

# DS/CDMA 시스템에서 안테나 배열 수신기와 연속 간섭 제거 다중 사용자 검출기를 결합한 새로운 수신기

유성균<sup>†</sup> · 곽경섭<sup>\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 임의의 안테나 배열 수신기 알고리즘에 의해 형성된 빔에 연속 간섭 제거 다중 사용자 검출기를 결합하여 수신기의 성능을 향상시키는 방법을 제안하고, 그 성능을 분석한다. 안테나 배열 수신기는 사용자들의 신호를 공간적으로 분리하여 다중 사용자 간섭을 감소시켜 각 사용자에 대한 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 형성된 빔에 사용자들이 작은 도래각 차이를 두고 집중 분포될 경우 그 성능이 저하된다. DS/CDMA 시스템에서의 다중 사용자 검출기를 위한 간섭 제거 수신기는 간단한 구조와 방법에 비하여 성능이 우수하여 그와 관련된 방식이 많이 제안되어왔다. 본 논문에서는 그러한 성능 저하를 연속 간섭 제거 다중 사용자 검출기를 결합하여 극복하는 방법을 보인다.

## A New Receiver Combining Antenna Array Receiver and Successive Interference Cancelling Multiuser Detector in DS/CDMA Systems

Sung-Kyun Yu<sup>†</sup> and Kyung Sup Kwak<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose a new method that combines antenna array, which employs any beamforming algorithm, and successive interference cancelling multiuser detector which improves the performance of the receiver and analyse its performance. Antenna array receivers can improve the performance by spatially discriminating among the users and reducing the multiple access interference. But the performance of the receivers degrades when the difference of the direction of arrival of the users are too small. Many interference cancelling multiuser detectors have been suggested for DS/CDMA systems which have low complexity for their performance. In this paper, we show how to mitigate such a degradation by combining successive interference cancelling multiuser detector.

**Key words:** smart antenna, antenna array, multiuser detector, successive interference cancelling, cdma, mvdr, smi, mud, sic

## 1. 서 론

현재 국내에서는 3세대 이동통신 상용 서비스의 개시가 임박한 가운데 국내 시스템 제작 업체들은 새로운 서비스 환경에 맞는 시스템 개발에 주력하고

있다. 동시에 2010년 이후부터 상용화될 4세대 이동통신 기술들의 핵심기술 전망 등에 관한 논의가 활발히 진행되고 있다. 스마트 안테나 기술은 이동통신 시스템에 다중 안테나 배열을 사용하는 기술로서 시스템의 용량증대에 기여하는 기술이다. 현재 국내 기업과 연구소, 실험실에서는 이 기술을 사용한 시스템을 개발하거나 제작하여 성능분석을 하고있는 상태이며, 그에 관련된 연구물이 속속 발표되고 있다[9,10].

접수일 : 2002년 5월 21일, 완료일 : 2002년 6월 22일

<sup>†</sup> 준회원, 인하대학교 정보통신대학원, 무선이동통신

<sup>\*\*</sup> 정회원, 인하대학교, 통신 이론 및 시스템

CDMA 시스템에서의 큰 단점 중의 하나는 원근 효과(near-far effect)이다. 이는 전력 제어(power control)를 통하여 극복할 수 있지만, 신호 세기가 큰 사용자의 상대적인 성능 저하에 대한 근본적인 해결책이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 다중 사용자 검출기(multiuser detector, MUD)가 제안되었다. 최적 및 준최적 다중 사용자 검출기는 전력 제어가 완벽하지 않아도 원근 효과에 의한 영향을 줄일 수 있고, 성능 향상을 도모할 수 있다. 많은 다중 사용자 검출기 중 연속 간섭 제거 수신기(successive interference canceler, SIC)는 간단한 구조의 수신기이다. 이 수신기는 가장 수신 신호 세기가 큰 사용자의 간섭 신호를 작은 신호 세기를 지닌 사용자 신호에서 차례로 제거하여 작은 신호 세기의 사용자에 대한 성능을 개선한다.

