

# 다중채널 선형등화기를 이용한 혼합 TDMA/CDMA 시스템의 성능개선

정희원 김 응 배\*, 남 옥 우\*\*, 김 재 형\*\*, 김 남 일\*

## Performance Improvement of A Hybrid TDMA/CDMA Systems with Multi-channel Linear Equalizer

Eung-Bae Kim\*, Ock-Woo Nam\*\*, Jae-Hyung Kim\*\*, Nam-il Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 CDMA 시스템의 장점을 유지하면서 시스템의 용량을 증가시킬 수 있는 다중사용자 복조 시스템에 대해서 살펴보았다. TDMA와 CDMA를 결합 함으로써 다중사용자 복조 알고리즘을 간소화 할 수 있다는 개념하에 선형등화기를 사용하여 실제 구현가능한 준 최적 다중사용자 복조시스템을 설계하였는데, 이를 혼합 TDMA/CDMA 시스템이라 한다. 또한 채널추정 방법으로 PSAD 나 MSDD를 사용하는 다중사용자 복조 시스템을 제안하였다. 성능분석 결과 사용자가 많지 않을 경우 선형 다중채널 등화기와 동일하거나 혹은 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었고, 셀내에 사용자가 많을 경우 혼합 TDMA/CDMA 시스템을 사용함으로써 전형적인 단일 사용자 복조시스템에 비해 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we studied for multi-user detection system, which hold the merit of CDMA system and can enhance the system capacity. We designed actually realizable quasi-optimal multiuser detection system by use of linear equalizer on the concept that multiuser detection algorithm can be reduced by combining TDMA with CDMA, we call this the hybrid TDMA/CDMA system. And we proposed multiuser detection system, which can use PSAD and MSDD channel estimation method. As a result of performance analysis, we acquired equal or much better performance by use of linear multichannel equalizer in the case of not so many user. And on the occasion of many user within cell we can also acquired much better performance in comparison with conventional single user detection system by use of hybrid TDMA/CDMA system.

### I. 서 론

본 논문에서는 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)를 기반으로 하는 다중 접속방식에서 CDMA에서의 장점을 유지하면서, 시스템 용량을 증가시킬 수 있는 방법에 대한 고찰을 하고자 한다. CDMA의 용량을 개선하기 위한 방법으로 다중사용자 복조방식이 크게 주목을 받아 왔으며, 이

에 대한 많은 연구결과가 발표된 바 있다<sup>[1-7]</sup>. 그러나 다중 사용자 복조방식은 기존의 CDMA복조 방식에 비하여 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 반면, 복조알고리즘에서 요구되는 계산량이 너무 많아 구현에 어려움을 겪는다. 또한 사용자가 증가할수록 계산량이 지수적으로 증가하게 된다. 이를 해결하기 위한 방법중의 하나가 TDMA와 CDMA를 결합(이하, 혼합 TDMA/CDMA 시스템)하는 것이

\* 한국전자통신연구원(ebkim@etri.re.kr)

\*\* 창원대학교 제어계측공학과(phdnow@cosmos.changwon.ac.kr)  
논문번호 : 00111-0330, 접수일자 : 2000년 3월 30일

다<sup>[8-10]</sup>.

혼합 TDMA/CDMA 시스템에서는 사용자를 몇 개의 시간슬롯에 분리 할당함으로써 시간 슬롯 당 사용자수는 수분의 일로 줄어들게 되어, 다중사용자 복조 알고리즘이 크게 간소화 될 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 본 논문에서는 실제 구현이 용이한 준 최적의 다중사용자 복조 시스템을 선형등화기를 이용하여 설계하였다. 또한 대부분의 무선통신 채널에서는 사용자들이 전송한 신호는 페이딩을 경험하게 되어 왜곡이 야기된다. 이 경우 전송된 데이터를 적절하게 복구하기 위해서는 채널추정기(channel estimator)가 필수적으로 사용되어야 하는데, 본 논문에서는 선형등화기에 의하여 간섭이 제거된 각 사용자신호를 파일럿 심볼지원 복조기(Pilot Symbol Assisted Detection : PSAD)방식<sup>[11]</sup>과 다중-심볼 차동복조(Multiple Symbol Differential Detection : MSDD)방식<sup>[12]</sup>을 이용한 다중사용자 복조방식을 사용한 혼합 TDMA/CDMA 시스템을 제안 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 시스템 제안배경에 대한 기초개념을 소개하고 III장에서 선형등화기와 최적복조기의 제안된 시스템을 모델링 한다. 그리고 제안된 시스템에 대한 성능평가 결과를 IV장에서 보이고 마지막으로 V장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## II. 혼합 TDMA/CDMA 시스템 모델

