

다중 경로 DS-CDMA 채널 환경에서 채널 추정을 고려한 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거

°김병주, 신요안†

승실대학교 정보통신전자공학부

†전화 : 02-820-0632 / 팩스 : 02-821-7653

Blind Adaptive Interference Suppression Using CMA with Channel Estimation in Multipath DS-CDMA Channels

°Byung Ju Kim, Yoan Shin†

School of Electronic Engineering, Soongsil University

†E-mail : yashin@logos.soongsil.ac.kr

요약

본 논문에서는 다중 경로상의 DS-CDMA 시스템을 위해 우리가 이미 제안한 Rake 수신기와 다이버시티 결합 구조를 이용하는 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법에서 실제 채널 추정 기법을 사용할 때 부정확한 채널 추정이 성능에 미치는 영향을 검증하였으며, sliding widow averaging 형태의 단순한 채널 추정 기법을 이용할 경우 slow 페이딩 및 fast 페이딩 환경에서의 모의실험 결과 이상적인 채널 추정을 가정한 경우와 유사한 우수한 성능을 보임을 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 간섭 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 도플러 효과에 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.

우리는 상대적으로 간단한 구조를 가지면서 최소한의 정보인 원하는 사용자의 확산 신호만을 이용하여 다중 접속에 의한 MAI와 다중 경로에 의한 ISI를 효과적으로 제거할 수 있는 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법을 제안하였으며, 이 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 개선하였다[6]. 하지만 여기서는 다중 경로별 채널 특성을 완벽히 추정하였다고 가정했으므로 실제 시스템에 이용되는 채널 추정기와 이에 의한 부정확한 추정 결과가 성능에 미치는 영향에 대한 고려가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 참고문헌 [6]에서 우리가 제안한 CMA 기반의 적응 간섭 제거기에서 실제 채널 추정 기법을 사용할 때 부정확한 채널 추정이 간섭 제거

성능에 미치는 영향을 분석하고, 단말기의 이동에 따른 도플러 효과에 따라 페이딩 특성이 fast 혹은 slow 시변 특성을 보일 때, 이러한 채널 추정이 미치는 영향을 분석하여 실제 시스템에서의 성능 향상을 검증하려 한다.

2. 채널 추정을 고려한 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거

2.1 기존의 CMA 기반 블라인드 간섭 제거 기법

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

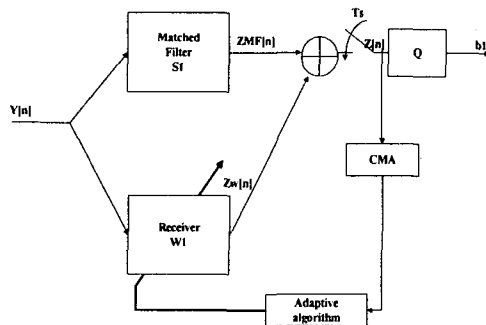


그림 1 : CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거기.

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 이용하

여 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 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.

2.2 다중경로 채널에서 채널 추정을 고려한 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. 이러한 기존 방식의 단점을 보완하여 우리는 DS-CDMA 시스템의 Rake 수신기와 다이버시티 결합 구조를 이용하는 새로운 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법을 참고문헌 [6]에서 제안하였다.

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

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

여기서, $a_i(t)$ 와 τ_i 는 각각 i ($i = 1, \dots, L$)번째 경로의 복소 채널 특성과 지연 성분이며, $c^{(k)}(t) \in \{\pm 1\}$ 는 주기가 N 이고 칩 간격이 T_c 인 k 번째 사용자의 PN 부호, $s^{(k)}(t) \in \{\pm 1\}$ 와 $\sqrt{P_k}$ 는 k 번째 사용자 신호와 이의 크기, $n(t)$ 는 AWGN이다. 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; MRC) 방식[7]에 의해 다이버시티 결합을 수행한다.

