

# DS/CDMA 시스템 환경에서 다중 사용자를 위한 간섭제거

김 학 춘<sup>†</sup> · 이 병 관<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 MMSE 다중사용자 검파기의 성능을 AWGN채널 및 페이딩채널 하에서 신호대 잡음비의 다중 사용자에 따른 지수면에서 상용 검파기와 비교 분석한다. MMSE 다중사용자 검파기는 상용검파기에 비해 다중접속간섭에 강한 민을 보였고, 하드웨어의 복잡도와 계산량이 많은 것이 단점으로 나타난다. 또한 동일한 주파수와 시간을 점유하는 DS/CDMA 시스템은 확산부호의 비직교성으로 인한 다중접속간섭 때문에 통화품질과 사용자 수에 따른 간섭이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 적응형 MMSE 다중사용자 검파기를 제시하고, 시스템의 처리 이득에 대한 하드웨어의 복잡도는 검파기 내의 탭수를 설정하여 간섭을 줄일 수 있다.

# Interference Cancellation for Multiuser under the Environment of DS/CDMA System

Hak-Chun Kim<sup>†</sup> · Byung-Kwan Lee<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, the performance of the MMSE multiuser detector was analyzed with the SNR from the standpoint of the exponent, according to the multiuser. It was analyzed not only at the AWGN channel, but at the fading channel also. With the result of this test, the MMSE multiuser detector showed better performance of multi-connection interference in comparison with common detectors. However, its disadvantage is that the hardware turns out to be too complicated and that it requires too many calculations. Because of multi-connection interference that happens as a result of spreading code horizontally, the DS/CDMA system, which contains the same frequency and time, turns out to have interference according to the quality of the call and the number of users. In order to solve these problems, an adaptive MMSE multiuser detector is suggested. To increase the system's processing gain, the hardware's complexity can be reduced by establishing the number of taps within the detector.

## 1. 서 론

디지털 이동 통신 채널에서는 다중 경로 간섭에 의한 Fading이 발생하는데 백색 가우시안 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)에 의한 Random Error

뿐만 아니라 Fading에 의한 Burst Error도 함께 일어난다. 디지털 이동 통신에서 발생하는 Fading은 이동체의 속도, 전송 주파수, 수신 안테나 및 주위 자연 환경에 의해 변환되며 Rayleigh 분포를 갖는다.

디지털 이동 통신 채널에 가장 심각하게 나타나는 현상인 다경로 성분들의 각각 다른 시간 지연에 의한 주파수 selective Fading은 심볼간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)으로 디지털 이동 통신 채널의 성

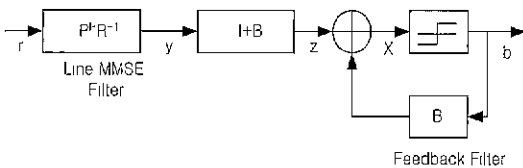
<sup>†</sup> 정 회 월 : 권동대학교 전자계산공학과 박사  
<sup>††</sup> 종신회원 : 권동대학교 컴퓨터공학과 교수  
논문접수 : 2000년 3월 3일, 심사완료 : 2000년 10월 6일

능을 저하시키며, 데이터 전송 속도에 제약을 준다. 이때 다중 사용자 검파는 코드 분할 다중 접속의 스펙트럼의 효율성을 증가시키기 위해 백색 가우시안을 잡음을 갖는 동기 다중 접속 채널에 대한 전력의 효율성과 스펙트럼 효율성을 이론적으로 제시하고, 선형 및 비선형 다중 사용자(MU: Multiple User) 검파기들의 상이한 형태로서 양자화 시키고 신호대 잡음비 Eb/No가 주어질 때, 매우 높은 부하에 걸리게 되며, 비선형 다중 사용자에 대한 검파는 스펙트럼 효율성은 선형 검파의 효율성보다 높게 나타나게 된다[1, 2]

본 논문에서는 결정 피드백 검파기(DFD: Decision Feedback Detectors)를 이용하여 최적해를 구하고, BER과 심볼간의 간섭을 줄이고, 연속적으로 발생하는 심볼간의 간섭을 제거하기 위하여 MMSE를 이용하여 단계 1에서 발생하는 연속적인 잡음을 제거하고 개선된 MMSE을 통해 전 방향 필터에서 발생하는 연속적인 간섭은 직렬 DFD에서 제거되고 합성 변환 코드를 갖는 DFD성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 실험하고 AWGN채널과 Fading 채널 환경에서 다중 사용자 검파기의 성능에 따른 BER과 단 칩수에 따른 순차적인 방법과 시스템의 복잡도를 시뮬레이션을 통해 성능을 분석한다.

