

# 다중접속간섭 제거기법에 의한 DS-CDMA 시스템의 성능 개선

## Performance Improvement of DS-CDMA System by Multi-User Interference Cancellation Techniques

최충열\* · 홍주석\*\* · 김봉철\*\*\* · 오창현\*\*\*\* · 조성준\*\*

Chung-Yul Choi\* · Ju-Seock Hong\*\* · Bong-Cheol Kim\*\*\* · Chang-Heon Oh · Sung-Joon Cho

### 요 약

DS-CDMA 시스템에서 다중접속간섭(MUI)을 제거하는 기법으로 adaptive array 안테나와 간섭제거기(CCI canceller)가 고려되고 있다. 이들 기법은 사용자 수가 증가함에 따라 MUI 제거과정에서 각기 다른 문제점을 가지고 있다. 따라서, 각 기법의 문제점을 보완하여 효과적으로 MUI를 제거할 수 있는 방안이 요구된다. 이에 대한 방안으로 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속하는 방식이 연구되고 있다. 직렬 접속 방식의 기존 연구에서는 2개의 간섭신호에 대한 MUI 제거 효과를 분석하였지만 사용자 수에 따른 정량적인 BER 개선에 대한 해석은 고려하지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속하는 수신 시스템을 도입하여 사용자 수에 따른 BER 개선 정도를 정량적으로 분석하였다. 성능 분석 방법으로 adaptive array 안테나만을 채용하는 경우와 직렬 접속하는 경우를 고려하여 이론 해석과 시뮬레이션을 수행하고 이의 결과를 비교·분석하였다. 결과에 의하면 adaptive array 안테나만을 채용한 경우는 사용자 수와 간섭신호의 수신방향에 따라 MUI 제거과정에서 문제점이 발생하였고 이러한 문제점을 직렬접속 방식으로 보완할 수 있음을 확인하였다. 결과적으로 직렬접속 방식을 사용하여 효과적으로 MUI를 제거할 수 있었으며, 큰 BER 개선을 달성할 수 있었다.

### Abstract

An adaptive array antenna and a CCI canceller have been considered as techniques for cancelling Multi-User Interference(MUI) in Direct Sequence Code Division Multiple Access(DS-CDMA) system. These techniques have different problems respectively in the process of cancelling MUI as the number of users increases. For that reason, the scheme which can cancel MUI effectively by compensating for the problems of each of the techniques has been required. For the scheme, the technique to connect an adaptive array antenna and a CoChannel Interference(CCI) canceller in cascade form has been studied. In the existing study about the cascade connection method, the effect of cancelling MUI about two interference signals is analyzed, but the analysis for the quantitative

\* SK Telecom 중앙연구소(R&D Center of SK Telecom)

\*\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과(Dept. of Telecomm. & Inform. Engr., Hankuk Aviation University)

\*\*\* (주)세영통신 부설 전파기술연구소(Propagation R&D Dept., SAYTEL Co., Ltd.)

\*\*\*\* 한국기술교육대학교 정보통신공학과(Dept. of Information & Communication Engr., Korea University of Technology and Education)

· 논문 번호 : 990122-005

· 수정완료일자 : 1999년 4월 15일

BER(Bit Error Rate) improvement according to the number of users is not considered. Therefore, in this paper, we have analyzed the degree of BER performance improvement quantitatively according to the number of users by introducing the receiving system, which connects an adaptive array antenna and a CCI canceller to a DS-CDMA system in cascade form. For the method of analyzing the performance, we have performed the theoretical analysis and the simulation, considering the case of adopting only an adaptive array antenna and of cascade connection respectively, and having compared and analyzed the results. From the results, it is confirmed that in the case of adopting only an adaptive array antenna, the problems occur in the process of cancelling MUI according to the number of users and the receiving direction of interference signals, and can be compensated by the cascade connection method. In conclusion, we have known that MUI is cancelled effectively by using the cascade connection method, and the much better BER performance improvement is obtained.

## I. 서 론

DS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 시스템은 국내의 디지털 셀룰라 시스템과 PCS 시스템에 채택되어 상용 서비스 중이며, 향후 IMT(International Mobile Telecommunication)-2000에도 채택이 유력시되고 있다. DS-CDMA 방식은 수용 용량이 큰 반면에 많은 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용함으로써 발생하는 다중접속간섭(Multi-User Interference: MUI)에 의해 시스템의 성능이 크게 열화된다<sup>[1]</sup>. 또한, 앞으로 음성, 데이터, 화상 및 동영상을 동시에 지원하는 멀티미디어 서비스가 시작되면 각 사용자에게 요구되는 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위한 평균 전력이 증가되어 MUI의 영향은 더욱 심각해질 것으로 보인다. 따라서, DS-CDMA 시스템에서 만족스러운 성능을 보장하면서 수용용량을 증가시키기 위해서는 효과적인 MUI 제거기법의 도입이 중요하다<sup>[2]</sup>.

