

다중 경로 DS-CDMA 채널을 위한 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거

°김병주, 신요안[†]

송실대학교 정보통신전자공학부

[†]전화 : 02-820-0632 / 팩스 : 02-821-7653

Blind Adaptive Interference Suppression Using CMA for Multipath DS-CDMA Channels

°Byung Ju Kim, Yoan Shin[†]

School of Electronic Engineering

Soongsil University

[†]E-mail : yashin@logos.soongsil.ac.kr

요약

DS-CDMA (direct sequence-code division multiple access) 시스템에서 여러 사용자가 동일 주파수 대역을 공유함으로써 다중 접속 간섭 (multiple access interference; MAI)이 발생하고 시스템의 성능을 크게 제한한다. 이러한 다중 접속 간섭을 제거하여 전송 신호의 질을 높이고 용량을 증대시키는 중요한 신호 처리 기술 가운데 하나가 적응 간섭 억제 기술이다. 적응 간섭 억제 기술 가운데 CMA (constant modulus algorithm) 기반의 블라인드 적응 간섭 억제는 훈련 수열을 필요로 하지 않고 빠른 수렴을 통하여 간섭을 효과적으로 제거할 수 있으나, 다중 경로 환경에서 심벌간 간섭 (intersymbol interference; ISI)이 증대되어 기존의 적응 수신기보다 악화된 성능을 보인다. 본 논문에서는 CMA를 기반으로 훈련 수열 없이 빠른 수렴을 하며 MAI와 ISI를 효과적으로 제거하기 위한 다이버시티 결합기 구조의 적응 간섭 억제기를 제한한다. 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 기존의 블라인드 적응 간섭 억제기와 성능 비교 결과, 제안된 방식이 다중 경로에 의한 ISI의 영향을 효과적으로 제거하여 우수한 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

DS-CDMA 시스템에서는 여러 사용자의 신호가 동일한 주파수 대역을 공유하며 신호를 확산 전송함으로써 다중 접속 간섭 (MAI) 현상이 전체 시스템의 성능을 크게 제한하는 요소로 작용한다. 특히 근거리에 있는 강한 전력의 간섭 신호가 원하는 신호에 간섭을 미치는 원근 문제에 의해 해당 신호의 복조 성능을 크게 악화시킨다. 따라서 이러한 MAI의 영향을 제거 혹은 약화시키는 기술에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으며, 특히 적응 간섭 제거 기술은 시스템 성능 개선과 용량 증대를 위한 유용한 방법이다[1]. 이러한 적응 간

섭 제거 기술 가운데 CMA에 기반의 블라인드 적응 간섭 제거기는 별도의 훈련 수열을 필요로 하지 않을뿐더러 확산 파형만의 정보를 가지고 정보 신호를 검출하는데 있어서 신호의 파형이 도플러효과에 의한 페이딩에 의해 왜곡되어도 우수한 특성을 갖는다[2]. CMA는 FM 혹은 PSK 신호 같은 일정한 진폭의 파형에서 간섭에 의한 왜곡을 정정하는 적응 필터 기법이다. CMA는 수신된 신호 진폭의 변화를 감지하여 왜곡 제거용 FIR 필터의 계수를 조절함으로써 훈련 수열 없이 변화하는 간섭 요소를 억제할 수 있다. 이 때 CMA 비용 함수를 최소화하는 필터 계수는 최급강하법 (steepest descent) [3,4] 방법 등을 사용하여 갱신된다.

DS-CDMA 시스템에서 MAI의 영향뿐만 아니라 셀룰라 환경에서 다중 경로 현상에 의한 심벌간 간섭 (ISI)의 영향 역시 성능을 크게 악화하는 요소로 작용한다. 따라서 심각한 MAI의 영향 및 ISI의 영향이 모두 존재하는 경우 CMA 기반의 적응 간섭 제거기의 성능이 크게 제한된다. 기존의 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법 가운데 [5]에서는 [2]에서 제안된 MOE (minimum output energy) 구조를 MSE (mean square error) 비용 함수로 대체한 간단한 구조의 방법을 제안하였으나, 다중 경로 환경에서 ISI에 의해 크게 성능이 악화되었다.