2. DFD의 시스템 모델

DS/CDMA 동기 시스템에 대한 MMSE DFD는 (그림 1)에서 나타냈고, 이때 수신된 벡터  $r$ 은 수신된 신호 심볼 단위를  $N$ 으로 나타냈으며,  $r = Pb + n$ 에 의해 주어지게 된다 여기서  $N \times K$  행렬  $P$ 는 열  $P_k$ 를 통하여 확산 수열  $P_k$ 를 포함하고 여기에  $k$ 는 사용자 수,  $b$ 는 지인된 시간에서 전송된 부호들의 열 벡터이고  $n$ 은 AWGN 잡음이 된다[3, 4].



(그림 1) MMSE 의 결정 피드백 구조

본 논문에서는 다중 사용자는 동일한 전력을 받게 된다는 가정하에 진행되었고 수신된 분산 행렬은 식 (1)과 같다.

$$R = E[rr^H] = PP^H + \sigma_n^2 I. \tag{1}$$

여기서  $\sigma_n^2$ 은 잡음 변화이고  $I$ 는 단위 행렬이며 MMSE 수식은 식 (2)에 의해 정의되고,

$$F_{lin} = P^H R^{-1}. \tag{2}$$

그리고 관련된 출력 에러 벡터는 식 (3)과 같고

$$\varepsilon = b - F_{lin}^H r. \tag{3}$$

분산 행렬은 식 (4)와 같이 정의되며

$$Q \triangleq E[\varepsilon \varepsilon^H] = I - P^H R^{-1} P. \tag{4}$$

연속간섭제거에 대해서는 DFD 내 전 방향 필터는 에러 whitening 필터를 갖는 선형 MMSE 필터  $F_{lin}$ 의 연속됨을 식 (5)에서 보여주고 있다[4].

$$B = L^{-1} - I. \tag{5}$$

여기서  $L$ 은 에러 분산 행렬의 cholesky 인수분해류 통해 식 (6)을 정의한다.

$$Q = LDL^H. \tag{6}$$

이러한 형태는 에러 발생 시에 이상적인 연속 간섭 제거를 수행하게 된다. 즉, 사용자  $k$ 를 검출할 때 앞서서 검출된 모든 사용자로부터  $K-1$ 까지의 간섭을 제거하게 된다. 또한 사용자  $k$ 에 대한 MMSE는 식 (7)과 같다.

$$J_{k,opt} = 1 - P_k R_u^{-1} P_k^H. \tag{7}$$

여기서  $R_u$ 는 제거된 사용자에서  $K-1$  모두를 갖는 분산 행렬 형태로 수신되고 이때 발생된 에러는 사용자  $k$ 만 검출하고 나머지 사용자들로부터 간섭을 받게 된다[14].

3. 직 · 병렬간섭 제거기법

본 논문에서는 직렬 간섭제거를 통해 각각의 사용자에게 대한 MAI(Multiple Access Interference)를 제거할 수 있고, 이러한 검파기는 기존 정합 필터(matched filter)의 출력 신호로부터 각 사용자의 신호를 재생하

여 자신의 신호 성분을 제외한 나머지 신호는 부분 합산기에 의해 간섭 신호를 발생시켜 다중 사용자에게 직용하게 된다.

이때 단계는 이전의 단계에서 추정된 입력 신호 데이터와 받고, 새로운 출력 신호를 통해 전송이 이루어지게 된다.

또한 검파기는 추가되는 지연 시간이 적어 각 사용자에게 의해 처음 검출된 값과 진폭비의 정보를 유지하고 피드백 검파기를 통해 심볼간의 간섭 제거를 할 수 있으며, 신호 결정은 경 판정(hard decision) 또는 연 판정(soft decision)로 나타내게 된다. 이때 연 판정 접근 방법은 데이터의 폭과 비트를 평가하기 위해 검파기를 통해 출력 신호를 얻을 수 있다. 이러한 검파기에 기반을 둔 경 판정은 정보 비트를 결정하여 bank를 통해 접근하게 된다[5-7].

