

# DS/CDMA 시스템의 개선된 MMSE 다중사용자 검파기 성능분석

정희원 감두열\* 박상규\*\*

## Performance Analysis of Advanced MMSE Multi-User Detector for DS/CDMA systems

Doo Yoel Kam\*, Sang Kyu Park\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 AWGN 채널뿐만 아니라 나카가미(Nakagami) 페이딩 채널하에서 MMSE 다중사용자 검파기의 성능을 신호대 잡음비, 사용자 수 그리고 나카가미 페이딩 지수 측면에서 상용검파기와 비교하여 분석하였다. 그 결과 MMSE (Minimum Mean Squared Error) 다중사용자 검파기는 상용검파기에 비해 다중접속간섭에 강한 장점을 보였으나 하드웨어의 복잡도가 크다는 단점을 가진다. 이를 해결하기 위해 적응형 MMSE 다중사용자 검파기를 제시하고 성능을 분석하였다. 이것은 시스템의 처리이득(processing gain)과는 독립적으로 검파기내의 탭의 개수를 결정할 수가 있다. 따라서 하드웨어의 복잡도와 성능을 감안하여 시스템 설계자가 적절한 탭의 수를 결정하여 사용할 수 있다는 장점을 가진다.

### ABSTRACT

In this paper, the performance of the MMSE multiuser detector is compared with the conventional detector with respect to the signal-to-noise ratio, the number of users and the Nakagami parameter under AWGN as well as Nakagami fading channel. The results show that the MMSE multiuser detector is superior to the conventional detector with respect to cancelling the multiple access interference. However, its drawback is the hardware's complexity. To solve this drawback, the advanced MMSE multiuser detector is presented, and its performance is analyzed. The number of taps in the advanced MMSE multiuser are independent of the processing gain. Thus, the system engineer can choose the appropriate number of taps in the detector to achieve a optimal trade-off between the hardware complexity and the performance of system

### I. 서 론

제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000에 채택되는 CDMA 시스템은 셀룰러 이동통신 환경에서 TDMA나 FDMA에 비하여 주파수 자원을 효율적으로 이용하여 수배의 용량을 갖는다는 사실이 이미 확인되었다<sup>[1]</sup>. 그러나 CDMA 시스템은 원근문제(near-far problem)로 인한 불균등한 수신신호의 세

기와 사용자들간의 확산부호(spreading code)의 비직교성(nonorthogonality)으로 인한 상호상관값(cross-correlation)때문에 각각의 사용자 신호들은 상호간섭을 많이 겪게된다<sup>[2]</sup>. 이를 다중접속간섭(MAI, Multiple Access Interference)이라고 한다<sup>[3]</sup>. CDMA 통신 시스템은 이러한 다중 사용자들의 간섭에 의해서 검파 성능과 시스템 용량이 제한된다.

IS-95 시스템에서 사용되는 정합필터(matched

\* 삼성전자 정보통신총괄 무선 사업부 소프트웨어개발부

\*\* 한양대학교 전자전기공학부(skpark@email.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 99503-1230, 접수일자 : 1999년 12월 30일

filter)에 기초한 상용검파기(conventional detector)는 하드웨어의 복잡도는 작지만 다중접속간섭에 취약하기 때문에 검파 성능의 열화가 심하다. 그러나 다중 사용자 검파기는 다중접속간섭에 강하기 때문에 검파 성능이 매우 뛰어나지만 복잡도가 크다는 단점을 가진다<sup>[4]</sup>. 1986년 Verdu가 제안한 최적(optimal) 다중사용자 검파기는 사용자 수의 증가에 따라 하드웨어의 복잡도가 지수적으로 증가하기 때문에 실제적인 구현이 불가능하였다<sup>[5]</sup>. 이후 여러 학자들에 의해서 부최적(suboptimal) 다중사용자 검파기들이 활발히 연구되어 왔으며, 부최적 다중 사용자 검파기는 크게 선형 검파기와 비선형 검파기로 나뉜다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 부최적 검파기 중에서 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 알려진 선형 MMSE (Minimum Mean Squared Error) 검파기에 초점을 맞추어 AWGN 채널뿐만 아니라 나카가미(Nakagami) 페이딩 채널에서 MMSE 다중사용자 검파기의 성능을 비트오류확률, 사용자 수, 그리고 나카가미 페이딩 지수 측면에서 상용검파기와 비교하여 평가하였다. 그리고 시스템의 복잡도를 크게 줄이면서도 상용검파기에 비해 우수한 성능을 발휘하는 개선된 MMSE 다중사용자 검파기를 제시하고 그 성능을 평가하였다.

