

CDMA 시스템을 위한 부분 간섭 제거 블라인드 다중 사용자 검출

정회원 우 대 호*, 유 영 규**, 종신회원 변 윤 식*

Partial IC Blind Multiuser Detection for CDMA Systems

Dae-Ho Woo*, Young-Gyo Yoo** *Regular Members*, Youn-Shik Byun* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 다중 사용자 간섭과 원근 효과에 대한 견실한 블라인드 다중 사용자 검출기를 제안하였다. 제안된 검출기는 부분 간섭 제거기와 블라인드 최소 출력 에너지 다중 사용자 검출기가 결합된 형태이다. 부분 간섭 제거기는 수신된 신호로부터 간섭 성분을 부분적으로 제거한 후 다중 사용자 검출기의 입력으로 사용한다. 모의 실험 결과, 원근 효과와 다중 사용자가 존재하는 경우, 기존 MOE 다중 사용자 검출기의 성능이 급격히 열화되는 반면 제안된 검출기는 두 성분에 대하여 견실한 특성을 지니고 있음을 보여 주고 있다. 따라서, 제안된 부분 간섭 블라인드 다중 사용자 검출 기술이 기존 MOE 보다 더 나은 성능을 지닐 수 있었다.

Key Words : Partial IC BMUD, MOE, Partial Interference Cancellation, Near-Far Effect, MAI, CDMA

ABSTRACT

In this paper, we propose the blind multiuser detector which is robust against the effects of near-far and multiuser interference. The proposed detector is composed of the partial IC(interference canceller) and the blind MOE(minimum output energy) multiuser detector. The partial IC partially eliminates interference components from the received signal then the output of partial IC is fed into the input of multiuser detector. Simulation results show that the proposed detector has the robust property but the performance of conventional MOE multiuser detector is rapidly degraded in case of existing both near far and multiuser. Thus, the proposed partial IC BMUD(blind multiuser detection) technique has better performance than the conventional MOE.

I. 서 론

다중 사용자 검출 알고리즘은 코드 분할 다중 접속(code division multiple access) 시스템에서 서로 다른 사용자가 같은 채널을 공유함으로써 발생하는 다중 접속 간섭(multiaccess interference) 문제를 해결하기 위한 방안으로 제안되어졌으며, 이후 많은 다양한 기술들이 연구 되어오고 있다^[1]. 초기의 최적 다중 사용자 검출기는 1986년 Verdu에 의해서 제안된 검출기는 사용자의 증가에 따라 복잡도가

지수적으로 증가하는 문제점으로 지니고 있다^[2]. 이후 많은 연구들이 준최적 다중 사용자 검출기로 옮겨졌으며, 최근까지도 계속 연구가 이루어지고 있다.

준최적 다중 사용자 검출기는 선형 검출기로서 역상관 검출기, MMSE(minimum mean square error) 다중 사용자 검출기^[3], 그리고 MOE 검출기^[4] 등이 존재한다. MMSE 다중 사용자 검출기는 훈련 열을 필요로 하는 검출기인데 반해, 최소 출력 에너지 검출기는 훈련 열을 사용하지 않는 블라인드 계열의 다중 사용자 검출기이다. 훈련열 기반 다중 사

* 인천대학교 전자공학과 (dhwoo, byun}@incheon.ac.kr),
논문번호 : KICS2005-08-356, 접수일자 : 2005년 8월 30일

** 전북대학교 전기공학과

용자 검출기의 단점은 검출하고자 하는 사용자의 채널 임펄스 응답이 급격이 변할 경우에 훈련의 길이가 길지 않음으로 해서 시스템의 성능이 급격히 저하 된다. 이 문제를 해결하기 위해 반복적인 훈련열을 보내거나 긴 훈련열을 사용해야 한다. 다른 방법으로는 블라인드 다중 사용자 검출기를 채택함으로써 해결 할 수 있다. 이 검출기는 어떠한 훈련열도 필요로 하지 않는다. 참고 문헌 [4]에서 제안된 이후 블라인드 다중 사용자 검출 기법에 대한 연구가 계속적으로 이루어지고 있다^{5,9}.

