

다중 반송파 DS-CDMA 시스템을 위한 블라인드 MOE-PIC 다중사용자 검출기

정회원 우 대 호*, 이 승 용** 종신회원 변 윤 식*

Blind MOE-PIC Multiuser Detector for Multicarrier DS-CDMA Systems

Dae ho Woo*, Seung yong Lee**, Youn shik Byun* *Regular Members*

요 약

이동 통신 시스템에서 도플러 효과에 의해 주파수 선택적 페이딩 현상이 발생한다. DS-CDMA 시스템은 주파수 선택적 채널 하에서 다중 사용자 간섭의 영향에 의해서 성능이 급격하게 저하 된다. 이를 극복하기 위해서 다중 반송파 변조 방법을 채택하여 주파수 선택적 채널 효과를 극복할 수 있다. 그리고 다중 사용자 접속으로 인한 간섭 문제는 다중 사용자 검출 기법을 적용하여 해결 할 수 있다. 본 논문에서는 블라인드 다중 사용자 검출 기법과 병렬 간섭 제거기를 결합한 형태의 블라인드 MOE-PIC 다중 사용자 검출 기법을 제안하였다. 모의실험 결과 제안한 방식이 기존의 방식보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다.

Key Words : Blind, Multiuser Detector, Minimu Output Energy, Multicarrier DS-CDMA, Parallel Interference Canceller

ABSTRACT

Frequency selective fading occurs due to the Doppler Effect in mobile communication systems. The performances of the systems are rapidly reduced due to effect of multiuser interference under frequency selective channels at DS-CDMA systems. To overcome these problems, we adopted the multi-carrier modulation techniques, and it is able to solve the frequency selective channel effects by means of these modulation techniques, and interference problems due to multiuser access are solved by means of multiuser detection techniques. In this paper, we proposed the blind MOE/PIC multiuser detection method which is composed of both the blind multiuser detection technique and parallel interference canceller. Thus, simulation results show that the proposed method performs better than conventional methods.

I. 서 론

무선 이동 통신 시스템은 사용자의 증가로 인한 많은 문제가 발생 하였고 그 동안 다중 사용자로 인한 문제점 해결을 위한 다양한 기법들이 연구되어 왔다. 무선 이동 통신 기술은 코드 분할 다중 접

속 방식이 현재 널리 사용되고 있으며 직접 대역 확산 코드를 사용한다. DS-CDMA 기술은 다수의 사용자가 시간과 주파수를 공유하고 각 사용자에게 할당된 확산 코드열을 이용하여 송수신하는 시스템이다. 그러나 각 사용자에게 할당된 확산 코드열은 다양한 채널 효과에 의해 완전한 직교성을 유지하

* 인천대학교 전자공학과(dhwoo,byun}@incheon.ac.kr), ** LG전자 (symphonyx@incheon.ac.kr)
논문번호 : KICS2004-06-057, 접수일자 : 2004년 6월 23일

기 힘들기 때문에, 확산 코드열 사이에 상호 상관이 존재하게 되어 시스템의 성능을 열화 시키는 다중 사용자 간섭 성분이 발생하며 시스템의 용량 및 성능을 제한하게 한다. 이 근본적인 문제를 해결하기 위해서 사용자 사이의 간섭을 제거해야 하는데 이 분야가 바로 간섭 제거 분야이며 기지국과 같은 역방향 채널에서 다수의 사용자의 입력을 동시에 처리하기 위한 기술이 다중 사용자 검출 기법으로 불리어지고 있다¹⁾.

DS-CDMA 시스템은 주파수 선택적 페이딩 채널 하에서 데이터의 서비스의 질을 보장하지 못한다. 이를 문제점을 해결하기 위한 방안으로 멀티 캐리어 방식이 연구 되어왔고 이를 기존 통신 방식과 결합하여 견실한 특성을 지니는 방안으로 진행 되어왔다²⁾.

