

# CDMA를 위한 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기

정회원 변 건 식\*, 김 성 곤\*, 김 재 수\*

## Decision-Feedback Blind Adaptive Multiuser Detector For Synchronous CDMA System

Kun-sik Byon\*, Sung-gon Kim\*, Jae-soo Kim\* *Regular Members*

### 요 약

다수의 사용자가 추적되고 상대방의 신호에서 비롯되는 간섭 신호들을 제거하는 다중 사용자 검출 기술은 다중 간섭 효과를 줄여주고 시스템 용량을 증가시킨다.

본 논문은 동기 CDMA 시스템을 위해 블라인드 적응 다중 사용자 검출기를 발전시킨 것으로 심벌 오율 성능을 증가시키기 위해 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기를 제안하여, 블라인드 적응 다중 사용자 검출기와 비교하였으며, 시뮬레이션 결과 제시한 검출기가 성능이 향상됨을 확인하였다.

### ABSTRACT

MUD(Multiuser detection) technology which locates desired signal and removes interference signal from multiple access signals increases system capacity and decreases multiple access effect.

In this paper, we develop a blind adaptive multiuser detector for synchronous CDMA with a noise-whitened filter. To improve the symbol error probability performance, DFBD (Decision-Feedback Blind Adaptive Multiuser Detector) is proposed and compared with BD(Blind Adaptive Multiuser Detector). The proposed DFBD is slightly improved.

### I. 서 론

전통적인 수신기는 단일 사용자 정합 필터로 구성되며, 사용자 수가 증가함에 따라 다중접속간섭(MAI)이 커짐으로 해서 성능이 크게 열화된다. 최적 수신기는 사용자의 수의 증가에 따라 복잡성이 증가하여 일반적으로 준 최적 검출기를 사용한다<sup>[1]</sup>.

최근, 블라인드 적응 다중 사용자 검출기가 제안되고 있다. 블라인드 검파를 사용하는 이유는 학습 신호를 사용하지 않아도 된다는 것이다. 블라인드 검출기는 CMA(Constant Modulus Algorithms)를 사용하며 CMA는 대역 제한 된 채널을 통한 디지

털 전송에 있어서 심벌 간 간섭(ISI)을 제거하는데 사용되는 알고리즘이다<sup>[2][3]</sup>. CMA 탭을 가진 무한 탭 필터는 초기 탭 값에 관계없이 항상 최소값에 수렴하지만 탭이 유한일 때 국부 최소값을 가질 수 있다. CMA가 CDMA에 적용될 경우, 희망신호가 포착될 때라도 위상 애매함이 생겨 복귀 신호를 오류로 만들 수 있다. Zecevic과 Reed는 위상의 애매함을 해결하는 방법과 유사한 anchored CMA 접근 방식을 제안하였다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 CMA를 이용하여 블라인드 적응 다중 사용자 검출기와 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기를 오율, 원근문제, 사용자수 등의 파라미터에 대해서 비교 평가하였다.

\* 동아대학교 전자공학과 통신시스템 연구실(ksbyon@daunet.donga.ac.kr)  
논문번호 : 010275-1011, 접수일자 : 2001년 10월 11일

## II. 정합필터 모델

그림 1은 K명의 사용자를 가지는 정합필터 모델의 블록도이다. 동기 CDMA 시스템의 경우, K명의 사용자는 심벌 주기 T를 가지며 정규화 에너지가  $1(\int_0^T s_k^2 dt = 1)$ 인 파형  $s_k(t)$ 에 의해 변조된다. 이러한 signature waveform은 선형 독립이며, 각 사용자의 입력 심벌은 동등한 확률을 가진 독립적인 이진 값[+1, -1]을 가진다.

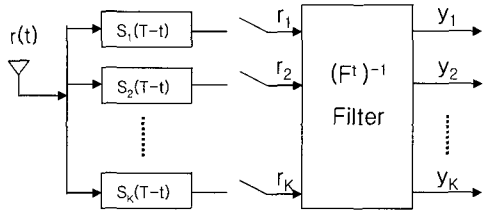


그림 1.  $(F)^{-1}$  필터 모델

각 사용자에 대한 입력 비트열은 다른 사용자들의 비트열과 독립적이다. AWGN 채널 환경이라고 가정한다면, 수신 신호  $r(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{w_k(i)} b_k(i) s_k(t - iT) + n(t), \quad iT \leq t < (i+1)T \quad (1)$$

여기서,  $w_k(i)$ 와  $b_k(i)$ 는 각각  $i$ 번째 순간의  $k$  사용자의 에너지와 정보 비트를 나타낸다.  $n(t)$ 는 AWGN이다.