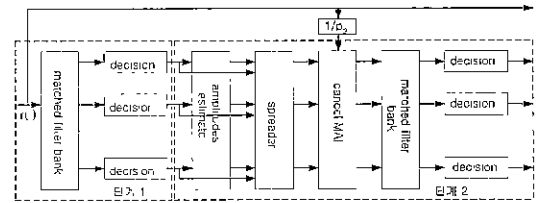
그리고 사용자를 위한 인터페이스가 구성되고 수신된 신호로부터 제거된 다음 PIC 단계 내에서 정합 필터들은 bit와 clean 신호들이 새로운 bit을 계산하기 위해 사용되어 지며 PIC 간의 제거 단계  $i$ 에서 각 사용자의 MAI 추정치는 수신된 신호로부터 단계  $P_i$ 에 의해 계산되고 MAI 추정치를 계산하기 전에  $1/P_i$ 로 곱해 처음에 수신된 신호와 동일하게 유지된다 또한 수신된 신호가 강제로 제거될 때는 모든  $i$ 가  $P_i=1$  일 때 단계 1에서 모든 사용자에게 대한 정합 필터 bank에서 처리하고, 각 사용자의 진폭을 추정하여 확산 코드의 정보 비트 결정과 추출된 진폭들을 갖는 사용자의 수신된 신호를 복원하게 된다. 이때 처음 수신된 신호  $r(t)$ 는  $1/P_i$ 로 곱해 사용자에게 대해 정합 필터 기저대역 검파기를 통해 공급함으로써 MAI를 통해 추정된 에러를 검출하게 된다[8].

병렬 간섭제거 시스템 구조는 (그림 2)에 나타냈고, 이때 모든 단계는 경 판정에 의해 결정되고 초기의 데이터 비트 계산은  $b_{(k)}$ 가 정합 필터 검파기로부터 출력된 정보 비트는 진폭 계산에 의해 제거할 수 있으며,  $k$  번째 사용자는 MAI에 따라 발생된 지연시간 계산과 spreading 코드를 사용하여 재 생성하고, 수신 신호  $r(t)$ 로부터 MAI ( $g_k$ )을 제거함으로써  $k$  번째 사용자의 인터페이스는 식 (8)을 통해 얻을 수 있다.

$$r(t-T) - g_k = b_k a_k s_p(t - \tau_i, T_b) + \sigma_u(t - T_b) + \sum_{i=1}^K (b_i - b_i) a_i s_i(t - \tau_i - T_b) \quad (8)$$

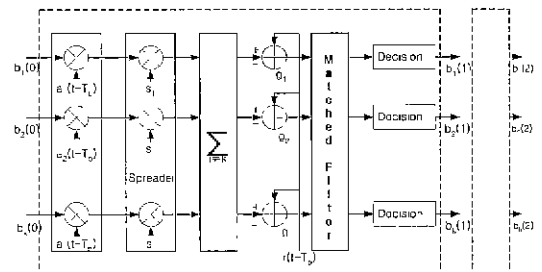
그 결과 정보 비트에 대한 계산은 정합 필터를 통해 전송되고, 프로세서는 다중 단계에서 피드백을 하게 된다. 그리고 단계 1에서 발생된 간섭은 수신기를 통해 병렬 간섭제거 수신기의 수행 능력을 개선할 수 있게 된다.

또한 동일한 단계에 남아 있는 정보 비트는 수신기를 개선하기 위해 현재의 단계에서 수신된 정보 비트를 사용할 수 있고, 다중 단계는 DFD 수신기를 이용함으로써 단계 1에서 발생된 간섭은 DFD를 통해 필터링하여 각각의 단계에서 발생된 간섭을 제거하게 되고, 특정 사용자에게 의해 발생된 연속 잡음은 역순에 의해 제거하게 된다.



(그림 2) 병렬 간섭제거 시스템 구조

본 논문에서는 사용자 접근 방법을 (그림 3)에서와 같이 역순으로 제거하고 단계 2에서는 DFD를 이용하여 사용자  $j$ 를 치환 행렬을 통해 순서를 결정하게 되고,  $k$  사용자는 단계 1에서 DFD를 통해  $1, \dots, K-1$ 을 제거하고, 단계 2에서는  $K+1, \dots, K$ 를 제거하게 된다[1, 2, 8]



(그림 3) 경 판정 구조를 지닌 PIC 수신기

### 3.1 시스템 최적화

본 논문에서는 단계에서 모든 필터 계수를 각 단계에서 최적화하고, MSE 을 통해 출력 신호를 최적화하기 위하여  $F, B_1$ 은  $B_2$ 를 통해 식 (9)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 J_{DFZG} &= E[|B - X_2|^2] \\
 &= E[|(I + JB_1J + B_2)b - JFr|^2] \quad (9) \\
 &= (B - JFP)(B - JFP)^H + \sigma_n^2 JFF^H J
 \end{aligned}$$