일반적으로 블라인드 적응 간섭 제거기가 순방향 링크상의 단말기 내에 적용된다는 점을 감안하여 K 명의 사용자가 동기식 접속하는 상황과 변조되지 않은 파일럿 $p(t) = \sqrt{P_0}$ 를 고려한다. 이 때 수신기로 입력되는

신호 $r(t)$ 는

$$r(t) = \sum_{i=1}^L a_i(t) [p(t - \tau_i) + \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} c^{(k)}(t - \tau_i) s^{(k)}(t - \tau_i)] + n(t) \quad (5)$$

$$\equiv \sum_{i=1}^L a_i(t) p(t - \tau_i) + \sum_{i=1}^L y_i(t) + n(t)$$

로 표현 가능하며, 동기식 접속을 가정하였으므로 파일럿 및 모든 사용자의 신호가 각 경로별로 동일한 채널 특성 $a_i(t)$ 및 τ_i 의 영향을 받는다. 따라서 각 경로별 시간 지연이 정확히 추정되었다면 파일럿을 제거한 후의 각 경로별 신호 $y_i(t)$ 는 ISI의 영향이 없이 단지 MAI에 의해서만 왜곡을 받게 된다. 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.

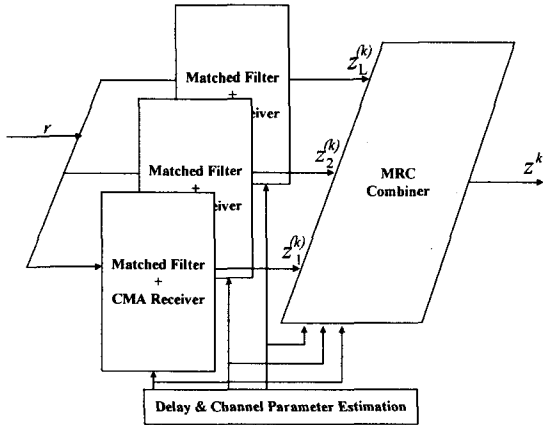


그림 2 : CMA 기반의 제안된 블라인드 적응 간섭 제거기의 구조.

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 시간 (본 연구에서는 칩 단위의 샘플링을 가정)에서 i 번째 경로 채널 진폭 성분에 대한 추정값이다. 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.

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

그림 2의 간섭 제거기 구조에서, 실제 채널 추정 기법을 사용할 때 부정확한 채널 추정 $|\hat{a}_i(n)|$ 이 CMA를 위한 식 (6)과 MRC를 위한 식 (7)에 영향을 미친다. 이러한 부정확한 채널 추정의 영향을 분석하기 위해 본 연구에서는 식 (5)의 수신 신호 $r(t)$ 를 매 칩 마다 샘플링한 신호 $r(n)$ N_p 개를 sliding window averaging 형태로 이용하는 식 (8)의 추정 기법[8]을 이용하였다.

$$\hat{a}_i(n) = \frac{1}{N_p \sqrt{P_0}} \sum_{\ell=0}^{N_p-1} r(n - \ell), \quad i = 1, \dots, L \quad (8)$$

3. 모의실험 결과

제안된 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거기에서 식 (8)과 같은 채널 추정 기법을 이용할 경우의 성능을 검증하기 위해 모의실험을 수행하였다. 이를 위해 확산 부호로서 주기 31인 m -시퀀스를 이용하였으며 (처리 이득 = 31), 다중 사용자의 동기식 접속을 가정하고 모든 사용자 신호에 대해 반송파 주파수는 1.8 GHz로 정하였다. 다중 경로 채널은 각 경로별로 진폭은 Rayleigh 페이딩 특성을, 위상은 균일 분포를 가정하여 Clark 방법에 의하여 채널 특성을 생성하였다. 표 1은 실험에 사용된 3개 경로의 채널 특성을 정리하여 보여준다.

표 1 : 모의 실험에 사용된 다중 경로 채널 환경.

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

다이버시티를 위해 MRC 결합을 고려하였으며, 각 사용자의 신호는 BPSK 변조된 랜덤 수열을 사용하였다. 배경 잡음의 경우 평균이 0이고 전력스펙트럼밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN을 고려하였다.

채널 추정은 식 (8)을 이용하였고 여기서 window의 크기 N_p 는 10개 심벌의 간격에 해당하는 310을 이용하였다. 이 때 파일럿의 전력 P_0 는 첫 번째 사용자의 전력 P_1 의 25배 (14 dB)로 정하였다.