이를 위하여 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2 장에서는 송수신 신호의 모델링과 나카가미 페이딩 채널에 대해 기술하고, 3 장에서는 기존의 MMSE 다중사용자 검파기를 분석하고 이를 발전시킨 개선된 MMSE 다중사용자 검파기를 제시한다. 4 장에서는 수치해석 결과를 분석하고, 끝으로 5 장에서 결론을 도출한다.

## II. 시스템 모델링

### 2.1 송수신 신호 모델링

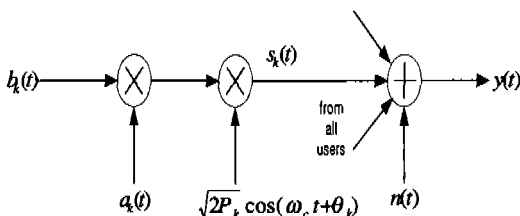


그림 1. BPSK DS/CDMA 시스템

그림 1은 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN, Additive White Gaussian Noise) 채널을 통과하는 K 명의 사용자가 있는 BPSK DS/CDMA 시스템의 송수신 신호를 나타낸 것이다. 송신신호  $s_k(t)$  는 식 (1)과 같이 정의되며 AWGN 채널을 통과한 후, 다른 사용자들의 신호들과 잡음이 더해져서 수신단에  $y(t)$  라는 신호로 수신되어진다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} a_k(t) b_k(t) \cos(\omega_c t + \theta_k) \quad (1)$$

여기서 사용자 수  $k=1,2,3,\dots,K$  의 값을 가지며,  $P_k$ ,  $\theta_k$  는 각각 k번째 사용자의 전송전력과 위상을 나타낸다.  $a_k(t)$  는 확산부호(spreading code)를  $b_k(t)$  는 정보신호를 나타내며 각각 식 (2), (3)과 같다.

$$a_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i^k P_{T_c}(t-iT_c) \quad (2)$$

$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_j^k P_{T_b}(t-jT_b) \quad (3)$$

식 (2)에서  $a_i^k \in \{-1, +1\}$  이고,  $T_c$  는 칩(chip) 주기를 나타내며  $P_{T_c}(\cdot)$  는  $T_c$  주기를 가지는 단위 사각파(unit rectangular pulse)를 나타낸다. 그리고 식 (3)에서  $b_j^k \in \{-1, +1\}$  이고,  $P_{T_b}(\cdot)$  는 비트 주기  $T_b$  를 가지는 단위 사각파이다. 여기서 시스템의 처리이득(processing gain)을 N 이라고 하면,  $T_b$  와  $T_c$  사이에는 식 (4)와 같은 관계가 성립한다.

$$T_b = NT_c \quad (4)$$

그림 1에서  $n(t)$  는 평균값이 0이고 양측 주파수 전력 밀도(two-sided power spectral density)가  $N_0/2$  인 AWGN 이다.

이동국의 송신신호가 식 (1)과 같을 때, 기지국이 수신하는 수신신호는 식 (5)와 같이 여러 이동국들의 송신신호들과 잡음의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{k=1}^K s_k(t - \tau_k) + n(t) \\ &= \sum_{k=1}^K \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) + n(t) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\tau_k$  는 k 번째 사용자 송신 신호의 전파

(propagation) 지연시간을 나타내는 것으로서  $[0, T_b)$  범위에 균일하게 분포한다. 그리고  $\phi_k$  는 위상 변이를 나타내는 것으로서  $[0, 2\pi)$  사이의 균일 분포값을 가지며 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\phi_k = \theta_k - \omega_c \tau_k \quad (6)$$

### 2.2 나카가미 페이딩 채널 모델링

나카가미(Nakagami) 페이딩 채널 하에서 MMSE 다중사용자 검파기의 성능을 분석하기 위해 나카가미 확률분포의 특징에 대해 알아본다.