MUI 제거기법으로는 간섭제거기가 많이 연구되어 왔으며 최근에 와서 spatial filtering을 이용한 adaptive array 안테나 기법이 폭넓게 연구되고 있다<sup>[3]</sup>. Adaptive array 안테나는 구현에 대한 기술적인 어려움과 하드웨어의 복잡성으로 인해 상용 시스템에 적용되지 못하고 있지만, 현재 이 분야에

대한 실용화 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있고, IMT-2000에서도 성능 개선 기법으로 고려되고 있다.

Adaptive array 안테나는 기존의 안테나와는 달리 수신신호의 방향에 따라 빔의 방향을 적응적으로 추적하는 기법이다. 이 기법을 이용함으로써 수신 SNR(Signal-to-Noise power Ratio)을 최대화하는 빔을 형성하여 시스템의 성능을 개선시킬 수 있다. 간섭제거기는 희망신호와 간섭신호가 포함된 수신신호에서 간섭신호를 복조한 후 빼줌으로써 MUI를 제거하는 기법이다. 이 기법에서 수신 SNR이 충분히 큰 경우에는 간섭신호를 완전히 복조하여 MUI를 제거할 수 있기 때문에 매우 큰 성능 개선을 얻을 수 있다.

이와 같이 adaptive array 안테나와 간섭제거기는 시스템 성능 개선에 매우 유용한 기법이지만 사용자 수의 증가와 간섭신호의 수신 방향에 따라 MUI 제거과정에서 문제가 발생된다. Adaptive array 안테나의 경우 빔을 적응적으로 형성할 때 희망신호와 동일한 방향으로 수신되는 간섭신호를 제거할 수 없다<sup>[4]</sup>. 현재의 셀룰라 시스템을 고려해볼 때 역, 백화점, 공공 건물 등에서 사용자가 동시에 동일 셀 내의 어느 한 지점으로 몰리는 상황을 충분히 가정할 수 있는데, 이 경우 adaptive array 안테나를 적용한 시스템에서 희망 신호의 방

향으로 구동된 main 빔으로 간섭 사용자의 신호가 상당한 양의 이득을 갖고 입사하여 MUI의 제거가 어려워진다. 간섭제거기는 수신 SNR이 높은 경우에는 정상적으로 MUI를 제거할 수 있지만 사용자 수가 증가하여 수신 SNR이 낮아지면 간섭신호 복조과정에서 오류가 증가하여 오히려 시스템의 성능을 저하시킨다. 따라서, 향후 증가하게 될 사용자의 수와 다양한 서비스를 고려해 볼 때 각 기법들의 문제점을 보완하여 효과적으로 MUI를 제거할 수 있는 방안이 요구된다. 이에 대한 방안으로 adaptive array 안테나와 간섭제거기의 직렬접속 구조를 생각할 수 있다. 직렬접속 구조에서는 희망 신호와 동일각도로 수신되는 간섭신호를 adaptive array 안테나에서 억압하지 못하더라도 adaptive array 안테나 후단의 간섭제거기가 MUI 성분을 제거함으로써 adaptive array 안테나의 문제점을 보완할 수 있다. 또한, 직렬접속 구조는 사용자 수가 증가하여 간섭전력이 높아져도 adaptive array 안테나에서 1차적으로 MUI가 제거되기 때문에 간섭제거기 입력에서 높은 수신 SNR이 보장될 수 있다.

기존의 직렬접속 구조의 연구에서는 희망 신호와 동일한 각도로 수신되는 간섭 신호 및 다른 각도로 수신되는 간섭 신호를 각각 1개씩 고려하여 시뮬레이션에 의해 MUI 제거효과를 나타내었다<sup>[4]</sup>. 그러나, 실제 DS-CDMA 시스템의 환경에는 다수의 사용자가 존재하기 때문에 이를 고려한 성능 해석이 필요하고 시스템의 성능 개선을 평가하기 위해서는 정량적인 BER 개선 정도를 분석할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속하는 수신 시스템을 고려하여 사용자 수와 비트에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비( $E_b/N_0$ )에 따른 BER 개선 정도를 정량적으로 분석한다. 성능 분석 방법으로서 adaptive array 안테나만을 채용한 경우와 직렬 접속한 경우에 대해 adaptive array 안테나의 방향성( $D$ : Directivity)을 함수

로 하는 이론 해석 결과와 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교·분석한다. 시뮬레이션에서 adaptive array 안테나는 4-element linear array이고 적응 알고리즘으로 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용한다. 또한, 간섭제거기는 기존의 방식과 달리 adaptive array 안테나의 출력신호에 포함된 MUI를 전력변화에 따라 제거하는 기법을 사용한다.

## II. DS-CDMA 시스템 모델

본 논문에서는 비동기(asynchronous) DS-CDMA 통신 시스템의 역방향 링크(이동국→기지국) 전송을 가정하며, 채널모델은 그림 1과 같이 가우스잡음(AWGN)과 MUI가 존재하는 무선 채널을 고려하며 다중경로 페이딩에 의한 영향은 고려하지 않는다.