첫 번째 사용자 ($k=1$)를 우리가 검출하고자 하는 사용자로 정하였으며, 순방향 전력제어의 의해 아래에

정의되는 NFR (near-far ratio)을 갖는 다원 접속 간섭 신호들을 설정하였다.

$$\begin{aligned} \text{NFR}_k &= 10 \log_{10} \left(\frac{k\text{th User Power}}{1\text{st User Power}} \right) \\ &= 10 \log_{10} \frac{P_k}{P_1} \quad [\text{dB}] \quad (9) \\ &(k = 2, \dots, K) \end{aligned}$$

그림 3과 4는 $K=8$ 명 사용자가 동기식 접속하고 $\text{NFR}_k=5$ dB ($k=2, \dots, 8$)일 때 각각 단말기의 이동 속도가 3 km/h (보행자, slow 페이딩) 및 60 km/h (고속 이동체, fast fading)의 경우에 대한 비트오율 (BER) 성능을 도시한다. 여기서는 완벽한 채널 추정을 가정한 경우 ("perfect estimation")과 식 (8)의 추정 방식을 이용하는 경우 ("average estimation")을 비교하며, 이 결과로부터 적절한 채널 추정에 의해 이상적인 경우와 유사한 성능을 얻게됨을 알 수 있다. 참고문헌 [6]에서는 본 제안 방식의 이상적인 채널 추정시의 결과와 참고문헌 [5] 등의 여타 방법과의 성능 비교 결과를 제시하고 있으며, 본 제안 방식에 의한 월등한 성능 향상 결과를 보이고 있다. 따라서 본 제안 방식은 단순한 형태의 채널 추정 기법을 적용하여도 여타 방법에 비해 우수한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 다중 경로 상의 DS-CDMA 시스템을 위해 우리가 참고문헌 [6]에서 제안한 Rake 수신기와 다이버시티 결합 구조를 이용하는 CMA 기반의 적응 간섭 제거 기법에서 실제 채널 추정 기법을 사용할 때 부정확한 채널 추정이 성능에 미치는 영향을 분석하였다. Sliding widow averaging 형태의 단순한 채널 추정 기법을 이용할 경우 slow fading 및 fast fading 환경에서의 모의실험 결과 이상적인 채널 추정을 가정한 경우와 유사한 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 향후 연구 방향으로서 채널 추정 시 사용되는 window의 크기 N_p 에 따른 성능 변화에 대한 분석이 필요하다.

참고 문헌

[1] S. Verdu, *Multuser Detection*, Cambridge University Press, 1998.
 [2] M. Honig, U. Madhow and S. Verdu, "Blind adaptive multuser 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.
 [6] 김병주, 신요안, "다중 경로 DS-CDMA 채널을 위한 CMA 기반의 블라인드 적응 간섭 제거," *제13회 신호처리합동학술대회 논문집*, pp.33-36, 2000년 9월.
 [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 3rd Ed., 1995.
 [8] A J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.

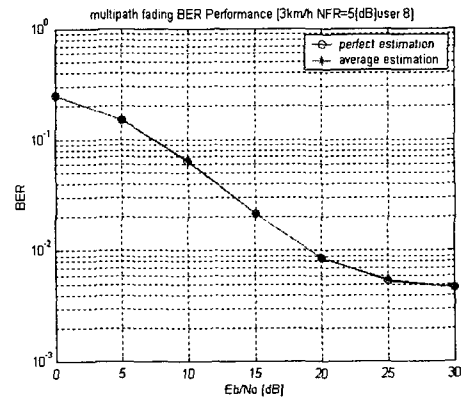


그림 3 : 다중 경로 페이딩 환경에서 단말의 저속 이동시 (3 km/h) 채널 추정을 고려한 BER 성능 비교.

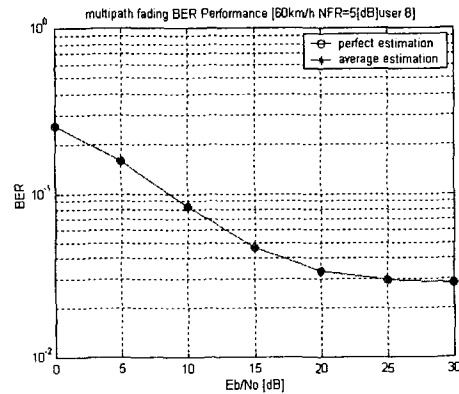


그림 4 : 다중 경로 페이딩 환경에서 단말의 고속 이동시 (60 km/h) 채널 추정을 고려한 BER 성능 비교.