

# 하이브리드 형태의 DS/CDMA 다중사용자 검파 알고리즘 설계 및 성능분석

정화원 백인기\*, 강환민\*\*, 조성호\*\*

## Design and Performance Analysis of a DS/CDMA Multiuser Detection Algorithm in a Hybrid Form

In-Ky Back\*, Hwan-Min Kang\*\*, Sung Ho Cho\*\* *Regular Members*

### 요약

IS-95에 근거하여 현재 상용화된 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식은 사용자가 증가함에 따라 다중 사용자 간섭(Multiuser Interference)에 의해 통화품질 향상 및 가입자 수용 용량 증대에 한계를 가지고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 다양한 형태의 다중 사용자 간섭 제거 알고리즘이 제안되고 있다. 다중 사용자 검파 알고리즘에는 기존 검파기의 출력에 선형 변환을 적용하여 간섭신호를 제거하는 선형 다중 사용자 검파 계열과 간섭신호를 추정하여 제거하는 감산 간섭 제거 계열이 있다. 그러나 선형 다중 사용자 검파 (Linear Multiuser Detection) 계열은 역행렬을 구해야 하는 단점을 가지고 있기 때문에 감산 간섭 제거 (Subtractive Interference Cancellation) 계열이 많은 관심을 받고 있다. 그 중에서도 연속 간섭 제거 알고리즘 (Successive Interference Cancellation : SIC)은 하드웨어 구조는 간단한 반면에 사용자가 늘어 날수록 지연 시간이 늘어나는 단점을 가지고 있고, 병렬 간섭 제거 알고리즘 (Parallel Interference Cancellation : PIC)은 성능은 좋은 반면에 복잡도가 다른 알고리즘에 비하여 높은 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 두 알고리즘의 장점인 하드웨어는 간단하면서 좋은 성능을 보이는 SIC와 PIC의 하이브리드 형태인 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안된 알고리즘을 AWGN 환경에서의 성능 분석을 하였고, 컴퓨터 모의 실험을 통하여 AWGN과 Rayleigh 페이딩 환경에서 다른 알고리즘과의 성능 비교를 하였다.

### ABSTRACT

The conventional code division multiple access (CDMA) detector based on IS-95 standard shows severe degradation in communication quality as the number of users increases due to multiple access interferences (MAI). This problem thus restricts the user capacity. Various multiuser detection algorithms have been proposed to overcome the MAI problem. The existing detectors can be generally classified into one of the two categories: linear multiuser detection and subtractive interference cancellation detectors. In the linear multiuser detection, a linear transform is applied to the soft outputs of the conventional detector. In the subtractive interference cancellation detection, estimates of the interference are generated and subtracted out from the received signal. There has been great interest in the family of the subtractive interference cancellation detection because the linear multiuser detection exhibits the disadvantage of taking matrix inversion operations. The successive interference cancellation (SIC) and the parallel interference cancellation (PIC) are the two most popular structures in the subtractive interference cancellation detector. The SIC structure is very simple in hardware complexity, but has the disadvantage of increased processing delay time, while the PIC structure is good in performance, but shows the disadvantage of increased hardware complexity. In this paper, we propose

\* 한국전자통신연구원

\*\* 한양대학교 전자공학과(shcho@casp.hanyang.ac.kr)

논문번호: 99240-0614, 접수일자: 1999년 6월 14일

a hybrid form of SIC and PIC in order to achieve good performance as well as simple hardware complexity. A performance analysis of the proposed hybrid scheme has been made, and the superior characteristics of the hybrid structure are demonstrated by extensive computer simulations.

## I. 서론

최근의 통신 기술은 무선에서 유선으로, 아날로그 방식에서 디지털 방식으로, 음성 위주의 서비스에서 비음성 부가 서비스를 추가하는 방향으로 급속하게 발전하고 있다. 특히, 최근에는 무선 개인 통신(PCS)이 현재의 유선통신만큼 널리 보급되었으며, 그 중에서도 음성, 데이터, 비디오, 텍스트 등 다양한 미디어 서비스를 통합적으로 제공될 IMT-2000이 크게 부각될 것으로 예측된다. 이러한 무선통신 환경을 구축하기 위한 차세대 무선통신 기술은 대용량 고속무선 정보 통신의 특징을 수용할 수 있는 기술이어야 하며, 그 중 CDMA 기술은 우리나라에서 처음으로 상용화에 성공하여, 날로 가입자 수가 증가하고 있으며, 무선 채널에서 페이딩 영향에 강하고 대용량 수용에 적합한 특성 등이 이러한 차세대 무선통신 기술로서 주목받고 있다.