Zhang에 의해 제안된 칼만 필터를 적용한 블라인드 다중 사용자 검출기는 RLS(recursive least square) 알고리즘과 칼만 필터는 수렴 속도나 추적 능력이 LMS(least mean square)보다 더 나은 성능을 지니고 있다. 이들 연구는 다중 사용자 검출기의 정상 상태 수렴 속도를 개선하기 위한 연구들이다¹⁰. 또한, 다른 연구는 시스템의 성능을 증가 시키는 방안으로 알고리즘이 제안되었다. Xus는 향상된 CMOE (constrained MOE) 다중 사용자 검출기를 제안하였고 다중 경로 하에서 강건한 특성을 지니고 있음을 보여 주었다^{6,8}. 그리고 멀티 캐리어가 존재하는 시스템에 적용하여 다중 사용자 간섭이 존재하는 경우 견실한 특성을 지니고 있다¹¹⁻¹³. 최근 DS-CDMA를 바탕으로 한 UWB와 같은 환경 하에서 블라인드 다중 사용자 검출을 연구하고 있는 중이다^{14, 15}.

본 논문에서는 시스템의 성능을 효율적으로 증가시킬 수 있는 부분 간섭 제거 블라인드 MOE 다중 사용자 검출기를 제안하였으며, 완벽한 전력 조절이 이루어진 경우와 아닌 경우의 환경을 설정하여 기존 검출기인 MOE 검출기와 성능 비교를 하였다. 본 논문의 2장에서는 다중 사용자 간섭이 존재하는 시스템 모델을 설명하고, 3장에서는 블라인드 MOE 다중 사용자 검출기를 기술하고, 4장에서는 제안된 다중 사용자 검출기를 나타내고, 5장에서는 검출기들의 성능을 평가하고, 마지막으로 결론을 맺고자 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 제안한 수신기의 성능을 분석하기 위해서 다음 식 (1)과 같은 시스템을 사용하고자 한다. 고려된 시스템은 동기 DS-CDMA 시스템 모델이며, 부가 백색 가우시안 채널 하에서 K명의 사용자가 존재한다. 참고 문헌 [9]와 동일한 시스템 모

델이다. 연속 시간 기저 대역에서 수신 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^K A_k b_k(m) s_k(t - mT_s) + v(t) \quad (1)$$

여기서 A_k 는 k번째 사용자의 수신된 신호 진폭, $b_k(m)$ 은 k번째 사용자의 m번째 데이터 심볼, $s_k(t)$ 는 정규화된 확산 수열, T_s 는 심볼 주기, 그리고 $v(t)$ 는 평균이 0이고 σ^2 인 부가 백색 가우시안 잡음이다. k번째 사용자를 위한 확산 파형은 다음 식(2)와 같다.

$$s_k(t) = \sum_{l=0}^{L-1} c_k(l) g_k(t - lT_c) \quad (2)$$

여기서 $c_k = [c_k(0), c_k(1), \dots, c_k(L-1)]^T$ 는 k번째 사용자의 확산 코드 벡터이고, $g_k(t)$ 는 T_c 의 지속 구간을 지닌 펄스고, L은 확산 계수, T_c 는 칩 주기, 그리고 $(\cdot)^T$ 는 전치를 나타낸다. 참고 문헌[4]에 나타난 것처럼 식(1)을 $t = nT_s + pT_c$ 에서 샘플링후 벡터 형태로 표기하면 다음과 같다. p는 0, 1, 2, ..., L-1의 범위의 값을 가진다.

$$r(n) = \sum_{k=1}^K A_k b_k(n) s_k + v(n) \quad (3)$$

여기서 수신 데이터 벡터 $r(n)$ 은 $[r(nT_s), r(nT_s + T_c), \dots, r(nT_s + (L-1)T_c)]^T$, $s_k = [s_k(0), s_k(T_c), \dots, s_k((L-1)T_c)]$ 는 k번째 사용자의 확산 벡터, 그리고 $v(n)$ 은 잡음 벡터이다. 기존 정합 필터의 출력을 구하면 다음 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} y_k &= \mathbf{r}^T \mathbf{s}_k \\ &= A_k b_k + \sum_{j \neq k} A_j b_j^T \mathbf{s}_k + \mathbf{s}_k^T \mathbf{v} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{s}_j^T \mathbf{s}_k$ 는 $\rho_{jk} = \int_0^T s_j(t) s_k(t) dt$ 의 이산 버전, $\mathbf{s}_k^T \mathbf{v}$ 는 잡음 항 $v_k = \int_0^T v(t) s_k(t) dt$ 의 이산 버전이다. 위의 식(4)를 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$y_k = A_k b_k + \sum_{j \neq k} A_j b_j \rho_{jk} + v_k \quad (5)$$

