

# 어레이 안테나를 이용한 적응 혼합형 다중 간섭 제거기

이규만, 한동석  
경북대학교 전자전기공학부

## An Adaptive Hybrid Multi-User Detection Using Amplitude Estimation with Array Antennas

Kyu-Man Lee and Dong-Seog Han

School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University, Korea

### 요약

DS/CDMA 이동통신 환경에서 채널의 용량을 제한하는 가장 큰 요인은 다중 사용자 간섭 신호의 영향이다. 본 논문에서는 어레이 안테나와 적응 혼합 다중 사용자 검파기 구조 (MUD: Multi-User Detection)를 이용하여 이러한 문제를 제거한다. 어레이 안테나의 각각의 빔 형성기는 MUD에서 제환되는 기준 신호를 이용하여 원하는 사용자의 방향으로 빔을 형성하고 간섭 신호 방향으로는 널을 형성하여 제거하게 된다. 수신 신호의 전력이 제어되지 못하여 원근 문제(near-far problem)가 발생할 경우, 제안한 MUD는 적응적으로 지배적인 상관 값에 대해서는 직렬형, 비슷한 크기의 신호들은 병렬형 간섭 제거기를 통하여 제거함으로써 기존의 고정형 간섭 제거기보다 우수한 성능을 나타내었다.

### I. 서론

DS-CDMA 방식은 각각의 사용자마다 고유의 코드를 이용하여 같은 주파수 대역에 신호를 확산시켜서 신호를 전송하는 방식이다. 수신기에서는 수신 신호와 사용자 고유 코드 신호와 상관을 취하여 원래의 신호를 복원하게 된다. 이 방식은 TDMA (time division multiple access) 나 FDMA (frequency division multiple access) 방식에 비하여 훨씬 더 많은 사용자를 지원할 수 있는 특징이 있다[1-2]. 그러나 동시에 같은 주파수 대역을 사용하게 됨으로써 다른 사용자간의 간섭 (MAI: multiple access interference)이 시스템의 성능을 열화 시키며 사용

자의 수가 늘어날수록 이러한 문제는 심각해진다[3]. 차세대 IMT-2000과 같은 통신 시스템에서는 더 많은 사용자의 지원과 음성, 데이터, 화상등과 같은 다양한 멀티미디어 전송을 위하여 MAI 문제는 더욱 심각해지며 더불어 수신 신호의 원근 문제 (near-far problem) 또한 시스템의 성능을 열화 시키는 원인이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 연구 되어지고 있는 기법이 다중 사용자 검파 (MUD: multi-user detection) 기법이다. MUD 기법에는 선형 변환을 정합 필터 출력 신호에 적용하여 MAI 효과를 줄이는 선형 검파(linear detection) 기법이 있고 역상관 (decorrelating)[4], 최소 평균 자승 오차를 이용하는 것이 여기에 해당된다 [5]. 이러한 선형 기법은 입력 신호의 상관 값 (cross-correlation)을 함수로 사용하게 되어 계산량에 있어서 상당히 복잡해지는 단점이 있다.

MAI를 유발하는 사용자의 간섭 신호를 수신 신호에서 제거하는 기법 (subtractive interference cancellation) 이 있다[6]. 이 방법에는 순차적으로 사용자의 신호를 제거하는 연속 간섭 신호 제거 (SIC: successive interference cancellation) 방법과 병렬적으로 사용자의 신호를 제거하는 병렬 간섭 신호 제거 (PIC: parallel interference cancellation) 방법이 있다.

본 논문에서 제안한 다중 사용자 검파기는 채널의 상황에 따라서 적응적으로 동작하며 검파된 사용자 신호를 어레이 안테나의 기준 신호로 이용하여 간섭 신호 제거에 도움을 줌으로써 기존의 다중 사용자 검파기보다 우수한 성능을 나타냄을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 SIC와 PIC 구조 및 원리에 대해서 설명하고 3장에서는 적응형 혼합 다중 사용자 검파기를 제안한다. 4장에서는 모의 실험을 통하여 기존의 기법과 비교하고 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 직렬 및 병렬 간섭 제거기

$K$  명의 사용자 신호가 동기채널에 단지 한 개의 경로만을 가진다고 가정할 경우에 수신 신호는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K a_k(t)c_k(t)d_k(t) + n(t) \quad (1)$$