그러나 기존 IS-95에 근거한 CDMA 시스템은 다중 사용자에 의한 간섭의 영향 즉, MAI (Multiple Access Interference)에 대해 적극적인 대책을 고려하지 않고 설계되었다. MAI는 Direct-Sequence Code-Division Multiple Access (DS/CDMA) 시스템의 용량과 성능에 영향을 주는 요소로서 direct-sequence 사용자 사이에 발생하는 간섭 현상이다. 따라서 한 사용자가 발생하는 MAI는 작지만 사용자가 늘어남에 따라 MAI가 더욱 많이 발생하여 잡음 성분이 그만큼 늘어나게 된다. 이 MAI의 증가는 시스템의 용량 한계에도 많은 영향을 주며, 성능 감소의 주된 요인이 된다. 또한 원근(near-far) 문제를 해결하지 못하면 시스템 성능이 더욱 악화된다. 그러므로 이러한 문제점들을 해결하기 위해 기존의 단일 사용자 검파를 하면서 MAI를 줄이는 방법으로는 크게 4가지로 분류할 수 있다<sup>[1]</sup>. 첫째는 사용자마다 다르게 부여되는 확산 코드(spreading code)를 최대한 직교성(orthogonality)이 유지되도록 코드를 설계하는 것이다. 둘째는 이동국에서 기지국으로 들어오는 파워 제어를 잘하여 기지국에서 먼 거리에 있는 약한 신호를 정확하게 검파하는 방법이다. 셋째로, 여러 정점 기술을 도입하는 것이고, 마지막으로 안테나의 지역 합당을 분할하는 방법으로 수신되는 신호를 검파하는 것이다.

그러나 이 네 가지 기술로는 미래의 이동 통신 영역을 발전시키는데 한계가 있다.

최적 다중 사용자 검파 기술은 1986년 Verdu에 의해서 처음 소개 되었는에<sup>[2]</sup>, 최적 해결 방안임에도 불구하고 그 복잡도로 인하여 실제 CDMA 시스템에서 배제되어 왔다. 그러나 원근 문제를 해결하고, 시스템의 용량을 늘일 수 있는 방법으로 [3]과 [4]에서는 다중 사용자 검파 알고리즘을 사용하면 시스템의 용량을 늘일 수 있고, 성능 향상을 가지고 온다는 것을 보였다. [5]에서는 기존 검파기의 soft 출력에 선형 변환인 역상관 검출, 즉 correlation 행렬의 역행렬을 선형 연산자를 사용하여 MAI를 줄였다. 그러나 이 역상관 검출 방법은 역행렬을 구해야 하는 단점과 잡음 성분이 증가하는 단점을 가지고 있지만, 기존의 단일 사용자 검파를 사용하는 것에 비해 많은 성능 향상을 가지고 온다. 또 다른 영역의 다중 사용자 검파 알고리즘은 [6], [7], [8]에서 제안된 것 같은 다단으로 간섭신호를 제거하여 MAI를 없애는 것이다. 이것은 주로 병렬적으로 간섭 신호가 제거되고, 첫 단에서 검파한 신호를 가지고 다음 단에서 연속하게 전해주는 방법이다. 그러나 이 알고리즘은 지연 시간은 적으나 복잡도가 매우 큰 단점을 가지고 있다. 그리고 [9]에서 제안된 연속적으로 간섭 신호를 제거하는 알고리즘은 복잡도는 비교적 간단하나 많은 지연 시간을 가지고 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 연속 간섭 제거 알고리즘의 단점인 지연 시간을 줄이고, 병렬 간섭 제거 알고리즘의 복잡도를 줄일 수 있는 하이브리드 형태의 알고리즘을 제안하였고, 성능 분석 및 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 비브 오류 확률을 다른 알고리즘들과 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수신 신호 모델에 대한 설명을 하였고, III장에서는 SIC와 PIC 알고리즘의 특징과 이 둘 알고리즘을 결합한 하이브리드 형태의 알고리즘에 대한 구조와 이에 따른 성능 분석을 하였다. IV장에서는 컴퓨터 모의 실험에 의한 하이브리드 알고리즘과 다른 알고리즘들과의 비교 결과를 나타내었고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 수신 신호 모델

페이딩이 없는 동기식 (synchronous) 단일 경로

BPSK 채널에서  $K$ 의 Direct Sequence 사용자가 있다고 가정하면 수신 신호  $r(t)$ 는 아래의 식으로 표현 할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k(t)g_k(t)b_k(t)\cos(\omega_c t + \phi_k) + n(t) \quad (1)$$

