

# Multirate DS/CDMA 시스템을 위한 하이브리드 다중사용자 간섭 제거 기법에 관한 연구

정희원 유종엽\*, 우대호\*\*, 변윤식\*\*\*

## A Study on Hybrid Multi-User Interference Cancellation Scheme for Multirate DS/CDMA System

Jong-Yeop Yoo\*, Dae-Ho Woo\*\*, Youn-Shik Byun\*\*\* *Regular Members*

### 요약

Variable Processing Variable Processing Gain 기법을 기반으로 하는 Multirate-DS/CDMA 시스템에서는 다중 사용자 간섭뿐만 아니라, 불완전한 전력제어로 인해 발생하는 현재 이동 통신 시스템에서의 원근효과와 유사한 간섭이 다른 데이터율 사용자 신호들 사이에서 발생하게 된다. 이러한 간섭은 이동 통신 시스템 성능을 저하시키고, 용량을 감소시키게 되므로 이들 간섭을 효과적으로 제거 할 수 있는 다중 사용자 검출 기법이 절실히 요구된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 다중 사용자 간섭과 원근 효과를 효과적으로 제거하기 위한 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법을 제안한다. 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법은 하나 이상의 다중 사용자 검출 기법을 포함한다. 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 기존의 단일 사용자 검출 기법 및 다중 사용자 검출 기법을 다시 한번 살펴보고, 이들 기존 검출기와 제안된 검출기를 컴퓨터 모의 실험을 통해 그 성능을 비교한다. 모의 실험에서는 AWGN 환경에서 각 SNR[dB]에 따른 BER 곡선을 조사하였다. 모의 실험 결과로부터 기존의 병렬 간섭 제거 기법이나 역 상관 검출기보다 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법이 우수한 성능을 갖음을 알 수 있었다. 이는 어느 정도의 복잡도와 시간 지연에 대한 대가이다. 하지만 이 시간 지연은 검출구간을 고 데이터율 사용자 그룹에 맞춤으로써 어느 정도 해결될 것으로 보인다.

### ABSTRACT

In the Multirate-DS/CDMA system based on Variable Processing Gain, the multi-user interference is generated and the effect similar to near-far effect caused by imperfect power control in the current DS/CDMA system is generated among different data-rate signal. These interferences degrade performance and reduce capacity of the system. So there is a great need of the multiuser detection techniques which suppress MAI and near far effect. Therefore, in this paper, we proposed hybrid interference cancellation to remove the multi-user interference and near-far problem effectively. The proposed hybrid multi-user interference cancellation scheme is composed of several multiuser detection scheme. For evaluating performance of the proposed hybrid multi-user interference cancellation scheme, we reviewed the conventional single user detector and multiuser detectors and tested these detectors through computer simulation and compared the proposed with the conventional through BER curve of each detector investigated for different SNR in AWGN environment. From the simulation result, we knewed that the proposed hybrid multi-user interference cancellation scheme has the better performance than the conventional decorrelator, parallel interference cancellation. This profit comes from enhancing complexity and time delay, but the time delay is relaxed with fixing the detection period to symbol period of high-rate user signal.

\* 기릉전자, \*\* 인천대학교 전자공학과 신호처리 연구실(dhwoo@incheon.ac.kr), \*\*\* 인천대학교 전자공학과(byun@incheon.ac.kr)  
논문번호 : K01061-0206, 접수일자 : 2001년 2월 6일

\* 본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터 지원에 의한 것입니다.

## 1. 서론

통신기술은 유선에서 무선으로, 아날로그방식에서 디지털 방식으로 음성위주의 서비스에서 비음성 부가서비스를 추가하는 방향으로 급속하게 발전하고 있다. 특히 최근에는 무선 개인통신이 현재의 유선 통신을 능가할 만큼 널리 보급되었으며, 또한 음성, 데이터, 비디오, 텍스트 등 다양한 미디어서비스를 통합적으로 제공할 수 있는 제 3 세대 이동통신 시스템으로 발전해 가고 있다. 이러한 무선통신 환경을 구축하기 위한 차세대 이동통신시스템은 대용량 및 다중 데이터율 고속무선정보통신의 특징을 수용할 수 있는 이동통신 기술의 채택을 요구하고 있다. 그 중 CDMA 기술은 우리 나라에서 처음으로 상용화에 성공하여, 지금까지 계속적으로 가입자 수가 증가해 왔으며, 무선통신에서 페이딩의 영향에 강하고 대용량 수용에 적합한 특성등을 갖고 있다는 점에서 많은 주목을 받아왔으며, 또한 이를 통해 다양한 데이터율을 갖는 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 다양한 멀티레이트 시스템 구현기법이 연구되어 왔고, 제안되었다<sup>1)~5)</sup>. 멀티레이트 시스템 구현기법에 대하여 간단히 살펴보면, 첫 번째로 단순히 신호 밴드폭의 변화없이 데이터율에 따라 변조를 달리하는 다중 변조 기법을 들 수 있다. 이 기법을 채택한 시스템에서는 모든 사용자가 동일 칩 율과 심벌 율을 갖지만, 변조 형태에 따라 정보 율은 달라지게 된다. 즉 저데이터율 사용자에서 고데이터율 사용자의 변조 형태는 BPSK에서 M-QAM이 될 것이다. 두 번째로는 다중 코드 기법을 들 수 있다. 이 기법은 앞서 설명한 다중 변조 기법과 마찬가지로 모든 사용자가 동일 칩 율과 심벌 율을 갖지만, 각 사용자의 정보 율만은 다른 기법이다. 이 기법에서 고 데이터율 사용자에게는 다수의 확산코드 할당되어, 데이터는 이들 확산 코드 각각에 의해 독립적으로 확산된다. 이 독립적으로 확산된 각 데이터는 동시에 병렬적으로 전송된다. 따라서 고 데이터율 사용자는 저 데이터율 사용자로 분리될 수 있다. 이 멀티레이트 시스템 구현기법은 WCDMA를 위한 유럽 제안서에서 역방향링크를 위해 제안되었다. 세 번째로는 가변 처리 이득 기법이 있다. 이 기법에서는 사용자의 데이터율과는 무관하게 모든 신호가 동일 대역폭을 갖도록 확산된다. 즉 모든 사용자의 칩 율은 동일하다. 하지만 각 사용자의 데이터율에 따라 심벌율은 달라진다. 즉 데이터율에 따라 데이