본 논문에서는 상대적으로 간단한 구조를 가지면서 최소한의 정보인 원하는 사용자의 확산 신호만을 이용하여 MAI와 ISI를 효과적으로 제거할 수 있는 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법을 제안한다. 제안된 방식은 기존의 DS-CDMA Rake 수신기에서 제공되는 다중 경로별 채널 특성 추정 결과를 이용하여 각 경로별로 MAI 제거를 위한 CMA 필터를 적용하고 ISI 제거를 위해 이를 다이버시티 결합하는 방법으로 다중 경로 채널 환경에서 성능을 개선한다.

이를 위해 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 CMA를 이용하는 기존의 적응 간섭 제거 기법에 대하여 살펴보고, 3 절에서 본 연구의 제안 방식을 설명한다. 다음절에서는 다중 경로 환경에서 BPSK 변조를 이용하는 DS-CDMA 시스템에 대해 기존의 방식과 제안된 방식의 성능을 비교하며, 마지막 5 절에서 결론을 맺는다.

2. CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법

참고문헌 [5]에서 제안한 블라인드 다중 사용자 간섭 제거 기법은 [2]의 MOE 척도에 의한 성능 열화를 개선하기 위해 그림 1과 같이 MOE 비용 함수를 MSE 비용 함수로 대체하고 CMA 알고리즘 이용하여 훈련 수열 없이 원하는 사용자를 검출한다.

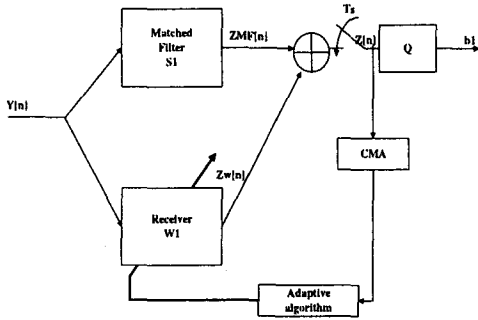


그림 1 : CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거기.

이 시스템에서 수신된 신호는 복조를 위한 정합 필터와 적응 수신기에 공통으로 입력된다. 이산 샘플링 시간 n 에서 정합 필터의 출력 $Z_{MF}(n)$ 에는 우리가 검출하고자 하는 사용자의 정보, 다중 접속 간섭, 및 잡음의 영향이 존재하고, 적응 수신기의 출력 $Z_w(n)$ 을 이용하여 다중 접속 간섭과 잡음에 의한 간섭을 억제함으로써 결국 이들 두 출력의 합에 의해 우리가 원하는 사용자의 신호가 검출되는 결과를 나타낸다.

이 때 적응 수신기의 계수 갱신을 위해 CMA 알고리즘을 이용하여 다음과 같은 비용함수 $J(n)$ 을 정의한다.

$$J(n) = E[|e(n)|^2] \quad (1)$$

여기서 오차 신호 $e(n)$ 은 아래와 같이 정의되고,

$$e(n) = |Z_{MF}(n) + Z_w(n)|^2 - \delta \quad (2)$$

δ 는 우리가 검출하고자 하는 사용자 신호의 전력을 나타낸다. 식 (1)과 같은 비용함수를 최급강하법을 이용하여 최소화하면 이 적응 수신기의 계수 $w_1(n)$ 의 갱신식은 다음과 같이 얻어진다.

$$w_1(n+1) = w_1(n) - \mu |e(n)| (Z_{MF}(n) + Z_w(n)) \quad (3)$$

단 여기서 μ 는 수렴 상수이다. 지금까지 살펴 본 적응

간섭 제거기는 MAI와 ISI를 동시에 억제할 수 있는 구조이나 하나의 정합 필터만을 이용함으로써 절의 모의 실험 결과에서 보듯이 다중 경로 페이딩의 영향을 보상하기에는 무리가 있으며, 실제 DS-CDMA의 Rake 수신기에서 이용되는 각 경로별 채널 추정 결과를 이용할 수 없어 성능 개선을 기대하기 어렵다.

3. 제안된 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거 기법

앞서 살펴 본 기존의 CMA 기반 블라인드 적응 간섭 억제 기법은 다중 경로 환경에서도 하나의 정합 필터와 CMA 적응 수신기를 이용함으로써 다중 경로에 의한 ISI의 영향에 의해 크게 성능이 악화된다. 본 절에서는 이러한 기존 방식의 단점을 보완하여 DS-CDMA 시스템의 Rake 수신기와 다이버시티 결합 구조를 이용하는 새로운 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법을 제안하고자 한다.