동기 전송에 있어서, 희망 사용자를 제외한 나머지 사용자들은 희망 심벌에 대해 간섭을 발생시키므로 하나의 심벌 주기동안 수신되어지는 신호를 고려해야 한다. 그러므로, 시간 인덱스  $i$ 를 사용하지 않고  $r(t)$ 를 나타내면 식 (2)와 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{w_k} b_k s_k(t) + n(t), \quad 0 < t < T \quad (2)$$

그리고 각 사용자의 signature waveform의 정합 필터의 출력은 식 (3)과 같다.

$$r_k = \int_0^T r(t) s_k(t) dt$$

$$= \sqrt{w_k} b_k + \sum_{j=1, j \neq k}^K \sqrt{w_j} b_j \rho_{jk}(0) + n_k \quad (3)$$

$(k = 1, 2, \dots, K)$

여기서,  $r_k$ 는  $k$ 번째 signature waveform과 수신 신호와의 상호 상관을,  $\rho_{jk}$ 는 signature waveform  $s_j(t)$ 와  $s_k(t)$ 의 상호 상관을 의미하며 식 (4)와 같고 잡음 요소  $n_k$ 는 식 (5)와 같다.

$$\rho_{jk} = \int_0^T s_j(t) s_k(t) dt \quad (4)$$

$$n_k = \int_0^T n(t) s_k(t) dt \quad (5)$$

K개의 정합필터의 입력 데이터 벡터와 출력 벡터를 식 (6)과 같이 정의하면 출력은 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$b = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_K)^t, \quad r = (r_1 \ r_2 \ \dots \ r_K)^t \quad (6)$$

$$r = RWb + n \quad (7)$$

여기서,  $R$ 은 식 (8)과 같으며,  $\rho_{ii} = 1$ ,  $\rho_{jk} = \rho_{kj}$ 인  $K \times K$  signature waveform의 상호상관 행렬이다.

$$R = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{21} & \dots & \rho_{K1} \\ \rho_{12} & \rho_{22} & \dots & \rho_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{1K} & \rho_{2K} & \dots & \rho_{KK} \end{bmatrix} \quad (8)$$

그리고,  $W$ 는  $\sqrt{w_k}$ 을 가진 대각 행렬이다.

$n = (n_1, n_2, \dots, n_K)^t$ 는  $K \times K$  자기상관 행렬이며, 다중 사용자 검출기의 목적은 정합필터의 출력  $r$ 에 근거하여 희망 신호  $b$ 를 복원하는 것이다.

상호 상관 행렬  $R$ 은  $R = F^t F$ 로 분해할 수 있기 때문에(여기서,  $F$ 는 하삼각 행렬), CDMA 시스템의 백색 잡음 모델을 얻기 위해서 정합 필터의 출력인 식 (7)에 응답이  $(F^t)^{-1}$ 인 필터로 적용할 수 있다.

$$y = F W b + z \quad (9)$$

$z$ 는 자기 상관 행렬  $R(n) = \sigma_n^2 I$  ( $I$ 는  $K \times K$  Identity 벡터)를 가진 백색 가우시안 잡음 벡터이다.

### III. 블라인드 적응 다중 사용자 검출기

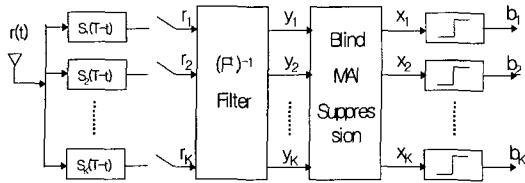


그림 2. 블라인드 적응 다중 사용자 검출기

그림 2는 블라인드 적응 다중 사용자 검출기의 블록도를 나타낸다.  $i$ 번째 순간의  $y$ 의  $k$ 번째 요소는 다음과 같다.

$$y_k(i) = F_{kk}\sqrt{w_k(i)}b_k(i) + \sum_{j=1}^{k-1} F_{kj}\sqrt{w_j(i)}b_j(i) + z_k(i) \quad (10)$$

$(k=1, 2, \dots, K)$

식 (10)에서 첫 번째 요소는 희망 신호이고 두 번째 요소는 MAI이고, 세 번째 요소는 백색 가우시안 잡음이다. MAI는 디지털 신호의 전송에서 대역 제한된 채널을 통과하는 할 때 발생하는 ISI와 유사한 형태를 가지므로 ISI를 제거하는 방법인 적응 등화 알고리즘을 사용하면 시변 이동 통신 채널에서 MAI를 제거 할 수 있다.