터 처리이득이 달라지게 된다. 즉 데이터율이 높으면 높을수록 처리이득은 작아지게 된다. 이 기법은 이 멀티레이트 시스템 구현기법은 WCDMA를 위한 유럽 제안서 내에 순방향 링크를 위해 제안되었다. 마지막으로 다중 칩 율 기법이 있다. 이 기법은 앞선 멀티레이트 시스템 구현기법들과는 달리 다른 데이터율을 갖는 사용자 신호가 다른 대역폭을 갖는 신호이다. 고데이터율 사용자의 확산코드는 더 작은 칩 구간을 갖고, 저데이터율 사용자 확산코드는 더 큰 칩구간을 갖는다. 이 구현기법에서는 데이터율에 따라 다른 오실레이터가 요구되어 지는 문제를 갖고 있어 실제 구현에 어려움이 있다. 앞의 멀티레이트 시스템 구현기법은 독자적으로 적용될 수도 있지만 두 개 이상의 기법이 하이브리드 형태로 적용될 수도 있다.

현재 상용되고 있는 IS-95에 근거한 CDMA 이동통신 시스템은 다중 사용자에 의한 간섭 현상, 즉 multiple access interference에 대한 적극적인 대책을 고려하지 않고 설계되었다. MAI는 DS-CDMA 시스템의 용량과 성능에 영향을 주는 요소로서 다중 사용자들 사이에서 발생하는 현상이다. 한 사용자가 발생시키는 MAI는 작지만, 사용자가 증가함에 따라 MAI는 더욱 증가하여 원하는 신호에 대비하여 잡음성분이 그만큼 늘어나게 된다. 이 MAI의 증가는 시스템의 용량 한계에도 많은 영향을 주며, 시스템 성능 열화의 주된 요인이 된다.

VPG기법을 멀티레이트 시스템 구현 기법으로 채택한 차세대 이동통신 시스템에서는 완벽한 전력 제어를 가정하더라도 MAI는 간섭을 본질적으로 내포하고 있다. 따라서 차세대 이동통신 시스템에서는 이러한 간섭 문제와 사용자수의 증가로 인한 MAI를 효과적으로 해결할 수 있는 다중 사용자 검출기법이 채택이 요구되고 있다.

초기의 다중 사용자 검출 기법으로서의 Verdu에 의해 제안된 최적 검출기를 들 수 있는데, 이는 성능은 우수하지만 사용자 수의 증가에 따라 그 복잡도가 지수적으로 증가하여 실제적 구현이 어렵다는 문제를 갖고 있다. 따라서 이 최적 검출기와 성능은 비슷하면서 복잡도가 낮은 많은 준최적 검출기가 연구되고 제안되어 왔다<sup>6)~8)</sup>.

본 논문에서는 멀티레이트 구현기법으로 VPG 기법을 채택한 멀티레이트 DS-CDMA에 적합한 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법을 제안하고, 이 기법의 성능과 기존의 다중 사용자 검출 기법의 성능을 컴퓨터 모의실험을 통해 비교, 평가하고자 하

였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 이동통신 시스템의 기반 위에서 멀티레이트 시스템을 구현하기 위한 다양한 기법 중 VPG에 기반한 멀티레이트 시스템을 다루고자 한다<sup>[1]-[5]</sup>. 이 기술은 각각의 사용자에게 그 사용자의 데이터율에 따라 처리이득을 달리하는 것이다. 만약 고 데이터율 사용자가 저 데이터율 사용자보다  $m$  배의 더 높은 데이터율을 갖는다면, 고 데이터율 사용자는 저 데이터율 사용자 보다  $m$ 배 더 작은 처리이득을 갖게 될 것이다. 물론 이 경우 침울은 고정되어 있다. 예를 들어  $m=3$ 인 시스템을 고려하고자 한다. 즉, 저 데이터율 사용자의 심벌구간  $T_0=3T_1$ 이며 확산코드를 정규화 시킬 경우, 고 데이터율 사용자의 확산코드  $s_1$ , 한 칩의 전력은 저 데이터율 확산 코드  $s_0$ , 한 칩의 전력보다 3배 더 크다. 또한 고 데이터율 사용자 1명은 3명의 가상사용자(virtual user)로 다루어질 수 있다. 이것을 additive white Gaussian noise 환경에서 기저 대역 신호로 나타내면 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$r(t) = \sum_k \sum_{k=1}^{K_0} \sqrt{a_{k,0}} b_{k,0} s_{k,0}(t-i T_0) + \sum_j \sum_{k=1}^{K_1} \sqrt{a_{k,1}} b_{k,1} s_{k,1}(t-j T_1) + n(t)$$