식(5)는 세 개의 성분, 즉, 검출하고자 하는 신호, 다중 접속 간섭, 잡음으로 구성된다. 따라서, MAI 성분은 다른 형태의 잡음으로 취급 할 수 있다. 사용자의 수가 증가할 경우, 시스템 성능은 급격히 떨어질 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서 블라인드 다중 사용자 기법들이 제안되었다. 다음 절에서 기존 블라인드 검출기에 해당하는 MOE 다중 사용자 검출기에 대하여 살펴보고자 한다.

III. MOE 다중 사용자 검출

MOE 블라인드 다중사용자 검출 기법은 최소 출력 에너지를 이용하여 간섭 성분을 추정하여 수신된 신호의 정합필터 출력으로부터 간섭 성분을 제거함으로써, 검출하고자 하는 신호의 검출 확률을 높이는 구조로 되어 있다. 우선 선형 다중사용자 검출기에 대하여 살펴보고자 한다. 우선 첫 번째 사용자에 대한 선형 다중사용자 검출기는 새로운 확산 수열 c_1 에 의해서 수신기를 구성할 수 있다. c_1 은 두 성분으로 이루어진다. 즉, 하나는 첫 번째 사용자의 확산 수열 s_1 이고 다른 성분은 x_1 으로 구성된다. 따라서 x_1 은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$c_1 = s_1 + x_1 \quad (6)$$

여기서 $c_1, s_1, x_1 \in \mathbb{R}^N$ 이며, N 은 심볼당 칩 수를 의미한다. 또한 두 성분은 직교 성질을 지니고 있다.

$$\langle s_1, x_1 \rangle = 0 \quad (7)$$

위의 두 식의 가정으로, 임의의 x_1 은 다중 접속 간섭과 c_1 사이의 관계를 최소화하는 방향으로 값을 결정한다. 따라서 항상 첫 번째 사용자의 신호 성분만 남게 된다.

$$\langle s_1, c_1 \rangle = \|s_1\|^2 = 1 \quad (8)$$

선형 검출기는 정합 필터의 출력 성분의 부호에 의해서 첫 번째 사용자의 정보 신호 판별이 가능하다.

$$\hat{b}_1 = \text{sgn}(\langle r, c_1 \rangle) \quad (9)$$

여기서 $\text{sgn}(\cdot)$ 은 sign 함수이다. c_1 의 구성 성분을 서로 직교성을 유지하게 하기 위해서 최소 출력 에너지 알고리즘을 사용하였다. 블라인드 적응 MMSE 검출기는 MOE 알고리즘에 의해서 동작한다. MOE

알고리즘의 비용함수는 LMS 알고리즘에 의해서 구현된다.

$$J_{MOE} = E[(\langle r, c_1 \rangle)^2] \quad (10)$$

식(10)의 출력 에너지는 첫 번째 사용자의 에너지와 잡음과 간섭 성분에 의한 에너지로 구성되어 있다. 식(6)의 관계를 이용하여 다시 정리 할 수 있다.

$$J_{MOE}(x_1) = E[(\langle r, s_1 + x_1 \rangle)^2] \quad (11)$$

식(11)의 비용함수 의해, 적응 부분의 계수 갱신치는 통계 경사 강하 알고리즘(stochastic gradient descent, SGD)에 의해서 얻어진다.

$$x_1[n] = x_1[n-1] - \frac{\mu}{2} \frac{\partial \hat{J}_{MOE}(x_1)}{\partial x_1} \quad (12)$$

여기서 μ 는 스텝 사이즈를 의미하고 상수값을 가진다. 식(11)의 x_1 에 대한 경사도의 순시치를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \hat{J}_{MOE}(x_1)}{\partial x_1} = 2 \langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle r[n] \quad (13)$$