여기서  $A_k(t)$ ,  $g_k(t)$ ,  $b_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자에게 대한 신호의 진폭, 확산 부호(spreading sequence), 정보 비트를 나타낸다. 그리고  $n(t)$ 는 평균이 0이고 양쪽 파워 스펙트럼 밀도(two sided power spectral density =  $N_0/2$ )인 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise : AWGN) 이다. 이것을 수식으로 표현하면 아래의 식과 같다.

$$n(t) = n_c(t)\cos(\omega_c t) + n_s(t)\sin(\omega_c t) \quad (2)$$

또한  $\omega_c$ 는 전송 주파수(carrier frequency)이고,  $\phi_k$ 는  $k$ 번째 사용자에게 대한 위상을 나타낸다. 그리고  $n_c(t)$ 와  $n_s(t)$ 는 각각 지역통과필터링된 가우시안 잡음  $n(t)$ 의 in-phase와 quadrature 성분이다. 이러한 수신된 잡음 성분을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\eta = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} n(t)g_k(t)\cos(\omega_c t)dt \quad (3)$$

그러므로 식 (3)에 대한 평균  $\mu_\eta$ 와 분산  $\sigma_\eta^2$ 은 아래의 식과 같다.

$$\mu_\eta = E[\eta] = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} E[n(t)]g_k(t)\cos(\omega_c t)dt = 0 \quad (4)$$

$$\sigma_\eta^2 = E[(\eta - \mu_\eta)^2] = E[\eta^2] \quad (5)$$

$$= \frac{1}{T_b^2} E\left[\int_{\lambda=0}^{T_b} \int_{\lambda=0}^{T_b} n(t)n(\lambda)g_k(t)g_k(\lambda)\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c \lambda)dt d\lambda\right]$$

$$= \frac{1}{T_b^2} \int_{\lambda=0}^{T_b} \int_{t=0}^{T_b} E[n(t)n(\lambda)]g_k(t)g_k(\lambda)\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c \lambda)dt d\lambda$$

$$= \frac{1}{T_b} \int_{\lambda=0}^{T_b} \int_{t=0}^{T_b} \frac{N_0}{2} \delta(t - \lambda)g_k(t)g_k(\lambda)\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c \lambda)dt d\lambda$$

$$= \frac{1}{T_b} \frac{N_0}{2} \int_{t=0}^{T_b} g_k^2(t)\cos^2(\omega_c t)dt$$

$$= \frac{N_0}{4T_b^2} \int_{t=0}^{T_b} [1 + \cos(2\omega_c t)]dt$$

$$= \frac{N_0}{4T_b^2} \left\{ T_b + \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c T_b) \right\} \approx \frac{N_0}{4T_b}$$

$$\text{For } \omega_c \gg \frac{2}{T_b}$$

이러한 정보 비트와 확산 부호는 사각 파형이고, 그 값들은 1의 확률이 모두 0.5인 독립적이고, 동일한 분포를 갖는다.

식 (1)의  $I$  채널에 대한 지역통과필터(low pass filter)의 출력은 아래의 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} d'(t) &= LPF\{r(t)\cos(\omega_c t)\} \\ &= LPF\left[\sum_{k=1}^K A_k(t)g_k(t)b_k(t)\cos(\omega_c t + \phi_k) + n(t)\right]\cos(\omega_c t) \\ &= LPF\left[\sum_{k=1}^K A_k(t)g_k(t)b_k(t)\cos(\omega_c t + \phi_k)\cos(\omega_c t) + n(t)\cos(\omega_c t)\right] \\ &\quad - LPF\left[\sum_{k=1}^K A_k(t)g_k(t)b_k(t)\frac{1}{2}(\cos(2\omega_c t + \phi_k) + \cos(\omega_c t))\right] + n(t)\cos(\omega_c t) \\ &= \sum_{k=1}^K A_k g_k(t)b_k(t) \frac{\cos(\phi_k)}{2} + \frac{n_c(t)}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

마찬가지로  $Q$ 채널에 대한 성분출 식으로 표시하면 아래의 식과 같다.

$$d^Q(t) = \sum_{k=1}^K A_k g_k(t)b_k(t) \frac{\sin(\phi_k)}{2} + \frac{n_s(t)}{2} \quad (7)$$

따라서  $I$  채널과  $Q$  채널에 대한 첫번째 correlation 값은 각각 아래의 식으로 표현된다.