다중 경로 환경에서 우리가 검출하고자 하는 k 번째 사용자의 수신 신호 $r^{(k)}(t)$ 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$r^{(k)}(t) = \sum_{i=1}^L a_i(t) s^{(k)}(t - \tau_i) + n(t) \quad (4)$$

여기서, $a_i(t)$ 와 τ_i 는 각각 i ($i = 1, \dots, L$)번째 경로의 복소 채널 특성과 지연 성분이며, $s^{(k)}(t)$ 는 k 번째 사용자 신호, $n(t)$ 는 잡음이다. 이러한 다중 경로 성능이 포함된 신호가 입력될 때, DS-CDMA Rake 수신기에서는 먼저 각 경로에 대하여 정합 필터 (혹은 상관기)를 이용하여 각 지연 성분을 추정하고, 추정된 채널 특성을 이용하여 최대비 결합 (maximal ratio combining) 방식[6]에 의해 다이버시티 결합을 수행한다.

일반적으로 블라인드 적응 간섭 제거기가 순방향 링크상의 단말기 내에 적용된다는 점을 감안하여 K 명의 사용자가 동기식 접속하는 상황을 고려하자. 이 때, 수신기로 입력되는 신호 $r(t)$ 는

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{k=1}^K r^{(k)}(t) \\ &= \sum_{i=1}^L \left(\sum_{k=1}^K a_i(t) s^{(k)}(t - \tau_i) \right) + n(t) \quad (5) \\ &\equiv \sum_{i=1}^L y_i(t) + n(t) \end{aligned}$$

로 표현 가능하며, 동기식 접속을 가정하였으므로 모든 사용자의 신호가 각 경로별로 동일한 채널 특성 $a_i(t)$ 및 τ_i 의 영향을 받는다. 따라서 Rake 수신기에서 각 경로별 시간 지연이 정확히 추정되었다면 각 경로별 신호 $y_i(t)$ 는 ISI의 영향이 없이 단지 MAI에 의해서만 왜곡을 받게된다. 결국 우리는 이러한 각 경로별 신호

$y_i(t)$ 에 CMA 기반의 적응 간섭 제거기를 적용하여 MAI의 영향을 제거하고, 이러한 다중 경로 처리 결과를 MRC 다이버시티 결합하여 ISI 영향을 제거한다. 다음 그림 2는 이러한 구조를 이용하는 CMA 기반의 제안된 블라인드 적응 간섭 제거기의 구조를 도시한다. 여기서 각 경로를 위한 "Matched Filter + CMA Receiver"는 그림 1의 구조와 동일하나 식 (2)의 오차 신호가 다음과 같이 변형되어 사용된다.

$$e(n) = |Z_{MF}(n) + Z_w(n)|^2 - |\hat{a}_i(n)|^2 \quad (6)$$

위 식에서 $|\hat{a}_i(n)|$ 는 n 번째 이산 샘플링 시간에서 i 번째 경로 채널 진폭 성분에 대한 추정값이며, 각 경로 별 시간 지연과 마찬가지로 채널 특성이 충분히 느리게 변화하여 (즉 slow fading) 정확히 추정된 경우를 가정하였다. 이렇게 각 경로별로 CMA 기반의 적응 간섭 제거기를 적용하여 얻은 결과를 $z_i^{(k)}(n)$ 이라 할 때 제안된 구조에서 최종적으로 우리가 얻는 신호 $z^{(k)}(n)$ 는 MRC 결합에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$z^{(k)}(n) = \sum_{i=1}^L a_i^*(n) z_i^{(k)}(n) \quad (7)$$

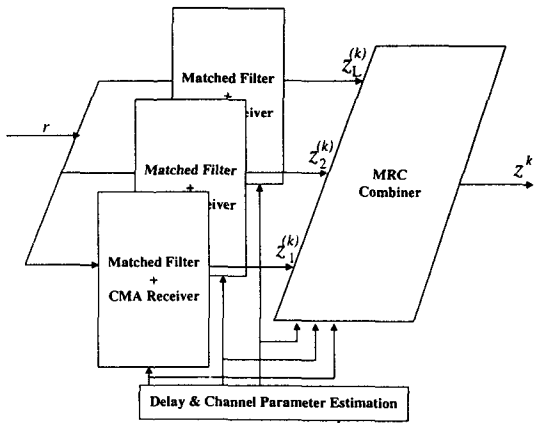


그림 2 : CMA 기반의 제안된 블라인드 적응 간섭 제거기의 구조.

