

# 멀티캐리어 DS-CDMA를 위한 적응 간섭 억제기에 관한 연구

우대호\*, 장병건\*\*, 변윤식\*

\* 시립 인천대학교 전자공학과, \*\* 시립 인천대학교 전기공학과

## A Study on Adaptive Interference Suppressor for Multicarrier DS-CDMA

Dae-Ho Woo\*, Byung-Kun Chang\*\*, Youn-Shik Byun\*

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

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

### Abstract

In this paper, we choice multicarrier direct-sequence code division multiple access using bandwidth effectively in communication system. Because this system is based on DS-CDMA, the same problem is raised. That is, the degradation of the performance is due to multiple access interference. To solve this problem, we proposed the blind adaptive receiver for MC DS-CDMA system. Simulation results show that the proposed blind receiver has more about 0.5[dB] value of SNR than conventional receiver.

### I. 도입

현재의 이동 통신 시스템에서 고속 데이터를 전송하기 위하여 광 대역으로 전송하는 통신 방식인 광대역 코드 분할 다중 접속 방식이 채택되어졌다. 이는 IMT-2000의 표준화 방법중 하나에 속한다. 현재 사용하고 있는 DS-CDMA 시스템에서 사용되는 레이크 수신기를 WCDMA에서 사용하고자 한다면 많은 문제가 발생되어진다. 단일 반송파를 사용하는 WCDMA 레이크 수신기를 고려하여 보자. 이 레이크 수신기는 많은 경로로부터 들어오는 신호를 수신 할 수 있는 능력을 지니고 있어

본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터 지원에 의한 것입니다.

야 한다. 이때 들어오는 신호의 전력은 점점더 낮은 전력의 신호가 수신되어진다. 이런 문제점을 극복하기 위해서 여러 부대역을 분할하여 사용하는 다중 반송파 광대역 CDMA가 고려되어졌다. 이 전체 대역은 단일 반송파를 사용하는 시스템의 대역폭과 동일하다. 각각의 부대역에서는 레이크가 해결 할 수 있는 경로의 수가 점점 감소를 하는 반면에, 더 높은 전력의 신호를 각 경로로부터 복구 할 수 있다. 만약 MC 부 대역의 대역폭이 채널의 코히런트 대역폭에 근접한다면, MC 부 대역은 페이딩 비 선택적이 될 것이고, 모든 다중 경로 에너지는 단일 경로에서 모아질 것이다. Kondo와 Milstein은 경로 다이버시티 이득 대신에 주파수 다이버시티 이득의 증가를 초래하는 MC DS-DMA 방법을 기존 SC 시스템의 대안으로 제안하였다. 이들은 반송파의 독립적인 페이딩, 각 부대역에서 비 선택성등 이런 가정 하에서 MC 시스템의 성능을 분석하였다. MC DS-CDMA 시스템은 여러 개의 반송파를 지니고 있으므로, 시스템의 전체 대역폭은 여러개의 등가 대역폭을 분리되어진다. 그런 후에 각 반송 주파수는 칩 주기를 가진 확산 수열에 의해 변조되어진다. MC 시스템은 더욱 적은 칩율이 요구되어진다. MC 시스템은 낮은 스피드, 병렬 신호처리가 요구되어진다. SC 시스템은 이와 반대로 빠른, 직렬 신호처리가 요구되어진다. MC 시스템은 저 전력 소모 장치에 아주 유용한 방식이다. DS-CDMA 시스템에서는 다중 접속 간섭은 선형 상관 수신기의 성능을 저하시키는 중요 요인으로 작용한다. 기지국에서 발생하는 다중 접속 간섭 문제를 원근 문제라고도 불리운다. MC DS-CDMA에서 발생하는 원근 MAI를 억제하기

위해서 Xu와 Milstein은 최소 평균 제곱 수신기를 제안하였다. 이 수신기는 각 부반송파의 모든 경로를 위한 부분 상관기를 제공한다. 각 상관기들의 출력들은 처리 이득보다 훨씬 적은 탭 수를 가진 MMSE 필터에 의해서 적용적으로 결합되어진다. MC-MMSE 수신기는 MC-RAKE 수신기보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 보여 주고 있다. MC DS-CDMA는 페이딩과 다양한 간섭의 효과를 줄일수 있는 효율적인 접근 방식이다. 따라서 본 연구에서는 MC DS-CDMA에서 발생하는 다중 접속 간섭과 느린 페이딩 채널하에서 발생하는 부분 대역 간섭 하에서 Xu의 MMSE 방법과 제안된 간섭 방법을 비교 분석 하고자 한다. 우선, 다음 장에서 시스템 모델을 살펴보고자 한다<sup>[1]-[3]</sup>.