기존의 DS-CDMA 시스템에서는 특정 사용자의 신호를 복조하기 위하여 기지국에 수신된 신호와 그 사용자의 부호를 상관시키는 정합필터방식을 사용하고 있다. 따라서 다중접속 간섭 (Multiple Access Interference : MAI)을 가우시안(Gaussian) 잡음으로 간주하게 되므로 최적의 성능을 보장할 수 없다. 결국 DS-CDMA의 용량과 성능은 다중접속간섭에 의하여 제한을 받는다. 이와 같은 DS-CDMA의 성능의 한계를 극복하기 위해서 제안된 방법중 기지국에서 수신된 사용자신호를 복조할 때 셀 내의 모든 사용자의 부호에 대한 정보를 이용함으로써 시스템의 성능을 크게 증가시킬 수 있는 다중사용자 복조방식이 크게 관심을 끌고 있다<sup>[1-7]</sup>. 하지만 다중 사용자 복조방식은 기존의 CDMA 복조 방식에 비해 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 반면, 복조알고리즘에서 요구되는 계산량이 너무 많아서 구현에 어려움을 겪는다. 또한 사용자가 증가

할수록 계산량이 지수적으로 증가하게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 TDMA와 CDMA를 결합한 혼합 TDMA/CDMA 시스템을 제안한다. 이 방식은 사용자를 몇 개의 시간슬롯에 분리 할당함으로써 시간 슬롯 당 사용자수를 수분의 일로 줄어든게 하여 다중사용자 복조 알고리즘을 크게 간소화 할 수 있다. 그러나 이 경우 한 개의 CDMA 프레임 을 사용하는 경우에 비하여 심볼율이 증가하게 된다. 따라서 대역폭을 일정하게 유지하기 위해서는 DS/CDMA의 확산율을 변화시켜야 한다. 예를 들어 사용자가 64이고 확산율이 127인 기존의 DS/CDMA 시스템을 4개의 시간슬롯으로 분리할 경우, 사용자가 16이고 확산율이 31인 혼합 TDMA/CDMA 시스템에 의하여 동일한 대역폭으로 전송이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 개념을 바탕으로 하여 다중사용자 복조시스템 중 실제 구현이 용이한 준 최적의 다중사용자 복조시스템을 다중채널 선형등화기(Multichannel Linear Equalizer)를 이용하여 설계하였다. 그림 1은 혼합 TDMA/CDMA 시스템의 개념을 설명하기 위한 전송 프레임 구조를 나타낸 것이다.

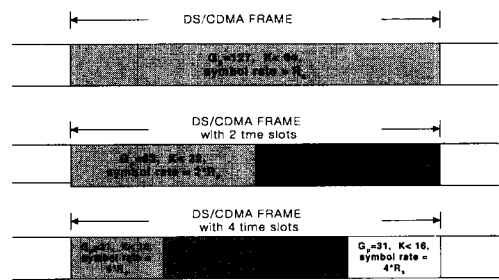


그림 1. 혼합 TDMA/CDMA 시스템의 프레임 구조

기존의 다중사용자 수신기에 대한 연구 중 채널 추정에 대한 연구는 상대적으로 많은 관심을 받지 못하였다. 즉, 기존의 많은 연구들은 페이딩 채널에 대한 정보를 완벽하게 추정할 수 있다는 주로 이상적인 동기검파 방식을 가정하여 해석을 하고 있다. 본 논문에서는 선형 등화기에 의하여 간섭이 제거된 각 사용자신호를 복조할 경우 필요한 채널추정 방식에 대해서도 살펴보았다. 채널추정에 사용되는 방법으로는 파일럿심볼을 이용하거나, 차동복조를 하는 것을 들 수 있다.

파일럿 심볼지원 복조기(Pilot Symbol Assisted Detection : PSAD)<sup>[11]</sup>를 이용할 경우 성능이 우수한 동기검파가 가능하다는 장점이 있는 반면 주기

적으로 파일럿심볼을 삽입함으로써 대역폭의 손실을 가져오는 단점이 있다. 차동복조의 경우에는 복조알고리즘이 단순하지만 성능이 떨어진다는 단점 때문에 본 논문에서는 블록복조방식의 하나인 다중심볼 차동복조(Multiple Symbol Differential Detection : MSDD)방식<sup>[12]</sup>을 적용하였다. 이러한 MSDD방식의 일반적인 특징은 차동복조 시에 2개 이상의 심볼을 이용함으로써, 페이드율이 빠른 채널환경에서도 우수한 오류특성을 가진다는 점이다.

본 논문에서 제안된 시스템은 다중사용자 신호들을 분리하기 위한 다중채널 선형등화기(Multi-channel Linear Equalizer)와 MSDD 그리고 PSAD를 이용한 다중사용자 복조방식으로, 다중채널 선형등화기에서 분리된 다중사용자 신호들은 MSDD 또는 PSAD 복조기뱅크에 의해서 처리된다. 편의상 이들을 각각 LE-MSDD 및 LE-PSAD라고 하자. 이들 복조기들의 성능은 다음의 가정하에서 평가될 것이다.

1. 단일 셀, 혼합 TDMA/CDMA 시스템
2. 비동기 CDMA 채널
3. 레일리 주파수 비선택적 페이딩
4. BPSK 변조방식
5. 가변확산률 및 가변 TDMA 슬롯할당

### III. 다중채널등화기 및 복조기 설계

본 논문에서는 사용자수가  $K$ 인 단일 셀 비동기식 DS-CDMA의 역방향 채널에 대한 고찰을 하고자 한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 다중사용자 방식 DS-CDMA 시스템의 모델을 나타낸 것이다.