본 논문에서는 OFDM과 결합된 방식 중 S. Kondo와 L.B. Milstein에 의해서 제안된 방식을 사용하고자 한다. 이 방식을 선택한 이유는 현재 사용 중인 이동 통신 방식을 그대로 유지하면서 간단한 구조적인 변경을 통하여 더 많은 사용자를 확보할 수 있고, 멀티미디어 데이터의 효율적인 전송이 가능하기 때문이다. 또한 멀티 캐리어 구조를 통하여 여러 가지의 장점을 지니고 있다. 첫째는 다중 경로에 강하다는 것이고, 둘째는 협대역 간섭 억제 효과를 지닌다는 것이다.

마지막으로 DS-CDMA 보다 더 낮은 칩률을 사용한다는 것이다. MC/DS-CDMA 방식은 시스템의 전체 대역폭을 M개의 동일한 주파수 대역으로 나누어지기 때문에 각 부반송파 주파수는 전체 대역폭을 동일하게 사용하는 싱글 캐리어 시스템 보다 M배의 긴 칩 주기를 갖는 확산 수열에 의해서 변조된다. 칩 주기가 DS-CDMA 방식보다 길기 때문에 심볼간 간섭을 줄일 수 있다³⁾.

MC/DS-CDMA 시스템은 DS-CDMA 시스템에서와 같이 다중 접속으로 인하여 다중 사용자 간섭과 원근 효과와 같은 문제들이 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위해서 CDMA에서는 역상관 검출기 MMSE 검출기 등이 연구되었다. 이런 방식들은 모두 준 최적 검출기로서 다중 사용자 간섭의 성분을 소거하여 검출하고자 하였다. MMSE 기법은 다중 사용자 간섭 성분을 제거하기 위해서 훈련 심볼이 필요하다. 이런 종류의 수신기는 채널이 빠르게 변화는 상황 하에서는 수신기에 부담으로 작용한다. 이런 문제를 해결한 것이 바로 블라인드 기법이다. 블라인드 다중 사용자 검출 기법은 최소 출력 에너

지에 의해서 다른 사용자의 성분을 제거할 수 있도록 가능하게 하는 수신기이다⁴⁾⁵⁾. 참고 문헌[8]에서는 이미 다중 반송파 DS-CDMA 시스템에 발생하는 다중 접속 간섭을 억제하기 위해서 MOE 알고리즘을 적용하였다. 본 논문에서는 이를 기초로 하여 PIC 알고리즘 구조로 확장한 MOE-PIC 블라인드 다중 사용자 검출기를 제안하고자 한다. 페이딩 환경 하에서 성능을 향상 시키고자 하였다. 우선 멀티 캐리어를 사용하는 시스템에 대하여 살펴보고자 한다.

II. MC/DS-CDMA 시스템

본 논문에서 사용된 시스템의 모델은 아래의 그림 1과 같으며, 이 그림에서는 k번째 사용자를 위한 송신기 블록 다이어그램이다.

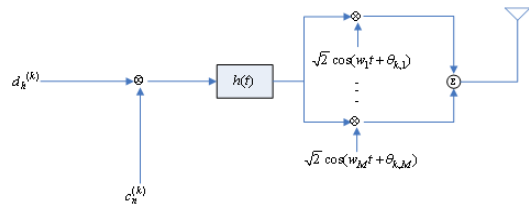


그림 1. MC/DS-CDMA를 위한 k번째 사용자의 송신기
Fig 1. Transmitter of the kth user for MC/DS-CDMA

그림 1에서와 같이 랜덤 이산 정보 데이터의 의사 랜덤 확산 수열에 의해서 곱해진다. 그리고 $d_k^{(k)}$ 의 각 비트는 $c_k^{(k)}$ 의 한 주기에 스패 된다. 각 사용자는 고유의 확산 수열을 가진다. T_c 는 대역 제한된 단일 반송파 DS-CDMA 시스템의 칩 주기이다. 따라서 이 시스템의 대역폭은 $B = (1 + \alpha)1/T_c$ 이다. 여기서 α 는 시스템의 초과 대역폭의 측정값이다. 다중 반송파 시스템에서 전체 대역폭이 대역 제한된 단일 반송파 시스템의 대역폭과 같다고 가정하고 모든 부 대역은 주파수에서 흩어져 있다. 즉 각 부반송파의 대역폭은 $B_m = (1 + \alpha)1/MT_c$ 이다. 여기서 MT_c 는 다중반송파 시스템의 칩 구간이고, M 은 반송파의 수이다. 따라서 전송된 신호 $S_k(t)$ 는 다음 식과 같다.