식(13)에서 $2 \langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle$ 항은 상수이며, SGD 알고리즘에 의해서 s_1 과 x_1 은 직교를 유지하므로, $r[n]$ 는 s_1 에 직교한 성분만 관여를 한다. 즉, 다음과 같이 다시 정리할 수 있다.

$$r^\dagger[n] = r[n] - \langle r[n], s_1 \rangle s_1 \quad (14)$$

위의 식(13)에 식(14)를 대치하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{J}_{MOE}(x_1)}{\partial x_1} &= 2 \langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle r^\dagger[n] \\ &= 2 \langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle (\langle r[n], s_1 \rangle \\ &\quad - \langle r[n], s_1 \rangle \langle r[n], s_1 \rangle) \end{aligned} \quad (15)$$

따라서 식(15)를 식(12)에 대입하여, 적응 부분의 계수 갱신식을 완성할 수 있다.

$$x_1[n] = x_1[n-1] - \mu \langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle (\langle r[n], s_1 \rangle - \langle r[n], s_1 \rangle \langle r[n], s_1 \rangle) \quad (16)$$

식(16)에 의해서 간섭 성분을 추정하여, 올바르게 검출하고자 하는 사용자의 정보 신호가 가능하다. 식(16)에서 $\langle r[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle$ 는 전체 출력 신호 Z_1 이고 $\langle r[n], s_1 \rangle$ 은 정합필터의 출력 신호 Z_{mf_1} 이다. 이 두 관계를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1[n] = x_1[n-1] - \mu Z_1 (r[n] - Z_{mf_1} s_1) \quad (17)$$

IV. Partial IC 블라인드 다중 사용자 검출

다중 사용자 간섭과 원근 효과에 의해서 발생하는 효율적으로 제거하기 위해 기존 MOE 다중 사용자 검출기의 입력 형태를 검출하고자 하는 정보 신호 공간과 다른 사용자에 의한 간섭 성분으로 분리한 신호로서 사용하였다. 제안된 검출기는 다음과 같은 입력 신호를 가진다.

$$r_p[n] = r[n] - \sum_{k=2}^K \langle r[n], s_k \rangle s_k \quad (18)$$

위의 식(18)은 이전 장에서 설명한 블라인드 다중 사용자 검출기의 입력 신호로 작용한다. 검출하고자 하는 사용자를 첫 번째 사용자로 가정하고 위의 식(9)와 같이 첫 번째 사용자에 대한 상관기 출력을 구하면 다음과 같다.

$$\hat{b}_1 = \text{sgn}(\langle r_p, c_1 \rangle) \quad (19)$$

위의 c_1 은 식(6)과 같은 관계를 지니고 또한 c_1 의 구성 성분 중 적응 계수를 갱신하기 위해서 식(11)과 같은 비용함수를 사용하였다. 위의 식(12) 부분에서 적응 계수에 대한 순시 경사도를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \hat{J}_{MOE}(x_1)}{\partial x_1} = 2 \langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle r_p[n] \quad (20)$$

식(20)에서 $2 \langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle$ 는 식(13)에서와 같이 동일하게 상수값을 가지고, $r_p[n]$ 은 s_1 에 대한 직교 성분만을 대상으로 하기 때문에, 위의 식(14)와 유사하게 나타낼 수 있다.

$$r_p^\dagger[n] = r_p[n] - \langle r_p[n], s_1 \rangle s_1 \quad (21)$$

식(21)을 사용하여 식(20)에 대입하면 다음 식

(22)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{J}_{MOE}(x_1)}{\partial x_1} &= 2 \langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle r_p^\dagger[n] \\ &= 2 \langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle (\langle r_p[n], s_1 \rangle \\ &\quad - \langle r_p[n], s_1 \rangle \langle s_1, s_1 \rangle) \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)을 식(12)에 대입하면, 다음과 같이 첫 번째 사용자를 위한 적응 계수 갱신식을 얻을 수 있다.

$$x_1[n] = x_1[n-1] - \mu \langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle (\langle r_p[n], s_1 \rangle - \langle r_p[n], s_1 \rangle \langle s_1, s_1 \rangle) \quad (23)$$