## II. MC DS-CDMA 시스템 모델

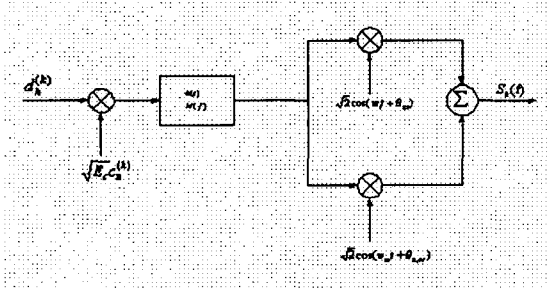


그림 1. 송신기 모델

MC DS-CDMA에서 송신기가 그림 1에 나타나 있다.

$k$  번째 사용자 신호,  $S_k(t)$ 는 다음 식(1)과 같이 주어진다.

$$S_k(t) = \sqrt{2P_k} \sum_{i=-\infty}^{\infty} d_k^{(i)} p_k^T(t - iT - \tau_k) \cdot \sum_{m=1}^M \cos(w_m t + \theta_{k,m}) \quad (1)$$

여기서  $P_k$ 는 각 노드에 전송되어진 전력이고,  $d_k^{(i)}$

±의 값을 가지는  $i$ 번째 데이터 비트,  $T$ 는 데이터 비트 구간,  $\tau_k$ 는 0부터  $T$ 사이의 값을 가지는 임의의 시간 지연 균일한 분포를 지닌다. 또한  $w_m$ 은 부 반송파 주파수,  $\theta_{k,m}$ 은 0부터  $2\pi$ 구간을 가지는 랜덤 반송파 위상 균일한 분포를 가지고,  $p_k^T(t)$ 는 확산 파형을 의미하며, 식(2)와 같다.

$$p_k^T = \sum_{n=0}^{N-1} c_k^{(n)} h(t - nMT_c) \quad (2)$$

여기서  $c_k^{(n)}$ 은 확산 수열의  $n$ 번째 칩을 의미하고,  $N$ 은 처리 이득,  $h(t)$ 는 칩 성형 필터의 임펄스 응답을 나타낸다.  $1/MT_c$ 는 대역이 제약되어진 MC DS-CDMA 시스템의 칩 율이고,  $1/T_c$ 은 대역이 제한되어진 SC DS-CDMA 시스템의 칩 율을 나타낸다. 채널의 통과한 후에 수신된 신호  $r(t)$ 는 다음 식(3)과 같이 나타내어진다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \left\{ \sqrt{2E_c} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_k^{(i)} c_n^{(k)} h(t - nMT_c - \tau_k) \cdot \sum_{i=1}^M \alpha_{k,i} \cos(w_i t + \theta_{k,i}) \right\} + n_w(t) + n_f(t) \quad (3)$$

여기서  $\alpha_{k,i}$ 는 단위 2차 모멘트를 가지는 레일리 랜덤 변수이고,  $n_w(t)$ 는  $\eta_0/2$ 의 전력 스펙트럼 밀도를 가지는 부가 백색 가우시안 잡음이다.  $n_f(t)$ 는 부분 대역 가우시안 간섭이다.

## III. MC-MMSE 수신기

Xu에 의해서 제안되어진 MC-MMSE 수신기가 참고 문헌[1]에 나타나 있다. MMSE는 첫 번째 사용자의 경우만을 고려한 것이다. 즉 사용자에 대한 전력은 1이고, 지연은 없다고 가정하였다. 첫 번째 사용자에 대하여서는 동기 시스템으로 고려해도 무방하다.  $m$ 번째 부반송파의  $l$ 번째 지역통과 필터의 출력은 다음 식(4)와 같이 나타내어진다.

$$y_{m,l}(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} \sum_{i=0}^{\infty} \epsilon_{k,m,l} d_k^{(i)} p_k(t - iT - \tau_{k,l}) + n_m(t) + n_{j_m}(t) \quad (4)$$

식(4)로부터 다시 확산 코드를 곱하여 다음 식(5)와 같은 출력을 나타낼 수 있다.

$$z_{m,l} = y_{m,l}(t) c_1^{(n)} \quad (5)$$

식(5)로부터 직접 검출하고자 하는 사용자의 정보 비트를 바로 검출 할 수 있다.

$$\hat{d}_1 = \text{sgn}(w'z) \quad (6)$$

여기서  $w$ 는 조건 평균 제곱 오차를 최소화하는 값을 선택하기 위해 2차 비용함수를 사용하였다. Xu의 MMSE 기법의 최종 갱신식을 구하여 보면 다음과 같다.

