

# DS-CDMA 시스템에서 개선된 MOE 블라인드 다중 사용자 검출 알고리즘에 관한 연구

김대규\*, 우대호\*, 윤태성\*\*, 변윤식\*

\* 시립 인천대학교 전자공학과

\*\* 국립 창원대학교 전기공학과

## A study on modified MOE blind multiuser detection algorithms for DS-CDMA.

Dae-kyu Kim\*, Dae-Ho Woo\*, Tae-Sung Yoon\*\*, Yoon-Shik Byun\*

\* Dept. of Electronic Eng., University of Incheon

\*\* Dept. of Electrical Eng., Changwon National University

E-mail : byun@lion.inchon.ac.kr

### ABSTRACT

In this paper, we present the modified blind adaptive multiuser detector based on Constant Modulus Algorithm(CMA) for the demodulation of code-division multiple-access(CDMA) signals. Convergence issues are treated, and the performance of three algorithms is compared via computer simulations.

### 1. 서론

DS-CDMA에서는 근거리로부터 강한 전력의 간섭신호가 원하는 약한 신호에 간섭을 미치는 원근(Near-Far)문제가 존재하는 동시에, 다른 사용자로부터 MAI(Multiple-access interference)에 의해서 복조기의 성능 특성이 크게 제한된다[7]. 다중사용자 검출기는 적절한 신호처리 과정을 통하여 이러한 MAI를 제거하기 위해 사용되어진다. 기본적으로 DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Access)방식에서는 모든 사용자는 신호 서로간에 간섭작용을 한다. 한 명의 사용자

에 대한 간섭신호는 자기 때문에 고려할 필요가 없지만, 사용자 증가로 인한 MAI는 더욱 많이 발생하므로 잡음에 대한 대책이 요구된다. MAI를 효과적으로 억제하고 동시에 모든 사용자를 검출하기 위해 다중 사용자 검출 기법에 대한 다각도로 연구가 진행되어 왔다. 1984년 Verdú는 최적의 다중사용자 검출 알고리즘을 제시하였다[2][3]. 이 알고리즘은 수신단에서 출력이 최대 확률을 가지는 시퀀스를 찾아내는 것이다. 따라서 검출기 알고리즘은 Maximum Likelihood Sequence Detection로 알려졌다. 그러나 다중 사용자 검출기는 사용자의 수가 지수적으로 증가하여 시스템이 아주 복잡하여지는 단점을 지니고 있다. 이런 단점을 극복하기 위해 Verdú는 역상관 다중 사용자 검출기를 제시하였다. 이 역상관기 또한 잡음부의 전력이 커지게 되면 시스템이 열화 되어지는 단점이 있다. 이런 역상관 다중 사용자 검출기의 단점을 극복하기 위해 선형 MMSE 다중 사용자 검출기가 제시되어졌다. 그러나 선형 MMSE 검출기 또한 검출하고자 하는 사용자의 타이밍, 혼련열에 대한 정보가 반드시 필요하다는 단점을 지니고 있다. 1994년에 블라인드 다중 사용자 검출기가 Madhow에 의해 제시되어졌다[1]. 이는 MMSE에서 상당한 부담이 되었던 혼련열을 블라

인드 기법에서는 사용하지 않는다. Madhow가 제시한 Minimum Output Energy 블라인드 다중 사용자 검출 알고리즘은 훈련열은 필요없지만 출력하고자 하는 사용자의 타이밍, 신호 파형에 대한 정보가 반드시 요구되어 진다[5]. 본 연구에서는 기존의 MOE에 대해서 알아보고 Constant Modulus Algorithm을 이용한 두 가지의 블라인드 적용 다중사용자 검출 알고리즘들을 제시하고자 한다[3]. 이를 위해서는 DS-CDMA에서 다중 사용자 간섭 환경 하에서 각 알고리즘의 특성을 비교 검토하기로 한다.

## 2. 수신기 모델

DS-CDMA 시스템에서 동기식 BPSK 채널에서의 수신된 모델은 다음 식(1)과 같이 정의할 수 있다. 먼저 k명의 사용자를 가진 다수사용자 시스템은 그림 1처럼 나타낼 수가 있다.