안테나 배열 수신기도 원근 효과를 개선할 수 있는 해결책으로 제시되고 있다. 안테나 배열 수신기는 각 사용자의 신호가 공간적으로 분리되도록 빔을 형성하여 수신기의 성능을 향상시킬 수 있다. 잘 형성된 빔은 원하는 사용자의 신호의 안테나 이득을 그 밖의 사용자의 신호의 이득에 비하여 크게 유지하여 수신 성능을 향상시킨다 [4]. 그림 1의 이득 곡선에서 가중치 벡터에 의해 형성된 빔은 여러 개의 빔으로 구성된다. 가장 큰 크기를 가지고 중심방향을 포함하는 빔을 메인 빔(main beam)이라 하며, 아래쪽으로 깊이 파인 부분을 널(null)이라 한다. 메인 빔 쪽은 널과 널 사이의 각도를 가리킨다. 빔폭을 좁게 하면 많은 사용자 신호를 공간적으로 더 많이 분리해 낼 수 있지만, 이 방법에는 한계가 있다. 선형 배열에서의 메인 빔폭  $\theta_{BW} = 2 \arcsin(\lambda/Md)$ 은 안테나의 개수  $M$ 과 안테나 간격  $d$ 에 의해 좌우된다. 안테나의 개수가 많거나 안테나 간격이 클수록 메인 빔폭이 좁아진다. 안테나간의 상호 간섭을 피하기 위해서는 안테나간의 간격이 커야하며, 공간 왜곡(spatial aliasing)을 방지하기 위해서는 안테나간의 간격이  $\lambda/2$  이하이어야 하므로 일반적으로 안테나 간격을  $\lambda/2$ 로 고정한다. 그러므로 메인 빔폭을 좁게 하기 위해서는 안테나의 개수를 늘려야 한다. 그러나, 안테나 개수를 늘리면 안테나가 차지하는 공간이 커지게 되며, 계산의 양도 많아지게 되어 제약이 따르게 된다. 이렇게 제한된 빔폭에 사용자들의 신호가 작은 도래각(direction of arrival, DOA) 차이를 두고 집중

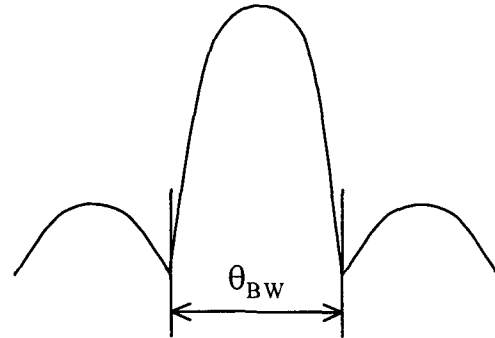


그림 1. 메인빔의 폭

되어 분포해 있으면 사용자 신호를 공간적으로 분리할 수 없게 되며, 도래각이 넓게 분포되고 널빔이 잘 형성된 경우보다 상대적으로 다중 사용자 접속 간섭(multiple access interference, MAI)이 크게 된다. 그에 따라 비용 함수가 커지고, 수신기의 성능도 저하된다. 이러한 경우, 하나의 빔에 다중 사용자의 신호가 분포해있으므로 적절한 다중 사용자 검출기를 이용하면 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 사용자 신호의 도래각이 어떠한 분포를 지니더라도 다중 사용자 검출기의 성능에 따른 전반적인 성능 향상을 도모할 수 있게 된다.

본 논문에서는 안테나 배열 수신기에 다중 사용자 검출기의 일종인 SIC를 연동하는 방법을 제안하였고, 그에 따른 수신기의 성능 향상에 대한 분석을 하였다. 안테나 배열 수신기는 임의의 빔형성 알고리즘을 사용할 수 있도록 하였고, 시뮬레이션에 몇 가지 최적 빔형성 알고리즘을 적용하여 비교를 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신호 모델을 설명하고, 3장에서는 안테나 배열 수신기와 SIC를 연동하는 방법을 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 신호 모델

다음과 같은 DS/CDMA 시스템을 고려한다.  $K$ 명의 사용자 신호는 신호간 간섭(intersymbol interference)이 무시될 수 있을 정도로 충분히 큰 채널 대역폭을 갖는 통과 대역의 채널을 통과하여  $M$ 개의 안테나 배열에 수신된다. 안테나간의 전파 지연은 아주 작아 무시될 수 있는 것으로 한다. 수신된 신호의

기저대역 신호는 복소수이다. 이 때, 안테나 배열에 수신된 신호는

$$\mathbf{x}(t) = \sum_k \sum_{i=1}^M \mathbf{a}_k e_k b_{k,i} s_k(t - \tau_k - iT) + \sigma \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

이며, 여기서

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \cdots x_M(t)]^T \quad (2)$$