수신기의 구조를 살펴보면,  $K$ 명의 사용자 신호로 구성된 수신신호  $r(t)$ 는  $K$ 개의 상관기에 의하여 역확산되고 역확산된 수신신호의 샘플은 다중채널 등화기를 통과시켜 각 사용자 신호들의 추정치를 발생시킨다. 등화기의 출력은  $K$ 개의 복조기로 구성된 복조기 뱅크에 의하여 사용자 데이터들을 동시에 복조한다.

주파수 비 선택적 레일리 페이딩의 경우, 기저대역에서의 수신신호는

$$r(t) = \sum_{k=0}^K g_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) d_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (1)$$

로 주어지며, 여기서  $g_k(t)$ 와  $\tau_k(t)$ 는 각각  $k$ 번째

사용자가 경험하는 페이딩 이득 및 페이딩 지연,  $c_k(t)$ 와  $d_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자의 확산파형 및 데이터 신호, 그리고  $n(t)$ 는 채널 잡음을 의미한다.

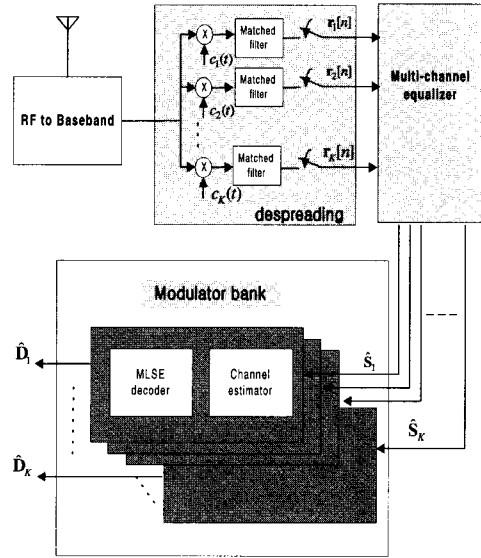


그림 2. 다중사용자 복조방식 DS-CDMA의 시스템 모델

데이터 파형  $d_k(t)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$d_k = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_k[n] \delta(t - nT) \quad (2)$$

단,  $d_k(n)$ 는  $k$ 번째 사용자의  $n$ 번째 비트,  $\delta(t)$ 는 단위크기와  $T$ 의 지속시간을 갖는 구형파이다. 본 논문에서는 BPSK 변조만을 고려하므로  $d_k[n]$ 은 집합  $\{\pm 1\}$ 로부터 취한 이진 랜덤변수이다. 확산신호의 주기는  $T_c$ 라 가정하며, 확산신호의 각 주기는  $G$ 개의 칩으로 나누어지며, 집합  $\{\pm 1\}$ 에서 선택된 랜덤변수가 된다. 칩파형 역시 구형파로 가정하며 단위진폭 및  $T_c = \frac{T}{G}$ 의 지속시간을 가진다. 마지막으로  $\tau_k$ 는  $[0, T)$ 구간에서 균일한 분포를 가지는 랜덤변수로 가정한다.

식(1)의 채널잡음은 평균이 0, 전력 스펙트럼 밀도가  $N_0$ 인 백색 복소 가우시안(Gaussian) 프로세서이며, 페이딩 이득들은 통계적으로 독립이고, 평균이 0, 그리고 자기상관 함수가  $P_k J_0(2\pi f_d \tau)$ 인 복소 가우시안 프로세서 모델을 사용한다. 단, 여기서  $P_k$ 는  $g_k(t)$ 의 분산,  $f_d$ 는 최대 도플러 주파수, 그리고  $J_0(*)$ 는 0차 베셀함수를 의미한다. 따라서 역 확

산된 k번째 사용자 신호의 신호 대 잡음비는

$$SNR = \frac{P_k T}{N_0} \quad (3)$$

으로 주어진다. 다중사용자 수신기는  $r(t)$ 를 각 사용자의 확산파형과 상관(correlation)을 시킴으로써 다음과 같은 샘플들을 얻어낸다.

$$r_k[n] = \int_{nT+\tau_k}^{nT+T+\tau_k} r(t) c_k(t-nT-\tau_k) dt \quad (4)$$

여기서,  $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_K$ 이고 도플러 주파수는 심볼율 (1/T)의 수 퍼센트 이하라고 가정하면, n번째 심볼에 대한 수신샘플 벡터  $R(n)$ 은 다음과 같다.

$$R(n) = \begin{bmatrix} r_1[n] \\ r_2[n] \\ \vdots \\ r_K[n] \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= \sum_{m=-1}^1 f_m S(n-m) + e(n)$$

단,  $m$ 은  $m$ 번째 사용자를 의미하며  $e(n)$ 과  $S(n)$ 은 각각 잡음벡터와 페이딩을 경험한 데이터 심볼을 나타내고,  $f_m$ 은 확산파형의 부분 상관행렬로서  $f_{-1}$ ,  $f_0$  및  $f_1$ 은 각각 다음과 같다.