나카가미 확률밀도함수는 식 (7)과 같고, 확률분포함수는 식 (8)과 같다<sup>[7]</sup>.

$$f(r) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} r^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} r^2\right), \quad r \geq 0 \quad (7)$$

$$F(r) = \int_{-\infty}^r f(t) dt \quad (8)$$

$$= \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} \int_0^r t^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} t^2\right) dt$$

나카가미 분포는 페이딩 지수  $m$ 에 따라서 그 특성이 변화하게 되는데  $m$ 이 0.5 일 때는 half-Gaussian,  $m$ 이 1 일 때는 Rayleigh, 그리고  $m$  이 무한대일 때는 페이딩이 없는 경우를 나타낸다.  $m$ 값을 적절하게 선택하면 Rician이나 log-normal 분포를 나타낼 수가 있다. 일반적으로 임의의 수신기의 비트오류확률을  $P(r)$  이라고 하고, 나카가미 분포와 같은 이동통신 페이딩 채널의 확률분포를  $f(r)$  이라고 하자. 이때, 확률분포  $f(r)$ 로 모델링되는 이동통신 채널을 통과 하는 수신기의 평균비트오류확률식  $P_e$  는 아래와 같이 비교적 간단하게 구할 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$P_e = \int_0^{\infty} P(a)f(a)da \quad (9)$$

## III. 다중사용자 검파기

### 3.1 MMSE 다중사용자 검파기

현재 IS-95에서 사용되고있는 정합필터에 근거한 상용검파기의  $k$ 번째 사용자의 기저대역(baseband) 출력 신호는 식 (5)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_k = \int_0^{T_b} y(t) a_k(t) dt \quad (10)$$

$$= A_k b_k + \sum_{j \neq k} A_j b_j \rho_{jk} + n_k$$

여기서  $\rho_{jk} = \int_0^{T_b} a_j(t) a_k(t) dt$ 으로 확산부호의 상호 상관값이다.

선형 MMSE 다중사용자 검파기의 선형변환  $M$  이  $K \times K$  행렬이고 이것의  $k$  번째 열  $m_k$  를  $k$  번째 사용자의 선형변환이라고 할 때, MMSE 다중사용자 검파기의  $k$  번째 사용자의 검파된 정보 비트는 식 (11)과 같다.

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(m_k^T y) \quad (11)$$

여기서  $y$  는 식 (12)와 같이 표현되는 식 (10)의 벡터형태이다.

$$y = RAb + n \quad (12)$$

여기서,

$$y = [y_1, \dots, y_K]^T, \quad b = [b_1, \dots, b_K]^T,$$

$$A = \text{diag}\{A_1, \dots, A_K\}, \quad R = \{\rho_{ij}\},$$

그리고  $n = [n_1, \dots, n_K]^T$  이다.  $A$ 는 신호의 수신크기를 나타내고,  $R$ 은 확산부호의 상호 상관값이고,  $n$ 은 가우시안 랜덤 변수로서 평균값 0과 분산값  $\sigma^2$ 을 가진다. 일반적으로 MMSE를 위한 선형변환은  $M = [R + \sigma^2 A^{-2}]^{-1}$ 과 같다<sup>[9]</sup>. 이 선형변환을 거친 후 측정되는  $k$  번째 사용자의 측정 비트는 식(13)과 같다.

$$\hat{b}_k = \text{sgn}([(R + \sigma^2 A^{-2})^{-1} y)_k] \quad (13)$$

$K$  명의 사용자가 있는 일반적인 MMSE 다중사용자 검파기에서 첫 번째 사용자의 신호를 우리가 원하는 신호라 할 때, 첫 번째 사용자가 가지는 오류확률식은 식(14)와 같다<sup>[9]</sup>.

$$P_1(\sigma) = 2^{1-K} \sum_{b_1, b_2, \dots, b_K \in \{-1, 1\}^{K-1}} Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \cdot \frac{(MR)_{11}}{\sqrt{(MRM)_{11}}} \left(1 + \sum_{k=2}^K \beta_k b_k\right) \quad (14)$$

여기서,

$$\beta_k = B_k/B_1, \quad B_k = A_k(MR)_{1k},$$

$n_1 \sim N(0, \sigma^2(MRM)_{11})$ 이며,  $\beta_k$  는 첫 번째 사용자 신호에 대해  $k$  번째 사용자 신호가 주는 상대적인 간섭양을 나타낸다.