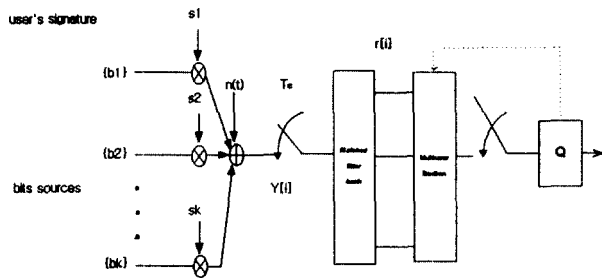


그림 1. 다중 사용자 시스템 모델

여기서, 수신기의 수학적 모델링은 다음 식(1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k(i) b_k(i) s_k(t-iT) + n(t) \quad (1)$$

여기서,  $A_k(i)$ 는 k번째의 i번째 비트에 대한 사용자의 진폭,  $b_k(i)$ 는 정보비트,  $s_k(t-iT)$ 는 확산부호,  $n(t)$ 는 전력이  $\sigma^2$ 인 백색 가우시안 잡음을 각각 나타낸다. 위의 식(1)에서 chip rate 샘플링 후에 우리는 수신된 모델을 다음식(2)와 같이 정의할 수 있다. 이 수신 모델로부터 "one-shot" 검출을 할 수 있다.

$$Y = SDb + n \quad (2)$$

여기서,  $Y = [y_1, \dots, y_N]^T$ ,  $S = [s_1, \dots, s_k]$ 는  $N \times K$ 인 확산 행렬,  $D = \text{diag}(A_k)_{K \times K}$ ,  $b = [b_1, \dots, b_k]^T$ 이

고 N은 확산 시퀀스의 길이를 나타낸다.

## 3. 블라인드 다중 사용자 검출기

### 3-1. 기존 블라인드 MOE 다중 사용자 검출기

위의 식(2)에서 우리는  $k=1$ 일 때 우리가 검출하고자 하는 사용자로 가정하고자 한다. 이 MOE는 MAI간섭을 간단히 줄일 수 있다. 이 방법은 출력에너지를 최소로 만드는  $x_1$ 를 선택하는데 있다.

$$MOE(x_1) = E[(\langle y, c_1 \rangle)^2] \quad (3)$$

$$= E[(\langle y_1, s_1 + x_1 \rangle)^2]$$

$$c_1 = s_1 + x_1 \leftrightarrow \text{MF} + \text{adaptive component}$$

위의 식(3)에서  $c_1$ 을 구성하는 성분 중  $s_1$ 과  $x_1$ 은 다음과 같은 성질이 있다.

$$\langle s_1, x_1 \rangle = 0 \quad (4)$$

$$\langle s_1, c_1 \rangle = \|s_1\|^2 = 1$$

$s_1$ 과 직교성을 유지하면서  $x_1$ 을 갱신하기 위해 선형 변환,  $\langle y, s_1 + x_1 \rangle$ 의 출력에너지는 독립된 세 개의 성분으로 나눌 수 있다. 첫째 우리가 검출하고자 하는 사용자 신호, 둘째 성분은 다중 사용자 간섭 신호, 그리고 셋째 성분은 배경 잡음으로 나누어진다. 이 세 성분 중 첫째 부분의 에너지는  $x_1$ 과는 무관하고, 두 번째와 세 번째 성분의 에너지는  $x_1$ 의 변화에 따라 변동하게 된다. 따라서 가장 간단히 간섭을 줄일 수 있는 방법은 출력에너지를 최소로 하는  $x_1$ 을 변화시켜가면서 에너지를 최소로 선택하는 것이다.

$$MOE(x_1) = E[(y, s_1 + x_1)^2] \quad (5)$$

이와 같은 경우, 배경 잡음이 매우 작다면 다중 사용자에 의한 간섭 잡음은 거의 제거되며,  $s_1 + x_1$ 은 역상관 다중 사용자 검출기와 유사한 결과를 나타낸다. 또한 배경 잡음의 크기가 매우 크다면  $x_1$ 은 다중 사용자 간섭보다는 배경 잡음 제거에 더 많이 관여를 하므로 이런 경우에는 변형된 선형 MMSE 다중 사용자 검출기의 형태가 다음식(6)에 나타나 있다.

$$MOE(x_1) = E[(A_1 d_1 - \langle y_1, s_1 + x_1 \rangle)^2] + A_1^2 \quad (6)$$

선형 MMSE 다중 사용자 검출기는 평균 재규 오차의 최소화를 위해서 적응성 훈련열이 반드시 필요하다. 반면 Blind 다중 검출 방식은 이와 같은 훈련열이 필요없고 경사 강하 방법으로 간단히 다음의 식(7)과 같은 계수 적응 알고리즘이 사용된다.