여기서, 아래첨자 0과1은 저 데이터율과 고 데이터율 그룹을 지시하고,  $i, j$ 는 각각 심벌 인덱스,  $a_{k,0}, a_{k,1}$  각각 신호전력,  $b_{k,0}, b_{k,1}$ 는 각각 저 데이터율 및 고 데이터율 그룹내 각 사용자의 데이터,  $s_{k,0}(t), s_{k,1}(t)$ 는 각각 저 데이터율 및 고 데이터율의 확산코드를 나타낸다.

$$\int_0^{T_0} (s_{k,0}(t))^2 dt = 1, k \in \{1, 2, \dots, K_0\} \quad (2)$$

$$\int_0^{T_1} (s_{k,1}(t))^2 dt = 1, k \in \{1, 2, \dots, K_1\} \quad (3)$$

식(1)에서 1번째 항은 저 데이터율 사용자 그룹 신호, 2번째 항은 고 데이터율 사용자 그룹 신호, 그리고  $n(t)$ 는 AWGN이다. 위의 식(1)을 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$r = AbS + n \quad (4)$$

여기서,  $r$ 은 수신된 신호의 행렬식이고,  $A$ 는

$\sqrt{a_{k,0}}, \sqrt{a_{k,1}}$ 로 이루어진 신호 전력 행렬,  $S$ 는  $s_{k,0}(t), s_{k,1}(t)$ 로 이루어진 확산코드 행렬을 나타낸다.

## III. 기존 검출기

### 3-1. 순차 간섭 제거 기법

비선형 검출기법에는 순차 간섭 제거 기법과 병렬 간섭 제거 기법이 있는데<sup>[6]</sup>, 먼저 순차간섭제거 기법에 대하여 살펴 보도록하겠다. 순차 간섭 제거 기법은 앞서 언급한 다중 사용자 검출 기법보다 복잡도는 덜하면서도 성능은 단일 사용자 검출 기법보다 우수한 다중 사용자 검출기법이다. 하지만 사용자 각각의 신호가 순서를 갖고, 차례로 검출되기 때문에 검출 시 상당한 시간 지연이 발생한다는 문제점을 갖고 있다. 순차 간섭 제거 기법은 한 단으로 구성될 수도 있고, 다 단으로 구성될 수도 있다. 먼저 한 단으로 구성될 경우의 순차 간섭 제거 기법에 대하여 살펴보도록 하겠다. 먼저 신호세기 순으로 각각의 사용자에게 대응하는 정합필터가 배열되고 세기가 가장 큰 신호가 이에 대응하는 정합필터를 이용하여 검출된다. 이 검출된 세기가 가장 큰 신호는 재 확산되어 수신된 신호로부터 빼지게 된다. 두 번째로 세기가 큰 신호가 검출될 때에는 앞서 가장 큰 신호가 빼진 나머지 신호가 정합필터를 통과함으로써 이루어진다. 이 경우 나머지 신호에는 두 번째 신호 검출에 있어서 가장 큰 MAI항으로 작용하는 첫 번째 세기의 신호가 이미 제거된 상태이다. 따라서 두 번째 세기의 신호의 정확도는 그만큼 높아지는 것이다. 이 검출된 두 번째 세기를 갖는 신호가 재 확산되어 나머지 신호로부터 또 빼진다. 이 두 번째 펄셈으로부터의 나머지 신호는 세 번째 세기의 신호를 검출하기 위한 정합필터의 입력이 된다. 이와 같은 과정을 가장 작은 세기의 신호를 검출할 때까지 반복 수행함으로써 한 단의 순차 간섭 제거 기법이 수행된다.

### 3-2. 병렬 간섭 제거 기법

비선형 다중사용자 검출기법 중 하나로 순차 간섭 제거 기법과 비교하여 설명하도록 하겠다. 순차 간섭 제거 기법이 각 사용자 신호의 세기 따라 순차적으로 각 사용자 신호를 검출, 재 확산, 빼기를 반복함으로써 MAI를 제거하는 반면에 병렬 간섭 제거 기법은 동시에 모든 사용자의 신호를 검출하고, 재 확산, 빼기를 함으로써 MAI를 제거하는 방

법을 채택하고 있다. 따라서 순차 간섭 제거 기법에서의 문제점인 시간 지연을 줄일 수 있는 장점은 가지고 있으나 원근효과가 발생 할 경우, 즉 사용자 신호의 세기가 차이를 가질 경우 순차 간섭 제거 기법보다는 성능이 떨어지지만 역시 단일 사용자 검출기법보다는 우수한 성능을 갖는다. 병렬 간섭 제거 기법 역시 순차 간섭 제거 기법과 마찬가지로 한 단 또는 다단으로 구성될 수 있다. 한 단 병렬 간섭 제거 기법은 모든 사용자 신호가 각 사용자에 상응하는 정합필터를 이용하여 각 사용자의 추정값이 동시에 검출되고, 이렇게 검출된 각 사용자 신호의 추정값은 재 확산되어 수신된 신호로부터 빼지게 된다. 이 뺄셈으로부터 얻어진 나머지 신호와 각각의 재 확산된 각 사용자 추정값은 더해져서, 다시 각 사용자에 상응되는 정합필터에 입력되어 새로운 추정값이 얻어지게 된다. 이러한 과정으로 한 단의 병렬간섭제거기법이 수행된다. 다 단의 병렬간섭제거기법에서는 위 한 단의 병렬간섭제거기법에서의 새로운 추정값이 재 확산되고, 수신된 신호로부터 빼짐으로서 새로운 나머지 값이 얻어지고, 이 나머지 값과 재 확산된 새로운 추정값이 더해진다. 이 더해진 신호는 앞선 단과 같이 각각의 사용자에 상응하는 정합필터의 입력이 되고 이 정합필터의 출력을 판별함으로써 새로운 추정값이 얻어진다.