식(23)에서 $\langle r_p[n], s_1 + x_1[n-1] \rangle$ 는 첫 번째 사용자에 대한 전체 출력 신호 Z_1 이고, $r_p[n] = r[n] - \sum_{k=2}^K Z_{mf_k} s_k$ 이고, $\langle r_p[n], s_1 \rangle = Z_{mf_1} - \sum_{k=2}^K Z_{mf_k} \rho_{k1}$ 이다. 이 관계를 이용하여 식(23)을 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1[n] &= x_1[n-1] - \mu Z_1 \left[\left(r[n] - \sum_{k=2}^K Z_{mf_k} s_k \right) \right. \\ &\quad \left. - \left(Z_{mf_1} - \sum_{k=2}^K Z_{mf_k} \rho_{k1} \right) s_1 \right] \end{aligned} \quad (24)$$

여기서 ρ_{k1} 은 s_k 와 s_1 의 상호 상관값을 나타낸다. 위와 같은 갱신식을 통하여 다중 사용자 간섭으로 발생하는 성분을 효율적으로 제거 할 수 있다.

V. 모의실험 및 결과

제안한 수신기의 성능을 검증하기 위해서 다음과 같은 다양한 환경 하에서 모의실험을 하였다. 첫 번째로 완벽하게 전력 제어가 이루어진 경우에 사용자가 3명, 10명 존재한 경우 기존 블라인드 다중 사용자 검출기에 해당하는 MOE 다중 사용자 검출기와 비교 하였다. 두 번째로는 전력 제어가 이루어지지 않은 경우, NFR'을 5[dB], 10[dB]에 대하여 모의실험을 하였다. NFR은 정의는 참고 문헌[16]에 나타나 있다. 모의실험은 조건은 다음과 같다. 각 사용자의 이산 정보 신호는 랜덤하게 10000개의 데이터를 생성하였으며, 실험을 위한 확산 코드열의 길이는 32를 사용하였으며, 또한 랜덤하게 발생하였다. 실험에서 사용된 μ 값은 MOE 수신기 경우 10^{-4} 이고 제안된 수신기는 8×10^{-7} 를 사용하였다.

5.1 완벽한 전력제어하의 성능 평가

전력제어가 완벽하게 이루어진 경우는 $NFR=0[\text{dB}]$ 인 경우이다. NFR 은 검출하고자 하는 사용자와 간섭 사용자들 사이의 전력비를 의미한다. $0[\text{dB}]$ 는 모든 사용자의 전력이 동일하다는 것을 의미한다. 다음 그림 1은 가우시안 채널 하에서 동일한 전력을 가진 사용자가 3명 존재하는 경우에 MOE 다중 사용자 검출기와 제안된 검출기와의 BER 성능 결과이다. 신호 대 잡음비를 $0[\text{dB}]$ 부터 $30[\text{dB}]$ 까지 변화시키면서 비트 오류를 측정하였다. 결과에 나타나 있듯이 거의 유사한 오류 곡선을 지니고 있다.

그림 2는 이전 결과와 동일한 실험 조건을 사용하였으며, 단지 다중 사용자 간섭에 대한 영향을 알아보기 위해서 다중 사용자를 10명으로 증가시킨 경우이다. 이전 결과와는 다르게 MOE 다중 사용자 검출기는 다중 사용자 간섭에 영향을 받아 SNR이

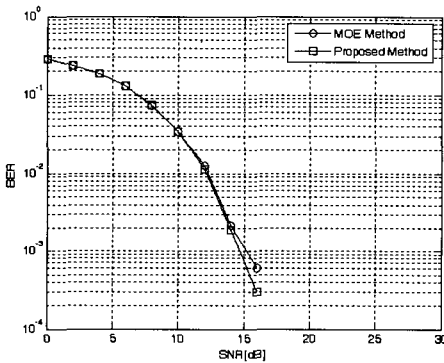


그림 1. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교($NFR=0[\text{dB}]$, 사용자=3)
Fig. 1. BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector ($NFR=0[\text{dB}]$, the number of users = 3)