는  $M$ 개의 안테나에 수신된 신호의 벡터이며,  $e_k^2$ 은 사용자  $k$ 의 에너지이며,  $b_{k,i} \in \{-1, +1\}$ 는 사용자  $k$ 의  $i$ 번째 비트이며,

$$\mathbf{a}_k = [a_{1k} \cdots a_{Mk}]^T \quad (3)$$

는 사용자  $k$ 에 대한 배열 응답 벡터(array response vector)이며,  $a_{mk}$ 는  $m$ 번째 안테나에서 사용자  $k$ 의 복소 이득이다. 배열 응답 벡터는 다음과 같이 정규화하도록 한다.

$$|a_{1k}| = 1, k = 1, \dots, K \quad (4)$$

정규화된 의사 잡음 신호인  $s_k(t)$ 는 심볼 구간이  $T$ 이며,

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_{k,n} u(t - nT_c) \quad (5)$$

와 같이 표현된다. 여기서  $[s_{k,0}, \dots, s_{k,n}]^T$ ;  $s_{k,n} \in \{-1, +1\}$ 는 사용자  $k$ 에 할당된 의사 잡음 부호이며,  $u(t)$ 는 칩 펄스 파형이며, 칩 구간  $T_c = T/N$ 이며,

$N$ 은 처리 이득(processing gain)이다.  $\tau_k$ 는 기준 안테나에서의 사용자  $k$ 의 상대적 지연이며,  $\mathbf{n}(t)$ 는 안테나 배열에서의 복소 백색 가우시안 잡음(additive complex white Gaussian noise) 벡터이며 다음과 같은 독립 조건을 가진다.

$$E\{\mathbf{n}(t) \mathbf{n}^H(t)\} = \mathbf{I} \quad (6)$$

$$E\{Re[n_m(m)]Im[n_m(n')]\} = 0, \text{ for all } m, n, m', n' \quad (7)$$

분석의 복잡도를 줄이기 위해  $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_K = 0$ 으로 하여 각 사용자간의 동기가 맞추어졌다고 가정한다. 이 때, 안테나 배열에 수신된 신호의  $M \times N$ 행렬은 다음과 같다.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \vdots \\ \mathbf{x}_M^T \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^K \mathbf{a}_k e_k b_k s_k^T + \sigma \mathbf{N} \quad (8)$$

이 신호가 정합 필터(matched filter)를 거친 후의 사용자  $l$ 에 대한 출력신호는 다음과 같다.

$$y_l = \mathbf{w}_l^H \mathbf{X} s_l = \int_0^T \mathbf{w}_l^H x(t) s_l(t) dt \quad (9)$$

$$= \rho_{ll}^a e_l b_l + \sum_{k=1, k \neq l}^K \rho_{lk}^s \rho_{lk}^a e_k b_k + \sigma n_l$$

위 식에서

$$\rho_{lk}^s = \int_0^T s_l(t) s_k(t) dt = \mathbf{s}_l^T \mathbf{s}_k \quad (10)$$

는 의사 잡음 신호간의 상호 상관을 나타내며,

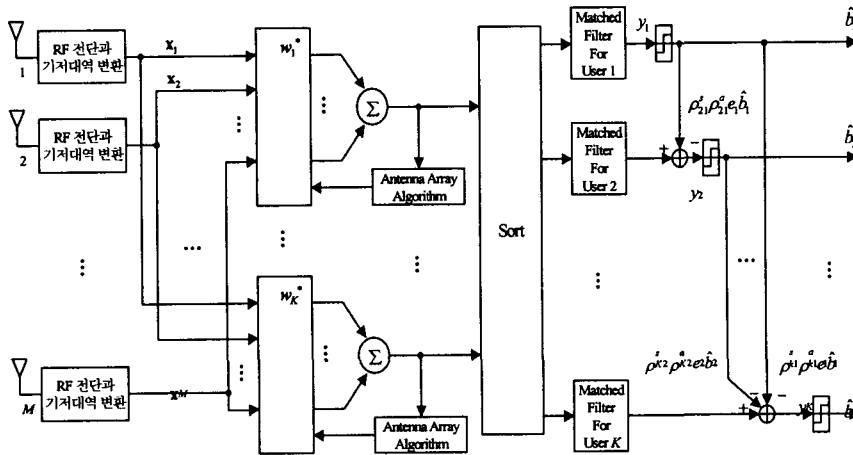


그림 2. 안테나 배열 수신기와 SIC가 결합된 수신기 구조

$$\rho_{ik}^a = \mathbf{w}_l^H \mathbf{a}_k \quad (11)$$

는 가중치 벡터와 배열 응답 벡터간의 상호 상관을 나타내며,

$$n_l = \mathbf{w}_l^H \mathbf{N} s_l \quad (12)$$

는 평균이 0이고 분산이  $|\mathbf{w}_l|^2$ 인 가우시안 확률 변수이다. 위 식들로부터 출력 신호  $\{y_l; l=1, \dots, K\}$ 는 송신된 비트들을 검출할 수 있는 충분한 통계적 확률을 지니고 있음을 알 수 있다.