$$\hat{Z}_1^I = \frac{1}{T} \int_I d'(t)g_1(t)\cos(\phi_1)dt \quad (8)$$

$$\hat{Z}_1^Q = \frac{1}{T} \int_Q d^Q(t)g_1(t)\sin(\phi_1)dt \quad (9)$$

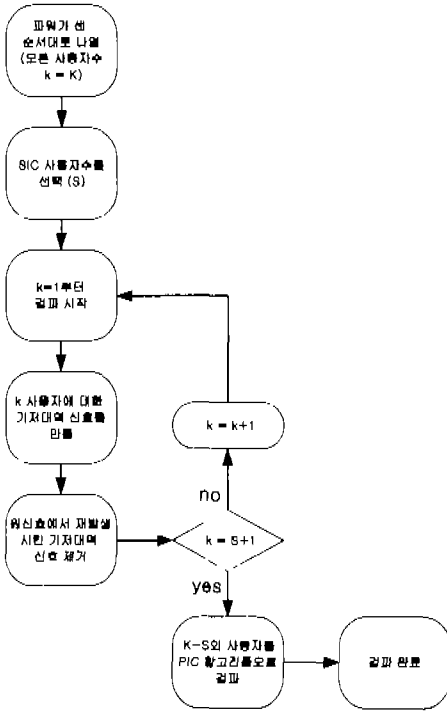
그러므로 최종적인 비트에 대한 결정은 식 (10)과 같이 식 (8)와 식 (9)의 합으로 나타낸다.

$$\hat{Z}_1 = \hat{Z}_1^I \cos \phi_1 + \hat{Z}_1^Q \sin \phi_1 \quad (10)$$

다음 장에서는 본 논문에서 제안된 하이브리드 형태의 다중 사용자 검파 알고리즘의 구조와 그에 따른 성능 분석을 하였다.

### ■. 제안된 하이브리드 다중 사용자 검파 알고리즘

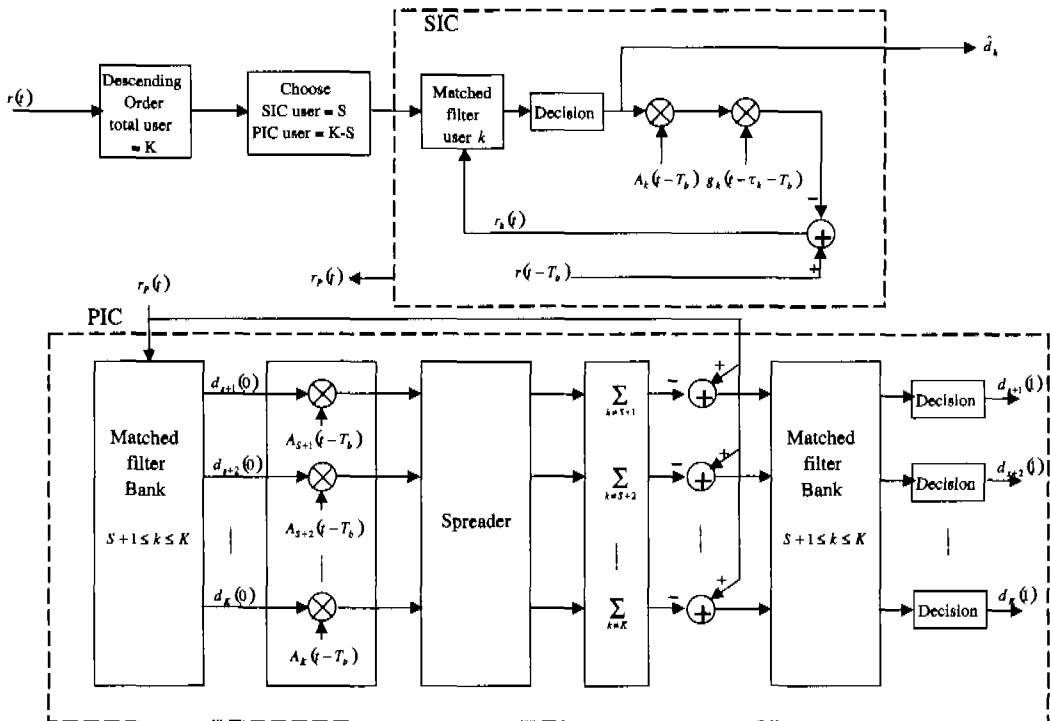
다중사용자 검파 방식으로는 크게 선형 검파 방식과 감산 간섭제거 방식의 두 가지가 있다. 그 중에서도 가장 활발하게 연구가 되고 있는 알고리즘으로는 감산 간섭제거 알고리즘 계열인 연속 간섭제거 알고리즘(Successive Interference Cancellation)과 병렬 간섭제거 알고리즘(Parallel Interference Cancellation)이다. SIC 알고리즘은 각 단계를 거치면서 가장 간섭이 심한 성분을 순차적으로 제거함으로써 상대적으로 파워의 세기가 약한 사용