$$S_k(t) = \sqrt{2E_c} \sum_n \sum_{i=1}^M d_n^{(k)} c_n^{(k)} h(t - nMT_c - \tau_k) \cos(\omega_i t + \theta_{k,i}) \quad (1)$$

여기서 E_c 는 칩당 에너지, $h = |n/M|$, $h(t)$ 는 칩 성형 필터의 임펄스 응답, $\theta_{k,i}$ 는 $[0, 2\pi]$ 사이의 랜덤

반송과 위상이 균일하게 분포하고 τ_k 는 $[0, NMT_c]$ 에서 균일한 분포를 가지는 임의의 시간 지연이다. 본 논문에서 사용된 채널의 지연 확산을 가지고 느리게 변하는 주파수 선택적 채널이라고 가정하였다. 채널을 통과하여 수신된 신호는 다음 식(3)과 같이 표현된다.

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

여기서 $\theta_{k,i} = \theta_{k,i} + \beta_{k,p}$, $n_w(t)$ 는 $n_0/2$ 의 전력 스펙트럼 밀도를 가진 부가 백색 가우시안 잡음이다. 수신된 신호로부터 첫 번째 사용자의 상관기 출력력을 구하고자 하면 다음과 같은 저역 통과 필터의 출력력을 구하여야 한다.

$$y_{i,i}(t) = S_{y_i}(t) + I_{y_i}(t) + J_{y_i}(t) + N_{y_i}(t) \quad (4)$$

여기서

$$\begin{aligned} S_{y_i}(t) &= \sqrt{E_c} a_{1,i} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_h^{(1)} c_n^{(1)} x(t - nMT_c), \\ I_{y_i}(t) &= \sum_{k=2}^K \sqrt{E_c} \xi_{k,i} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_h^{(k)} c_n^{(k)} x(t - nMT_c - \tau_k), \\ J_{y_i}(t) &= Lp\{n_{i,i}'(t)\sqrt{2} \cos(w_i t + \theta_{1,i}')\}, \\ N_{y_i}(t) &= Lp\{n_{w,i}'(t)\sqrt{2} \cos(w_i t + \theta_{1,i}')\}, \\ \xi_{k,i} &\equiv a_{k,i} \cos \phi_{k,i}, \phi_{k,i} = \theta_{k,i} - \theta_{1,i}' \text{ 이다.} \end{aligned}$$

위의 식에서 첫 번째 항은 신호 성분이고 두 번째 항은 나머지 사용자들로부터 발생하는 다중 접속 간섭 성분, 세 번째 항은 자기 대역으로 인하여 발생하는 간섭 성분, 그리고 마지막 항은 잡음에 의한 성분이다. Lp 는 저역 통과 필터이다. i 번째 상관기의 신호 출력 Z_i 를 표시하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i = S_{Z_i} + I_{Z_i} + J_{Z_i} + N_{Z_i} \quad (5)$$

여기서 S_{Z_i} 는 검출하고자 사용자의 신호 성분이 상관기 출력 신호이고, I_{Z_i} 는 다중 접속 성분이 상관기를 통과한 값이고, J_{Z_i} 는 자기 대역 성분이 상관기를 통과한 값이다. 마지막으로 상관기 출력 후에 존재하는 잡음 성분이다. 다음절은 수신기에서 사용되어질 다중사용자 검출기법 중 제안된 블라인드 MOE-PIC 다중사용자 기법에 대해 알아보도록 하겠다.