### 3. 다중 안테나 배열과 SIC의 연동에 의한 성능 분석

이 장에서는 제안된 방법인 다중 안테나 배열 수신기의 출력 신호로부터 다중 사용자 간섭을 제거하는 방법을 설명한다. 본 논문에서는 배열 응답 벡터를 사용하는 [1]과는 달리 가중치 벡터를 도입함으로써 임의의 안테나 배열 수신기 빔형성 알고리즘이 사용될 수 있도록 하였다. SIC는 안테나 배열을 통과한 신호의 다중 사용자 간섭을 제거하게 된다. 제안된 수신기의 구조를 그림 2에 도시하였다.

일반적인 SIC에서 각 출력단은 신호 세기가 가장 큰 사용자부터 차례로 정렬이 된다. 즉, 사용자 1이 가장 큰 신호 세기를 지니도록 한다. 안테나 배열 수신기와 결합된 시스템에서는 사용자의 신호 세기는 가중치 벡터에 의해 형성된 빔에 따라서 변하게 된다. 그러므로 안테나 배열 수신기에 적용된 알고리즘의 특성에 따라서 사용자 신호를 정렬하는 방법이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 안테나 배열 수신기 빔형성 알고리즘의 비용 함수(cost function)가 작은 순서로 정렬하는 방법을 제안한다. 비용 함수는 관심 있는 사용자에 대한 빔형성과 그 밖의 사용자에 대한 널빔형성이 잘 형성되었는지의 척도로 사용할 수 있으며, 이를 통하여 다중 사용자 접속 간섭의 정도를 알 수 있기 때문이다. 비용 함수가 가장 작은 안테나 배열 수신기 출력 신호를 사용자 1로 지정하며, 가장 큰 비용 함수를 가진 출력 신호는 사용자 K가 된다. 이 때, 사용자 1의 출력 신호는

$$y_1 = \mathbf{w}_1^H \mathbf{X} s_1 = \rho_{11}^a e_1 b_1 + i_1 \quad (13)$$

이다. 위식에서  $i_1$ 은 다중 사용자 접속 간섭이며,

$$i_1 = \sum_{k=2}^K \rho_{1k}^a \rho_{1k}^a e_k b_k + \sigma n_1 \quad (14)$$

이다.  $n_1$ 은 가중치 벡터와 정합 필터를 통과한 잡음이며

$$n_1 = \mathbf{w}_1^H \mathbf{N} s_1 \quad (15)$$

이다. 사용자 1의 비트는

$$\hat{b}_1 = \text{sgn}\{\text{Re}[y_1]\} \quad (16)$$

와 같이 검출한다. 사용자 2의 출력 신호로부터 사용자 1이 기여하는 성분을 제거하면 다음과 같다.

$$y_2 = \mathbf{w}_2^H \mathbf{X} s_2 - \rho_{21}^a \rho_{21}^a e_1 \hat{b}_1 = \rho_{22}^a e_2 b_2 + i_2. \quad (17)$$

위 식에서  $i_2$ 는 사용자 2의 간섭 신호이며, 다음과 같다.

$$i_2 = \rho_{21}^a \rho_{21}^a e_1 (b_1 - \hat{b}_1) + \sum_{k=3}^K \rho_{2k}^a \rho_{2k}^a e_k b_k + \sigma n_2. \quad (18)$$

간섭 신호를 제거한 사용자  $j$ 의 출력 신호는 다음과 같다.

$$y_j = \rho_{jj}^a e_j b_j + i_j. \quad (19)$$

사용자  $j$ 의 간섭신호는 다음과 같다.

$$i_j = \sum_{k=1}^{j-1} \rho_{jk}^a \rho_{jk}^a e_k (b_k - \hat{b}_k) + \sum_{k=j+1}^K \rho_{jk}^a \rho_{jk}^a e_k b_k + \sigma n_j. \quad (20)$$

