

DS-CDMA에서 다중사용자 검출을 위한 블라인드 적응 알고리즘에 관한 연구

우대호*, 김대규*, 윤태성**, 변윤식*

* 시립 인천대학교 전자공학과 **국립 창원대학교 전기공학과

A Study on Blind Adaptive Algorithm for Multi-User Detection in DS-CDMA

Dae-Ho Woo*, Dae-Kyu Kim*, Tae-Sung Yoon**, Youn-Shik Byun*

* Dept.of Electronic Eng., University of Incheon

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

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

tsyoon@sarim.changwon.ac.kr

ABSTRACT

This paper proposes improved algorithm for multi - user detection in DS-CDMA. Each of algorithm is based on CMA algorithm. Improved LMS-CMA and LMAD-CMA are combined to matched filter. Simulations results shown that Improved LMAD-CMA algorithm has a higher capacity than MOE in steady-state convergence properties.

1. 도입

최근에 들어서 DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Access)방식이 이동 통신 및 개인 휴대용 통신 서비스의 증가로 인하여 관심이 고조되어 왔다. DS-CDMA방식이란 동일한 주파수대역에서 다수의 사용자에 확산코드를 할당하여 사용자 신호를 확산하고 역확산시킴으로 다중 사용자 접속을 가능하게 하는 방식이다[7]. DS-CDMA 기술은 페이딩에 강한 변역성,

보완성, 가입자의 용량 증대등 상당한 장점을 가지고 있는 반면, 낮은 전력신호인 경우에 신호의 품질이 상대적으로 열화되는 원근 효과(Near-Far Effect)와 한셀 안에서 사용자의 수가 증가함에 따라 스펙트럼의 중첩으로 인한 배경잡음 전력이 높아져서 신호의 품질이 열화되고 시스템의 용량이 제한되어진다[1][7]. 이것은 처리이득을 높임으로써 시스템의 성능을 해결할 수 있다. 군사용이 아닌 상용에서는 주파수 자원의 제약으로 인하여 처리이득을 증가시킬 수 없다. 따라서 다중 사용자 간섭에 의해 발생하는 통신 시스템의 열화 문제[7]를 해결하기 위한 새로운 기술이 요구되어졌다[1][2]. 다중 사용자 검출 알고리즘은 1979년 Schneider에 의해 제시된 이후 1995년 Madhow는 훈련열이 필요하지 않는 블라인드 등화 기법을 이용한 블라인드 적응 다중 사용자 검출에 대한 알고리즘[1],[2]을 제시하였다. 이는 단지 desired 사용자에 대한 정보를 필요로 하는 블라인드 적응 다중 사용자 검출기가 제안되어져왔다. 이들의 목적은 원근효과, 채널 왜곡, 페이딩에 강한 특성을 나타내는 알고리즘[1]을 연구하여왔다. 본 연구에서는 CMA(constant modulus algorithm)[3]을 이용한 블라인드

드. 적응 다중사용자 검출 알고리즘을 제시하고자 한다. 이를 위해서는 우선 CMA[3][4]알고리즘을 중심으로, 입력 복소수 데이터를 취급할 수 있는 LMS(Least Mean Square)[3], LMAD(Least Mean Absolute Algorithm) 적응 알고리즘을 유도하기로 한다. 그리고 BPSK 데이터를 대상으로 하여 DS-CDMA에서 다중 사용자 간섭 환경하에서 각 알고리즘의 특성을 비교 검토하기로 한다.

2. CMA 블라인드 Multi-User Detection 알고리즘

동기 DS-CDMA 시스템을 위한 수신된 신호 모델은 식(1)과 같이 정의되어진다.

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

여기서, A_k 와 b_k 는 k 번째 사용자의 전력밀도, 데이터 그리고 s_k 는 k 번째 사용자의 확산파형을 의미한다. $v(n)$ 는 가산 백색 가우시안 잡음이다. 먼저 그림 1과 같은 기저대역(baseband) 블라인드 적응 시스템을 가정한다.