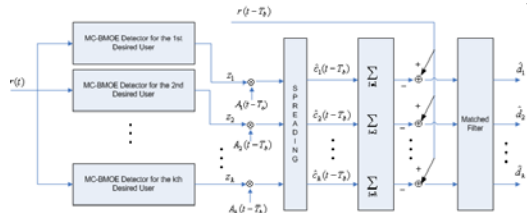


그림 2. 다중 반송과 DS-CDMA를 위한 블라인드 MOE-PIC 다중 사용자 검출기
Fig 2. Blind MOE-PIC Multiuser Detector for Multicarrier DS-CDMA

III. 제안된 블라인드 MOE-PIC 다중 사용자 검출기

병렬간섭제거기는 각 사용자에게 대한 모든 MAI를 병렬로 추정하고 동시에 제거하는 방식이다. 첫 번째 사용자의 수신기를 고려한 블라인드 MOE를 적용한 PIC는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 입력되는 z_1, z_2, \dots, z_k 값은 Blind MOE의 출력들이다. i 번째 부반송파에서 저역 통과 필터의 출력은 위의 식(4)과 같이 나타낼 수 있다. 표기법을 간단히 하기 위해서, 즉 사용자 1에 대한 표기를 생략하고자 한다. 칩 간격 샘플링 이후의 신호 $y(i)$ 는 다음 식(5)과 같이 표현된다.

$$y(i) = [y_1(i) \quad y_2(i) \quad \dots \quad y_M(i)]^T \quad (5)$$

우선 다중 반송파에 의한 출력 신호 $y(i)$ 로부터 MOE를 이용한 블라인드 다중 사용자 검출기법을 적용하여 다중 접속 간섭을 제거하여 시스템의 성능을 높이고자 한다. 적용 부분을 갱신하기 위한 갱신 규칙을 적용하고자 한다. 기존 사용자 1에 대한 1번째 반송파에 대한 정합 필터의 출력은 다음 식(6)과 같이 정의한다.

$$Z_{MF_1}(i) = \langle y_1[i], c_n^{(1)} \rangle \quad (6)$$

간섭 부분을 제거하기 위한 적응 부분에 대한 출력력은 다음 식(7)과 같다.

$$Z_{1,1}(i) = \langle y_1(i), x_n^{(1)} \rangle \quad (7)$$

Blind MOE의 출력력은 $Z_1(i) = Z_{MF_1}(i) + Z_{1,1}(i)$ 이며, 다음 식(8)과 같이 나타난다.

$$Z_1(i) = (c_n^{(1)} + x_n^{(1)}(i-1)^T) y_1(i) \quad (8)$$

모든 반송파의 출력을 더한 값으로부터 전송된 데이터를 추정할 수 있다

$$z_1 = \text{sign}(Z(i)) \quad (9)$$

여기서 $Z(i) = Z_1(i) + Z_2(i) + \dots + Z_M(i)$ 이다. 위의 식(8)에서 $x_n^{(1)}$ 에 대한 기울기를 구하면 다음 식(10)와 같이 나타낼 수 있다

$$2(c_n^{(1)} + x_n^{(1)}(ti-1)^T)y_1(i) \quad (10)$$

여기에서 $y_1(i)$ 의 성분 중 검출하고자 하는 성분은 $c_n^{(1)}$ 에 수직한 성분이기 때문에 다음과 같이 y 신호 중에서 $c_n^{(1)}$ 의 방향 성분을 제외시킨다

$$y_1(i) - (c_n^{(1)}y_1(i))c_n^{(1)} \quad (11)$$

위의 결과를 이용해서 최종적으로 다음 식(12)과 같이 블라인드 다중 사용자 검출기를 위한 적응 알고리즘을 나타낼 수 있다

$$x_n^{(1)}(i) = x_n^{(1)}(i-1) - \mu Z_1(i)(y_1(i) - Z_{MF_1}(i)c_n^{(1)}) \quad (12)$$