위 식에서 볼 수 있듯이, SIC에는 사용자의 도래각과 신호 세기를 필요로 한다. 사용자  $j$ 의 비트는 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{b}_j = \text{sgn}\{\text{Re}[y_j]\}. \quad (21)$$

식 (19)-(21)에서 소거되는 나머지항과 간섭 신호와의 상호 관계를 무시한다면 사용자  $j$ 의 비트 오류율 다음과 같은 재귀식(recursive formula)으로 근사할 수 있다.

$$P_{j|j}(\sigma) \approx Q \left[ \frac{\frac{|\rho_{jj}^a|}{|\mathbf{w}_j|} e_j}{\sqrt{\sigma^2 + \frac{4}{N} \sum_{k=1}^{j-1} \frac{|\rho_{jk}^a|^2}{|\mathbf{w}_j|^2} e_k^2 P_{k|k}(\sigma) + \frac{1}{N} \sum_{k=j+1}^K \frac{|\rho_{jk}^a|^2}{|\mathbf{w}_j|^2} e_k^2}} \right] \quad (22)$$

$\mathbf{w}_j = \mathbf{a}_j$ 인 경우는 [1]을 참고한다. 위 식으로부터 오류율은 가중치 벡터와 배열 응답 벡터의 상관 관계, 의사 잡음 부호의 상관 관계, 이전 사용자들의 오류, 사용자 신호의 세기, 채널 잡음 등에 의해 제한

되는 것을 알 수 있다. 위의 오율식으로부터 오율은 가중치 벡터와 배열 응답 벡터의 상관 관계에 의해 안테나 배열을 사용하지 않은 간섭 제거 수신기에 비해 더 작은 성능 향상 차이를 기대할 수 있으며, 다중 사용자 간섭의 양은 안테나 배열에 의해 제어될 수 있다는 것을 알 수 있다. SIC만의 비트 오율의 근사식은

$$P_j^s(\sigma) \approx Q \left( \frac{e_j}{\sqrt{\sigma^2 + \frac{4}{N} \sum_{k=1}^j e_k^2 P_k^s(\sigma) + \frac{1}{N} \sum_{k=j+1}^K e_k^2}} \right) \quad (23)$$

이다 [3]. 또 다른 방식의 근사식은 [2]를 참고한다. 안테나 배열만의 비트 오율 근사식은

$$P_j^a(\sigma) \approx Q \left( \frac{\frac{|\rho_{jj}^a|}{|w_j|} e_j}{\sqrt{\sigma^2 + \frac{1}{N} \sum_{k=1, k \neq j}^K \frac{|\rho_{kk}^a|^2}{|w_j|^2} e_k^2}} \right) \quad (24)$$

이다. 식 (22)와 (23)에서  $j$  이전의 사용자들의 비트 오율이 충분히 작다면 간섭 제거기가 전체 비트 오율을 개선할 수 있다는 것을 알 수 있다. 식 (24)에서 안테나 배열 수신기는 개별 사용자에 대한 비트 오율을 개선할 수 있다는 것을 알 수 있다. 제안된 수신기에서는 안테나 배열 수신기가 각 사용자의 비트 오율을 개선해주어, SIC가 비트 오율 성능을 개선할 수 있는 확률을 높여주는 역할을 한다. 앞서 기술한 바와 같이 도래각이 집중하여 분포한다면 식 (24)에 보여지듯이 각 가중치 벡터와 배열 응답 벡터의 상호

관계의 크기  $|\rho_{jj}^a|$ 가 커지게 되어 다중 사용자 접속 간섭이 커지게 된다. 그러나 제안된 수신기는 이전 사용자들의 비트 오율에 따라 다중 사용자 접속 간섭의 양을 줄일 수 있다. 도래각이 고르게 분산되어 분포하면 상대적으로 널빤이 잘 형성된다. 거의 완벽한 널빤이 형성되어  $|\rho_{jj}^a| \approx 0$ 이라면 시스템에서의 성능은 식 (22)와 (24)에서 잡음 성분, 관심있는 사용자의 가중치 벡터와 배열 응답 벡터에 의존되며, 간섭 제거 수신기가 미치는 영향이 작아지는 것을 알 수 있고, 두 경우 완벽한 널빤이 형성되었을 때의 성능에 근접하는 것을 알 수 있다. 정리하자면, 안테나 배열이 사용자 신호를 공간적으로 잘 분리할 수 있는 경우에는 SIC가 비트 오율을 개선할 수 있는 양이 적지만, 그렇지 않은 경우에는 크게 된다.