#### IV. 제안된 검출기

병렬 간섭 제거 기법은 시간 지연이 적고, 사용자 신호의 차가 적을 경우 성능이 우수하다. 반면에 순차 간섭 제거 기법은 병렬 간섭 제거 기법보다 원근효과에 강하지만, 시간지연이 큰 문제점을 갖게 된다. 또한 이와 같은 비선형 간섭 제거 기법에서 앞선 추정값의 정확도가 연속적으로 후속 추정값의 정확도에 영향을 미치므로 앞선 신호검출의 정확도가 검출 정확도의 중요 요인이 된다. 따라서 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거기법은 동일한 데이터 율을 갖는 사용자들의 신호세기는 거의 동일하기 때문에 시간 지연이 작은 병렬 간섭 제거 기법, 다른 데이터 율을 갖는 사용자들의 신호세기 차이가 크므로 순차 간섭 제거 기법을 적용하고자한다. 또한 가장 높은 데이터 율을 갖는 사용자 신호의 첫 번째 검출의 정확도를 높이고, 첫 단부터 동일 그룹내 병렬 간섭 제거 기법이 적용될 수 있도록 앞단에 단일 사용자 검출 기법 및 다중 사용자 검출 기법이 적용되었다.

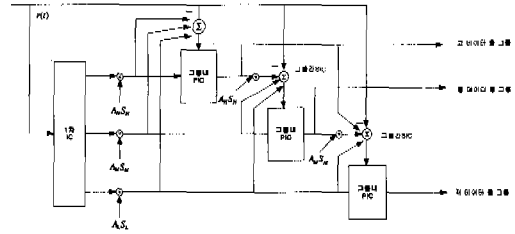


그림 1. 제안된 하이브리드 다중사용자 간섭제거 기법

그림 1의 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법에서는 제 1차 IC(interference cancelation)단, 그룹내 병렬간섭제거기법, 그리고 그룹간 순차 간섭 제거 기법이 적용되었다. 먼저 제 1차 IC단은 신호의 세기가 가장 큰, 즉 데이터율이 가장 높은 사용자신호의 검출 정확도를 높이고, 그룹내 병렬간섭기법이 첫 번째 순차간섭제거기법에 적용가능하도록 하였다. 제1 차 IC단은 단일 사용자 검출기법, 역상관 검출기법, 병렬 간섭 제거 기법, MMSE 검출 기법이 적용될 수 있으며 본 논문에서는 단일 사용자 검출기법인 역상관 검출기법이 적용 되었다. 그림 2에서는 제1차 IC단이 역상관 검출기로 구성된 것을 나타낸다. 만약  $R^{-1}$ 은 없을 경우에는 제 1차 IC단이 단일사용자 검출기법으로 구성되었을 경우이다.

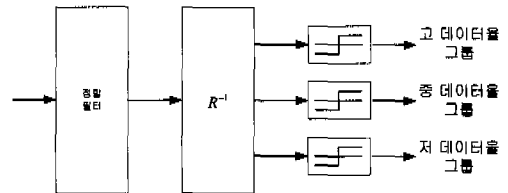


그림 2. 1차 IC 단

먼저 제 1차 IC단으로부터 모든 그룹 사용자의 추정값이 얻어진다. 이 추정값은 재 확산되고, 수신된 신호로부터 빼져 나머지신호를 얻게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$Y_{residual} = Y_{received} - \hat{b}_{total} A_{total} S_{total} \quad (5)$$

식(5)에서  $Y_{residual}$ 은 뺄셈의 나머지 신호,  $Y_{received}$ 은 수신된 신호,  $\hat{b}_{total}$ 은 모든 그룹 사용자의 추정 정보 비트를 나타내는 행렬,  $A_{total}$ 은 모든 그룹 사용자의 진폭정보를 나타내는 행렬,  $S_{total}$ 은 모든 그룹 사용자의 확산코드를 나타내는 행렬이다. 제1차

IC 단에서 얻어진 재 확산된 추정값과 나머지 신호는 그룹내 병렬간섭제거 기법과 그룹간 순차간섭제거기법의 입력이 된다. 먼저 최고의 데이터율을 갖는 사용자들에 대한 병렬간섭제거 기법이 수행된다.