### 3.2 개선된 MMSE 다중사용자 검파기

1995년 Miller가 제안한 다중사용자 검파기는 수신되는 신호를 매 칩 주기  $T_c$  동안 적분을 한 뒤, 시스템의 처리이득과 같은  $N$ 개의 레지스터들에 각각 칩 주기 동안 지연된 값들을 임시 저장한 후 샘플 계수를 곱하는 형태를 가진다<sup>[10]</sup>. 이 검파기는 MMSE 알고리즘에 바탕을 둔 것으로 다중접속간섭과 잡음신호 환경에 뛰어날 뿐만 아니라 원근문제에도 강하다는 장점을 가진다. 그러나 시스템의 처리이득이 커짐에 따라서 검파기 필터의 템의 개수가 비례하여 증가하는 단점을 가진다. 이것은 향후 IMT-2000과 같은 멀티미디어 통신을 지원하는 큰 처리이득을 필요로 하는 DS/CDMA 환경에서는 처리이득의 증가에 따라 검파기의 복잡도가 비례하여 증가하게되는 단점을 가진다.

따라서 본 절에서는 시스템의 처리이득과 복잡도가 독립성을 가지는 개선된 MMSE 다중사용자 검파기를 제시한다. 이것은 시스템 설계자가 하드웨어의 복잡도와 시스템의 성능을 고려해서 임의로 템의 수를 결정할 수 있는 보다 간단한 형태의 다중사용자 검파기이다.

일반적으로 처리이득  $N$ 을 가지는 시스템이 있을 때, 비트 주기  $T_b$  와 칩 주기  $T_c$  사이에는 이미 식 (4)와 같은 관계가 있음을 보였다. 이때 비트 주기  $T_b$  를 임의의 시간  $T_M$  과 임의의 상수  $M$ 을 사용하여 식 (15)와 같이 정의한다.

$$T_b = MT_M \quad (15)$$

그리고  $\alpha$  을 임의의 양의 수라고 할 때, 시스템의 처리이득  $N$  과 식 (15)의  $M$  사이에는  $N = \alpha M$ 과 같은 관계가 성립한다. 즉,  $\alpha = 1$  이면 적분구간  $T_M$  이 칩 주기  $T_c$  와 같게된다. 하지만  $\alpha$  가 1보다 큰 임의의 양의 값을 가지게 되면  $M$ 은  $N$ 보다 작은 값을 가지게 되고, 상관기의 적분구간은 칩 주기보다 큰 임의의 구간이 된다. 이를 종합하여 그림 2와 같은 개선된 MMSE 다중사용자 검파기를 제시한다.

첫 번째 사용자의 신호가 수신단에서 원하는 신호라고 할 때, 그림 2의 상관기 출력 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_j = \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} \left[ \left( \sum_{k=1}^K \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) \cdot \cos(\omega_c t + \phi_k) \right) + n(t) \right] \cdot a_1(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (16)$$

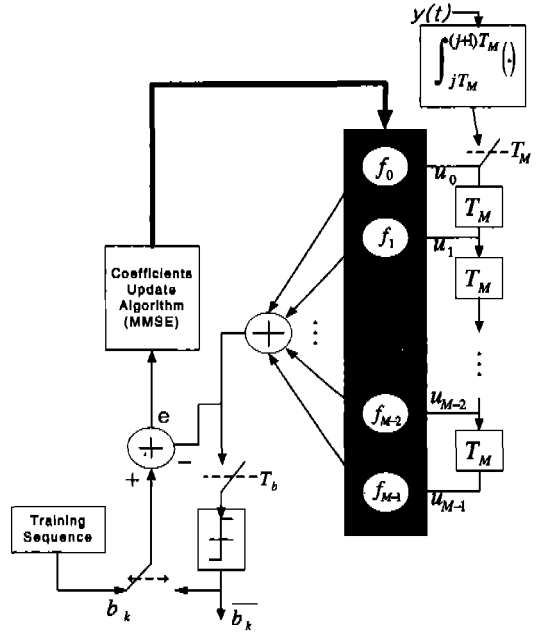


그림 2. 개선된 MMSE 다중사용자 검파기

식 (16)에서 적분구간에 따라  $U_j = \{u_j\}$  이고  $j = 0, 1, 2, \dots, M-1$  의 값을 가지며  $j$ 는 수신기 필터 통과 후, 각각  $T_M$  만큼의 지연 시간을 나타낸다.  $u_j$ 를 데이터신호, 간섭신호 그리고 잡음신호 성분으로 분리하여 나타내면 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_j = D_j + I_j + \eta_j \quad (17)$$