#### 4. 시뮬레이션

시뮬레이션에는 사용자수  $K=15$ , 의사 잡음 부호의 길이  $N=15$ , 안테나수  $M=8$ 인 시스템을 사용하였다. 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며, 채널 잡음은 AWGN으로 하였다. 두 가지의 안테나 배열 수신기 알고리즘을 사용하였으며, 사용자의 도래각은 모든 사용자의 도래각이 0도로 한 곳에 집중 분포되어있는 경우와 각 사용자의 도래각이  $-70, -60, -50, -40, -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ 도로 비교적 넓고 고르게 분포된 경우를 고려하였다. 각 시뮬레이션 결과 그림에서는 안테나 배열을 사용하지 않은 단일 사용자 수신기가 다중 사용자 신호를 수신하였을 때의 비트 오율(w/o array, w/o SIC)과 안테나 배열을 사용하지 않은 단일 사용자 수신기가 단일 사용자 신호만을 수신하였을 때의 비트 오율(single user bound)을 나타내어 비교에 도움이 되도록 하였다.

첫 번째 예에서는 안테나 배열 수신기 알고리즘에 최적 빔형성 알고리즘인 minimum variance distortionless response(MVDR) 알고리즘 [5]을 사용하여 SIC를 수행한 것을 보였다. MVDR 알고리즘은 linearly constrained minimum variance(LCMV) 알고리즘 [6]의 특수한 경우로 분류되기도 한다. 그림 3은 이 알고리즘을 적용한 각 사용자의 비트당 신호대 잡음비(SNR/bit)에 대한 비트 오율을 나타내었으며, 모든 사용자의 도래각은 0도이다. 그림 4에서는 각 사용자

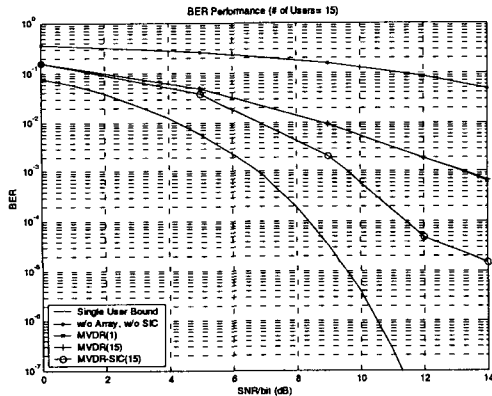


그림 3. MVDR 알고리즘을 사용한 최대 사용자 15명인 시스템에서의 BER. 사용자수는 15명이며, 모든 사용자의 도래각은 0도, 모든 사용자 신호의 에너지는 같다. 괄호안의 숫자는 사용자 번호를 나타낸다.

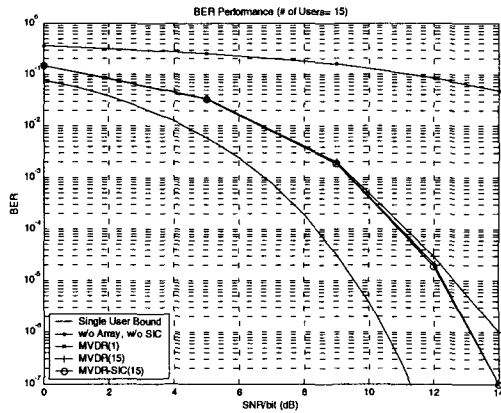


그림 4. MVDR 알고리즘을 사용한 최대 사용자 15명인 시스템에서의 BER. 사용자수는 15명이며, 각 사용자의 도래각은 -70도에서 70도까지 고르게 분포하며, 모든 사용자 신호의 에너지는 같다. 괄호안의 숫자는 사용자 번호를 나타낸다.