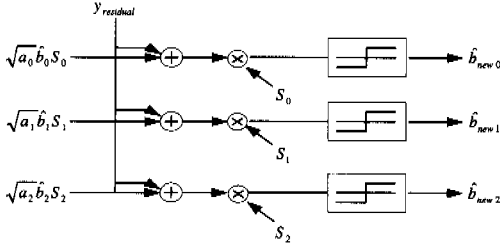


그림 3. 하나의 그룹에서 병렬 간섭 제거

먼저 앞서 설명하였듯이 제 1차 IC단에서의 모든 추정값 중 고데이터율 그룹 사용자의 재확산된 추정값과 나머지 신호를 이용하여 앞서 설명했듯이 그림 3과 같은 병렬 간섭 제거 기법이 수행된다. 이를 통하여 고데이터율 사용자 신호의 새로운 추정값을 얻게되고, 이 새로운 추정값은 다시 확산되어 빼짐으로서 새로운 나머지 값을 얻을 수 있다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$Y_{residualH} = Y_{residual} \quad (6)$$

$$\hat{b}_{Hnewi} = \text{sgn}((\sqrt{a_{Hi}} \hat{b}_{Hi} S_{Hi} + Y_{residualH}) S_{Hi}) \quad (7)$$

$$Y_{residualM} = Y_{residualH} + A_H \hat{b}_H S_H - A_H \hat{b}_{Hnew} S_H \quad (8)$$

여기서,  $i$ 는 그룹내 사용자를 나타내는 인덱스,  $Y_{residual}$ 은 제 1차 IC단에서 얻은 나머지 신호이고, 고데이터율 사용자 그룹에 대한 병렬간섭제거기법에서 이용되는 나머지 신호  $Y_{residualH}$ 와 동일하다.  $Y_{residualM}$ 은 고 데이터율 그룹에 대한 병렬 간섭 제거 후, 중 데이터율 그룹의 병렬 간섭 제거 기법에 이용될 새로운 나머지 신호이다.  $A_H$ 는 고 데이터율 사용자 신호의 진폭을 나타내는 행렬,  $\hat{b}_H$ 은 제 1 차 IC단으로 부터의 고 데이터율 사용자 신호 추정값을 나타내는 행렬,  $\hat{b}_{Hnew}$ 은 병렬 간섭제거 후 얻어진 고 데이터율 사용자 신호의 새로운 추정값을 나타내는 행렬이다. 여기서, 병렬 간섭 제거 기법은 한 단으로 구성될 수도 있고, 다 단으로 구성될 수도 있다. 다음은 중 데이터율 사용자 신호에 대한 병렬 간섭 제거 기법이 수행된다. 이때 이용되는 것은 앞에서 제 1차 IC단의 중 데이터율 추정값

과 고 데이터율 그룹내 병렬 간섭 제거 기법 후 얻어진 나머지 신호이다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\hat{b}_{Mnewi} = \text{sgn}((\sqrt{a_{Mi}} \hat{b}_{Mi} S_{Mi} + Y_{residualM}) S_{Mi}) \quad (9)$$

$$Y_{residualL} = Y_{residualM} + A_M \hat{b}_M S_M - A_M \hat{b}_{Mnew} S_M \quad (10)$$

식(9), (10)에서 모든 수식적 표현은 앞선 고 데이터율 그룹에서 표기와 동일하다. 저 데이터율 사용자 신호에 대한 병렬 간섭 제거도 고 데이터율, 중 데이터율 그룹과 동일하게 진행된다.

$$\hat{b}_{Lnewi} = \text{sgn}((\sqrt{a_{Li}} \hat{b}_{Li} S_{Li} + Y_{residualL}) S_{Li}) \quad (11)$$

$$Y_{residualH} = Y_{residualL} + A_L \hat{b}_L S_L - A_L \hat{b}_{Lnew} S_L \quad (12)$$

식(12)에서의  $Y_{residualH}$ 는 저 데이터율 그룹에 대한 그룹내 병렬 간섭 제거가 수행된 후 얻어진 나머지 신호로 이 나머지 신호는 그룹간 순차 간섭 제거 기법이 다 단으로 구성될 경우, 다시 고 데이터율 사용자 그룹에 대한 병렬 간섭 제거에 이용된다. 앞서 설명한 것처럼 그룹내 병렬 간섭 제거와 그룹간 간섭 제거는 각각 한 단씩 구성될 수도 있고, 각각 다단으로 구성될 수도 있다. 제안된 검출기의 복잡도를 기존 병렬간섭제거기법 한 단을 기준으로 설명하겠다. 물론 단수에 따라 그 복잡도는 달라지겠지만 제안된 검출기법이 정합필터, 한단 SIC와 한단 PIC로 구성될 경우, 제안된 검출기는 거의 두 단의 PIC와 같은 복잡도와 그룹 수에 상응하는 시간적 지연을 가질 것이다. 그리고 제안된 검출기가 역상관검출기, 한단 SIC와 한단 PIC로 구성될 경우, 한단의 PIC의 복잡도에 역상관검출기 그것의 합에 해당하는 복잡도와 그룹수에 상응하는 시간적 지연을 가질 것이다.

## V. 성능 평가

### 5-1. 모의 실험 환경

모의 실험 및 성능 평가에서는 기존의 간섭 제거 기법과 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법을 VPG기법이 적용된 멀티 레이트 시스템에 적용함으로써 이루어진다. 실험 조건은 다음과 같으며, 실험 방법은 Monte Carlo방법으로 BER을 측정 한 것이다.