$$f_{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b(2,1) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b(3,1) & b(3,2) & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ b(K,1) & b(K,2) & b(K,3) & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$$f_0 = \begin{bmatrix} a(1,1) & a(2,1) & a(3,1) & \dots & a(K,1) \\ a(2,1) & a(2,2) & a(3,2) & \dots & a(K,2) \\ a(3,1) & a(3,2) & a(3,3) & \dots & a(K,3) \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ a(K,1) & a(K,2) & a(K,3) & \dots & a(K,K) \end{bmatrix}$$

$$f_1 = f_{-1}^t$$

$$a(k, m) = \int_0^{T+\tau_k-\tau_k} c_k(t) c_m(t+\tau_k-\tau_m) dt, k \geq m$$

$$b(k, m) = \int_0^{\tau_k-\tau_m} c_m(t) c_k(t+T+\tau_m-\tau_k) dt, k \geq m$$

1. 선형 등화기(Linear Equalizer)

수신신호 샘플벡터  $R(n)$ 으로부터 데이터 벡터  $S(n)$ 에 대한 추정치  $\hat{S}(n)$ 을 분리하기 위하여 다중채널 선형 등화기를 사용한다. 등화기의 표현식은 다음과 같다.

$$\beta = (\beta_{-L}, \beta_{-L+1}, \dots, \beta_L) \quad (6)$$

등화기는

$Q(n) = [R(n+L) R(n+L-1) \dots R(n-L)]^t$ 을 입력으로 하고  $S(n)$ 에 대한 추정치  $\hat{S}(n) = \beta Q(n)$ 을 출력한다.

MMSE(Maximum Mean-Squared Error)등화기는 평균-자승오차

$$MSE = E[ (\hat{S}(n) - S(n))^* (\hat{S}(n) - S(n)) ] \quad (7)$$

를 최소화 시키는 것이며,  $\hat{S}(n)$ 은 다음식을 만족해야 한다.

$$\frac{1}{2} E[ (\hat{S}(n) - S(n)) R^*(n-l) ] = 0, -L \leq l \leq L \quad (8)$$

위식을 전개하면 MMSE 등화기는 결국 다음과 같이 주어진다.

$$\beta = \Phi_{SQ} \Phi_{QQ}^{-1} \quad (9)$$

단

$$\Phi_{QQ} = \bar{P} \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ h_{-1} & h_0 & h_1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{-1} & h_0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_0 & h_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{-1} & h_0 & h_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & h_{-1} & h_0 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ f_{-1} & f_0 & f_1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{-1} & f_0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & f_0 & f_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & f_{-1} & f_0 & f_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & f_{-1} & f_0 \end{bmatrix} \cdot N_0$$

$$= \bar{P}H + F \cdot N_0$$

$$h_0 = f_{-1} f_{-1}^* + f_0 f_0^* + f_1 f_1^*$$

$$h_1 = f_0 f_{-1}^* + f_1 f_0^*$$

$$h_{-1} = f_{-1} f_0^* + f_0 f_1^*$$

$\Phi_{SQ} = P \cdot [0 \dots f_{-1} f_0 f_1 \dots 0]$ 이며,  $\bar{P}$ 는 수신신호의 전력을 나타내는 행렬이다. 즉, 다중 사용자 시스템에서의 최적 선형등화기는 단지 단일 사용자 시스템에서의 최적등화기의 확대행렬로 주어진다.

2. 최적 복조 시스템 설계

본 절에서는 레일리 주파수 비선택적 페이딩 환경

하에서 동작하는 MSDD 및 PSAD 시스템의 최적복조기를 설계하고자 한다. 먼저 시스템의 수학적인 모델링을 한 후 각 복조시스템의 최적 복조메트릭을 구하고자 한다. 그림 3은 본 논문에서 사용하는 변복조 시스템의 일반적인 모델을 나타낸 것이다.

송신기의 G Processor는 MSDD의 경우 차동부호기를, PSAD의 경우는 파일럿심볼 삽입기를 의미한다. 수신기에서 H Processor는 MSDD의 경우는 데이터심볼과 초기위상을 추출하고, PSAD의 경우는 데이터심볼과 파일럿심볼을 추출한다.

H Processor는 각 사용자들의 등화기에 대한 출력시퀀스  $\hat{\mathbf{S}}_k = (\dots, \hat{s}_k[1], \hat{s}_k[0], \hat{s}_k[-1], \dots)$ 를 입력받아

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_k &= (\hat{s}_k[1], \hat{s}_k[2], \dots, \hat{s}_k[M]) \\ \mathbf{x}_k &= (\hat{g}_k[1], \hat{g}_k[2], \dots, \hat{g}_k[M]) \end{aligned} \quad (10)$$

를 발생시킨다. 여기서 시퀀스  $\mathbf{y}_k$ 는 페이딩에 의해 왜곡된 데이터와 등화기의 추정오차의 합을 나타내며, 시퀀스  $\mathbf{x}_k$ 는 페이딩 채널정보를 가지고 있다.