위의 식(12)는 사용자 1의 경우에 간섭 성분을 제거하기 위해서 적응 부분을 갱신하기 위한 식이다. MOE를 통해 검출된 신호는 병렬 간섭 제거기로 입력된다. 입력된 값으로 병렬 간섭 제거기에서 사용자 k 에 대해 다중 접속 간섭의 추정값을 제거한 후의 결과식은 식(13)과 같이 나타낼 수 있다

만약 동기가 맞춰졌다면 τ_k 와 τ_i 는 0의 값을 가진다.

$$\begin{aligned} p_k(t - T_b) &= r(t - T_b) - \sum_{i \neq k}^K \hat{u}_i(t - T_b) = \\ & d_k(t - \tau_k - T_b)A_k(t - \tau_k - T_b)c_k(t - \tau_k - T_b) \\ & + n(t - T_b) + \left\{ \sum_{i \neq k}^K (d_i(t - \tau_i - T_b) - \right. \\ & \left. \hat{z}_i(t - \tau_i - T_b)A_i(t - \tau_i - T_b)c_i(t - \tau_i - T_b)) \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

마지막으로 이 값을 다시 정합필터를 통과시킨 후 추정값은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$\hat{d}_k(i) = \text{sign} \langle p_k(t - T_b), c_k(t - \tau_k - T_b) \rangle \quad (14)$$

IV. 모의실험 환경 및 결과

제안한 MOE-PIC 다중사용자 검출기의 성능을 알아보기 위해서 역방향 링크의 환경을 설정하여 모의실험을 하였다. Monte Carlo 방식으로 시뮬레이션 하였으며 랜덤하게 10000개의 이산 신호를 발생시켜 실험하였다. 다중 반송파 DS-SS-CDMA 시스템의 역방향 링크의 실험 조건은 사용자가 10명, 확산수열은 31의 길이를 갖는 gold sequence를 사용하였다. 반송파의 개수는 4개이고, 부가 백색 가우시안 잡음과 단일 경로의 Rayleigh flat fading 채널에서 모의실험 하였다. 다중 반송파 DS-SS-CDMA 수신기에서는 주파수, 위상, 확산 수열의 정확한 동기화 이루어졌다고 가정하였다. Blind MOE의 적응 스텝은 AWGN에서 6×10^{-4} , Rayleigh flat fading에서는 3.5×10^{-4} 으로 설정하였다. 다음 그림 3은 부가 백색 가우시안 잡음 하에서 모의실험 결과이다. 제안한 MOE-PIC 다중 사용자 검출기의 성능을 알아보기 위해서 기존 검출기 방식과 Blind-MOE, PIC, 그리고 제안한 MOE-PIC 방식을 비교 하였다. 모의 실험 결과, Blind-MOE와 PIC는 거의 비슷한 성능을 지니고 있으며, 제안된 방식이 기존 방식보다 BER을 10^{-2} 기준으로 하였을 경우 약 2[dB] 정도의 SNR 이득을 얻을 수 있었다. 그림 4는 페이딩 채널에 대한 성능 비교이다. 기존 검출기 보다는 더 나은 성능을 지니고 있으며, Blind-MOE와 PIC보다 약 1[dB] 정도의 SNR 이득을 얻을 수 있었다. 기존의 방식들 보다 제안된 방식이 더 나은 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

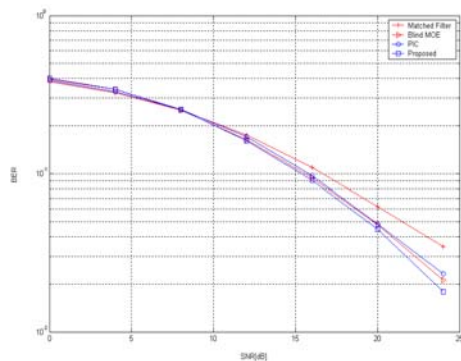


그림 3. 가우시안 환경하에서 서로 다른 다중 사용자 검출기의 성능 비교
 Fig 3. The performance comparison of different multiuser detectors under AWGN channel