표 1. 모의 실험 환경 조건

채널 환경	부가 백색 가우시안 잡음
사용자 수	고 데이터율 그룹: 5 명
	중 데이터율 그룹: 10 명
	저 데이터율 그룹: 10 명
확산 코드	랜덤 코드
확산 코드 길이	고 데이터율 그룹 사용자: 32
	중 데이터율 그룹 사용자: 64
	저 데이터율 그룹 사용자: 128

모의 실험 조건은 표1에서처럼 채널 환경은 부가 백색 가우시안 잡음이고, 고 데이터율 사용자 그룹, 중 데이터율 사용자 그룹, 저 데이터율 사용자 그룹에 각각 확산 코드는 32, 64, 128 랜덤 코드가 사용되었으며, 각 그룹의 사용자수는 고 데이터율 그룹 5명, 중 데이터율 그룹 10명, 저 데이터율 그룹 10명이다. 적용된 검출 기법으로는 단일 사용자 검출기(MF), 2단 병렬 간섭 제거 기법(PIC), 역 상관 검출기(Decorrelator) 그리고 제안된 검출 기법으로 정합 필터+2단 순차 간섭 제거기법+2단 병렬 간섭 제거 기법(MF+SIC+PIC), 역상관 검출기+1단 순차 간섭 제거 기법+1단 병렬 간섭 제거 기법(Decorrelator+SIC+PIC)이다. 이를 정리하여 나타내면 표2와 같다.

표 2. 적용되어진 기술

기존 검출기	단일 사용자 검출기(MF)
	병렬 간섭 제거기(PIC)
	역상관 검출기(Decorrelator)
제안된 검출기	MF+SIC+PIC.
	Decorrelator+SIC+PIC.

또한 실험은 각 사용자 신호의 크기 정보를 가지고 있을 경우와 가지고 있지 않을 경우 두 경우에 대해 실험하였다. 모의실험의 사용자에게 할당된 확산코드는 고의로 MAI의 증가시키기 위해 랜덤코드를 사용하였다. 이는 보다 더 열악한 환경을 조성하기 위함이다. 또한 완벽한 전력제어를 가정하여 그룹 내 사용자의 신호의 세기는 동일하다고 가정하였다.

5-2. 모의 실험 결과

본 장에서는 기존의 단일 사용자 검출 기법인 정합 필터, 다중 사용자 검출기법인 병렬 간섭 제거 기법, 역 상관 검출기법, 그리고 제안된 하이브리드 간섭 제거 기법의 성능을 비교 평가하고자 한다. 그림 4, 5, 6은 그룹 간 순차 간섭 제거 기법이 다단으로 적용 되었을 경우, 각각의 검출 기법에 따른 고 데이터율, 중 데이터율 고 데이터율 사용자들에 대한 BER 곡선을 나타내는 그림이다. 그림에서도 알 수 있듯이 제안된 검출기법이 모든 데이터율 그룹에 대해 기존검출기법에 보다 상당히 우수한 성능을 갖음을 알 수 있다. 제 1 차 IC단이 단일 사용자 검출 기법으로 구성된 경우 그룹 간 간섭 제거 기법이 다단으로 구성될 경우, 큰 폭의 성능향상이 이루어짐을 알 수 있다. 이는 그룹간 사용자 신호차에 대한 강인성을 보여줌을 알 수 있고 이는 순차 간섭 제거 기법을 다 단으로 구성함으로써 한 단으로 구성된 검출기 구조에서는 검출 에러에서 이득을 보지 못하던 고 데이터율 사용자 그룹에게 이득을 준다. 이 이득은 비 선형 검출 기법의 특성상 후속 중데이터율 사용자 그룹에 이득을 주고, 이는 또한 저 데이터 사용자 그룹의 검출 에러에도 좋은 영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있다. 그림 7, 8, 9는 앞 그림에서의 가정과 동일한 가정이 적용되었으며 단지 다른 점은 각 사용자 신호의 세기에 대한 정보를 갖지 않았을 경우의 BER 곡선을 나타낸다. 하지만 제안된 검출기에서 제 1차 IC단이 역상관 검출기의 신호세기 오차가 20%내일 경우의 BER 곡선이다.

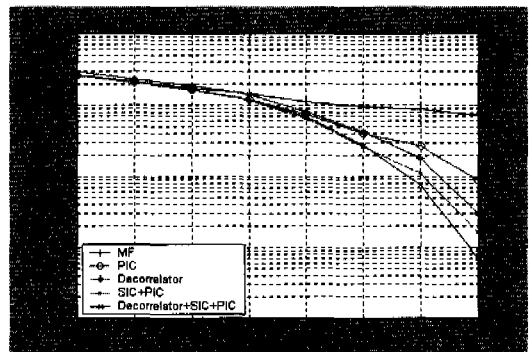


그림 4. 고 데이터 율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 아는 경우)

그림 4는 각각의 검출 기법에 따른 고 데이터율

그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서, MF는 정합 필터, PIC는 2단 병렬 간섭 제거 기법, Decorrelator는 역 상관 검출기, SIC+PIC는 제 1차 IC단이 정합필터, 그룹간 2단 순차 간섭 제거 기법과 그룹 내 2단 병렬 간섭 제거 기법, Decorrelator+PIC는 제 1차 IC단이 역 상관 검출기, 그룹간 1단 순차 간섭 제거 기법과 그룹내 1단 병렬 간섭 제거 기법이 적용되었을 경우이다.