(그림 1) SIC와 PIC 하이브리드 알고리즘의 검파 순서도

자의 신호를 재생하는데 유리하다. 그러나 이러한 알고리즘의 단점으로는 각 단마다 하나의 사용자 정보를 검출하면서 한 비트의 지연 시간이 발생하여 사용자가 많아지면 그만큼의 지연시간 또한 늘어나게 된다. 따라서 처음에 최대 파워 사용자의 정보 비트를 결정함에 있어서 그 정확성에 따라 그 이후의 다른 사용자 정보 검출을 하는데 정확성에 영향을 미치게 된다. 반면에 PIC 알고리즘은 기존 정합필터의 출력 신호로부터 각 사용자의 신호를 재생하는 방법은 SIC 알고리즘과 동일하나, 이물 각 사용자 모두에 대하여 자신의 신호 성분만을 제외하고 부분 합산기에 의해 간접 신호를 발생시켜 동시에 모든 처리를 한다는 점에서 차이가 있다. 따라서 추가되는 지연시간이 짧다는 장점을 가지고 있지만, 각 사용자외 초기 검출값에 대한 영향과 각 사용자의 진폭 등의 정보가 필요하고, 하드웨어적으로 SIC 알고리즘에 비해 복잡하다.

그림 1은 제안된 SIC와 PIC 형태의 하이브리드 알고리즘이 적용되는 것을 순서도로 도식화 한 것이고, 그림 2는 하이브리드 다중사용자 검파 알고리즘의 구조를 나타낸 것이다. 먼저, 수신되는 신호의 파워를 판단하여 크기가 센 순서대로 나열을 한 후,



(그림 2) SIC와 PIC 하이브리드 다중사용자 검파 알고리즘의 구조

몇 명의 사용자들 연속 간섭 제거 알고리즘을 사용할 것인가를 결정한다. 그리고 그 사용자 수만큼 연속 간섭 제거 알고리즘을 통하여 검파를 하고, 나머지 신호는 병렬 간섭 제거 알고리즘에서 검파가 된다. 그러면 연속 간섭 제거 알고리즘만을 사용했을 때보다 지연 시간이 단축되고, 병렬 간섭 제거 알고리즘만을 사용했을 때보다 복잡도를 줄일 수 있다.

각각의 성능 분석을 위해 모든 사용자 수를  $K$ 라 하고, SIC 알고리즘을 적용할 수를  $S$ 라 하면, PIC 알고리즘을 적용할 수는  $K-S$ 가 된다. 먼저, SIC 알고리즘에 대한 분석으로 첫번째 사용자가 SIC 알고리즘을 통과한 후,  $1$  채널에 대한 식은 식 (10)를 이용하여 쓰면 아래와 같다.

$$d_1'(t) = d'(t) - \hat{z}_1 g_1(t) \cos(\phi_1) \quad (11)$$

따라서  $S$ 번째 사용자까지 MAI가 제거된 식은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$d_s'(t) = d_{s-1}'(t) - \hat{z}_s g_s(t) \cos(\phi_s) \quad (12)$$

여기서  $\hat{z}_s$ 는  $S-1$ 번째 사용자까지 MAI가 제거된 후의 correlation 값이다.

SIC 알고리즘을 통과하면 MAI 성분은 제거되지만, 잡음 성분은 그대로 남아 있다. 그러므로  $j$ 번째 까지 제거된 후의 신호대 잡음비 (signal to noise) 를 나타내면 아래의 식과 같다.

$$SNR_{SIC(j+1)} = \frac{A_{j+1}^2}{\frac{1}{N} \sum_{k=j+2}^S A_k^2 + \sigma_N^2} \quad (13)$$

또한 식 (5)를 식 (13)에 대입하여 다시 쓰면 식 (14)와 같다.

$$SNR_{SIC(j+1)} = \frac{A_{j+1}^2}{\frac{1}{N} \sum_{k=j+2}^S A_k^2 + \frac{N_0}{4T_b}} \quad (14)$$

여기서  $N = T_b / T_c$ 를 나타내고,  $T_b$ 와  $T_c$ 는 각각 비트와 칩(chip)에 대한 주기이다. 또한  $j+1$ 번째 제거단계에서의 비트 오류 확률은 아래와 같은 조건부 확률을 이용하여 쓸 수 있다<sup>9)</sup>.

$$P_{e(SIC)}^{j+1} = P\{\hat{z}_{j+1} < 0 | b_{j+1} = +1\} = P\{\hat{z}_{j+1} > 0 | b_{j+1} = -1\} \quad (15)$$

$$= Q\left(\sqrt{SNR_{SIC(j+1)}}\right)$$

또한 그림 2에서 PIC 구조를 통과한 후 MAI 성

분이 제거된  $i$ 번째 수신 신호  $r_i^r(t)$ 를 다시 쓰면 아래의 식과 같다.