블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 그림 2와 같으며  $k$ 번째 사용자에 대한 등화기의 출력은 식 (11)과 같다.

$$x_k(i) = \sum_{j=1}^k c_{kj}(i)y_j(i) = C_k^t(i) Y_k(i), \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (11)$$

여기서,

$$C_k^t(i) = (c_{kk} \ c_{kk-1} \ \dots \ c_{k1})^t$$

$$Y_k(i) = (y_{kk}(i) \ y_{k,k-1} \ \dots \ y_{k1})^t$$

는 각각  $i$ 번째 순간에서 탭 계수 벡터와 등화기의 입력 신호 벡터이다. 정보 비트는 이진 값  $\pm 1$ 을 가지므로, Godard 비용 함수는 식 (12)와 같은 형태를 가진다.

$$J(x_k(i)) = \frac{1}{4} E[(x_k^2(i) - 1)^2] \quad (12)$$

$k = 1, 2, \dots, K$

블라인드 등화기의 목적은 탭 계수를 조정하여 비용함수의 최소값을 찾는 것이다.  $i$ 번째 순간에서의 탭 계수  $C_k(i)$ 가 기지이면, 다음 판정의 반복 식은 식 (13)과 같다.

$$C_k(i+1) = C_k(i) - \mu \frac{\partial J(x_k(i))}{\partial C_k(i)} \quad (13)$$

$k = 1, 2, \dots, K$

여기서,  $\mu$ 는 스텝 사이즈이다. 식 (13)을 다시 정리하면 식 (14)와 같다.

$$C_k(i+1) = C_k(i) - \mu Y_k(i)x_k(i)(x_k(i)^2 - 1) \quad (14)$$

$k = 1, 2, \dots, K$

$y_k(i)$ 는 희망 정보 비트  $b_k(i)$ 를 포함하고 있고, 주 탭 계수  $c_{kk}$ 가 0이 아닐 경우에만, 비용 함수가 최소값을 가져 사용자  $k$ 에 대한 최적 값이 된다. 또한, 탭 계수는 신호 에너지의 변화를 계속해서 추정하며, 주 탭 계수는 0보다 크도록 제한되어야 한다.

블라인드 등화기의 수렴 후,  $i$ 번째  $k$ 사용자에 대한 판단은 식 (15)와 같이  $x_k(i)$ 의 극성을 취함으로써 구할 수 있다.

$$\hat{b}_k(i) = \text{sgn}(x_k(i)), \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (15)$$

블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 좋은 수렴성을 가지지만, 등화 과정에서 잡음이 강화됨을 식 (11)에서 알 수 있다. 블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 CDMA 시스템의 백색 잡음 모델의 역상관(Decorrelating) 검출기로 수렴한다<sup>[2]</sup>. 따라서, 심벌 오류 확률은 CDMA 시스템의 역상관 검출기의 성능과 같다.

### IV. 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기

그림 3은 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기의 블록도이다. Duel-Hallen은 백색화 잡음의 통계적 특성에 근거하여 DDFD (Decorrelating decision- feedback multiuser detection)을 제안하였다<sup>[5]</sup>. 백색화 잡음의 통계적 특성에 근거한 블라인드

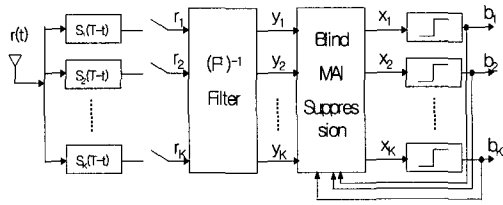


그림 3. 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기

드 CMA 검출기는 결정 제한을 포함하도록 자연스럽게 확장 될 수 있다. 알고리즘의 전개는 아래에 전개된다.  $y_1(i)$ 는 다른 사용자들로부터 발생하는 MAI에 영향을 받지 않기 때문에 백색화 잡음의 통계적 특성에 근거한 사용자 1의 등화는 필요가 없다. 사용자 1에 대한 판정은 다음과 같다.

$$\widehat{b}_1(i) = \text{sgn}(x_1(i)) = \text{sgn}(y_1(i))$$

사용자 1의 심벌 오류 성능은 역상관기의 성능과 일치한다. 사용자 2에 대해서는, 사용자 1이 판정되었으므로 사용자에 대한 등화는 결정값  $\widehat{b}_1$ 을 제한 시킴으로서 다음과 같이 구현될 수 있다.