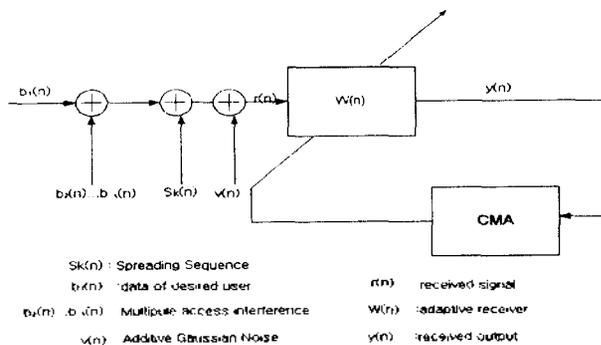


그림 1 기저대역 블라인드 적응 수신기 시스템 구성도

식(1)에서 $k=1$ 인 경우를 본 연구에서 우리가 검출하고자 하는 desired user로 가정하자. $k=2, \dots, K$ 인 경우는 다중 사용자 접속(MAI)으로 발생하는 간섭이다. 이를 제거하기 위해 MUD(Multi-User Detection)알고리즘을 제시하였다.

2-1.LMS-CMA 알고리즘

LMS-CMA 알고리즘은 다음 식(2)와 같이 정의되는 오차($e(n)$)에 대한 비용함수를 최소화하는 적응 알고리즘이다.

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

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

여기서, δ 는 desired 사용자의 전력 밀도이고 $y(n)$ 은 적응 필터 수신기의 출력을 나타낸다. 이때 계수 벡터 $w(n)$ 의 갱신식은 steepest descent 방법을 사용하여 다음 식(3)과 같이 나타내어진다.

$$w(n+1) = w(n) - \mu \cdot \hat{\nabla}_{w(n)} J(n) \quad (3)$$

여기서, $\hat{\nabla}_{w(n)} J(n)$ 은 비용함수 $J(n)$ 의 계수 벡터 $w(n)$ 에 대한 gradient의 순시 추정치이다. $\hat{\nabla}_{w(n)} J(n)$ 의 k 번째 요소는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{\nabla}_k E[|e(n)|^2] = \frac{\partial |e(n)|^2}{\partial a_k} + j \frac{\partial |e(n)|^2}{\partial b_k} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{\nabla}_{w(n)} J(n) &= \hat{\nabla}_{w(n)} E[|e(n)|^2] \\ &= 4|e(n)|y(n)r^*(n) \end{aligned}$$

여기서, a_k 는 적응 수신기 벡터 $w(n)$ 의 k 번째 요소의 실수부, b_k 는 허수부이다. ($j = \sqrt{-1}$)

따라서 LMS-CMA 알고리즘의 적응 수신기 계수 벡터 $w(n)$ 의 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$w(n+1) = w(n) - 4\mu |e(n)|y(n)r^*(n) \quad (5)$$

여기서 μ 는 step size, $r(n)$ 은 입력벡터, $*$ 은 복소수 공액(Complex Conjugate)를 나타낸다.

2-2. Improved LMS-CMA 알고리즘

수신된 신호 벡터 $r(n)$ 은 정합필터와 적응 수신기의 입력신호이다. 정합필터와 적응 수신기의 출력이 합이 $z(n)$ 이다. 2-1에서와 같이 비용함수를 식(2)와 같이 정의하고 이를 식(3)에 적용해 보면 다음과 같이 유도되어진다.

$$w_1(n+1) = w_1(n) - 4\mu e(n)z(n)r^*(n) \quad (6)$$

$$z(n) = z_{MF}(n) + z_1(n)$$

여기서 $z_{MF}(n)$ 은 정합필터의 출력이고, $z_1(n)$ 은 적응 수신기의 출력이다.