4. 모의 실험 결과

제안된 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거 기법의 성능을 평가하기 위하여 모의 실험을 수행하였다. 성능 비교를 위해 [5]에서 고려된 기존의 블라인드 적응 간섭 제거 기법 역시 동일한 실험 환경에서 고려하였다. 실험을 위해, 확산 부호로서 부기 31인 m -시퀀스를 이용하였으며, 다중 사용자의 동기식 접속을 가정하였으며, 모든 사용자 신호에 대해 반송파 주파수는 1.8 GHz, 이동체 속도는 60Km/h로 설정하였다. 다중 경로 채널은 각 경로별로 진폭은 Rayleigh 페이딩 특성을 위상은 균일 분포를 가정하여 Jakes 방법에 의하여 채널 특성을 생성하였다. 표 1은 실험에 사용된 3-경로 채널의 특성을 정리하여 보여준다. 다이버시티를 위하

여 MRC 결합을 고려하였으며, Rake 수신기에서 전송 지연 및 채널의 진폭과 위상을 정확히 추정하였다고 가정하였다. 각 사용자의 신호는 BPSK 변조된 랜덤 수열을 사용하였고, 첫 번째 사용자 ($k=1$)를 우리가 검출하고자 하는 사용자로 정하였으며, 아래에 정의되는 NFR (near-far ratio)을 갖는 다원 접속 간섭 신호를 설정하였다. 배경 잡음의 경우 평균이 0이고 양방향 전력 스펙트럼밀도가 $N_0/2$ 인 부가성 백색 가우시안 (AWGN) 잡음을 고려하였다.

$$NFR_k = 10 \log_{10} \left(\frac{k\text{th User Power}}{\text{First User Power}} \right) \text{ [dB]} \quad (8)$$

표 1 : 모의 실험에 사용된 다중 경로 채널 환경.

Path Number	Average Power	Relative Delay	Doppler Spectrum
1	0.7	0	Classic
2	0.2	5 Chips	Classic
3	0.1	10 Chips	Classic

그림 3 - 5는 위에서 언급된 다중 경로 채널 환경에서 각각 $K=3, 8, 20$ 명의 사용자가 다원 접속하는 경우 $NFR_k = 0$ dB ($k=2, \dots, K$)일 때의 신호 대 잡음비 E_b/N_0 에 따른 비트 오류율 (bit error rate; BER) 성능을 도시한다. 여기서는 제안된 방식 ("Proposed CMA"), 기존의 CMA 기반의 간섭 제거 방식 ("Conventional CMA") 그리고 단일 사용자 검출을 위한 정합 필터 ("Matched Filter")를 사용하는 경우를 비교하고 있다. 먼저 그림 3에서 3명의 사용자가 다원 접속하는 경우 제안된 방식에 의해 큰 성능 향상이 가능함을 알 수 있다. 예를 들어, 10^{-4} 의 BER에 대해 기존 방식 혹은 단일 사용자 검출기에 비해 제안 방식을 이용함으로써 약 7.5 dB 가량의 성능 향상이 가능함을 알 수 있으며, 이는 제안 방식을 통해 각 경로별로 MAI를 효과적으로 제거했을 뿐만 아니라 다이버시티 결합에 의해 ISI 역시 크게 제거되었음을 나타낸다. 이 결과로부터 기존의 방식은 ISI의 영향을 효과적으로 제거할 수 없음을 역시 확인 할 수 있다. 한편 그림 4와 그림 5에서는 사용자 수가 8명 20명으로 증가함에 따라 제안 방식에서도 적은 사용자가 다원 접속 경우와는 달리 MAI에 의한 성능 열화가 발생함을 나타낸다. 하지만 이러한 경우에도 제안 방식의 성능이 기존 방식에 비해 매우 우수함을 알 수 있다. 그림 6은 $K=8$ 명의 사용자가 다원 접속하는 경우 $NFR_k = 5$ dB일 때의 성능을 도시하며, 앞서 그림 3 - 5에 비해 MAI 성분이 크게 증가하여 성능이 악화됨을 알 수 있다. 하지만 이 경우에도 제안 방식의 성능이 기존 방식에 비해 큰 성능 향상이 가능함을 알 수 있으며, 이러한 제안 방식의 성능 향상은 MAI 뿐만 아니라 다이버시티 결합에 의해 ISI 역시 제거함으로써 가능하다.