$$r_i^r(t) = r_p(t) - \sum_{s=1}^{i-1} z_s g_s(t) \cos(\phi_s) \quad (S+1 \leq k \leq K)$$

$$= \sum_{s=1}^{i-1} A_s(t) g_s(t) b_s(t) \cos(\phi_s) + n(t) - \sum_{s=i}^K z_s g_s(t) \cos(\phi_s)$$

$$= A_i(t) g_i(t) b_i(t) \cos(\phi_i) + n(t) + \sum_{s=i+1}^K A_s(t) (b_s - \hat{z}_s) g_s(t) \cos(\phi_s) \quad (16)$$

식 (16)에서 첫째 항은 각각의 사용자에 대한 정보 비트를 나타내고, 둘째 항은 가우시안 잡음을 나타내며, 셋째 항은 PIC 알고리즘을 통과하고, 완전히 제거되지 않은 MAI 성분을 나타낸다. 여기서  $r_p(t)$ 는 그림 1에서 알 수 있듯이 SIC 알고리즘을 통과하여  $S$ 만큼의 사용자에 대한 간섭신호가 제거된 후, PIC 알고리즘으로 들어오는 수신신호이다. 식(16) 셋째 항에서 알 수 있듯이 얼마만큼 비트 정보를 잘 추정하느냐에 따라서 이 시스템의 성능을 좌우한다. 따라서 PIC 알고리즘을 통과한 후의 최종적인 결과는 아래의 식과 같다.

$$\hat{d}_i = \frac{1}{T} \int_T r_i(t) g_i(t) \cos(\omega_c t) dt$$

$$= A_i b_i + \eta + MAI_{estimate} \quad (17)$$

식 (17)에서 첫째 항은 각각의 사용자에 대한 정보이고, 둘째 항은 잡음 성분이고, 셋째 항인  $MAI_{estimate}$  성분은 비트에 대한 추정용 정확히 하지 않았기 때문에 완전히 제거되지 않은 MAI 성분이다. 그러므로 식 (14)와 같이 PIC 알고리즘을 통과한 후의 신호대 잡음비를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$SNR_{PIC(i)} = \frac{A_i^2}{\text{Var}(MAI_{estimate}) + \frac{N_0}{4T_b}} \quad (18)$$

또한 식 (16)에서 각각의 사용자 성분에 대한 추정이 정확하면 MAI 성분이 완전히 제거되므로 아래의 식으로 표현된다.

$$SNR_{PIC(i)} = \frac{4T_b A_i^2}{N_0} \quad (19)$$

그러므로 비트 오류 확률에 대한 식은 아래와 같이

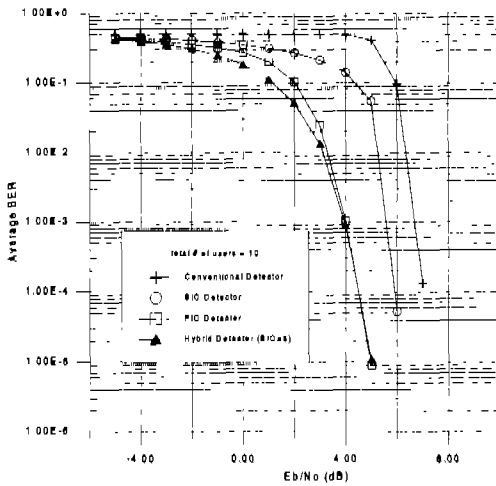
쓸 수 있다.

$$SNR_{PIC(i)} = \frac{4T_b A_i^2}{N_0} \quad (20)$$

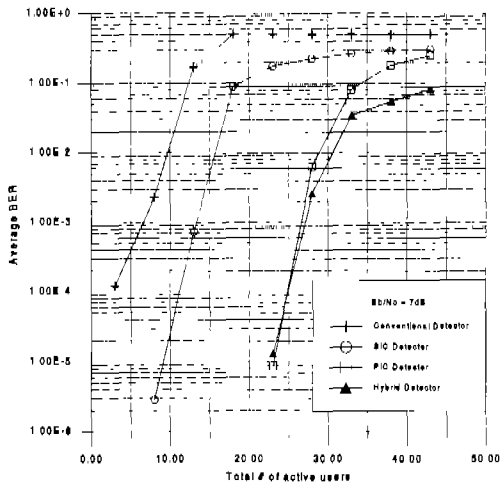
다음 장에서는 이러한 성능 분석을 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 대한 설명을 하겠다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