수신기에서 수신한 사용자의 정보신호  $D_j$  는 한 비트 주기동안 일정한 값을 가지므로 간단히  $D$  로 표시할 수 있다.  $I_j$  는 같은 채널을 사용하고 있는 다른 사용자들로부터 야기된 다중접속간섭(MAI, Multiple Access Interference) 신호를 나타내고,  $\eta_j$  는 열잡음(thermal noise) 분포를 나타낸다. 원하는 사용자가 첫 번째 사용자라고 가정하면, 각각 이들 신호성분은 다음의 식들과 같다.

$$D = \sqrt{2P_1} \int_0^{T_M} a_1(t) b_1(t) \cos^2(\omega_c t) dt = \sqrt{\frac{P_1}{2}} b_1 \left( T_M + \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c T_M) \right) = \sqrt{\frac{P_1}{2}} b_1 T_M \quad \text{for } \omega_c \gg \frac{2}{T_M} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
 I_j &= \sum_{k=2}^K \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} \sqrt{2P_k} b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) a_1(t) \\
 &\quad \cdot \cos(\omega_c t + \phi_k) \cos(\omega_c t) dt \\
 &= \sum_{k=2}^K \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} \sqrt{2P_k} b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) a_1(t) \\
 &\quad \cdot \frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t + \phi_k) + \cos(\phi_k)] dt
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 &\approx \sum_{k=2}^K \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} \sqrt{\frac{P_k}{2}} b_k(t-\tau_k) a_k(t-\tau_k) a_1(t) \cos(\phi_k) dt \\
 \eta_j &= \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} n(t) a_1(t) \cos(\omega_c t) dt
 \end{aligned} \tag{20}$$

식 (20)의  $\eta_j$  의 평균값은 0이고, 분산은 아래의 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\eta_j}^2 &= E[\eta_j^2] \\
 &= E\left[\int_{jT_M}^{(j+1)T_M} \int_{jT_M}^{(j+1)T_M} n(t)n(\lambda) a_1(t) a_1(\lambda) \cos(\omega_c t) \right. \\
 &\quad \left. \cdot \cos(\omega_c \lambda) dt d\lambda\right] \\
 &= \frac{N_0}{4} \left(T_M + \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c T_M)\right) \\
 &= \frac{N_0 T_M}{4} \quad \text{for } \omega_c \gg \frac{2}{T_M}
 \end{aligned} \tag{21}$$

개선된 MMSE 다중사용자 검파기의 필터계수를  $f_{opt}$ 라 할 때, 이는 다음 식으로 표현된다<sup>[11]</sup>.

$$f_{opt} = (\Gamma + \beta\beta^T)^{-1} \beta \tag{22}$$

여기서  $f_{opt} = [f_0, f_1, \dots, f_{M-1}]^T$ 이고  $M \times M$  행렬  $\Gamma$  와  $M \times 1$  행렬  $\beta$  는 아래의 식과 같이 정의한다.

$$\Gamma = E[I I^T] + \frac{N_0 T_M}{4} I_{MM} \tag{23}$$

$$\beta = \left[\sqrt{\frac{P_1}{2}} T_M, \sqrt{\frac{P_1}{2}} T_M, \dots, \sqrt{\frac{P_1}{2}} T_M\right]^T \tag{24}$$

식 (23)에서  $I_{MM}$  은  $M \times M$  항등행렬(identity matrix)이고,  $I = [I_0, I_1, \dots, I_{M-1}]^T$ 와 같다.