여기서

$$B \triangleq I + JB_1J + b_2. \quad (10)$$

또한  $B_1$ 과  $B_2$ 는 겹쳐짐이 없이  $\beta$ 의 하위 왼쪽과 상위 오른쪽 삼각 부분은 행렬식을 이루게 되고  $\beta$ 를 결정하는 것은  $B_1$ 과  $B_2$ 를 결정하는 것과 동일하다. 이때  $F$ 와  $B$ 에 관하여  $J_{DFZG}$ 을 최소화하는 것은 식 (11)을 통해 결정하게 된다.

$$F = JBPF^H R^{-1}. \quad (11)$$

그리고  $k$  번째 열에서 대각선을 따라 1을 제거한 후에  $\beta$ 의  $k$  번째 행은 식 (12)에 의해 주어진다.

$$c_k = -q_k^H \hat{Q}_k^{-1}. \quad (12)$$

여기서  $\hat{Q}_k^{-1}$ 은  $k$ 번째 행과 제거된 열을 결정하게 되고, 식 (4)에 있는 행렬  $Q$ 를 통해 백터

$q_k$ 는  $k$ 번째 element를 갖지 않는  $Q$ 의  $k$ 열은 사용자  $k$ 에 대한 결과이고, MMSE는 단일  $k$ 사용자의 신호 영역을 식 (13)을 통해 얻을 수 있다.

$$J_{DFZG, k_{ms}} = Q_{kk} - q_k \hat{Q}_k^{-1} q_k^H = \frac{\sigma_n^2}{1 + \sigma_n^2}. \quad (13)$$

여기서 식 (13)을 통해 단계 2에서 칩수를 병렬로 수행하게 되고, 정합 필터  $F$ 와  $B_1$ 이 (그림 2)에 나타난 것과 같이 결정  $\hat{b}_1$ 과 관련된 MSE를 최소화할 수 없기 때문에 단계 1로부터 피드백을 할 수 없게된다. 선형 MMSE 검파기로부터 발생될 신호를 추적하게 된다. 이때 선형 MMSE 필터는 전 방향 필터의 일부에서 발생된 간섭을 제거하게 된다[6, 9, 13].

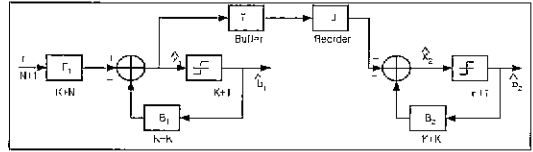
### 32 단계별 최적화

단계 2에서 DFD는 단계 1에서 발생된 간섭을 제거하여 최적화 시키고,  $\hat{b}_1$ 은  $B_1$ 으로부터 데이터를 입력 받게 된다. 본 논문에서는 단계 2를 위한 최적 피드백 계수를 제시함으로써 최적화 된 단계 1의 계수를 결정하게 된다. 이때 MSE으로부터 출력된 신호의 이득은

식 (14)에 의해 주어진다.

$$J_{DFZ} = E[|Jb - \hat{x}_2|^2]. \quad (14)$$

(그림 4)에서  $B_1$ 과  $B_2$ 의 순서가 역 순환되며 이를 최소화하기 위해 식 (15)을 제시하였다.



(그림 4) 각 단계를 위한 DFD 구조

$$B_2 = JDJ - JDL^H J \quad (15)$$

여기서  $L$ 과  $D$ 는 식 (6)에 의해 정의되고 MMSE은 식 (16)에 정의하였다.

$$J_{DFZ, m} = JDD^H J + \sigma_n^2 JFF^H J. \quad (16)$$

단계 2는 전 방향 필터를 통해 다중 사용자를 검출하고 높은 전력의 신호를 제거하는 것이 먼저 선행되어야 하고, 이때 발생된 간섭을 줄이기 위해서는 단계 2의 DFD는 연속적으로 피드백하게 된다. 단계 1에서 BER이 낮아지면 각 단계에서 성능을 개선하게 되고, 또한 단계별로 최적 계수를 결정하여 각 단계는 분산 행렬  $R_m = E[r_m r_m^H]$ 와 상호 상관 행렬  $P_m = [r_m b_m^H]$ 로 나타낼 수 있으며 여기서  $r_m$ 은 다중 단계에 대한 입력 신호 값이 된다. 이때 행렬식  $J$ 는 단계1에서 단계 2로 사용자 순서를 내림차순으로 정렬하고 사용자들의 동일한 순서를 유지함으로써  $J$ 를 치환할 수 있다. 전 방향 필터  $F$ 와  $\beta - I$ 가 최적화가 이루어지게 되고 전 방향 필터  $F$ 에 대한 결과는 선형 MMSE 필터의 연속성을 갖게 된다 이러한 것은 식 (12)에 의해  $k$ 번째 행을 이루게 되고 간섭이 줄어들며 MSE를 통해 신호를 출력하게 된다. 또한 단일 사용자 영역은 식 (13)에 의해 주어진다[10, 12].

