 안테나 시스템을 이용한 블라인드 적응 간섭 제거기를 제안하여 그 성능을 살펴 보았다. DS-CDMA 시스템을 사용하는 이동 통신에서 다중 사용자 접속으로 인한 문제가 가장 큰 성능 저하 요인이다. 이에 본 논문에서는 다중 접속 간섭을 어떻게 효과적으로 억제하는 방안으로 적응 안테나 어레이를 사용하는 블라인드 적응 간섭 제

터 기술에 대하여 연구를 하였다.

기존 간섭 제거 기술을 바탕으로 하여 적응 안테나 어레이 부분을 블라인드 CMA를 이용하여 원하는 사용자의 정보를 추정하였다. 이는 기존 검출기와의 차이점은 단지 가중치 벡터를 갱신할 때 오차 성분을 사용한다는 것이다. 이를 비교하기 위하여 같은 조건하에서 모의 실험을 하였다.

모의 실험 결과 제안된 수신기가 기존 수신기보다 더 나은 SIR 곡선과 BER 곡선을 보여 주었다. 즉 방법 I 보다는 제안된 수신기가 신호대 간섭 곡선에서는 약 1.5[dB]의 SIR 이득을 보였고, 방법 II 보다는 제안된 수신기가 약 0.5[dB]의 SIR 이득을 나타내었다. BER 곡선에서는 기준선을  $7 \times 10^{-2}$ 으로 하여 평가를 하였다. 기존 방법 I 보다는 약 2[dB]의 SNR 이득을 진고, 방법 II 보다는 약 0.5[dB]의 SNR 이득을 지니고 있음을 모의 실험 결과를 통하여 살펴보았다.

따라서 모의 실험 결과를 바탕으로 제안된 수신기가 기존 방법보다 더 나은 성능을 지고 있음을 보여 주고 있다. 또한 더 나아가서는 비동기 채널 하에서 제안된 수신기에 대한 연구가 이루어져야겠다.

참 고 문 헌

[1] S. Verdu, *Multuser Detection*, Cambridge University press, 1998.

[2] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications", *IEEE Commun. Magazine*, pp. 124-136. October 1996.

[3] V. Ghazi-Moghadam, M. Kaveh, "A CDM A Interference Cancelling Receiver with Adaptive Blind Array", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, pp. 1542-1553, October 1998.

[4] M.L. Honig, U. Madhow, and S. Verdu, "Blind adaptive interference suppression for near-far resistant CDMA", *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 379-384, November 1994.

[5] X. Wang and H.V. Poor, "Multiuser diversity receivers for frequency-selective rayleigh fading CDMA channels", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1997.

[6] U. Madhow, M. L. Honig, "MMSE interference suppression for direct sequence spread

spectrum CDMA", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 3178-3188, December 1994.

[7] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications", *IEEE Commun. Magazine*, pp 124-136. October 1996.

[8] D. H. Woo, T. S. Yoon and Y. S. Byun, "A Study on Blind Adaptive Receiver for DS-CDMA Systems," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. e83-a, no.6, June 2000.

[9] Nitt R. Mangalvedhe, *Development and Analysis for Adaptive Interference Rejection Techniques for Direct Sequence Code Division Multiple Access Systems*, Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1999.

우 대 호(Dae-Ho Woo)

정회원



1997년 2월 : 청주대학교 전자공학과 졸업  
 1999년 2월 : 인천대학교 전자공학과 석사  
 2002년 2월 : 인천대학교 전자공학과 박사과정수료  
 2001년 12월 ~ 현재 : (주)텔레메드 의료기기개발팀 연구원

<주관심 분야> 간섭 제거 기술, 통신 신호 처리

변 윤 식(Youn-Shik Byun)

정회원



1978년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업  
 1981년 2월 : 연세대학교 전기공학과 석사  
 1985년 8월 : 연세대학교 전기공학과 박사  
 1990년 8월~1991년 7월 : 미국 Stanford대학 전자 공학과 객원 교수

1987년 3월~현재 : 시립 인천대학교 전자공학과 교수  
 <주관심 분야> 신호 처리 및 그 응용, 디지털 통신