의 도래각이 -70도에서 70도까지 고르게 분포된 경우이다. MVDR 알고리즘은 아래와 같이 표현된다.

$$\min_w E[|w^H X|^2] = w^H R w, \text{ subject to } w^H a = 1. \quad (25)$$

위 식에서  $R$ 은 안테나 배열에 수신된 신호의 상관 행렬이다. 그러므로 알고리즘의 비용 함수는 다음과 같다.

$$J = w^H R w. \quad (26)$$

SIC를 사용하지 않은 시스템에서는 사용자 도래각이 집중 분포하였을 때의 비트 오류율이 고르게 분포되었을 때의 비트 오류율보다 높은 것을 알 수 있다.  $10^{-3}$ 의 비트 오류율을 기준으로 하였을 때 약 3dB의 성능 개선을 보인다. MVDR 알고리즘과 SIC를 결합한 시스템에서는 사용자의 도래각이 집중 분포하였을 때의 비트 오류율은 각 사용자의 도래각이 고르게 분포하였을 때의 비트 오류율에 근접하는 결과를 보이고 있다.

또한, 도래각 집중 분포한 경우에는 비트 오류율 성능 개선의 폭이 크게 보이며, 고르게 분포된 경우에는 작은 것을 보여주고 있다.

두 번째 예에서는 안테나 배열 수신기 알고리즘에 또다른 최적 빔형성 알고리즘인 sample matrix inversion(SMI) 알고리즘 [8]을 적용하여 SIC를 수행한 것을 보였다. SMI 알고리즘은 MMSE 알고리즘 [7]을 실제 시스템에 적용하기 더 쉽게 개선한 알

고리즘이다. 그림 5는 이 알고리즘을 적용한 각 사용자의 비트당 신호대 잡음비에 대한 비트 오류율을 나타내었으며, 모든 사용자의 도래각은 0도이다. 그림 6에서는 각 사용자의 도래각이 -70도에서 70도까지 고르게 분포된 경우이다. SMI 알고리즘은 아래와 같이 표현된다.

$$\min_w E[|w^H X - d|^2] \quad (27)$$

그러므로 이 알고리즘의 비용 함수는 다음과 같다.

$$J = w^H R w - w^H p - p^H w + dd^T, \quad p = Xd^T \quad (28)$$

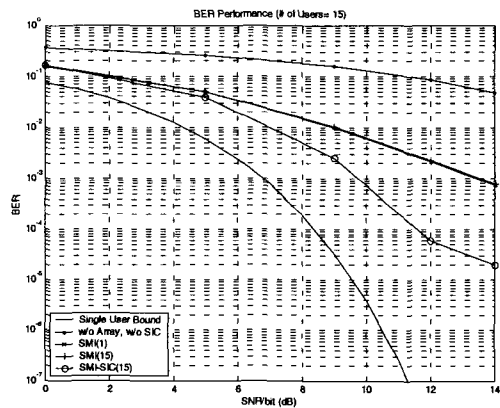


그림 5. SMI 알고리즘을 사용한 최대 사용자 15명인 시스템에서 15명의 BER. 사용자수는 15명이며, 모든 사용자의 도래각은 0도, 모든 사용자 신호의 에너지는 같다. 괄호안의 숫자는 사용자 번호를 나타낸다.

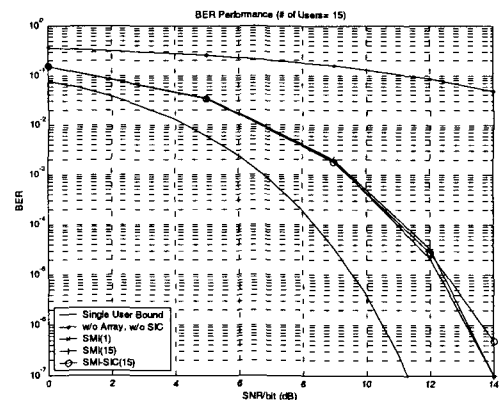


그림 6. SMI 알고리즘을 사용한 최대 사용자 15명인 시스템에서 15명의 BER. 사용자수는 15명이며, 각 사용자의 도래각은 -70도에서 70도까지 고르게 분포하며, 모든 사용자 신호의 에너지는 같다. 괄호안의 숫자는 사용자 번호를 나타낸다.

SMI 알고리즘을 사용한 예에서도 MVDR 알고리즘을 사용하였을 때와 비슷한 성능을 보였다. SIC를 사용하지 않은 시스템에서는 사용자 도래각이 집중 분포하였을 때의 비트 오류가 고르게 분포되었을 때의 비트 오류보다 높은 것을 알 수 있다. SMI 알고리즘과 SIC를 결합한 시스템에서는 사용자의 도래각이 집중 분포하였을 때의 비트 오류는 각 사용자의 도래각이 고르게 분포하였을 때의 비트 오류에 근접하는 결과를 보이고 있다. 성능 개선의 폭도 첫 번째 예와 비슷한 결과를 보이며,  $10^{-3}$ 의 비트 오류를 기준으로 하였을 때 약 3dB의 SNR 성능 개선을 보인다.