식 (1)에서  $a_k(t)$ ,  $c_k(t)$ ,  $d_k(t)$ 는  $k$  번째 사용자의 신호 크기, 고유 식별 코드, 신호의 데이터를 나타내고  $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 기존의 단일 사용자 검파기를 이용하여 한 주기동안의 출력 신호를 나타내면 식 (2)와 같다.

$$y_k = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} r(t)c_k(t)dt \\ = a_k(t)d_k(t) + \sum_{i=1, i \neq k}^K \rho_{i,k} a_i(t)d_i(t) + \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} n(t)c_k(t)dt \quad (2)$$

여기서  $\rho_{i,k}$ 는  $i$  번째와  $k$  번째 사용자의 코드 상관 값을 나타낸다. 식 (2)의 가운데 항이 MAI를 야기시킨다. 사용자의 수가 늘어날수록 MAI 효과는 커지고 원근 문제가 발생할 경우에 저전력 사용자에게는 심각한 문제를 야기시킨다.

이러한 MAI 효과를 순차적으로 줄이기 위하여 그림 1과 같은 SIC 형태의 MUD 기법이 제안되었다. 그림 1에서처럼 SIC는 수신 신호를 전력의 크기 순서대로 정렬한 후, 신호 판정, 신호의 재생성 단계를 거쳐서 차례대로 수신 신호와의 차를 통하여 MAI를 줄여 나간다. 전력이 가장 큰 신호부터 제거해 나가는 것이 저전력 사용자에게 있어서는 효과적이다. 특히 SIC 기법에서 불완전한 신호 크기 추정은 시스템의 성능을 열화시키는 원인이 된다.

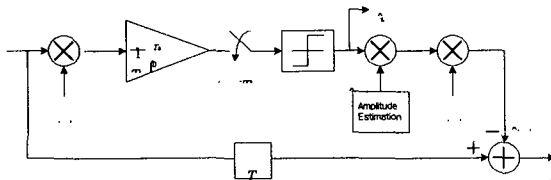


그림 1. 기존의 직렬형 간섭 제거기의 블록도

이와는 달리 PIC 형태의 MUD는 결정된 신호의 크기

를 추정하여 고유 사용자 코드로 신호를 재생성시킨 후, 부분 합산기를 통하여 자신의 신호를 제외한 다른 신호와의 합을 구한다. 이 신호를 수신 신호와의 차를 통해서 모든 사용자 신호를 복원하게 된다. 완전하게 사용자 신호의 크기 추정이 이루어진다면 완벽하게 MAI 효과를 제거하게 된다.

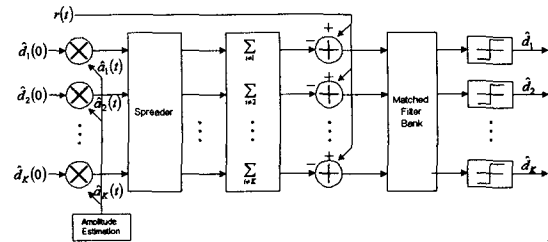


그림 2. 기존의 병렬형 간섭 제거기의 블록도

SIC 형태의 검파기는 수신 사용자 신호가 전력이 제대로 제어되지 못하는 페이딩 환경에서는 PIC 검파기보다 더 성능이 우수하지만 충분히 전력이 제어되는 환경에서는 PIC 검파기가 성능이 더 우수하다. 또한 SIC 검파기는 지연 시간이 길어지는 문제점과 수신 전력의 크기에 따라 신호를 재배열해야 하는 단점이 있다. 반면에 PIC 검파기는 하드웨어적으로 복잡해지는 문제가 있다[3].

## III. 적응 혼합형 다중 간섭 제거기

본 논문에서는 SIC 기법과 PIC 기법을 혼합한 MUD 기법을 제안한다. 그림 3은 제안한 MUD의 블록도를 나타낸다. 제안한 MUD 기법은 SIC와 PIC 구조가 서로 직렬로 연결되어 있는 형태이다. 동작의 기본 원리는 다음과 같다.