식 (22)의 필터계수를 이용했을 때 주어진 시간지연  $\tau$  와 위상  $\phi$ , 그리고 정보 비트  $b$  에서 발생하는 검파기의 평균비트오류확률식은 일반적인 가우시

안 근사법을 이용하여 식 (25)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_b &= E_{(r, \phi, b)} \left[ 2^{1-K} \sum_{n=0}^{K-1} \binom{K-1}{n} \right. \\
 &\quad \left. \cdot Q \left( \frac{\sqrt{\frac{P_1}{2}} T_M \sum_{j=0}^{K-1} f_j + \sum_{j=0}^{K-1} f_j I_j}{\sqrt{\frac{N_0 T_M}{4} \left(\sum_{j=0}^{K-1} f_j\right)^2}} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{25}$$

#### IV. 수치해석 결과 및 분석

그림 3과 4는 AWGN 채널에서 수신단의 신호대 잡음비가 각각 0, 4, 8dB일 때 사용자 수의 증가에 따른 상용검파기와 MMSE 검파기의 비트오류확률을 나타내었다. 그림을 보면 사용자 수가 증가함에 따라 두 검파기 모두 비트오류확률이 증가하지만 MMSE 검파기가 상용검파기보다 그 정도가 훨씬 완만하다는 것을 알 수 있다. 이는 다중접속 간섭에 MMSE 다중사용자 검파기가 상용검파기에 비해 강하다는 것을 알 수 있다.

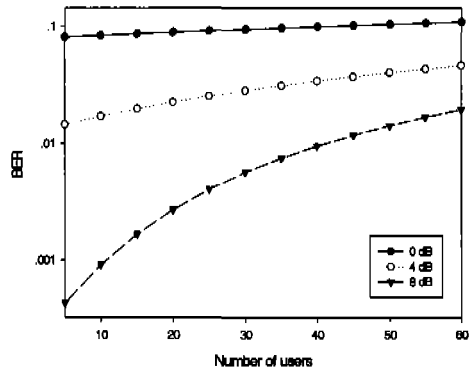


그림 3. AWGN 채널에서 사용자 수의 증가에 따른 상용 검파기의 BER 성능

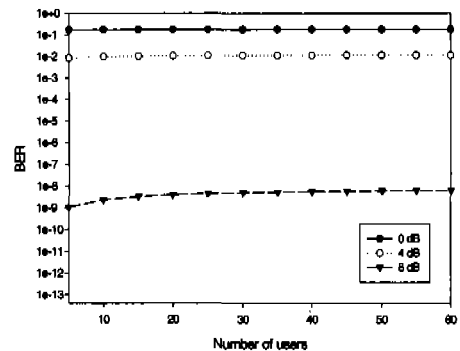


그림 4. AWGN 채널에서 사용자 수의 증가에 따른 MMSE 다중사용자 검파기의 BER 성능

그림 5와 6은 나카가미 확률분포로 모델링되는 페이딩 채널에서 나카가미 지수,  $m$  값이, 1인 레일리(Rayleigh) 페이딩 채널하에서 각각 주어진 사용자 수에 따른 상용검파기와 MMSE 다중사용자 검파기의 비트오류확률분포를 나타낸다. 결과적으로, MMSE 다중사용자 검파기는 페이딩 채널 하에서도 사용자 수가 많아져도 성능의 열화가 별로 크지 않아 상용검파기 보다 다중접속간섭에 강하다는 것을 알 수 있다.

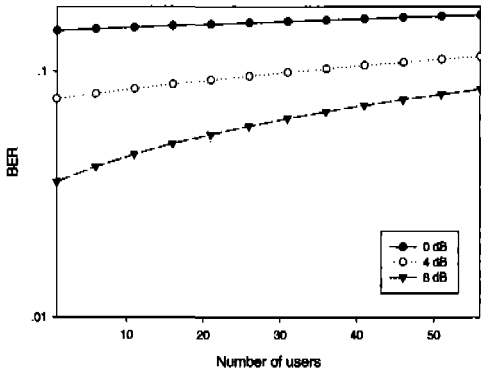


그림 5. 레일리 페이딩 채널하에서 사용자수의 증가에 따른 상용검파기의 BER 성능(나카가미 지수 = 1)