### 5. 결 론

안테나 배열 수신기에 SIC를 결합한 수신기의 성능을 분석하였다. 비트 오류를 재귀식으로 근사하였으며, 수식과 시뮬레이션을 통해 전반적인 비트 오류 성능이 개선되는 것을 보였다. 제안된 수신기는 사용자의 도래각이 집중 분포되었을 때의 비트 오류가 고르게 분산되었을 때의 비트 오류에 근접하는 성능을 보였다. 한편, 안테나 배열에 의해서 SIC에 의한 성능 향상의 폭은 제한되는 것을 알 수 있었다. SIC에서 사용자의 정렬은 안테나 배열 수신기의 가중치 벡터에 의한 사용자 신호의 세기가 변하므로 그 특성을 고려하여 안테나 배열 수신기 알고리즘의 비용 함수를 기준으로 정렬하는 것을 제안하였다. 비용 함수의 값이 작은 사용자 출력 신호로부터 비용 함수의 값이 큰 사용자 출력 신호를 제거하여 비용 함수의 값이 작은 사용자의 성능이 개선되도록 하였다.

시스템 구현시의 문제점은 모든 사용자의 배열 응답 벡터와 신호 세기를 알아야 한다는 것이다. 많은 사용자를 관리해야 하는 시스템에서 그들의 정보를 추정하거나 관리하는 데에는 많은 자원이 소요되므로 그들의 정보가 없이 구현할 수 있는 방법이 요구되고 있다.

### 참 고 문 헌

[1] G. Vafa, M. Kaveh, "A CDMA Interference Canceling Receiver with an Adaptive Blind Array," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.

16, No. 8, pp. 1542-1554, Oct. 1998.  
 [2] P. Patel, J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 12, No. 5, pp. 796-807, Oct. 1994.  
 [3] S. Verdu, *Multiuser Detection*, Cambridge university press, Cambridge, 1998.  
 [4] B. Van Veen, K. Buckley, "Beamforming: a versatile approach to spatial filtering," *ASSP Magazine*, Vol. 5, No. 2, pp. 4-24, Apr. 1988.  
 [5] J. Capon, "High-resolution frequency-wave-number spectrum analysis," *Proc. IEEE*, Vol. 57, pp. 1408-1418, Aug. 1969.  
 [6] O. Frost III, "An algorithm for linearly constrained adaptive array processing," *Proc. IEEE*, Vol. 60, pp. 926-935, Aug. 1972.  
 [7] B. Widrow, P. Mantey, L. Griffiths, B. Goode, "Adaptive antenna systems," *Proc. IEEE*, Vol. 55, pp. 2143-2159, Dec. 1967.  
 [8] I. Reed, J. Mallett, L. Brennan, "Rapid convergence rate in adaptive arrays," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems*, Vol. AES-10, pp. 853-863, Nov. 1974.  
 [9] 좌혜경, 이준환, 박재준, 오현서, "W-CDMA 스마트 안테나 시스템 및 성능분석," *전자공학회지*, 제29권, 제4호, pp. 77-91, 2002.  
 [10] 김윤지, 박재홍, 임홍재, 이원철, 최승원, "동기식 CDMA 스마트 안테나 시스템," *전자공학회지*, 제29권, 제4호, pp. 62-76, 2002.



유 성 군

1999.2 인하대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
 1999.5-2000.2 : LG 정보통신, 연구원  
 2000.3-현재 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 석사과정  
 관심분야 : 스마트 안테나, 다중 사용자 검출기, 초고속 통신망



곽 경 섭

1976.2 인하대학교 전기공학과  
졸업 (공학사)

1979.2 인하대학교 대학원 전기  
공학과 (석사)

1981.2 미국 University of Sout-  
hern California 대학원  
(EE석사)

1988.2 미국 University of Cal-  
ifornia, San Diego 대학원 (통신이론 및 시스템  
박사)

1988~1989 미국 Hughes Network System, 연구원

1989~1990 미국 IBM, 연구원

1995.1~1999.12 IEEE Seoul Section 총무 이사

2000.3~2002.2 인하대학교 정보통신대학원장

2002.1-현재 한국통신학회 부회장

관심분야 : 위성 및 이동통신, 컴퓨터 네트워크, 멀티미  
디어 통신