$$w(i+1) = w(i) + \mu e(i)z(i) \quad (7)$$

#### IV. 제안된 수신기

MC DS/CDMA에서 발생하는 다중 접속 문제를 제거하기 위해 다음과 같이 다른 사용자들에 대한 정보가 필요하지 않는 블라인드 기법에 제안하고자 한다. 제안된 방법은 처음에 단일 반송파 DS/CDMA 시스템에서 적응 간섭 문제를 억제 하기 위하여 제안 되어 졌다. 이제 본 연구 에서는 다중 반송파로 확장하여 그 성능을 검증하고자 한다. 이에 우선 제안된 시스템의 구조를 살펴 보면 다음과 같다. 제안된 블라인드 CMA 적응 간섭 억제기는 기존의 Blind MOE 구조를 이용하여 다중 접속에 의해 발생하는 MAI만을 억제하던 것에 비해, 제안된 간섭 억제기는 MAI와 ISI를 동시에 억제할 수 있도록 제안된 구조이다. 일반적으로 순방향 채널에서 사용되며 적응 간섭 억제기는 단일 사용자 정보를 검출하는 단일 사용자 검출기이다. 단일 사용자 검출기는  $k$ 명의 사용자가 공동의 채널에 동시에 존재한다고 가정한다면, 블라인드 CMA 적응 수신기에 수신된 신호는 다음 식(8)과 같이 표현되어진다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=-M}^M b_k(i) s_k(t-iT) + U_I + n(t) \quad (8)$$

위의 식(8)에서  $k=1$ 인 경우를 검출하고자 하는 사용자로 가정하고자 한다. 위의 식(8)을 다음 식(9)와 같이 다시 나타내어질 수 있다.

$$r(t) = \sum_{i=-M}^M A_1 b_1(i) s_1(t-iT) + \sum_{k=2}^K \sum_{i=-M}^M A_k b_k(i) s_k(t-iT) + U_I + n(t) \quad (9)$$

위의 식(9)에서 첫 번째 항은 검출하고자 하는 사용자의 신호이고, 두 번째 항은 다중 접속에 의해 발생하는 간섭, 그리고

세 번째 항은 새로운 사용자 간섭에 의한 성분을 나타내고, 마지막 항은 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 위의 식(9)에서 수신된 신호  $r(t)$ 로부터 칩 샘플링 되어진 후의 신호를  $r(i)$ 로 나타내었다.

$$r(i) = \int_{T_c} r(t) dt \quad (10)$$

따라서,  $r(i)$ 로부터 검출하고자 하는 사용자의 신호만을 검출하기 위해서는 다음과 같은 블라인드 적응 간섭 억제기를 구성하였다. 블라인드 CMA 적응 수신기에 입력된 다중 사용자의 신호로부터 MAI와 새로운 사용자 간섭, 잡음을 억제하고자 한다. 단지 이 수신기에서는 검출하고자 하는 사용자의 확산 파형만을 필요로 한다. 블라인드 CMA적용 수신기의 수신된 신호  $r(i)$ 는 정합필터와 적응 수신기의 공통 입력이다. 동시에 정합필터의 출력부분에서는 우리가 검출하고자 하는 사용자의 정보와 간섭에 의해 발생하는 정보가 출력에 존재하고, 적응 수신기 부분에서는 MAI와 잡음에 의한 간섭을 억제 하고자 한다. 두 출력의 합에 의해서 결국 검출하고자 하는 사용자의 신호가 검출되어진다. 즉 적응 수신기와 정합필터는 다음 식(11)과 같은 관계가 존재한다.

$$\langle s, w \rangle = 0 \quad (11)$$

수신기의 적응 부분의 계수 갱신식을 얻기 위하여 다음 식(12)와 같은 비용함수를 정의하고자 한다.

$$J(i) = E[|e(i)|^2] \quad (12)$$

여기서 오차 신호  $e(i)$ 는 CMA를 이용하여 추정되어진다. 즉 다음 식(13)과 같다.

$$e(i) = |z(i)|^2 - \delta \quad (13)$$

여기서  $z(i)$ 는 정합필터와 블라인드 적응 수신기의 출력의 합이다. 비용함수를 이용하여 적응 수신기의 계수 갱신식은 다음 식(14)와 같이 얻어진다.

$$w(i+1) = w(i) - 4\mu e(i) |z(i) y^*(i) \quad (14)$$

블라인드 CMA 적응 간섭 억제기는 다중 접속에 의해 발생하는 간섭과 심벌간에 의해 발생하는 ISI를 동시에 억제하기 위해 제안된 구조이다.