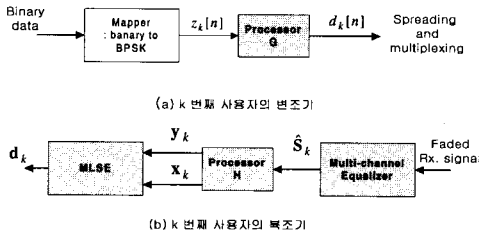


그림 3. 변복조기의 모델

표 1. 변복조 방식에 따른 프로세서 G 및 수신 프로세서 H의 기능

복조기에 입력되는 신호에 대한 일반적인 표현식은 행렬식에 의하여 다음과 같이 주어진다<sup>[10]</sup>.

$$U_k = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k \\ \mathbf{y}_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k \\ \mathbf{g}_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{\Gamma}_k \end{pmatrix} \quad (11)$$

단,  $\mathbf{g}_k = (g_k(1), g_k(2), \dots, g_k(M))'$ 는 레일리 페이딩 이득벡터,  $\mathbf{D}_k = (d_k(1), d_k(2), \dots, d_k(M))'$ 는 송신 데이터를 대각원소로 가지는 대각행렬,  $\mathbf{\Gamma}_k = (\gamma_k(1), \gamma_k(2), \dots, \gamma_k(M))'$ 는 다중채널 등화기의 추정오차벡터를 각각 의미한다. 만일 길이가 N인 데이터 시퀀스의 모든 가능한 조합의 집합을

$$\{\hat{\mathbf{D}} = (\hat{d}[1], \hat{d}[2], \dots, \hat{d}[M])\} \quad (12)$$

이라 가정하면, 최적복조기는 a-posteriori 확률  $P(\hat{\mathbf{D}} | \mathbf{y}, \mathbf{x})$ 가 가장 큰 시퀀스를 택하게 될 것이다. 만일 모든 데이터 시퀀스가 동일한 확률로 전송이 된다면, 가장 큰 조건부확률  $P(\mathbf{x} | \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{x})$ 를 선택하는 것과 동일하다. 즉,

$$\begin{aligned} P(\mathbf{y} | \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{x}) &= P(\mathbf{x}, \mathbf{y} | \hat{\mathbf{D}}) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^N \|\boldsymbol{\phi}_{UU}\| \|\boldsymbol{\phi}_{xx}\|} \cdot \\ &\exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{U}^* \boldsymbol{\phi}_{UU}^{-1} \mathbf{U} - \mathbf{x}^* \boldsymbol{\phi}_{xx}^{-1} \mathbf{x})\right\} \end{aligned} \quad (13)$$

이다. 여기서  $\boldsymbol{\phi}_{UU}$ 는 U의 자기 상관함수이고,  $\|\cdot\|$ 는 행렬식을 의미하며,  $\boldsymbol{\phi}_{xx}$ 는 X의 자기 상관함수이다.

#### 가. 다중심볼 차동복조기(MSDD)

MSDD복조기<sup>[12]</sup>의 경우, 시퀀스  $\hat{\mathbf{S}}_k$ 는 N+1개의 샘플로 구성된 블록을 중복적으로 구성한다. 즉, m번째 블록의 첫 번째 심볼이 (m-1)번째 블록의 마지막 심볼이 되도록 선택하면, 그림 3의 H프로세서의 출력은 다음과 같이 표현된다.

$$U = \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{y} \end{pmatrix} = (\hat{s}[0], (\hat{s}[1], \dots, \hat{s}[M])') \quad (14)$$

위 출력값은 MLSE에 입력되어 복조된다. 앞서 언급했듯이 최적복조기는 식(13)의 조건부확률  $P(\mathbf{y} | \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{x})$ 이 최대가 되는  $\hat{\mathbf{D}}$ 을 선택하는 것이다. 결과적으로 MSDD의 최적 복조메트릭은 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$\begin{aligned} M(\hat{\mathbf{B}}) &= -\mathbf{U}^* \boldsymbol{\phi}_{UU}^{-1} \mathbf{U} \\ &= -\mathbf{U}^* [\mathbf{D}(\boldsymbol{\phi}_{gg} + \boldsymbol{\phi}_{\Gamma\Gamma})\mathbf{D}^*]^{-1} \mathbf{U} \\ &= -(\mathbf{U}^* \mathbf{D})[\boldsymbol{\phi}_{gg} + \boldsymbol{\phi}_{\Gamma\Gamma}]^{-1} (\mathbf{D}^* \mathbf{U}) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서,  $M(\hat{\mathbf{B}})$ 는 데이터 패턴  $\hat{\mathbf{B}} = (\hat{b}[1], \hat{b}[2], \dots, \hat{b}[M])$ 의 likelihood를 나타내고,  $\boldsymbol{\phi}_{gg}$ 는 페이딩 이득의 자기상관행렬,  $\boldsymbol{\phi}_{\Gamma\Gamma}$ 는 등화기 추정오차의 자기상관행렬을 나타낸다. 따라서 MSDD는 식(15)로 주어지는 메트릭이 최대가 되는  $\hat{\mathbf{B}}$ 를 선택하게 된다.