$$x_2(i) = c_{22}y_2(i) + c_{21}\widehat{b}_1(i)$$

사용자 2에 대한 결정은  $\widehat{b}_2(i) = \text{sgn}(s_2(i))$ 로써 얻을 수 있다. 마찬가지로, 사용자  $k$ 에 대해서, 등화기의 출력은 식 (16)과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} x_k(i) &= c_{kk}y_k(i) \\ &\quad + c_{kk-1}\widehat{b}_{k-1}(i) + c_{kk-2}\widehat{b}_{k-2}(i) \\ &\quad + \dots + c_{k1}\widehat{b}_1(i) \\ &= \mathbf{C}'_k(i)\widehat{\mathbf{Y}}_k(i), \quad k=2,3,\dots,K \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,

$$\widehat{\mathbf{Y}}_k(i) = (y_k(i)\widehat{b}_{k-1}(i)\widehat{b}_{k-2}(i)\dots\widehat{b}_1(i))$$

는  $i$ 번 째 순간의 등화기의 입력 벡터이다. 그러므로 사용자  $k$ 에 대한 결정은 식 (17)과 같다.

$$\widehat{b}_k(i) = \text{sgn}(x_k(i)), \quad k=1,2,\dots,K \quad (17)$$

결정 제한 블라인드 등화 알고리즘은 식 (16)에서 식 (12)와 식 (14)를 뺀으로써 얻어진다. 그리고, 결정 제한 블라인드 등화기의 탭 계수 반복식은 식

(18)과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_k(i+1) &= \mathbf{C}_k(i) - \mu \widehat{\mathbf{Y}}_k(i)x_k(i)(x_k(i)^2 - 1) \\ k &= 1,2,\dots,K \end{aligned} \quad (18)$$

결정 제한 블라인드 다중 사용자 검출기의 성능은 3절에서의 블라인드 적응 다중 사용자 검출기보다 우수하다. 그 이유는 제한 신호의 잡음은 제한 전의 사용자 결정이 올바르다고 하면 완전히 제거되어 질 수 있기 때문이다.

### V. 시뮬레이션 및 결과

모든 사용자에 대한 확산 계열로서는 길이가 31인 골드 코드와 BPSK 변조를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

계수  $\mathbf{C}$ 의 초기치는 희망사용자에서 대해서 1로 정의하였고 나머지 사용자들에 대해서는 0로 설정하였다. 그리고, 계수  $\mu$ 의 초기치는 반복 횟수가 1000번 미만일 경우에는  $10^{-3}$  이고 1000번 이상일 경우  $10^{-4}$  으로 설정하였다.

그림 4는 31명의 사용자와 AWGN 환경 하에서 블라인드 적응 다중 사용자 검출기와 결정 제한 블라인드 적응 다중 사용자 검출기의 BER을 비교한 결과이다.

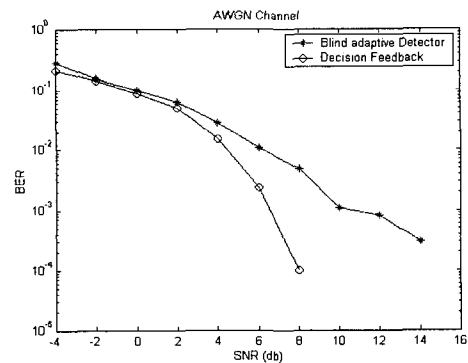


그림 4. BD와 DFB의 BER

각각의 간섭 신호의 에너지는 희망 사용자 신호보다 3dB 크게 하고, 희망 사용자는 31번째 사용자로 선택하였다. 그림 4의 결과는 강한 MAI가 존재하는 다중 사용자 채널에서 결정 제한 블라인드 적응 검출기가 블라인드 적응 검출기보다 성능이 우

수함을 알 수 있다.

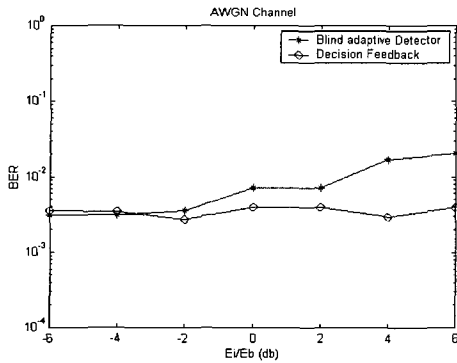


그림 5. 원근 문제 하에서의 BD와 DFBD의 BER

그림 5는 앞의 경우와 같은 조건에서 원근 문제를 시뮬레이션 하기 위해서 각각 사용자의 전력을 달리하였다. 이 시뮬레이션에서, 넓은 에너지 범위를 가진 다른 사용자 간섭의 영향을 줄이는 결정 제환 블라인드 적응 검출기가 BER을 일정하게 유지하며 조금 더 신뢰성 있게 희망 수신신호를 검출함을 알 수 있다.