2-3. Improved LMAD-CMA 알고리즘

LMAD-CMA 알고리즘의 비용함수는 다음 식(7)과 같이 정의된다.

$$J(n) = E[|e(n)|] \quad (7)$$

$$e(n) = |z(n)|^2 - \delta$$

위의 2-1에서의 방법과 같은 순서로 적용해 보면 다음 식 (8)과 같은 계수 갱신식을 얻을 수 있다.

$$w(n+1) = w(n) - 2\mu \text{sgn}(e(n))z(n)r^*(n) \quad (8)$$

여기서, $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}$ 이다.

3. 모의 실험 및 고찰

3-1 실험 방법

다중 사용자 환경하에서 제안된 블라인드 적응 다중 사용자 검출 알고리즘의 수렴특성을 알아보기 위해 그림 1과 같이 시스템을 구성하였다. 식(1)에서 $k=1$ 인 사용자를 desired user로 가정하자. 즉 A_1, b_1, s_1 은 각각 desired user의 전력밀도, 정보데이터, 확산신호를 나타낸다. desired user의 정보데이터는 랜덤한 ± 1 의 값을 갖도록 발생시켰고, 확산신호도 길이가 31인 확산파형을 랜덤하게 ± 1 의 값을 갖도록 발생시켰다. 다른 사용자도 같은 방법으로 발생하였다. 각각 다른 확산 파형을 갖도록 하였다. 부가 잡음 $v(n)$ 은 송신데이터인 desired user와 독립이고 평균이 0인 Gaussian 잡음을 사용하였다. 블라인드 적응 수신기의 수렴특성에 대한 성능 지표로서 다음 식과 정의되는 SIR(Signal to Interference Ratio)[2]를 사용하였다.

$$SIR = \frac{A_1^2(w^T s_1)^2}{\sigma^2(w^T w) + \sum_{k=2}^K A_k^2(w^T s_k)^2} \quad (9)$$

여기서, σ^2 은 부가잡음 $v(n)$ 의 전력밀도이고 w 는 적응 수신기이다. 적응 수신기는 FIR 필터를 사용하였다. 본 실험에서는 적응 수신기의 수를 확산신호와 같은 수로 정하였다.

벡터로 $w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_{15}, \dots, w_{31}]^T$ 의 초기치는 $w_{15} = (1+j)/\sqrt{2}$ 로 하였고 나머지는 0으로 하였다.

3-2 실험 내용

그림2는 부가잡음 $v(n)$ 의 평균이 0인 백색 가우시안인 경우 $(SNR)_{k=1} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sigma^2_{k=1}}{\sigma^2_v} = 10 [dB]$ 이고,

$(SNR)_k = 15 [dB]$ (여기서 $k=2, 3, 4$)일때 각 알고리즘에 대해 10번 독립실험을 통하여 얻은 결과를 앙상블 평균을 하여 나타낸 것이다.

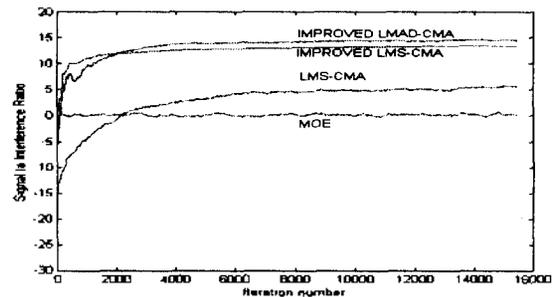


그림 2 정상상태 수렴 특성 $(SNR)_k = 15 [dB]$

그림2는 각 알고리즘이 비슷한 수렴속도를 갖게끔 실험에 의해서 구하고 정상상태에서의 수렴 특성을 살펴본 것이다. 이때 μ 의 값은 LMS-CMA의 경우 2×10^{-6} , Improved LMS-CMA의 경우 5×10^{-5} , Improved LMAD-CMA의 경우 7×10^{-5} 이었다. 그림을 살펴보면 CMA 알고리즘에 영역에서 이 조건의 경우에는 Improved LMAD 알고리즘은 Madhow의 MOE 방법보다 우수한 특성을 보여 주고 있다. 그림3은 $(SNR)_{k=1}$ 인 조건을 그림2와 같이 그대로 유지하고, $(SNR)_k$ 만을 20 [dB]로 한 결과이다. 이때 μ 값을 살펴

보면 다음과 같다.