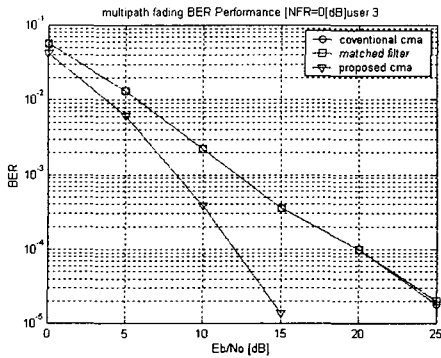


그림 3 : 다중 경로 페이딩 환경에서 성능 비교 (3명 사용자, NFR = 0 dB).

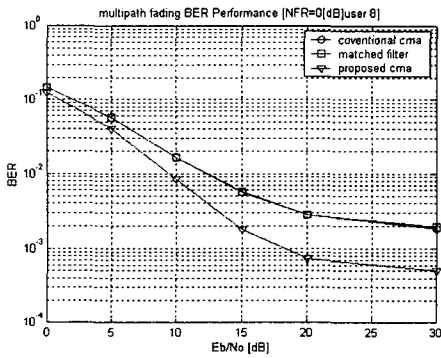


그림 4 : 다중 경로 페이딩 환경에서 성능 비교 (8명 사용자, NFR = 0 dB).

5. 결론

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에서 여러 사용자의 다원 접속에 의한 MAI와 다중 경로 현상에 의한 ISI를 동시에 효과적으로 제거할 수 있는 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 검출하고자 하는 사용자의 확산 신호에 대한 최소한의 정보만을 이용하여 훈련 수열 없이 블라인드 방식으로 간섭을 제거한다. CMA 기반의 기존의 블라인드 적응 간섭 제거기에서는 다중 경로에 의한 ISI를 효과적으로 제거할 수 없었으나, 본 제안 방식에서는 Rake 수신기의 채널 추정 결과를 이용하여 다중 경로 채널의 각 경로별로 CMA 필터를 적용하여 MAI를 제거하고, 이러한 결과를 MRC 다이버시티 결합하여 ISI의 영향을 제거하며, 모의 실험 결과 제안 방식이 기존 방식에 비해 월등히 우수한 비트오율 성능을 얻을 수 있음을 보였다. 본 제안 방식에서는 채널 특성이 추정이 완벽하다는 가정을 하였으나 실제 이러한 추정에 오차가 발생하는 경우 성능 열화가 발생하며, 추후 연구 방향으로서 부정확한 추정에 의한 제안 기법의 성능 열

화를 분석하고 이러한 영향을 보상하기 위한 채널 추정 방법 등을 개발하고자 한다.

참고 문헌

- [1] S. Verdu, *Multiuser Detection*, Cambridge Univ. Press, 1998.
- [2] M. Honig, U. Madhow and S. Verdu, "Blind adaptive multiuser detection," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 41, no. 4, pp. 944-960, July 1995.
- [3] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, 3rd Ed., 1996.
- [4] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1985.
- [5] 우대호, 윤태성, 변윤식, "DS-CDMA 시스템을 위한 블라인드 적응 간섭 억제에 관한 연구", *한국통신학회논문지*, 제24권, 제10B권, pp. 1995-2002, 1995년 10월.
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 3rd Ed., 1995.

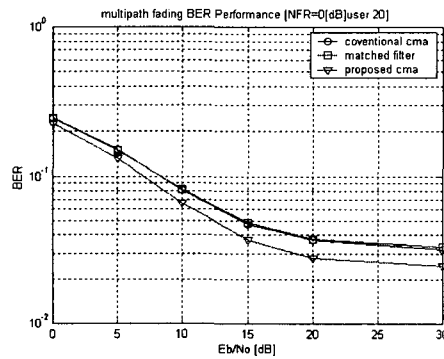


그림 5 : 다중 경로 페이딩 환경에서 성능 비교 (20명 사용자, NFR = 0 dB).

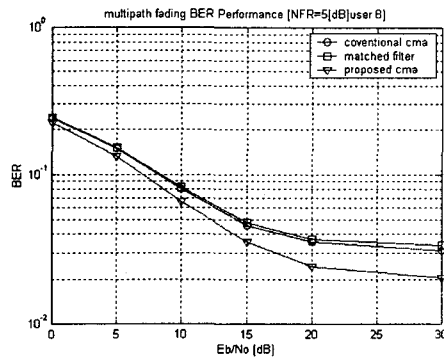


그림 6 : 다중 경로 페이딩 환경에서 성능 비교 (8명 사용자, NFR = 5 dB).