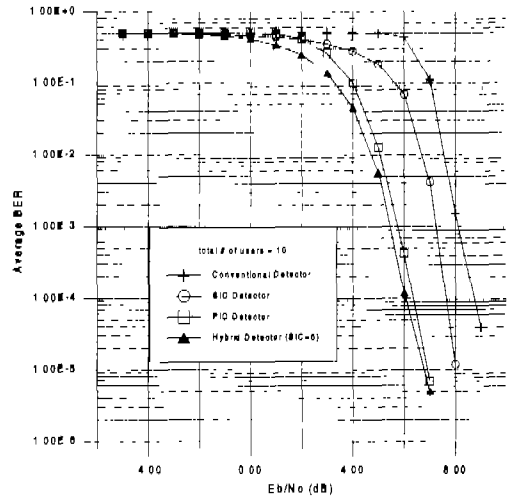
식 (1)의 수신 신호 모델을 기초로 하여 10명의 사용자에 대하여 간단한 모델을 설정하였다. 이러한 컴퓨터 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하여 각각의



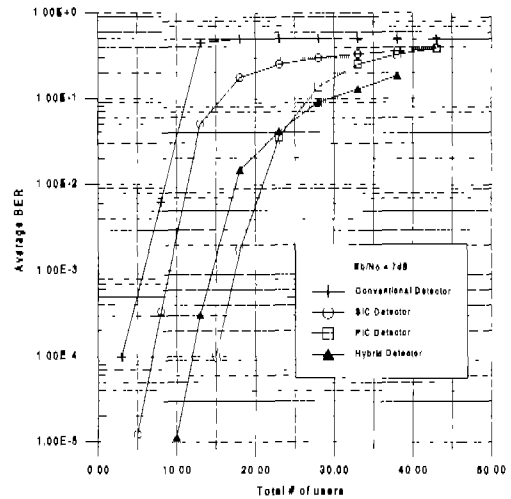
(그림3) AWGN에서 Hybrid 알고리즘의 성능비교



(그림4)  $E_b/N_0 = 7dB$  인 때 AWGN에서 사용자 수에 따른 비트 오류 확률



(그림 5) Rayleigh Fading하에서 Hybrid 알고리즘의 성능비교



(그림 6)  $E_b/N_0 = 7dB$  인 때 Rayleigh Fading하에서 사용자 수에 따른 비트 오류 확률

사용자에 대한 입력 데이터 100,000개의 비트를 사용하여 시뮬레이션 한 것이다. 그림 3과 그림 4은 동기식 BPSK인 AWGN 환경에 의한 시뮬레이션 결과이고, 그림 5와 그림 6은 각각의 사용자가 30 km/h로 움직이고, 전송 주파수는 900 MHz인 Rayleigh 페이딩 환경에 의한 시뮬레이션 결과이다.

그림 3과 그림 5에서는 기존 검파 방법과 SIC 알고리즘, PIC 알고리즘, 그리고 하이브리드 알고리즘의  $E_b/N_0$ 에 대한 각 사용자에 대한 평균적인 비트 오류 확률을 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 AWGN 환경이나 Rayleigh 페이딩 환경에서 모두 PIC 알고리즘이 SIC 알고리즘에 비하여 성능이 좋

은 이유는 SIC 알고리즘은 부분적으로 MAI 성분이 제거된 반면에 PIC 알고리즘은 전체적으로 MAI 성분이 거의 제거되었기 때문이다. 그림 3인 AWGN 환경과 그림 5인 Rayleigh 페이딩 환경에서 모두 비트 오류 확률이 에서 하이브리드 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 Eb/No가 약 3dB 향상되었다.

그림 4와 그림 6은 사용자 수에 따른 비트 오류 확률을 나타낸 것인데, 그림 4는 비트 오류 확률이  $10^{-3}$ 에서 기존 검파기의 성능은 8명, SIC 검파기는 13명, PIC 검파기와 하이브리드 검파기는 27명 정도를 수용할 수 있다. 또한 좀더 실제 환경과 유사한 그림 6에서는 비트 오류 확률이  $10^{-3}$ 에서 기존 검파기는 5명, SIC 검파기는 9명, PIC 검파기는 17명, 그리고 하이브리드 검파기는 15명 정도를 수용할 수 있다. 이 두 결과에서 알 수 있듯이 제한한 하이브리드 알고리즘은 기존의 검파기에 비하여 같은 파워를 사용했을 경우, AWGN 환경에서는 약 4배정도, rayleigh 페이딩 환경에서는 3배정도 용량이 향상됨을 알 수 있다. 그리고 AWGN 환경에서는 제안된 하이브리드 알고리즘이 PIC 알고리즘의 성능과 유사하였으나 rayleigh 페이딩 환경에서는 25명 이하에서는 SIC와 PIC 알고리즘의 중간 형태의 성능을 보이고, 그 이상일 때는 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과에서도 알 수 있듯이 하이브리드 알고리즘이 SIC 알고리즘과 PIC 알고리즘의 중간 정도의 성능이 아닌 PIC 알고리즘과 비슷한 성능을 보이는 이유는 SIC 알고리즘에서 파워가 센 신호, 즉 다른 사용자에게 간섭이 심한 신호들은 먼저 검파를 하고, 제거했기 때문이다. 그러나 이러한 성능은 좀더 실제 환경에서는 SIC와 PIC 알고리즘의 중간 형태로도 나타나기도 한다. 종합적으로 제안된 하이브리드 알고리즘의 성능은 전체적으로 좋은 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 동기식 가우시안 채널 환경에서의 SIC와 PIC의 하이브리드 형태의 알고리즘을 제안하였고, 그에 따른 성능 분석과 다른 알고리즘과의 성능 비교로 평가할 하였다. 그리고 보다 실제 환경에 가까운 Rayleigh 페이딩 환경에서 시뮬레이션을 하여 본 논문에서 제안한 하이브리드 알고리즘의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 하이브리드 알고리즘은 적은 사용자에 대해서는