병렬 간섭 제거로서 (그림 1)과 같이  $I+B$ 와  $k$ 번째 행은 평균 제곱 보강법을 통해 식 (17)의  $C_k$ 을 얻을 수 있다.

$$\hat{\epsilon}_k = E[|\epsilon_k - c_k^H \hat{\epsilon}_k|^2]. \quad (17)$$

여기서  $(K-1)$ 는 벡터  $\hat{\epsilon}_k$ 의  $k$ 번째 벡터  $\epsilon$  이면 전 방향 필터는  $P^H$ 이고 역 방향 필터  $B=P^H P-I_K$ 이다. 여기서  $I_K$ 는  $K \times K$ 의 단위 행렬이며, MMSE 수신기는 병렬 간섭제거기를 통해 전 방향 및 역 행렬로 인해 확산 코드와 경로 특성의 변화를 가져오게 되고 식용 알고리즘을 통해 직접 부호를 추정할 수 있는 이점을 지니고 있다.

### 3.3 MMSE 수신기의 수신 이득

MMSE 수신기에서 신호 대 간섭 잡음비는 필터  $C$ 의 출력에서 발생한 잡음과 다중 사용자 간섭의 원인이 되고 전력의 합은 신호 전력의 비율을 식 (18)로 정의한다.

$$SINR = \frac{(c^H p)^2}{c^H (R - p p^H) c} \quad (18)$$

MMSE 수신기의  $C_{mmse}$ 는 신호 대 간섭 잡음비를 최소화하기 위해서 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$MSINR = \frac{p^H c_{mmse}}{1 - p^H c_{mmse}} = \frac{1}{MMSE} - 1. \quad (19)$$

이때 MMSE 수신기에 의해 최대 사용자 수를 결정할 수 있다.

### 3.4 개선된 MMSE 수신 시스템

최소 평균 제곱 오차(MMSE) 수신기 또한 수신 신호에 의해 다중 사용자의 잡음을 최소화 시키게되고 느린 주파수 selective fading 환경에서 신호 대역폭은 일정하게 유지하면서 반송파 수를 증가시키는 경우의 BER을 줄일 수 있다. 또한 MMSE 합성기법은 수신신호 중에서 다른 사용자의 간섭 성분과 잡음성분의 합에 직교가 되는 탭 계수를 곱하여 간섭성분을 제거하는 방식으로 다른 사용자의 확산부호나, 비트 정보를 관리하지 않는다.

그러나 원하는 신호벡터는 필터의 탭 계수에 의해 방향이 결정되고 신호의 크기가 줄어들어 실제 잡음이 증가하는 현상이 발생되며, 잡음 전력의 증가에 따른 성능 열화현상이 나타나고 다중 사용자 환경에서는 간섭에 따른 전력이 줄어들게 되고 따라서 시스템의 성능이 향상 되므로써 용량과 탭수가 증가되므로 시스템의 복잡도는 비례하게 된다[9, 13].

이때 MMSE 수신기는 정합 필터를 통해 출력된  $y = RAb + S_n = Rd + S_n$ 으로 주어지게 되고 또한  $R$ 은 상관 행렬로 나타나게 된다. 이때  $d = Ab, S = [s_1 \dots s_k], s_k = [s_{1,k} \dots s_{L,k}]^T$ 이고 여기서  $n$ 은 순차 길이인 변수  $\sigma$ 와  $L$ 을 갖는 가우시안의 변수를 나타냈으며, 벡터  $d$  또한  $(-\infty, \infty)$ 사이의 값을 갖는 임의 변수이고  $d$ 는 가장 성능이 뛰어난 것을 의미하며  $L$ 은  $d$ 의 성능을 개선하기 위해 식 (20)으로 정의할 수 있다 따라서,

$$E(dy^t) = E(dd^t R^t + b n^t S^t) = E(dd^t) R^t = A^2 R^t$$

또는

$$\begin{aligned} E(yy^t) &= E((Rd + S_n)(d^t R^t + n^t S^t)) \\ &= R E(dd^t) R^t + S E(n n^t) S^t \\ &= R A^2 R^t + \sigma^2 R^t, \end{aligned} \quad (20)$$

$$L = A^2 R^t / (R A^2 R^t + \sigma^2 R^t) = [R + \sigma^2 A^2]^{-1}$$

식 (20)을 이용하였을 때 배경 잡음을 고려해야 하고 MMSE 수신기는 일반적으로 Decorrelating 수신기 보다 더 나은 BER을 얻을 수 있고 배경 잡음이 0에 가까이 접근함에 따라 MMSE 수신기의 수행은 Decorrelating 수신기의 성능이 개선된다[5, 9, 14].