#### 나. 파일럿 심볼지원 복조기(PSAD)

PSAD시스템<sup>[11]</sup>에서는 전송 데이터들 사이에 파

일릿 심볼  $\hat{\alpha}[n], n = \dots, -1, 0, 1, \dots$  을 주기적으로 삽입하여  $J$ 개의 심볼을 갖는 프레임으로 나누어 보낸다. 이 경우 등화기의 출력  $\hat{\alpha}[n]$  는  $n$ 번째 심볼 구간에서의 채널이득에 대한 추정값이 되고 다른 심볼 구간에서의 채널추정값을 구하기 위해서는  $\hat{\alpha}[n]$  시퀀스를 한 프레임 주기당 한 파일럿 심볼씩 보간기에 입력하면 된다.  $n$ 번째 프레임에서의 채널이득의 추정치들은

$$\hat{G}[n] = W \cdot Z[n] \tag{16}$$

로 보간이 된다. 여기서,

$\hat{G}[n] = (\hat{g}[nJ+1], \hat{g}[nJ+2], \dots, \hat{g}[(n+1)J-1])'$  는  $n$ 번째 블록에서의 페이딩이득에 대한 보간기출력이며,  $W$ 는  $(j-1) \times M$ 의 크기를 가지는 보간기이고  $Z[n]$ 은 보간기의 입력을 나타내는 벡터이다. PASD 복조기는 다음 식을 최소화하는  $\hat{\alpha} = [nJ+k]$  를 선택하는 것이다.

$$\begin{aligned} M(\hat{\alpha}[nJ+j]) &= (\hat{\alpha}[j+n] - \hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j]) (\hat{\alpha}[j+n] \\ &\quad - \hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j])^* \\ &= |\hat{\alpha}[j+n]|^2 + |\hat{\alpha}[nJ+j]|^2 |\hat{g}[nJ+j]|^2 \\ &\quad - |\hat{\alpha}[j+n]|^2 (\hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j])^* \\ &\quad - \hat{\alpha}[j+n]^* (\hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j]) \\ &= |\hat{\alpha}[j+n]|^2 + |\hat{\alpha}[nJ+j]|^2 |\hat{g}[nJ+j]|^2 \\ &\quad - \text{Re} \{ \hat{\alpha}[j+n] (\hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j])^* \} \end{aligned} \tag{17}$$

그런데, 식(17)에서  $|\hat{\alpha}[nJ+j]|^2 = 1$ 이므로 첫 번째 항 및 두 번째 항은 데이터  $\hat{\alpha}[nJ+k]$ 와는 무관하므로 메트릭의 크기비교에는 영향을 주지 못한다. 따라서 식(17)는

$$M(\hat{\alpha}[nJ+j]) = \text{Re} \{ \hat{\alpha}[j+n] (\hat{\alpha}[nJ+j] \hat{g}[nJ+j])^* \} \tag{18}$$

을 최대화하는  $\hat{\alpha}[nJ+k]$ 를 선택하는 것과 동일하다.

#### IV. 성능평가

본 절에서는 제안된 다중채널 선형등화기를 이용한 다중사용자 복조시스템의 성능을 시뮬레이션에 의하여 평가한 결과들을 제시하고자 한다. 먼저 그림 4는 본 논문에서 제안한 다중사용자 복조시스템의 성능을 단일사용자 환경에서의 차동복조기 및

이상적인 동기복조기와 비교한 것이다. 성능비교에 고려된 복조방식을 편의상 다음과 같이 명명하였다. SU-CDD는 단일사용자 차동복조기(Single-User Conventional Differential Detection), SU-ICD는 단일사용자 이상적복조기(Single-User Ideal Coherent Detection), LE-CDD는 선형등화기를 이용한 차동복조기(multiuser system with Linear Equalization - Conventional Differential Detection), LE-MSDD는 선형등화기를 이용한 다중심볼 차동복조기(multiuser system with Linear Equalization - Multiple-symbol Differential Detection), LE-PSAD는 선형등화기를 이용한 파일럿 심볼지원복조기(multiuser system with Linear Equalization - Pilot Symbol Assisted Detection), 마지막으로 LE-ICD는 선형등화기를 이용한 이상적 동기복조기(multiuser system with Linear Equalization - Ideal Coherent Detection)를 의미한다.

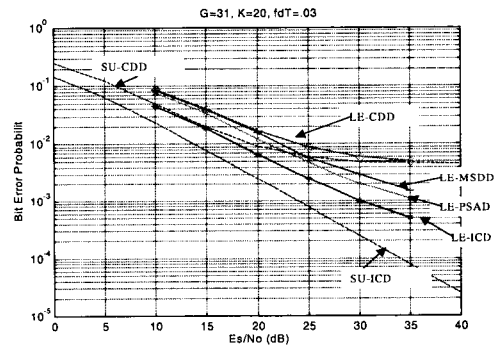


그림 4. LE-MSDD 및 LE-PSAD의 오류성능 ( $K=20, f_d T = .03, J=11$ )

그림에서 보듯이, 수신기 전단부에 다중채널 등화기를 사용한 LE-MSDD와 LE-PSAD 시스템은 CDMA 시스템의 상향링크에 이용될 경우 양호한 성능을 가질 수 있음을 보이고 있고, 특히 고속의 페이딩을 가지는 채널환경에서 더욱 우수한 성능을 보이고 있다.