PIC 알고리즘과 비슷한 성능을 보이나, 사용자가 늘어 남에 따라 좋은 성능을 보인다. 따라서 시스템 측면에서 볼 때, SIC 알고리즘에 비해서는 지연 시간이 적고, PIC 알고리즘에 비해서는 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 더욱더 늘어나는 이동통신 가입자를 수용하고, IMT-2000같은 멀티미디어 통신에 적용하는 것이 성능 향상에 많은 도움이 되리라 생각된다.

## 참고 문헌

- [1] Shimon Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 34, pp124-136, Oct. 1996.
- [2] S. Verdu, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple-Access Channels," *IEEE Trans. On Information Theory*, vol. IT-32, pp. 85-96, Jan. 1986.
- [3] R. Lupas and S. Verdu, "Near-Far Resistance of Multi-User Detectors in Asynchronous Channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 4, pp. 496-508, Apr. 1990.
- [4] R. Lupas and S. Verdu, "Linear Multiuser Detections for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. IT-35, pp. 123-136, Jan. 1989.
- [5] A. Ducl-Hallen, "Decorrelating decision-feedback multiuser detector for synchronous code-division multiple access channel," *IEEE Trans. Commun.*, Feb. 1993.
- [6] S. Moshavi, E. G. Kanterakis, and D. L. Schilling, "Multistage Linear Receivers for DS-CDMA Systems," *Int'l. J. Wireless Info. Networks*, vol. 3, no. 1, Jan. 1996.
- [7] M. K. Varanasi and B. Aazhang, "Multistage Detection in Asynchronous Code-Division Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 4, pp. 509-519, Apr. 1990.
- [8] M. K. Varanasi and B. Aazhang, "Near-Optimum Detection in Synchronous Code-Division Multiple-Access Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 5, pp. 725-736, May 1991.

[9] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 5, pp. 796-807, June 1994.

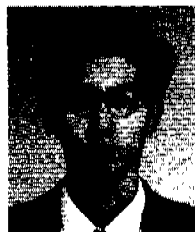
백 인 기(In-Ky Baik)



1986년 2월 : 성균관대학교  
전자공학과 졸업  
1986년 2월~1986년 12월 :  
현대전자 근무  
1989년 2월 : 성균관대학교 대학  
원 전자공학과(석사) 졸업

1989년 2월~현재 : 한국전자통신연구원  
1998년 3월~현재 : 한양대학교 대학원 전자공학과  
(박사) 재학중  
<주관심 분야> 디지털 신호처리, IMT-2000 단말기

강 환 민(Hwan-Min Kang)



1997년 2월 : 한양대학교 전자  
공학과 졸업 (공학사)  
1999년 2월 : 한양대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
1999년 3월~현재 : 한양대학교  
대학원 전자공학과  
박사과정 재학중

<주관심 분야> 디지털 통신, 이동통신 시스템,  
Software Defined Radio

조 성 호(Sung Ho Cho)



1982년 2월 : 한양대학교 전자  
공학과 졸업 (공학사)  
1984년 12월 : University of  
Iowa 전기 및 컴퓨터공  
학과 졸업 (공학석사)  
1989년 8월 : University of Utah  
전기 및 컴퓨터공학과  
졸업 (공학박사)

1989년 8월~1992년 8월 : 한국전자통신연구소 부호  
기술부 선임연구원  
1992년 9월~현재 : 한양대학교 전자 컴퓨터공학부 조  
교수, 부교수  
<주관심 분야> 신호처리, 적응필터, 디지털통신, 무