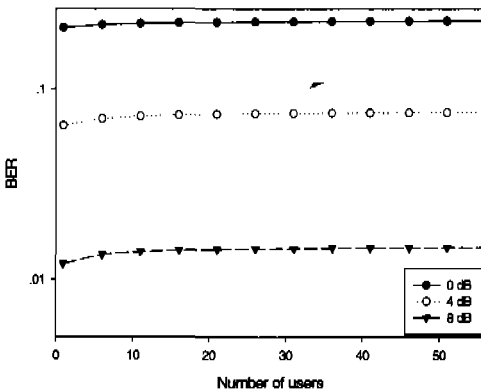


그림 6. 레일리 페이딩 채널하에서 사용자수의 증가에 따른 MMSE 다중 사용자 검파기의 BER 성능 (나카가미 지수 = 1)

그림 7은 사용자 수가 두 명이고 수신신호의 신호대 잡음비가 5 dB일 때, 나카가미 지수  $m$  값의 변화에 따른 상용검파기와 MMSE 다중사용자 검파기의 비트오류확률분포를 나타내는 그림이다.  $m$  값이 0.5 일 때가 페이딩이 가장 심할 때이고,  $m$  값이 1일 때가 레일리 페이딩일 때를 나타낸다.  $m$  값이 증가할수록 페이딩의 정도가 약해서 성능의 열화가 덜하다는 것을 알 수 있다.

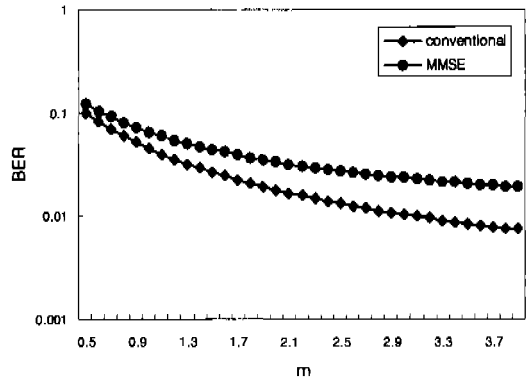


그림 7. 나카가미 지수의 변화에 따른 상용검파기와 MMSE 다중사용자 검파기의 BER 성능 ( $E_b/N_0=5\text{dB}$ , 사용자 수=2명)

그림 8과 9는 식 (25)를 Monte Carlo Method를 이용하여 개선된 MMSE 검파기의 성능을 나타낸 그래프이다. 여기서 개선된 MMSE 다중사용자 검파기의 성능에 초점을 맞추기 위해 무선채널을 페이딩을 고려하지 않은 AWGN으로 단순화시켰다. 그리고 BPSK DS/CDMA 시스템이 완벽히 전력제어가 이루어졌다는 가정 하에 사용자 수를 두 명으로 하고, 처리이득 31 그리고 확산부호로 주기가 31인 골드부호를 사용했다. 렫의 개수가 5개와 10개일 때의 적응형 MMSE 다중사용자 검파기와 상용검파기를 비교한 결과 렫의 개수가 많을수록 성능이 더욱 좋아짐을 알 수 있다.

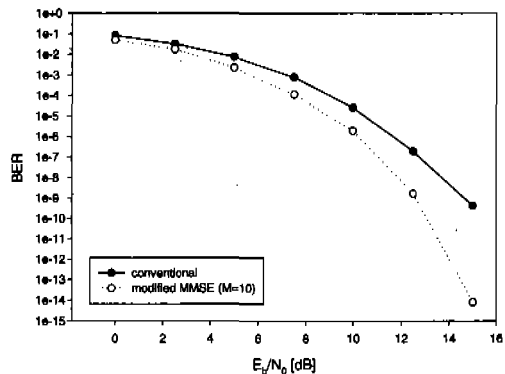


그림 8. AWGN 채널하에서 개선된 MMSE 다중사용자 검파기의 BER 성능 (렫의 개수=10, 사용자 수=2명)

## V. 결론

본 논문에서는 DS/CDMA 시스템의 상용검파기와 다중사용자 검파기의 성능을 AWGN 채널 및

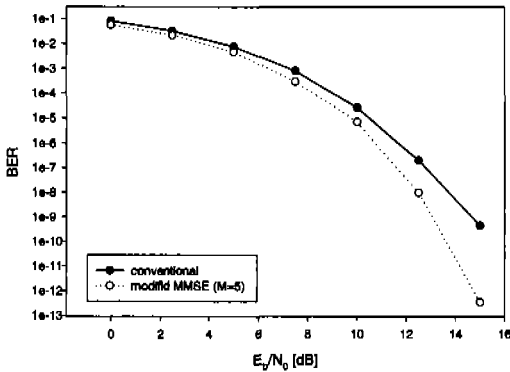


그림 9. AWGN 채널하에서 개선된 MMSE 다중사용자 검파기의 BER 성능 (탭의 개수=5, 사용자 수=2명)