다음으로 그림 5는 기존의 다중사용자 복조방식 가운데 하나의 방식과의 비교결과이다. 비교대상으로 선택된 시스템은 파일럿 심볼을 이용한 SIC (Successive Interference Cancellation)이다. 성능평가는  $E_b/N_0, f_d T$  및 사용자수의 변화에 따른 성능변화를 알아보았다.

$E_b/N_0 = 15dB$ 인 경우에는 제안된 선형 다중채널 등화기를 사용한 MSDD 및 PSAD의 성능이 이중

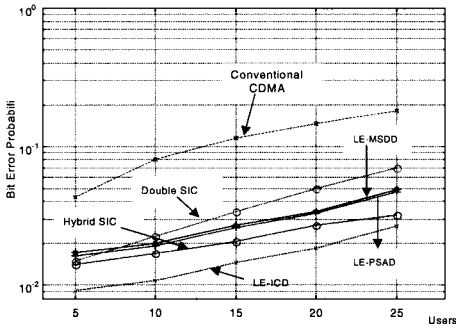


그림 5. 파일럿 심볼지닌 SIC와 다중채널 등화기 다중사용자 복조기의 BER ( $E_b/N_0 = 15dB$ ,  $K = 31$ ,  $f_d T = 0.01$ )

SIC방식에 비하여 우수한 것을 볼 수 있으며, 혼합형 방식에 비해서는 열등함을 볼 수 있다. 그 이유는 SIC의 경우는  $E_b/N_0$ 이 작을 경우, 그 성능이 크게 나빠진다는 사실 때문이며, 혼합 SIC의 경우 역상관기를 채널추정에 사용하였기 때문에 낮은  $E_b/N_0$ 에서도 양호한 동작을 보이기 때문이다.

마지막으로 혼합 TDMA/CDMA 시스템과 제안된 다중사용자 복조기를 결합하여 성능을 평가하고, 기존의 순수한 다중사용자 복조CDMA시스템과의 장단점을 비교하였다. 그림 6은 혼합 TDMA/CDMA에서 LE-PSAD를 사용한 경우에 대한 성능의 시뮬레이션 결과이다.

결과에서 보듯이 LE-PSAD는 CDMA만을 사용한 경우나 혼합 TDMA/CDMA방식을 사용한 경우에 성능의 큰 차이가 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 즉, 혼합방식을 사용할 때 증가되는 시스템의 복잡성에 비하여 다중복조기의 복조알고리즘이 구현이 용이한 수준으로 간소화 될 수 있으므로 제안된 혼합방식에 LE-PSAD의 적용이 가능하리라 본다.

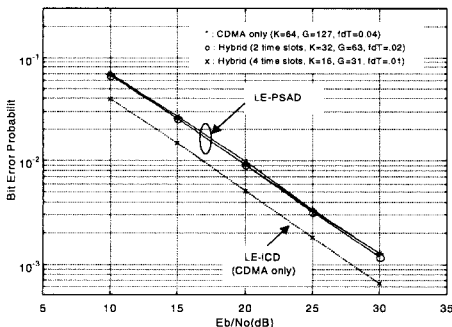


그림 6. LE-PSAD 다중사용자 방식의 혼합 TDMA/CDMA 시스템의 성능비교

마지막으로 그림 7은 혼합 TDMA/CDMA에서 차동복조 방식(LE-CDD)을 이용한 경우에 대한 성능 시뮬레이션 결과이다.

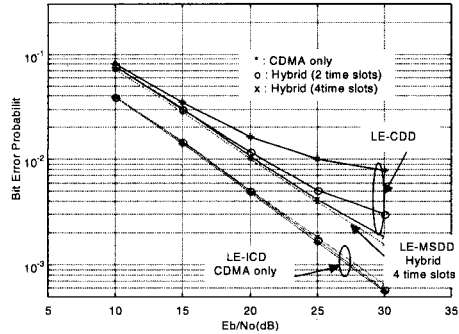


그림 7. LE-CDD 다중사용자 방식의 혼합 TDMA/CDMA 시스템의 성능비교

차동복조 방식은  $f_d T$ 가 클 경우 irreducible error floor가 발생하며, 이것은 그림 7에서도 관측이 될 수 있다. 즉, CDMA만을 이용할 경우에 error floor가 발생한 경우를 볼 수 있는데, 이것은  $f_d T = 0.04$ 의 비교적 큰 값을 가정하였기 때문이다. 이러한 경우에도 혼합 TDMA/CDMA를 사용하게 되면, 효과적으로  $f_d T$ 가 감소하게 되므로 차동복조에 유리하게 되며, 결과에서 볼 수 있듯이 LE-MSDD의 성능에 근접하고 있음을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 CDMA의 용량을 증가시킬 수 있는 다중사용자 복조방식에 대하여 살펴보았다. 본 논문에서 제안한 선형 다중채널 등화기를 이용한 다중사용자 복조방식은 5개의 심볼구간으로 제한된 길이를 가지는 다중채널 등화기를 사용함으로써, 구현이 용이한 다중사용자 복조가 가능하며, 사용자의 수가 매우 많지 않을 경우에 기존의 다중사용자 복조방식에 비하여 동등하거나 우위의 성능을 보이고 있다. 그리고 셀내의 총 사용자수가 많을 경우에도 유효한 사용자수를 적게 유지할 수 있는 혼합 TDMA/CDMA방식을 사용함으로써, 다중사용자 복조기의 알고리즘을 구현이 용이한 수준으로 유지하면서 시스템의 성능 및 용량을 기존의 CDMA방식에 비하여 월등히 개선시킬 수 있음을 알았다. 즉, 비 부호화 CDMA시스템의 경우  $5 \times 10^{-2}$ 의 BER에서 사용자수가 7명인데 비해 본 논문에서 제안한