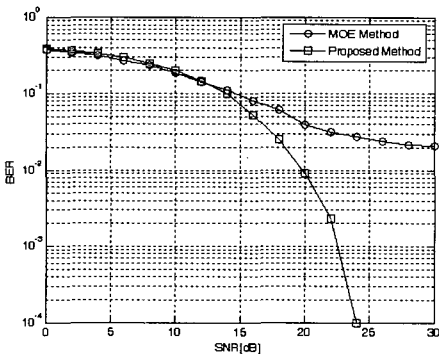


그림 2. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교($NFR=0[\text{dB}]$, 사용자=10)
Fig. 2. BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector ($NFR=0[\text{dB}]$, the number of users = 10)

$30[\text{dB}]$ 지점에서 BER의 최저값 $2 \cdot 10^{-2}$ 이다. 반면에 제안된 검출기는 동일한 BER 조건에서는 SNR이 약 $18[\text{dB}]$ 면 동일한 성능을 지닌다. 그림 1과 비교를 하면 10^{-3} 의 BER 성능을 유지하기 위해서는 다중 사용자가 3명일 경우는 약 SNR이 $15[\text{dB}]$ 요구 되고, 10명일 경우에는 약 $22[\text{dB}]$ 가 필요하다.

5.2 불완전한 전력제어하의 성능 평가

이전 절에서는 동일한 전력을 가진 경우에서 다중 사용자 간섭에 따른 성능 평가를 하였고, 이번 절에서는 서로 다른 전력을 가진 경우 다중 사용자 증가가 어떻게 영향을 미치는지 살펴보았다.

그림 3은 실험 조건은 그림 1과 동일하며, 다른 조건은 NFR 이 $5[\text{dB}]$ 인 경우는 검출하고자 하는 사용자보다 다른 간섭 사용자의 전력이 약 3배정도 더 크다는 것을 의미한다. 그림 1에서는 두 검출기의 성능이 유사하였다. MOE 검출기는 NFR 의 영향으로 동일한 BER의 10^{-3} 을 유지하기 위해서는 그림 1에서는 SNR이 약 $15[\text{dB}]$ 필요하였고, 이 결과에서는 약 $18[\text{dB}]$ 정도 요구 된다. 이는 동일한 성능을 유지하기 위해서는 수신기 측에서 SNR을 $3[\text{dB}]$ 이득이 요구되고 있다. 제안된 수신기는 그림 1과 거의 유사한 성능을 유지하고 있으며, 그림 3에서 나타나 있듯이 BER 기준을 10^{-3} 경우 MOE 수신기보다 약 $3[\text{dB}]$ 의 SNR 이득을 얻을 수 있다.

그림 4는 그림 3과 동일한 실험 조건을 사용하고, 다중 사용자가 10명 존재하는 경우이다. 이 경우에 MOE 검출기의 성능이 급격히 저하됨을 나타내고 있다. BER의 최소값 약 $4 \cdot 10^{-2}$ 정도를 유지하고 있다. 반면에 제안된 수신기는 $2 \cdot 10^{-4}$ 보다 더 적은 BER 값을 지니고 있음을 보여준다.

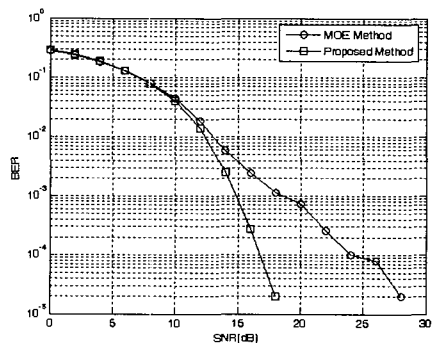


그림 3. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교($NFR=5[\text{dB}]$, 사용자=3)
Fig. 3. BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector($NFR=5[\text{dB}]$, the number of users = 3)

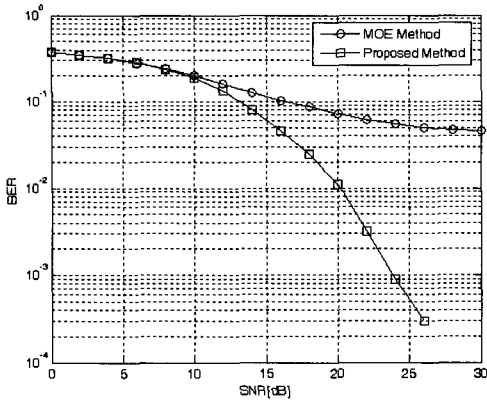


그림 4. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교 (NFR = 5[dB], 사용자 = 10).
Fig. 4 BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector (NFR = 5[dB], the number of users = 10).