먼저 사용자 신호에 따라서 수신 전력을 관찰한 후, 다른 사용자 신호의 전력보다 상대적으로 큰 전력의 사용자 신호를 구별하여 이러한 신호들을 SIC 형태로 제거해 나간다. 지배적인 사용자 신호들을 연속적으로 제거한 후, 잔존해 있는 비슷한 전력의 사용자 신호에 대해서 PIC 기법을 수행하여 MAI 효과를 줄인다. 제안한 MUD 기법은 채널의 환경에 따라서 적응적으로 SIC와

PIC를 수행할 수 있게 됨으로써 기존의 고정형 MUD 기법보다 처리 시간 지연에 있어서나 성능면에 있어서 뛰어나게 된다. 또한 수신 신호와 재생성 신호의 차를 위해서는 정확한 신호 크기의 추정이 필요한데 이를 위해서 제안한 MUD 기법은 신호의 상관 특성을 이용한다. 즉, 재생성한 사용자 신호의 크기를 변화시키면서 수신 신호와의 차를 구한다. 이 때, 재생성한 사용

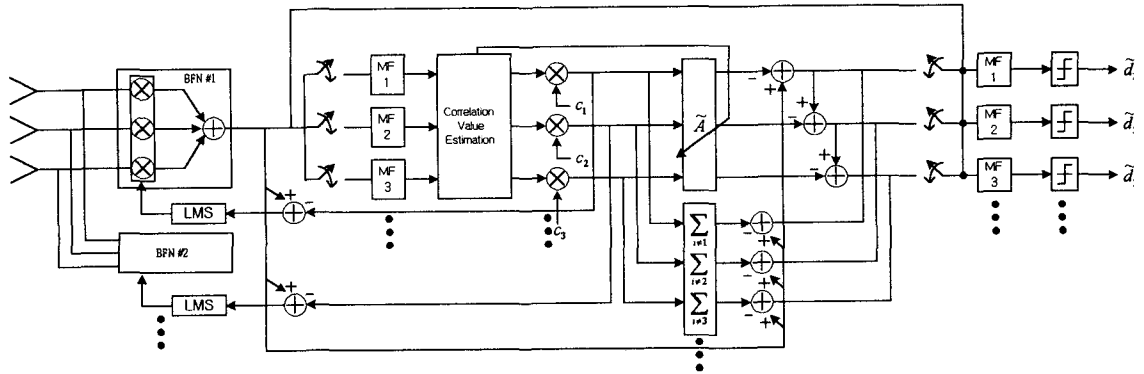


그림 3. 제안한 적응 혼합형 다중 간섭 제거기

자의 신호 전력보다 낮은 사용자 신호를 기준으로 상관 값을 관찰하여 가장 큰 값을 나타내는 값을 신호의 크기로 추정하여 정확한 재생성 신호의 크기를 결정할 수 있다.

최종적으로 복원된 각각의 사용자 신호는 제안한 MUD의 앞부분에 위치한 빔형성기의 기준 신호로써 제공된다. 어레이 안테나는 LMS 알고리즘[7]을 이용하여 빔형성기를 동작시킨다. 주 빔 방향과 달리 입사하는 간섭 신호는 어레이 안테나에서 1차적으로 제거하게 된다. 나머지 주빔으로 입사하는 간섭 신호는 제안한 MUD에서 제거하게 된다.

#### IV. 성능분석

본 논문에서는 제안한 적응 혼합형 간섭 제거기의 성능을 분석하기 위하여 원근 문제가 발생한 총 13명의 사용자에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 백색 가우시안 잡음 환경에서 각 사용자 신호에 대하여 시간 지연, 위상차는 완벽하게 추정하였다고 가정하였다.

그림 4는 제안한 간섭 제거기가 채널의 환경에 따라서 적응적으로 직렬형의 동작 횟수를 결정하기 위하여 수신 신호의 상관 값을 나타낸 그림이다. 총 13명의 사용자 중에서 상대적으로 약한 사용자에게 지배적인 영향을 미치는 사용자의 신호는 10번, 7번, 2번 사용자의 순이다.

그림 5는 10번 사용자의 신호를 제거하기 위하여 신호의 크기를 추정한 결과를 나타내었다. 추정 신호가 '5'인 지점에서 가장 큰 상관 값을 가지고 되므로 이 값으로 재생성 신호의 크기를 추정하게 된다. 이와 같은 방법으로 10번, 7번, 2번 사용자의 신호를 직렬형 방법으로 제거한 후에 총 사용자에 대한 신호의 상관 값을 그림 6에 나타내었다. 지배적인 영향을 끼친 사용

자의 신호가 제거되고 비슷한 크기의 값을 가지는 사용자로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 이 때, 병렬형 간섭 제거기를 이용하여 모든 신호의 검파를 가능하게 한다.