## 4. 시뮬레이션 및 결과

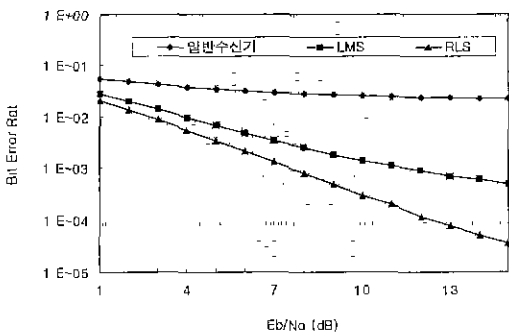
최소평균제곱오차(MMSE) 수신기 또한 수신신호에 의해 다중 사용자의 잡음을 최소화 시키게되고 느린 주파수 selective Fading 환경에서 신호의 대역폭을 일정하게 유지하면서 반송 주파수를 증가 했을 때 검출기를 통해 출력된 신호는  $E_b/N_0$ 를 증가시키면서 칩을 사용할 때와 사용하지 않을 때 평균 BER에 별 차이가 없었다. 또한 낮은  $E_b/N_0$ 에서 MAI의 간섭이 AWGN에 비해 상대적으로 작기 때문에 칩을 사용해도 별 이득은 발생되지 않음을 알 수 있다  $E_b/N_0$ 가 증가할수록 AWGN에 대해서는 MAI의 양이 상대적으로 증가하게 되어 칩을 사용했을 때 약간의 이득이 발생됨을 알 수 있다.

또한 24명의 동일한 사용자들이 갖는 동기 CDMA 시스템과 32의 확산 이득을 가정했을 때 성능은 2극 PN 수열의 무작위 선택을 통해 평균화되어지고 성능에는 약간의 이득이 발생하게 된다.

$k$  사용자에 대해, 단계 1에서 DFD에 대한 MMSE는  $25 - K$  사용자들을 갖는 선형 MMSE 수신하는 방식과 동일하고, 최적 단계 2에서는 DFD를 통해 10dB의 단일 사용자 영역을 설정할 수 있다

단계 2에서 DFD에 대한 성능보다 떨어지는 경우가 발생할 수 있고, 단계별로 최적화를 갖는 단계 2에서 DFD는 초기에 검출된 사용자들에 대해 단계 1은 DFD를 통해 성능을 개선할 수 있었고 단계 1과 단계 2에서 검출 리미트순으로 정렬하여 단계 2의 사용자들에 대해서는 단계별 최적화를 갖는 DFD단계에서 발생한 잡음에 따라 출력 신호 대 간섭 잡음비에서 개선할 수 있다.

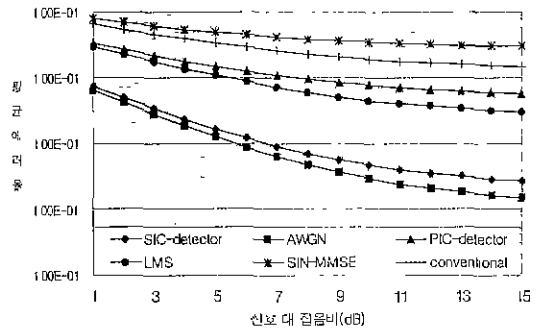
(그림 5)는 최적 계수들과 10dB의  $E_b/N_0$ 를 갖는 정합 필터의 성능을 나타냈으나 결과는 다시 확산 수열을 갖는 다중 결과를 통해 평균 에러율에 의해 결정되고, 성능이 저하됨을 알 수 있다. 이때 단계 1에서는 불안정한 신호는 최적화된 계수들로 구성되고, 단계 2에서 정합 필터로 수신된 신호를 DFD 통해 성능면에서 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 또한 개선된 MMSE로부터 출력된 신호는 신뢰할 수 있었으나, 높은 신호 대 잡음 상태에서는 다중 DFD 구조를 이용한 것 보다 손실이 적게 나타나고, 단계별로 최적화 하였을 때 다중 단계 와 단계의 DFD를 이용했을 때 보다 BER 성능이 떨어짐을 알 수 있다.