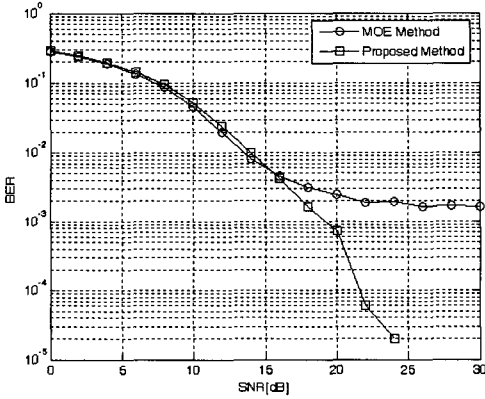


그림 5. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교 (NFR = 10[dB], 사용자 = 3).
Fig. 5 BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector (NFR=10[dB], the number of users = 3).

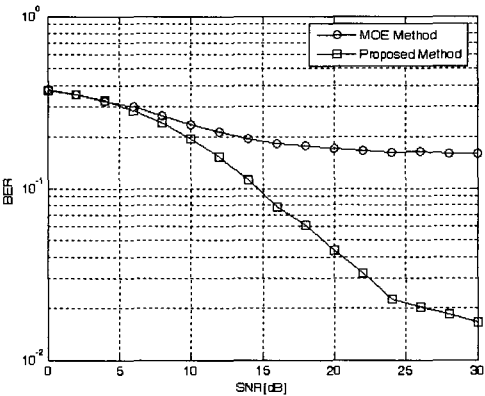


그림 6. MOE와 제안된 다중 사용자 검출기의 BER 성능 비교 (NFR=10[dB], 사용자=10).
Fig. 6 BER performance comparison of MOE and the proposed multiuser detector(NFR=10[dB], the number of users = 10).

그림 5는 그림 3과 동일한 실험 조건이며, 단지 NFR을 10[dB]인 경우에 대한 실험 결과이다. MOE 수신기는 SNR이 증가하더라도 거의 10^{-3} 의 BER을 유지하고 제안된 검출기는 10^{-6} 에 가까운 값을 나타내고 있다. 그림 6은 그림 5와 동일한 조건이며, 사용자가 10명 존재하는 경우이다. 그림에 나타나 있듯이 두 수신기 모두 성능이 다중 사용자 간섭과 원근 효과에 많은 영향을 받아 비트 오류율이 높아지고 있다. 그림 6에서 SNR이 30[dB] 경우 MOE 검출기는 10^{-1} 에 근접한 값을 지니고 제안된 검출기는 10^{-2} 에 근접한 값을 지닌다.

VI. 결론

CDMA 환경 하에서 다중 사용자 간섭과 원근 효과로 인하여 시스템의 성능 열화 문제가 발생한다. 이를 해결하여 시스템의 성능을 향상하기 위해서 부분 간섭 제거 기법의 출력을 입력으로 사용하는 새로운 형태의 블라인드 다중 사용자 검출기를 제안 하였다. 제안된 검출기의 성능을 평가하기 위해서 다중 사용자 조건과 원근 효과를 조합하여 비트 오류율을 측정하였다. 모의실험 결과에서 NFR이 동일한 경우에 다중 사용자가 10명으로 증가함에 따라 MOE 다중 사용자 검출기의 성능이 저하되는 반면, 제안된 다중 사용자 검출기는 다중 접속에 의한 간섭 성분에 대하여 강건한 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 그리고 NFR이 동일하지 않는 경우, 즉 5[dB], 10[dB]인 경우에 MOE 다중 사용자 검출기는 원근 효과와 다중 사용자 간섭에 성분의 영향으로 성능이 급격히 저하되고 있는 반면 제안된 검출기는 두 성분에 대하여 강건한 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 따라서 제안된 다중 사용자 검출기는 원근 효과와 다중 사용자 간섭에 대하여 기존 검출기보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 보여 주고 있다.