$$x_1[i] = x_1[i-1] - \mu * z[i](y[i] - z_{MF}[i]s_1) \quad (7)$$

여기서  $z_{MF}$ 와  $z$ 는 각각 기존 단일 사용자 정합 필터의 출력과 블라인드 다중 사용자 검출기에서 제안된 선형 변환의 출력을 의미한다. 각각을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_{MF}[i] = \langle y[i], s_1 \rangle \quad (8)$$

$$z[i] = \langle y[i], s_1 + x_1[i-1] \rangle \quad (9)$$

### 3-2 제안된 Modified MOE 다중 사용자 검출기

위의 식(3)에서  $C_1$ 의 구성 성분 중  $x_1$ 을 블라인드 알고리즘으로 적응시키기 위해 다음과 정의되는 오차  $e(n)$ 을 사용한다. 이 오차신호에 대한 비용함수를 최소화하는 적응 알고리즘이다.

$$J(n) = E[|e(n)|^2] \quad (10)$$

$$e(n) = |z_{MF}(n) + z(n)|^2 - \delta$$

여기서,  $\delta$ 는 desired 사용자의 전력 밀도를 나타낸다. 이때 계수 벡터  $w_1(n)$ 의 갱신식은 steepest descent 방법을 사용하여 다음 식(11)과 같이 나타내어진다.

$$w_1(n+1) = w_1(n) - \mu \cdot \hat{\nabla}_{w_1(n)} J(n) \quad (11)$$

여기서  $\hat{\nabla}_{w_1(n)} J(n)$ 은 비용함수  $J(n)$ 의 계수 벡터  $w_1(n)$ 에 대한 gradient의 순시 추정치이다.  $\hat{\nabla}_{w_1(n)} J(n)$ 의  $k$ 번째 요소는 다음 식(12)과 같이 정의된다.

$$\hat{\nabla}_k E[|e(n)|^2] = \frac{\partial |e(n)|^2}{\partial a_k} + j \frac{\partial |e(n)|^2}{\partial b_k} \quad (12)$$

$$\hat{\nabla}_{w_1(n)} J(n) = \hat{\nabla}_{w_1(n)} E[|e(n)|^2]$$

$$= 4|e(n)|(z_{MF}(n) + z(n)) \underline{y}^*(n)$$

여기서  $a_k$ 는 적응 수신기 벡터  $w_1(n)$ 의  $k$ 번째 요소의 실수부,  $b_k$ 는 허수부이다. ( $j = \sqrt{-1}$ ) 따라서 Modified MOE 다중 사용자 알고리즘의 적응 수신기 계수 벡터  $w_1(n)$ 의 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$w_1(n+1) = w_1(n) - 4\mu e(n)(z_{MF}(n) + z(n)) \underline{y}^*(n) \quad (13)$$

여기서,  $\mu$ 는 step size,  $\underline{y}(n)$ 은 입력벡터, \*은 복소수 공액(Complex Conjugate)를 나타낸다.

## 4. 모의 실험 및 고찰

### 4-1. 모의 실험

다중 사용자 환경 하에서 제안된 블라인드 적응 다중 사용자 검출 알고리즘의 수렴특성을 알아보기 위해 MOE 검출기와 CMA가 결합된 시스템을 구성하였다. 각각의 desired user의 정보데이터는 랜덤하게  $\pm 1$ 의 값을 갖도록 발생시켰고, 확산 신호도 길이가 31인 확산 파형을 랜덤하게  $\pm 1$ 의 값을 갖도록 발생시켰다. 또한 다른 확산 파형을 갖도록 하였다. 부가 잡음은 송신데이터인 desired user와 독립이고 평균이 0인 가우시안 잡음을 사용하였다. 블라인드 적응 수신기의 수렴특성에 대한 성능 지표로서 다음 식과 정의되는 SIR(Signal to Interference Ratio)[2]를 사용하였다.

$$SIR = \frac{A_1^2 (w^T s_1)^2}{\sigma^2 (w^T w) + \sum_{k=2}^K A_k^2 (w^T s_k)^2} \quad (14)$$

여기서  $\sigma^2$ 은 부가잡음  $v(n)$ 의 전력밀도이고  $w$ 는 적응 수신기이다. 적응 수신기는 FIR 필터를 사용하였다. 본 실험에서는 적응 수신기의 수를 확산신호와 같은 수 ( $N=31$ )로 정하였다.