그림 7은 정확하게 추정된 신호를 어레이 안테나에 제공함으로써 나머지 이 외에 간섭 신호는 공간적으로 널을 형성함으로써 제거됨을 빔 패턴을 통하여 알 수 있다. 그림 8은 같은 환경에서 기존의 고정된 직렬형과 병렬형을 제안한 방법과의 비교를 비트 오류율 이용하여 나타내었다.

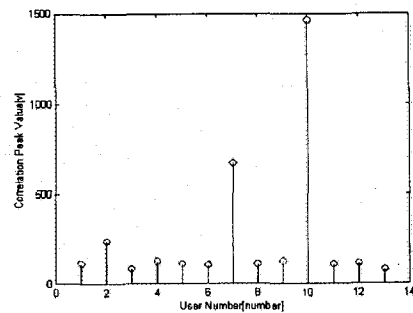


그림 4. 수신 신호의 상관 값

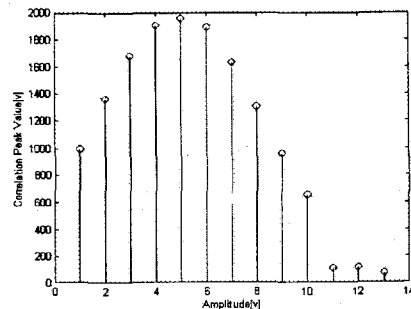


그림 5. 재생성 신호의 크기 추정

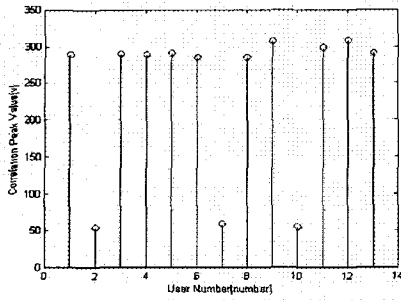


그림 6. 지배적인 신호를 제거한 후의 신호의 상관 값

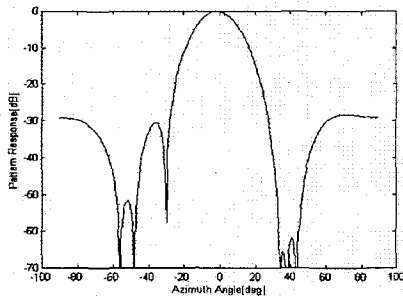


그림 7. 기준 신호를 이용한 안테나 패턴

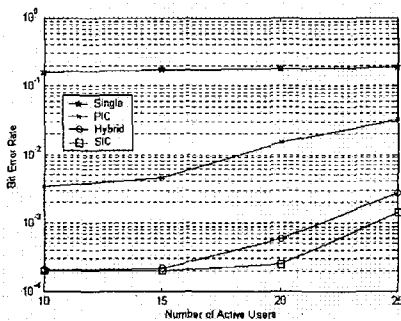


그림 8. 기존의 방법과 제안한 방법의 성능 비교

## V. 결론

본 논문에서는 MAI 문제와 원근 문제를 해결하기 위하여 SIC와 PIC가 직렬 연결된 적응형 다중 사용자 간섭기를 제안한다. 제안한 모델은 채널의 환경에 따라서 적응적으로 동작하기 때문에 고정형 다중 사용자 간섭기 보다 시간 지연 측면에서와 성능면에서 우수한 성능을 나타낸다. 또한 원하는 사용자 신호와 다른 입사자

을 가지는 신호는 어레이 안테나를 이용하여 제거가능하기 때문에 MAI 효과는 더욱 감소함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 40, no. 2, pp. 291-302, May 1991.
- [2] K. S. Gilhousen et al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [3] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS-SS Communications," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 124-136, Oct. 1996.
- [4] R. Lupas et al., "Linear Multi-User Detectors for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels," *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 35, no. 1, pp. 123-136, Jan. 1989.
- [5] Z. Xie et al., "A Family of Suboptimum Detectors for Coherent Multi-User Communications," *IEEE JSAC*, vol. 8, no. 4, pp. 683-690, May 1990.
- [6] R. Kohno et al., "Combination of an Adaptive Array Antenna and a Canceller of Interference for Direct-Sequence Spread-Spectrum Multiple Access System," *IEEE JSAC*, vol. 8, no. 4, pp. 675-682, May 1990.
- [7] B. Widrow et al., "Adaptive Antenna Systems," *Proc. IEEE*, vol. 55, pp. 2143-2159, Dec. 1967.