참고 문헌

- [1] S. Verdu, *Multiuser Detection*. Cambridge Univ. Press, 1998.
- [2] S. Verdu, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple Access Channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-32, pp. 85-96, Jan. 1986.
- [3] R. Lupas, S. Verdu, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-division multi-

ple-access Channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 35, pp. 123-136, Jan. 1989.

[4] M. Honig, U. Madhow, and S. Verdú, "Blind Adaptive Multiuser Detection," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 41, pp. 944-960, Jul. 1995.

[5] X. Wang and H. V. Poor, "Blind Equalization and Multiuser Detection in Dispersive CDMA Channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 91-103, Jan. 1998.

[6] Z. Xu, "Improved Constraint for Multipath Mitigation in Constrained MOE Multiuser Detection," *Journal of Communications and Networks: Signal Processing for Multiuser Wireless Communications*, vol. 3, no. 3, pp. 249-256, Sep. 2001.

[7] Z. Xu, P. Liu and X. Wang, "Blind Multiuser Detection: from MOE to Subspace Methods," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 52, no. 2, pp. 510-524, Feb. 2004.

[8] Z. Xu, "Further Study on MOE-based Multiuser Detection in Unknown Multipath," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing: Multiuser Detection and Blind Estimation*, vol 2002, no. 12, pp. 1377-1386, Dec. 2002.

[9] K. Zarifi, A. Gershman, "Robust Blind Multiuser Detection based on the Worst-case Performance Optimization of the MMSE receiver," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 53, no. 1, pp. 295-305, Jan. 2005.

[10] X. Zhang, W. Wei, "Blind Adaptive Multiuser Detection based on Kalman filtering", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 50, no. 1, pp. 87-95, Jan. 2002.

[11] S. Buzzi, E. Grossi, M. Lops, "Timing-Free Blind Multiuser Detection for Multicarrier DS/CDMA Systems with Multiple Antennas," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing: MIMO Communications and Signal Processing*, vol. 2004, no. 5, pp. 613-628, May. 2004

[12] 우대호, 변윤식, "다중 반송파 DS-CDMA 시스템을 위한 블라인드 MOE 간섭 제거기," *한국통신학회논문지*, vol 29, no. 10, pp. 1395-1401, Oct. 2004.

[13] 우대호, 이승용, 변윤식, "다중 반송파 DS-CDMA 시스템을 위한 블라인드 MOE-PIC 다중사용자 검출기," *한국통신학회논문지*, vol. 30, no. 3C, pp. 153-157, Mar. 2005.

[14] Q. Li, L. A. Rusch, "Multiuser Detection for DS-CDMA UWB in the Home Environ-

ment," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, vol. 20, no. 9, pp. 1701-1711, Dec. 2002.

[15] Z. Xu, P. Liu and J. Tang, "A Subspace approach to Blind Multiuser Detection for Ultra-wideband Communication Systems," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing: Special Issue on UWB-State of the Art*, vol. 2005, no. 3, pp. 413-425, Mar. 2005.

[16] 우대호, 변윤식, "DS-CDMA 시스템을 위한 하이브리드 레이트 다중 사용자 검출기에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, vol. 26, no. 9B, pp. 1236-1242, Sep. 2001.

우 대 호 (Dae-Ho Woo)

정회원



1997년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 인천대학교 전자공학과 석사
 2003년 2월 인천대학교 전자공학과 박사
 <관심분야> 간섭 제거 기술, 통신 신호 처리

유 영 규 (Young-Gyu Yoo)

정회원



1996년 2월 전북대학교 전기공학과 졸업
 1998년 2월 전북대학교 전기공학과 석사
 2003년 2월 전북대학교 전기공학과 박사 수료
 <관심분야> ASIC 설계, 아날로그 집적 회로, 신호 처리

변 윤 식 (Youn-Shik Byun)

종신회원



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

원 교수

2004년 9월~2005년 8월 고려대학교 전파통신공학과 객원 교수
 1987년 3월~현재 시립 인천대학교 전자공학과 교수
 <관심분야> 디지털 통신 및 신호 처리