LMS-CMA의 경우 $1 \times 10^{(-7)}$, Improved LMS-CMA의 경우 $5 \times 10^{(-8)}$, Improved LMAD-CMA의 경우 $7 \times 10^{(-5)}$ 이었다. 이 경우도 또한 Improved LMAD-CMA 알고리즘이 우수한 정상상태 수렴특성을 나타냄을 알 수 있었다.

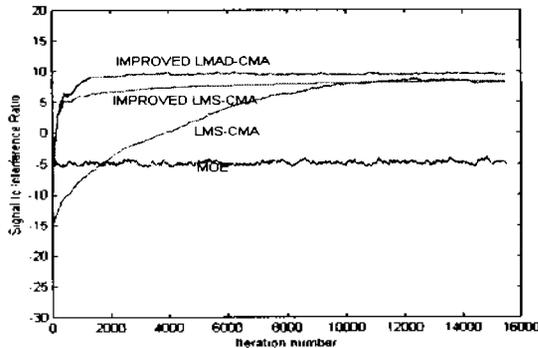


그림 3 정상상태 수렴특성 ($SNR_k = 20[dB]$)

그림4는 ($SNR_k = 1$)인 조건을 위와 같이 그대로 유지하고, (SNR_k)만을 $30[dB]$ 로 한 결과이다. 이때 μ 값을 살펴보면 다음과 같다.

LMS-CMA의 경우 $2 \times 10^{(-8)}$, Improved LMS-CMA의 경우 $5 \times 10^{(-10)}$, Improved LMAD-CMA의 경우 $7 \times 10^{(-8)}$ 이었다. 이 경우도 또한 Improved LMAD

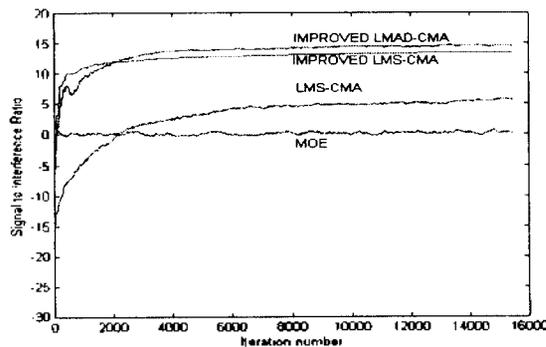


그림 4 정상 상태 수렴특성 ($SNR_k = 30[dB]$)

-CMA 알고리즘이 우수한 정상상태 수렴특성을 나타냄을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 DS-CDMA 환경하에서 블라인드 적응 다중 사용자 검출을 위한 견실한 특성을 나타내는 알고리즘에 대해서 컴퓨터 모의 실험을 통하여 Improved LMAD-CMA 알고리즘의 수렴특성은 Madhow가 제시한 MOE(Minimum Output Energy)방법보다 모의 실험을 통하여 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 간섭이 약한 경우나 간섭 전력이 큰 경우에도 견실한 특성을 나타내었다. 이런 결과로 보아 제안된 Improved LMAD-CMA 우수함을 알 수 있었고 시스템의 성능을 향상하여 더 많은 사용자의 사용이 가능하리라 생각된다.

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. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall, 1991
- [4] 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
- [5] 우대호, 진광식, 윤태성, 변윤식 "임펄스 잡음하에서 블라인드 등화 알고리즘에 관한 연구," 제10회 한국 신호처리 학술대회,vol.10, no.1, pp.379-382,9.1997
- [6] I. Zhu, U. Madhow, "Adaptive interference suppression for DS-CDMA over a Rayleigh fading channels," Proc. 1997 Conf. Inf. Sci. Sys. (CISS'97), Johns Hopkins University, Baltimore, MD, March 1997
- [7] A.J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication. Addison-Wesley, 1995