적용벡터계수  $w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_{15}, \dots, w_{31}]^T$ 의 초기값은 0으로 하였다.

### 4-2. 실험 결과

아래의 그림 2)와 그림 3)은 다음과 같은 조건으로 기존의 MOE 알고리즘과 Modified LMS-MOE 알고리즘 및

Modified LMAD-MOE 알고리즘을 SIR과 BER을 통하여 각각 비교하였다.

그림 2)에서는 원하는 사용자가  $k=1$ 일 때, SNR값은 다음과 같이 가정하였다.

$$(SNR)_{k=1} = 10 * \log_{10} \frac{\sigma^2_{k=1}}{\sigma^2_p} = 10 [dB] \quad (15)$$

그림 2)는  $NFR = 15 [dB]$ 로 놓았을 때, 신호대 간섭비를 비교하였고, 그림 3)은  $NFR (SNR=0.1 \dots 8 [dB])$ 로 변화시켜 나갈 때, 비트 에러율을 각각 나타낸다.

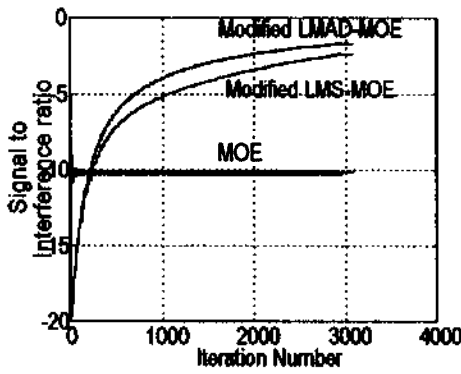


그림 2. SIR에 대한 수렴특성

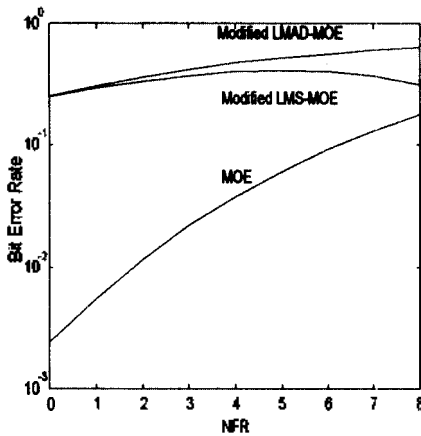


그림 3 Bit Error Rate

그림(2)에서는 기존의 MOE보다 제시된 LMS-MOE 알고리즘과 LMAD-MOE 알고리즘을 각각 SIR을 통하여 비교할 때 Modified-MOE 알고리즘들이 기존의 MOE 알고리즘보다 훨씬 우수한 특성을 보여줌을 알 수 있다. 그림(3)에서는 BER 특성을 NFR 값을 변화시켜가면서 분석하였다. 세 알고리즘의 특성을 각각 비교해 볼

때, 제안된 알고리즘들이 기존의 MOE 알고리즘보다 우수함을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 DS-CDMA 환경하에서 블라인드 적응 다중 사용자 검출을 위한 견실한 특성을 나타내는 알고리즘에 대해서 컴퓨터 모의 실험을 통하여 Modified MOE 알고리즘의 수렴특성은 Madhow가 제시한 기존의 MOE(Minimum Output Energy) 방법보다 모의 실험을 통하여 비교해 볼 때, 수렴특성면에서 우수함을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] U.Madhow, M.L.Honig "MMSE interference suppression for direct-sequence spread spectrum CDMA", IEEE Trans, Commun., COM-42, no.12 pp.3178-3188, December 1994
- [2] M.L.Honig, U.Madhow, S.Verdu, "Blind Adaptive multiuser detection," IEEE Trans. Information Theory ,vol.41,no.4,pp. 944-960, July 1995.
- [3] S.Verdu,"Adaptive multiuser detection", IEEE ISSSTA, Oulu, Finland, pp 43-50,July 1994
- [4] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall,1991
- [5] P.K.P.Cheung, R.A.Kennedy,"Improved Blind Adaptive Detection for Synchronous Multiuser CDMA Systems," IEEE SPAWC conference, Paris, pp.249-252, April 1997
- [6] 우대호, 진광식, 윤태성, 변윤식 "임펄스 잡음하에서 블라인드 동화 알고리즘에 관한 연구," 제10회 한국 신호처리합동 학술대회,vol.10, no.1,pp.379-382,9.1997
- [7] A.J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum ComModified LMS-MOEunication Addison-Wesley,1995