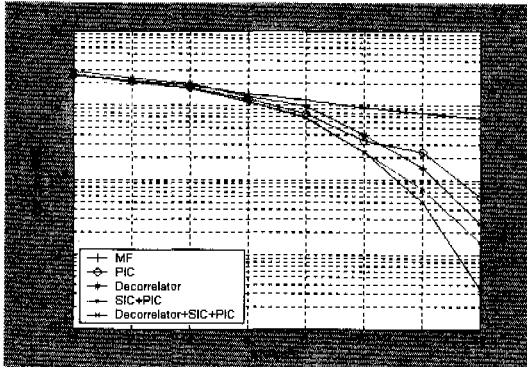


그림 5. 중 데이터 율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 아는 경우)

그림 5는 각각의 검출기법에 따른 중데이터율 그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서, 표기는 그림 4와 동일하다. BER이  $6 \times 10^{-3}$ 에서 전력이득은 Decorrelator+SIC+PIC이 PIC보다 2.2 [dB], Decorrelator보다 약 1[dB], SIC+PIC는 PIC보다 1.8[dB], Decorrelator보다 약 0.8 [dB] 이득을 갖음을 알 수 있다.

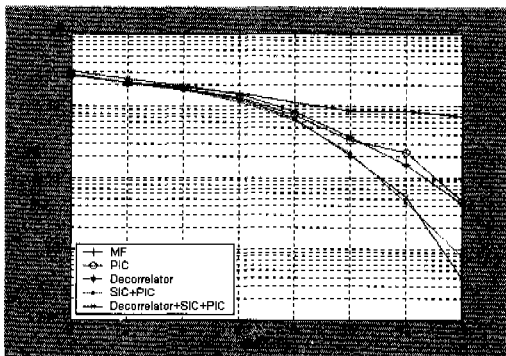


그림 6. 저 데이터 율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 아는 경우)

그림 6은 각각의 검출기법에 따른 저데이터율 그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서

BER이  $5 \times 10^{-3}$ 에서 Decorrelator+SIC+PIC, SIC+PIC는 PIC보다 2.0[dB], 1.8[dB]의 전력 이득을 갖음을 알 수 있다.

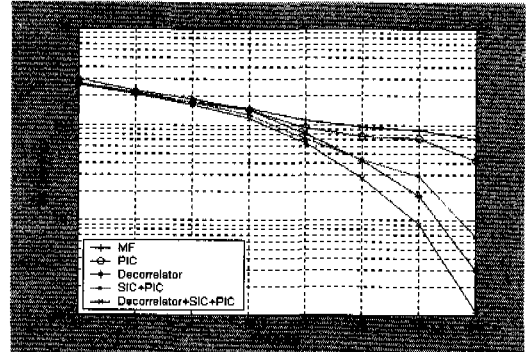


그림 7. 고 데이터 율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 모르는 경우)

그림 7은 각 사용자신호의 세기 정보 없이 각각의 검출 기법에 따른 고 데이터율 그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서, BER  $7 \times 10^{-3}$ 에서 Decorrelator+SIC+PIC이 Decorrelator보다 0.82[dB]의 전력이득을 갖음을 알 수 있다.

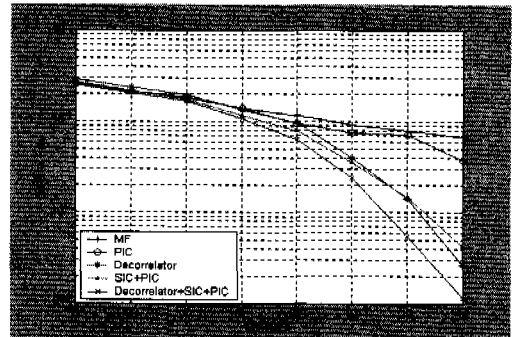


그림 8. 중 데이터 율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 모르는 경우)

그림 8은 각 사용자신호의 세기 정보 없이 각각의 검출기법에 따른 중데이터율 그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서, BER  $4 \times 10^{-3}$ 에서 Decorrelator+SIC+PIC가 Decorrelator보다 1.09[dB]의 전력 이득을 갖음을 알 수 있다.

그림 9는 각 사용자 신호의 세기 정보 없이 각각의 검출 기법에 따른 고 데이터율 그룹 사용자 신호 BER곡선을 나타내는 그림으로서, BER  $6 \times 10^{-3}$ 에서 Decorrelator+SIC+PIC이 Decorrelator보다

1.64[dB]의 전력 이득을 갖음을 알 수 있다.

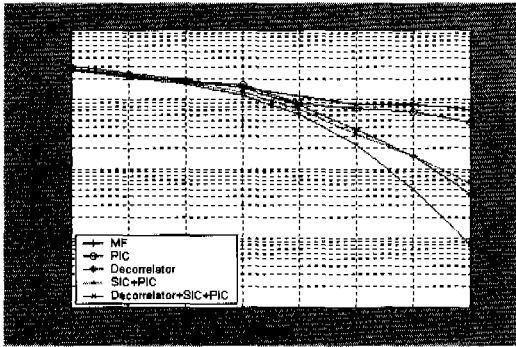


그림 9. 저 데이터율에서 서로 다른 검출기의 BER 특성 (각 사용자의 전력 정보를 모르는 경우)

표 3과 표 4는 설정된 기준 BER과 기존 기법에 대해서, 여러 검출 기법이 얼마의 전력 이득을 갖는가를 나타낸다. 표3은 사용자 신호세기의 정보가 검출기에 알려진 경우이고, 표4는 신호세기에 대한 정보가 알려지지 않은 경우의 전력이득을 나타낸다.