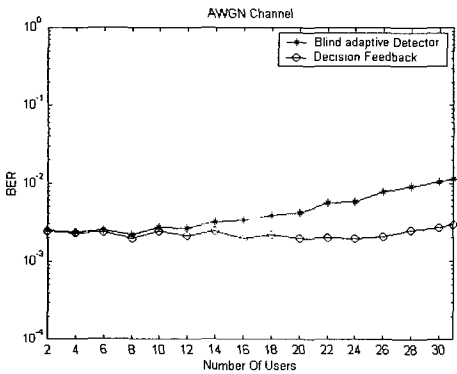


그림 6. 다중 접속 채널 환경에서의 사용자 수에 따른 BER

그림 6은 블라인드 적응 검출기와 결정 제환 블라인드 적응 검출기의 사용자들의 수에 따른 BER을 나타낸다. 두 경우의 조건으로는 SNR이 6dB, AWGN 채널이며, 다른 사용자 신호가 희망신호에 3dB 큰 원근 환경 하에서 시뮬레이션 되어졌다. 결정 제환 블라인드 적응 검출기는 사용자 수가 증가함에 따라 성능이 떨어지는 블라인드 적응 검출기보다 성능이 안정함을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 동기 CDMA 시스템에 대해서 시뮬레이션으로 블라인드 적응 다중 사용자 검출기와 결정 제환 블라인드 적응 다중 사용자 검출기를 오울, 원근문제, 사용자수 등의 파라미터에 대해서 비교 평가하였다.

결정 제환 블라인드 적응 다중 사용자 검출기가 블라인드 적응 다중 사용자 검출기보다 조금의 성능 향상이 있으나, 사용자가 증가함에 따라서는 결정 제환 블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 오울을 일정하게 유지하는 반면 블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 성능이 저하된다.

두 방법은 성능 면에서 만족할 만한 수준으로 차이가 나지 않는다. 그러나, 결정 제환 블라인드 적응 다중 사용자 검출기는 시스템의 복잡성이 증가하지만 시스템 용량을 고려할 경우 블라인드 적응 다중 사용자 검출기보다 신뢰성 있는 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다.

향후 적응 수신기를 중점 연구하고, 이와 더불어 시스템의 성능 개선과 용량 증대를 위하여 다중 사용자 환경을 고려한 MUD, 시간 영역과 공간 영역을 모두 고려하는 Space-time MUD등 MUD 관련 선도 기술들을 연구하여야 할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Sergio Verdu, Multiuser Detection, Cambridge, 1998
- [2] P. He, T. Tjhung, and L.K. Rasmussen, "Constant modulus algorithms(CMA) for CDMA communication systems," in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf., 1998, pp. 949-953.
- [3] D. N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two dimensional data communication systems," IEEE Trans. commun., vol COM-28, pp. 1867-1875, Nov. 1980
- [4] N. Zecevic and J. H Reed, "Blind CDMA interference rejection in multipath channel," in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf., Phoenix 1997, pp. 21-25.
- [5] A. Duel-Hallen, "Decorrelating decision-feedback multiuser detection," IEEE Trans. commun., vol. 41, Feb, 1993

변 건 식(Kun-sik Byon)

정회원



1972년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과 졸업  
1980년 2월 : 동아대학교 대학원  
전자공학과 석사  
1987년 2월 : 영남대학교 대학원  
전자공학과 박사  
1977년 3월~1980년 2월 : 동의  
공업대학 전자공학과 조교수  
1989년 9월~1990년 8월 : 국립요코하마대학교  
정보통신공학과 객원교수  
1980년 2년~현재 : 동아대학교 전자공학과 교수  
<주관심 분야> 무선통신, CDMA, 통신시스템

김 성 곤(Sung-gon Kim)

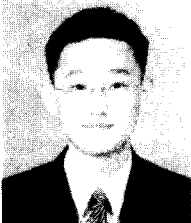
정회원



1997년 2월 : 동아대학교  
전자공학과 졸업  
1999년 2월 : 동아대학교 대학원  
전자공학과 석사  
2000년 3월~현재 : 동아대학교  
전자공학과 박사과정  
1999년 3월~현재 : 동아대학교  
정보기술연구소 특별연구원  
<주관심 분야> xDSL, CDMA, 통신시스템

김 재 수(Jae-soo Kim)

준회원



2000년 2월 : 동아대학교  
전자공학과 졸업  
2002년 2월 : 동아대학교  
전자공학과 석사

<주관심 분야> CDMA, 통신시스템