(그림 5) 사용자 다른 알고리즘 성능 분석

아래 (그림 6)은 20명의 사용자에 대한 적응형 필터를 이용한 간섭제거기와 정합필터 간섭제거기의 BER에 관한 시뮬레이션 결과이다. AWGN 채널처럼 일반적인 수신기보다는 두 간섭제거기의 BER의 성능이 좋

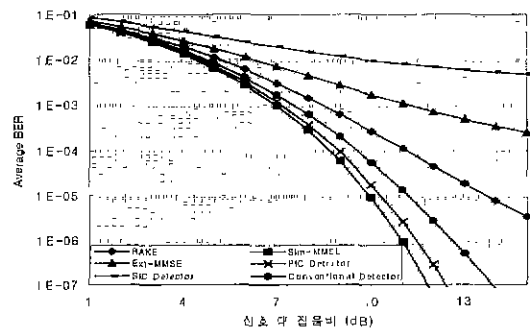
아지게 되고 또한 정합필터를 이용한 간섭제거기의 단계 2에서 BER이 단계 1에서의 적응형 필터를 이용한 간섭제거기의 BER과 비슷한 성능이 나타났으며, AWGN 채널에 비해 Rayleigh Fading 채널에서 BER의 차이가 나타나게 되고, Fading 채널에서는 적응형 간섭시스템의 단계 1에 있는 정합필터의 오류율이 증가하고, 즉 채널 환경이 변함에 따라 이에 따른 탭 계수의 변화가 필요하게 되므로 최적화가 어렵기 때문이다.



(그림 6) 다중 사용자에 따른 각 알고리즘의 성능 분석

#### 4.1 부호에 따른 성능 분석

(그림 7)은  $E_b/N_0 = 10dB$ 에서 규정 길이 7인 함성 변환 코드인 3/4 비율을 갖는 사용자 index 나타내고 동기식 CDMA 시스템에서 사용자 20과 AWGN 환경을 가정하였다 이때 대역폭을 32로 확장하고 부호화 시스템에 대해 비트당 칩 수를 24로 규정하고 무작위로 선택된 수열을 통해 평균이 결정된다. 이때 개선된 MMSE 필터의 출력에서 간섭 전력을 증가시키면, 비트당 칩 수는 감소하게 된다. 이러한 현상은 높은



(그림 7) 각 알고리즘에 따른 평균 오류율

사전력 때문에 발생하게 된다. 그리고 전력의 크기에 따라 확산 이득을 변화시키게 되고 피드백을 통해 간섭을 제거하여 이득을 얻을 수 있다.

또한 다중 사용자들에 대해 부호 비율을 동일하기 위해 비율 크기를 1/2 설정하고, 전체 길이에 8을 합성하여 변환 코드로 사용하였고 높은 전력 사용자에게 대한 부호 전력은 낮은 전력 사용자에게 비해 4배 이상 증가시키게 된다. 이때 직렬 간섭제거는 낮은 전력의 사용자들에 의해 수신 성능이 향상되고  $10^{-3}$ 의 BER서 직렬 간섭제거는 개선된 MMSE 수신기를 통해 3dB의 성능이 개선되고 병렬 간섭제거에서는 1dB의 성능이 개선되었다.

## 5. 결 론

기존에 알려진 것처럼 DS/CDMA시스템의 다중사용자 검파기는 정합필터에 근거한 단일사용자 검파기에 비해 다중 접속 간섭에 뛰어난 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다. 즉, 주어진 신호 대 잡음비에서 최소평균제곱오차는 다중 사용자 검파기의 비트 오류율이 정합필터 단일사용자 검파기에 비해 훨씬 낮았고, 또한 사용자수가 증가하더라도 성능저하가 크지 않음을 알 수 있었다. 이것은 AWGN 뿐만 아니라 Rayleigh Fading 채널 환경에서도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 직·병렬 간섭 제거기는 높은 데이터율 사용자에게 대해서 기존의 제거 기에 비해 단계가 적을 때 성능이 개선되고, 단계 증가할 수록 사용자수에 대한 시스템이 안정적이고 시스템 전력을 향상시킬 수 있다. 그러나 낮은 데이터율의 사용자에게 대해서도 기존의 직·병렬 제거기보다 성능면에서 우수함이 나타났다. 이때 높은 데이터율의 사용자에게 비해 그다지 월등한 성능은 나타내지 못했다. 또 단계가 적어도 거의 병렬 간섭 제거기와 비슷한 성능이 나타났다. 하지만 직렬 간섭 제거기에 비해서는 성능이 훨씬 개선되었다. 즉, 원근 효과가 그다지 크지 않은 환경보다는 원근 문제가 심각한 환경에서 기존의 간섭 제거기 보다 성능 향상을 보였다.