나카가미 페이딩 채널에서 분석하였다. 그리고 기존의 MMSE 알고리즘에 기초한 다중사용자 검파기의 단점인 복잡도를 줄일 수 있는 개선된 MMSE 다중사용자 검파기를 제시하였다. 이것은 시스템 설계자가 하드웨어의 복잡도와 시스템의 성능을 고려하여 MMSE 다중사용자 검파기의 탭 개수를 임의로 결정할 수 있는 장점을 가진다.

주어진 신호대잡음비에서 MMSE 다중사용자 검파기의 비트오류확률이 정합필터 단일사용자 검파기에 비해 훨씬 낮았고, 또한 사용자수가 증가하더라도 성능저하가 크지 않음을 알 수 있었다. 이것은 AWGN 뿐만 아니라 나카가미 페이딩 환경에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 하드웨어의 복잡도를 낮출 수 있는 개선된 MMSE 다중사용자 검파기는 상관기의 적분구간을 변화시켜서 시스템의 처리이득과는 독립적으로 탭의 개수를 결정할 수 있다. 개선된 MMSE 다중사용자 검파기의 탭 개수와 성능은 트레이드 오프(trade-off) 관계를 가지므로 이들 사이의 관계를 고려한 적절한 탭의 개수 선택이 중요하다.

참 고 문 헌

[1] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver and C. E. Wheatley III, "On the Capacity of a Cellular CDMA System", *IEEE Trans. on Vehic. Technol.*, Vol. 40, No. 2, pp. 303-312, May 1991

[2] Sang Kyu Park and Ho Sung Nam, "DS/CDMA Closed-loop Power Control with Adaptive Algorithm", *IEE Electronics Letters*,

vol. 35, no. 17, pp. 1425-1427, Aug. 1999

[3] N. R. Patel and T. O'Farrell, "Achieving MAI Cancellation In An Asynchronous DS/CDMA System by Optimum Single-User Detection", *IEEE PIMRC'98*, Vol. 2, pp.900-904, 1998

[4] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS/CDMA Communications", *IEEE Commun. Mag.*, pp. 137-149, Oct. 1996

[5] S. Verdu, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple-Access Channels", *IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol. IT-32, No. 1, pp. 85-96, Jan. 1986

[6] T. Ojanpera and R. Prasad, *Wideband CDMA For Third Generation Mobile Communications*, Artech House Publishers, 1998

[7] M. D. Yacoub, J. E. V. Bautista and L. G. R. Guedes, "On Higher Order Statistics of the Nakagami-m Distribution", *IEEE Trans. on Vehic. Tech.* Vol. 48, NO. 3, pp. 790-794, May 1999

[8] S. Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall, 1997

[9] S. Verdu, *Multuser Detection*, Cambridge University Press, 1998

[10] S. L. Miller, "An Adaptive Direct-Sequence Code-Division Multiple-Access Receiver for Multiuser Interference Rejection", *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 43, No. 2/3/4, pp. 1746-1755, Feb./Mar./Apr., 1995

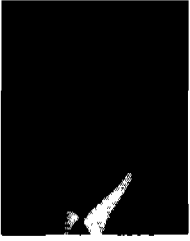
[11] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 2nd Edition, Prentice Hall, 1991

[12] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1991

[13] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1995

감 두 열(Doo Yoel Kam)

정회원



1998년 2월 : 한양대학교

전자통신과졸업

2000년 2월 : 한양대학교

전자통신공학석사

2000년~현재 : 삼성전자 재직

<주관심 분야> 디지털통신,

확산대역통신, PCS,

IMT-2000

박 상 규(Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교

전기공학과 졸업

1980년 5월 : Duke University

통신공학석사

1987년 5월 : University of

Michigan 통신공학박사

1976년 7월~1978년 10월 : 국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월 : University of Southern  
California 객원교수

1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기  
공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,  
PCS, IMT-2000

e-mail:skpark@email.hanyang.ac.kr