표 3. 각 검출 기술의 전력 이득 (각 사용자의 전력 정보를 아는 경우)

그룹	기준 BER	다중 사용자 검출기	전력이득 [dB]
고 데이터율	$9 \times 10^{-3}$ , PIC	Decorrelator	1.25
		SIC+PIC	1.82
		Decorrelator +SIC+PIC	2.32
중 데이터율	$6 \times 10^{-3}$ , PIC	Decorrelator	0.98
		SIC+PIC	1.73
		Decorrelator +SIC+PIC	2.23
저 데이터율	$5 \times 10^{-3}$ , PIC	Decorrelator	0.10
		SIC+PIC	1.80
		Decorrelator +SIC+PIC	2.00

## VI. 결론

본 연구에서는 멀티레이트 DS/CDMA 시스템을 구현하기 위한 멀티레이트 시스템 구현기법과 이 중 VPG 기법이 적용된 DS/CDMA 시스템모형을 II장에서 살펴보았다. 또 III 장에서는 기존 간섭 제거기에 대하여 살펴보았다. 그리고, IV장에서는 제안된 하이브리드 다중사용자간섭 제거기법의 구조에 대해서

표 4. 각 검출 기술의 전력 이득 (각 사용자의 전력 정보를 모르는 경우)

그룹	기준 BER	다중 사용자 검출기	전력이득 [dB]
고 데이터율	$7 \times 10^{-3}$ Decorrelator	SIC+PIC	-0.91
		Decorrelator +SIC+PIC	0.82
중 데이터율	$4 \times 10^{-3}$ Decorrelator	SIC+PIC	-0.55
		Decorrelator +SIC+PIC	1.09
저 데이터율	$6 \times 10^{-3}$ Decorrelator	SIC+PIC	-0.55
		Decorrelator +SIC+PIC	1.64

살펴보았다. V장에서는 기존의 단일, 다중사용자 검출기법 및 제안된 하이브리드 다중사용자간섭 제거 기법이 실제 AWGN환경의 VPG 멀티레이트 시스템에 적용되었을 경우의 모의실험결과를 살펴보았다.

본 논문에서 제안한 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법이 컴퓨터 모의실험을 통해 상당히 우수함을 알았다. 제 1차 IC단으로 정합 필터가 이용될 경우, 고 데이터율 및 중 데이터율 그룹에서 역 상관 검출기 보다는 0.57[dB], 0.75[dB], PIC보다는 1.82[dB], 1.73[dB]이 정도, 저 데이터율 그룹에서는 역 상관 검출기 보다는 1.7[dB], PIC보다는 1.8[dB]이 정도 전력 이득을 갖음을 알 수 있었다. 제 1차 IC단으로 역 상관 검출기가 이용될 경우, 고 데이터율 및 중 데이터율 그룹에서 역 상관 검출기 보다는 1.07[dB], 1.38[dB], PIC보다는 2.32[dB], 2.23[dB] 정도, 저 데이터율 그룹에서는 역 상관 검출기 보다는 1.90[dB], PIC보다는 2.00[dB]이 정도 전력 이득을 갖음을 알 수 있었다. 본 논문에서 검출 구간의 기준은 저 데이터율 사용자의 심벌 구간에 맞추어져 있지만 이 검출구간이 고 데이터율 사용자의 심벌 구간에 맞추어질 경우 제안된 하이브리드 다중 사용자 간섭 제거 기법은 역시 기존의 검출기 보다 우수한 성능을 가질 것이라 예상된다. 이 검출 구간이 고 데이터율 사용자 심벌 구간에 맞추어질 경우, 고 데이터율 사용자 데이터의 시간 지연은 더 작아질 수 있다고 본다.

## 참고 문헌

[1] M.Juntti, "System Concept Comparisons for Multirate CDMA with Multiuser Detection", VTC'98. Ottawa, Canada, May 1998.



- [2] M.Saquib, R. Yates and N. Mandaam, "Decorrelating detectors for a dual rate synchronous DS/CDMA System", *Wireless Personal Communications*.
- [3] M.Saquib, R.Yates, and N. Mandayam, "A Decision Feedback Decorrelator for a Dual Rate Synchronous DS/CDMA System", *In Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference*, volume 3, pp 1804-1808, UK, November 18-22 1996.
- [4] M.Saquib, R.Yates, and N. Mandayam, "Decorrelating Detectors for a Dual Rate Synchronous DS/CDMA System", *In Proceedings of 46th IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol 1, pp 377-381, Atlanta, USA, April 28 - May 1 1996.
- [5] S.H. Hwang and G.G.Kang, "Interference Cancellation Schemes for a Dual Rate Variable Processing Gain DS/CDMA System", *ICC'97*, pp.465-469, 1997.
- [6] S. Verdu, *Multiuser Detection*, Cambridge University press, 1998.
- [7] R. Lupas and S. Verdu, "Linear multiuser detectors for synchronous code-division multiple-access channels", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 35(1), pp.123-136, January 1989.
- [8] A. Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, "Multiuser detection for CDMA systems", *IEEE Personal Communications*, vol.2(2), pp.46-58, April 1995.

변 윤 식(Youn-Shik Byun)

한국통신학회 논문지 제25권 제10A호, 2000년 10월  
참조

유 종 엽(Jong-Yeop Yoo)

1998년 2월 : 청주대학교 반도체공학과 졸업

2001년 2월 : 인천대학교 전자공학과 석사

2000년 12월 ~ 현재 : 기릉전자 연구원

<주관심 분야> 신호처리

우 대 호(Dae-Ho Woo)

한국통신학회 논문지 제25권 제10A호, 2000년 10월

참조