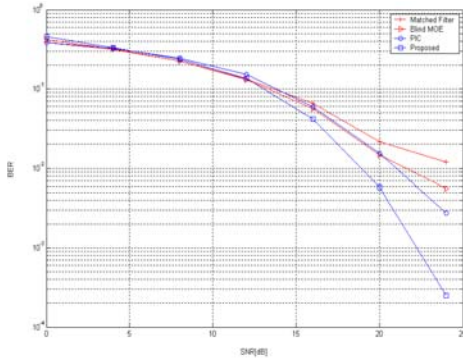


그림 4. 레일리 페이딩 환경하에서 서로 다른 다중 사용자 검출기의 성능 비교
 Fig 4. The performance comparison of different multiuser detectors under Rayleigh fading channel

V. 결론

다중 반송과 DS-CDMA는 다중 접속 간섭으로 인해 성능 저하가 발생하게 된다 이를 극복하기 위해 블라인드 MOE-PIC 다중사용자 검출기를 제안하였고 정합필터 병렬간섭제거기 MOE 다중사용자 검출기와 모의실험을 통해 성능을 알아보았다 제안된 방식이 다중 접속 간섭을 더 효율적으로 제거하는 것을 알 수 있었다. 주파수 선택적 페이딩 채널 하에서도 이를 효과적으로 처리하여 시스템의 성능을 향상하였다. 모의실험 결과 제안한 블라인드 MOE-PIC 다중 사용자 검출기가 기존 검출기 보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 알 수 있다

참 고 문 헌

[1] S. Verdu, "Multiuser Detection," in *Advances in statistical Signal Processing : Signal Detection*, H. V. Poor and J. B. Thomas, Eds. Greenwich, CT : JAI Press, pp. 369-410, 1993.
 [2] S. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of multicarrier DS CDMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 238-246, February 1996.
 [3] W. Xu and L. B. Milstein, "MMSE interference suppression for multicarrier DS CDMA," in *Proc. 2nd CDMA Int. Conf. Exhibition*, pp. 319-323, October 1997.
 [4] U. Madhow, "MMSE interference suppression for acquisition and demodulation of direct-sequence CDMA systems," *IEEE Trans.*

Commun., vol. 46, pp. 1065-1075, August 1998.
 [5] S. Verdu, *Multiuser Detection*, Cambridge University Press, 1998.
 [6] L. Fang and L. B. Milstein, "Successive Interference Cancellation in Multicarrier DS/CDMA", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, No. 9, pp 1530-1540, September 1999.
 [7] X. Weiping and L. B. Milstein, "On the Performance of Multicarrier RAKE Systems," *IEEE Trans on Commun.*, vol. 49, no. 12, pp.2062-2067, October 2001.
 [8] 우대호, *싱글 캐리어 및 멀티 캐리어 DS-CDMA 시스템을 위한 간섭 제거 알고리즘* 인 천대학교 전자공학과 박사학위 논문, 2003.

우 대 호(Dae ho Woo)

정회원



1997년 2월 청주대학교 전자 공학과 졸업
 1999년 2월 인천대학교 전자 공학과 석사
 2003년 2월 인천대학교 전자 공학과 박사
 2002년 12월~현재 (주)플레넷 전자통신연구소 전임 연구원

<관심분야> 간섭 제거 기술, 통신 신호 처리

이 승 용(Seung yong Lee)

정회원

2002년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업
 2004년 2월 인천대학교 전자공학과 석사
 2004년 7월~현재 LG전자 연구원

<관심분야> WCDMA, 통신 신호 처리

변 윤 식(Youn shik Byun)

중신회원



1978년 2월 연세대학교 전기 공학과 졸업
 1981년 2월 연세대학교 전기 공학과 석사
 1985년 8월 연세대학교 전기 공학과 박사
 1990년 8월~1991년 7월 미국

Stanford대학 전자 공학과 객원 교수
 1987년 3월~현재 시립 인천대학교 전자공학과 교수
 2004년 9월~현재 고려대학교 전파통신공학과 객원교수

<관심분야> 디지털 통신 및 신호 처리