향후 연구 과제로 학습 심플 수를 줄이기 위한 빠른 수렴 성질을 가지면서 계산의 복잡도 또한 크지 않은

적절한 알고리즘이 요구된다. 또한 초기 동기를 빠르게 포착할 수 있도록 적응 상수 값을 학습 심플 구간에서는 크게 하고 데이터 구간에서는 적게하여 적응적으로 변화시키는 기술이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. E. Boil, M. Herper and A. Busboom, "Adaptive receivers for Mobile DS/CDMA Communication Systems," *IEEE Proceedings of the Vehicular Technology Conference. 1997.*
- [2] John, M. Cioffi "MMSE Decision feedback Equalizers and Code-Part I : Equalization Results *IEEE Trans* Vol.43, No.10, Oct. 1995
- [3] D. Divsalar, M. Simon. and D. Raphaeli, "A new approach to parallel interference cancellation for CDMA." *IEEE GlobeCom'96*, Vol.3, pp.1452-1457, London Nov. 1996
- [4] M. L. Honig, P. B. Rapajic, and G. K. Woodward, "Multiuser Decision Feedback Detection : Performance Bounds and Adaptive Algorithms," *IEEE International Symposium on Information Theory 1998.(Boston USA),IEEE*, Aug 1998.
- [5] N. Al-Dhahir and J. M. Cioffi, "MMSE Decision-Feedback Equalizers and Coding-Finite-Length Results," *IEEE Trans Information Theory*, May 1993..
- [6] J. M. Holtzman, "DS/CDMA Successive Interference Cancellation," *Code Division Multiple Access Communications. ed. S.G. Ghisc and P.A. Leppanen, Kluwer Academic Pub.* 1995.
- [7] R. Kohno, "Pseudo-noise Sequences and Interference Cancellation Techniques for Spread Spectrum Systems-Spread Spectrum Theory and Techniques in Japan." *IEICE Trans. Commun.* Vol J74-B-I, No.5, pp. 1083-1092. May 1991.
- [8] A. Duel-Hallen, "A Family of Multiuser Decision-Feedback Detectors for Asynchronous Code-Division Multiple-Access Channels," *IEEE Trans.*

on Communications, Vol.12, No.5, June 1994.

- [9] T. R. Giallorenzi and S.G. Wilson, "Decision Feedback Multiuser Receivers for Asynchronous CDMA systems," *Proc. IEEE Trans. Globecom '93*, Houston, TX, pp.3073-3079. Dec. 1993.
- [10] J. Wang and L. B. Milstein, "Adaptive LMS Filters for Cellular CDMA Overlay Situations." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.14, No.8, October 1996.
- [11] S.Moshavi, E. G. Kanterakis and D. L. Schillin, "Multistage Linear Receivers for DS/CDMA Systems," *International Journal of Wireless Information Networks*, Vol.3, No.1, 1996.
- [12] 김학춘, 이병관 "이중 채널을 이용한 비선형 등화기에 관한 연구", 한국정보처리학회 '99 춘계발표논문집, 제6권 제1호 pp.1057-1060.
- [13] 김학춘, 이병관 "DS/CDMA 시스템에서 DFE를 이용한 RAKE 수신기의 성능 분석", 한국정보처리학회 '99 추계발표논문집, 제6권 제2호 pp.527-530
- [14] 김학춘, 양승혜, 이병관 "무선통신 시스템 환경에서 다중 사용자를 위한 간섭제거", 한국인터넷정보학회 '2000 춘계발표논문집, 제1권 제1호 pp.527-530.



**김학춘**

e-mail : hakchun@chollan.net

1992년 호원 대학교 전자계산학과 졸업(이학사)

1995년 조선 대학교 대학원 진산 기공학과 졸업(공학석사)

2000년 관동대학교 대학원 전자계산공학과 졸업(공학박사)

1995년~1999년 한국 컴퓨터 엔지니어링 개발과장

1997년~현재 동우 대학 사무자동화과 겸임교수

1998년~현재 관동대학교 컴퓨터공학과 강사

1999년~현재 이지위스 개발 실장

관심분야: 디지털 이동통신, 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어



**이병관**

e-mail : bktlee@mail.kwandong.ac.kr

1979년 부산 대학교 졸업(공학사)

1986년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)

1990년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 (이학박사)

1988년~현재 관동대학교 전자계산공학과 교수

관심분야: 디지털 이동통신, 분산운영체제, 컴퓨터네트워크