방식의 경우 사용자가 25명으로 약 4배 이상의 용량증대를 가져올 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] S. Verdu "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple-Access Channels", *IEEE Trans. Info. Theory*, vol.IT-32, no.1, pp.85-96, Jan. 1986

[2] Markku J. Junitti, "Linear Multiuser Detector Update in Synchronous Dynamic CDMA Systems", *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp.980-984, 1995.

[3] R. Lupas and S. Verdu, "Linear Multiuser Detectors for synchronous Code-Division Multiple-Access channels", *IEEE Trans. on Info. Theory*, vol.35, no.1, pp.123-136, Jan. 1988.

[4] R. Lupas-Golaszewski and S. Verdu, "Asymptotic Efficiency of Linear Multi-User Detectors", *Proc. 25th Conf. on Decision and Control*, Athens, Greece, pp.2094-2100, Dec. 1986.

[5] T. Ojanpera et.al., "Design of a 3rd Generation Multirate CDMA System with Multiuser Detection", *MUD-CDMA, Proceedings of ISSSTA96 conference*, vol.1 pp.334-338, Mainz, Germany, 1996.

[6] R. Wichman and A. Hottinen, "Multiuser Detection for Downlink CDMA Communications in Multipath Fading Channels", *Proceedings of VTC97*, Vol.2, pp.572-576, Phoenix, USA, May 1997.

[7] H. Holma, A. Toskala, T. Ojanpera, "Cellular Coverage Anaysis of Wideband MUD-CDMA System", *Proceedings of PIMRC97*, Helsinki, September 1997.

[8] T. Ojanpera et.al., "A comparative Study of Hybrid Multiple Access Schemes for UMTS", *Proceedings of ACTS Mobile Summit Conference*, Vol 1., pp.124-130, Granada, Spain, 1996.

[9] F. Hendessi, et.al., "A TDMA-CDMA Cellular System", *IEEE* 1997.

[10] J.C.Liberti, "Spatial Processing for High Tie

*Wireless Systems"*, Bellcore Pub. IM-558, Sept. 1996.

[11] P. Ho, and D. Fung, "Error Peromance of Multiple-Symbol Differential Detection of PSK Signals Transmitted over Correlated Rayleigh Fading Channels", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 40, Oct. 1992, pp. 1556-1560

[12] J. K. Cavers, An Analysis of Pilot Symbol Assisted Modulation for Rayleigh Fading Channels, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 40, Nov. 1991, pp. 686-693

[13] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Edtion, New York, MacGraw Hill, 1995.

[14] S. Verdu, *Multiuser Detection*, Cambridge University Press, 1988.

김 응 배(Eung-bae Kim) 정회원  
 1981년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사  
 1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학석사  
 1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학박사  
 1983년 2월~1988년 3월 : 금성전기연구소 연구원  
 1988년 3월~1989년 11월 : 한국통신진흥(주) 과장  
 1989년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송연  
 구소 광대역 무선멀티미디어팀장  
 <주관심 분야> 이동통신, B-WLL, IMT-2000

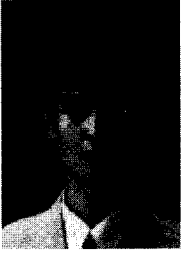
남 옥 우(Ock-woo Nam) 정회원  
 1993년 2월 : 창원대학교 제어계측공학과 공학사  
 1994년 3월~1995년 4월 : 한국전력공사  
 1998년 2월 : 창원대학교 전기전자제어공학과 공학석사  
 1998년 2월~현재 : 창원대학교 전기전자제어공학과  
 박사과정  
 <주관심 분야> 이동통신, CDMA 시스템, TDMA 시  
 스템, IMT-2000, B-WLL,

김 재 형(Jae-hyung Kim) 정회원  
 1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사  
 1985년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학석사  
 1989년 8월 : 고려대학교 전자공학과 공학박사  
 1991년 9월~현재 : 창원대학교 제어계측공학과 부  
 교수  
 1994년 3월~1995년 2월 : 캐나다 Simon Fraser  
 Univ. 방문교수  
 <주관심 분야> 이동통신, 디지털무선통신, B-WLL



김 남 일(Nam-il Kim)

정회원



1996년 2월: 충북대학교

전자공학과 공학사

1998년 2월: 충북대학교

전자공학과 공학석사

1998년 9월~1999년 4월:

대우통신 종합연구소

1999년 5월~1999년 6월:

LGIC 중앙연구소

1999년 7월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송연

구소 광대역무선멀티미디어팀 연구원

<주관심 분야> B-WLL, TDMA 시스템, 초고속 무  
선모뎀, IMT-2000