#### V. 모의 실험 및 고찰

아래의 모의 실험에서 사용된 조건은 다음과 같다. 즉 정보 데이터 신호는  $\pm 1$ 의 값을 가지는 BPSK 형태의 랜덤 수열이다. 이때 사용된 확산 코드의 길이는 31, 또한 잡음은 평균이 0 이고 분산이  $\sigma^2$ 인 백색 가우시안을 사용하였다. 각 수신기의 성능을 판별하기 위해서 SIR과 BER을 사용하였다.

$$SIR = \frac{A_1^2(w^T s_1)}{\sigma^2(w^T w) + \sum_{k=2}^K A_k^2(w^T s_k)} \quad (15)$$

### 5-1. 가우시안 환경 하에서 모의 실험

아래 그림 2는 SNR=30[dB]이고, 총 4 명의 사용자가 존재할 때, 가우시안 환경하에서 모의 실험 결과이다. 다중 반송파를 이용하는 시스템에서 블라인드 적응 수신기를 적용한 신호대 간섭비가 아래 그림 2에 나타나 있다. 두 수신기 모두 잡음이나 채널에 대해서 어느 정도 견인성을 지니고 있음을 알 수 있다. 반복 횟수가 증가함에 따라서 제안된 방식이 조금 더 나은 신호대 간섭비를 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 3은 동일한 조건하에서 SNR을 0[dB]부터 18[dB]까지 변화시키면서 비트 오류를 측정 한 그래프이다. 그림 3에 나타나는 BER 곡선은 제안된 방법이 기존 보다 SNR이 약 0.5[dB]정도 향상되었음을 보여 주고 있다.

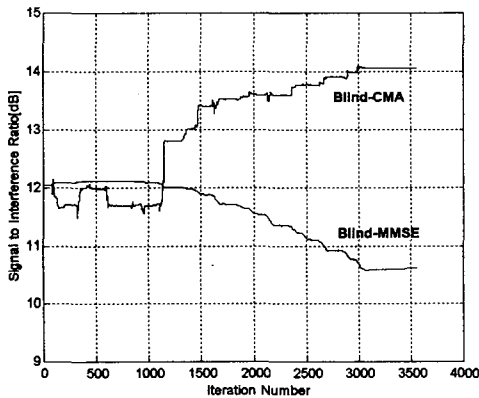


그림 2. 블라인드 적응 수신기의 SIR 수렴 곡선

## VI. 결 론

기존 DS-CDMA 방식은 반송파 측면에서 분류하면 SC DS-CDMA에 해당 된다. 이는 채널에 대한 영향을 많

이 받고 있다. 반면에 다중 반송파를 사용하는 MC DS-CDMA 시스템은 여러개의 주파수를 이용함으로써, 기존 방식보다 채널이나 다중 접속 간섭에 의한 영향을 더 적게 받고 있음을 알 수 있다. 가우시안 환경하에서 모의 실험 결과로부터 우리는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 다중 반송파를 사용하는 시스템은 채널의 영향과 간섭의 영향을 더욱 적게 받고 있다. 고로 이를 특성을 바탕으로 블라인드 수신기도 또한 강건한 특성을 지님을 알 수 있었다.

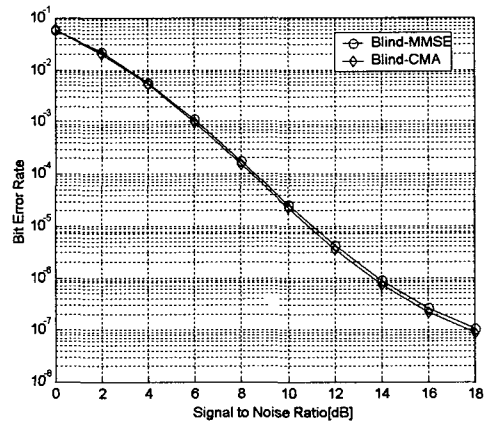


그림 3. 블라인드 수신기의 BER 곡선

## 참고문헌

- [1] S. Kondo, L. B. Milstein, "On the performance of Multicarrier DS CDMA Systems", *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.44, No.2, pp.238-246, Feb. 1996.
- [2] W. Xu, L. B. Milstein, "On the performance of Multicarrier Rake Systems," *Proc. of Globecom 97*, Vol. 1, pp.259-299, Phoenix, Nov. 1997.
- [3] W. Xu, *Interference Suppression Techniques for Multicarrier DS-CDMA*, Ph.D. Dissertation, University of California, San Diego, 1998.
- [4] Dae-Ho Woo, Dae-Kyu Kim, Tae-Sung Yoon, and Youn-Shik Byun, "A Study on Blind Adaptive Receiver for DS-CDMA Systems", *Proceedings of ITC-CSCC'99*, pp.277-280, July 1999.