본 논문에서는 동일 셀 내 사용자로부터의 간섭 영향만을 고려한다. 다중접속 사용자 수는  $K(A_1, A_2, \dots, A_K)$ , PN 코드 길이는  $N$ , 정보 비트 지속시간(time duration)은  $T_s$ 이다. 각각의 사용자에게는 동일한 전력과 서로 다른 PN 코드가 할당된다. 비동기 시스템에서 시간 지연(time delay)  $\tau_k(k=1, 2, \dots, K)$ 는 0과  $T_s$ 사이의 임의의 값이다<sup>[5]</sup>. 특정 사용자의 신호를 복조할 때 나머지 사용자의 신호는 단지 MUI로 작용한다.

그림 1에서  $k$ 번째 사용자의 DS/BPSK 신호  $s_k(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot \text{Re}[\exp\{j(2\pi f_c t + \phi_k)\}]. \quad (1)$$

$P_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 수신 전력을 나타내며, 본 논문에서는 모든 사용자에 대해 동일하다고 가정한다.  $d_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자의 1심볼 구간 동안 보내지는 데이터 비트이며, 다음과 같이 나타낸다.

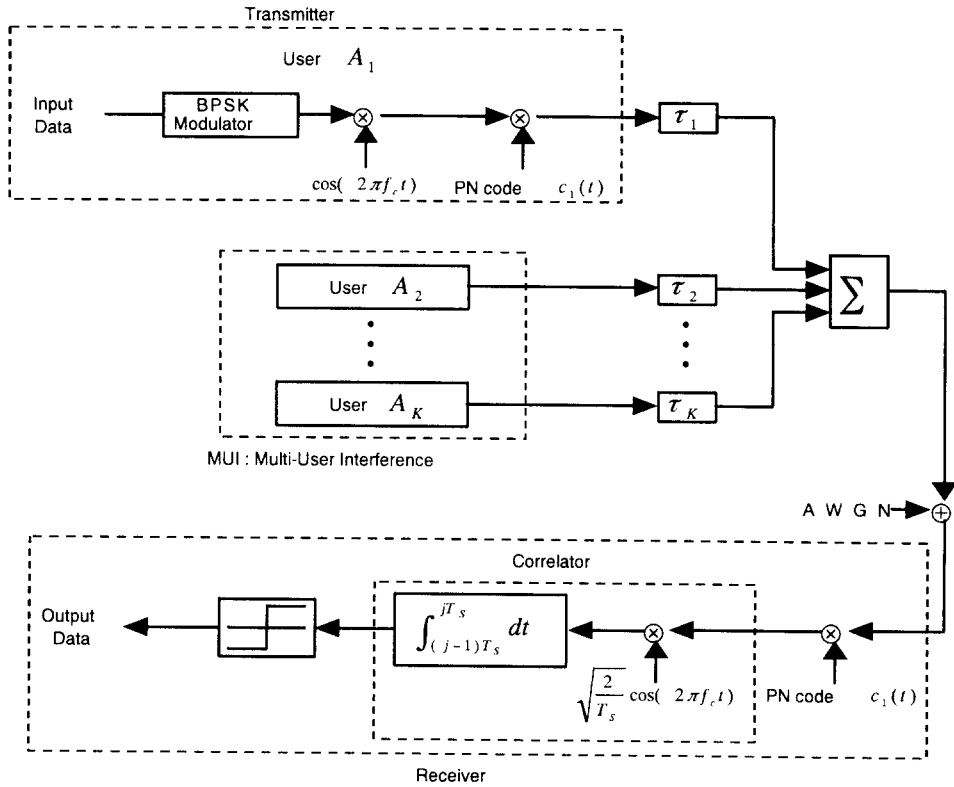


그림 1. DS-CDMA 시스템 모델

Fig. 1. DS-CDMA system model.

$$d_k(t) = d_j = \pm 1,$$

$$\text{단, } (j-1)T_s \leq t < jT_s. \quad (2)$$

$c_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자에게 주어지는 고유한 PN 코드로서 다음과 같이 표현된다.

$$c_k(t) = c_n = \pm 1,$$

$$\text{단, } jT_s + (n-1)T_c \leq t < jT_s + nT_c. \quad (3)$$

여기서  $n=1, 2, \dots, N$ 이고  $T_c$ 는 시간 간격이다.  $f_c$ 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며,  $\tau_k$ 와  $\phi_k$ 는 각각 기준 사용자 신호에 대한  $k$ 번째 사용자 신호의 시간차와 위상 천이를 나타낸다. 기준 사용자가  $A_1$ 일 때  $A_1$ 의 시간차와

위상 천이  $\tau_1$ 과  $\phi_1$ 은 완벽한 동기 수신을 가정하여 0으로 고려한다.  $T_s$ 는  $N$ 개의 칩을 가지는 심볼의 주기로서  $T_s = N \cdot T_c$ 로 표현된다.

이러한 다중 사용자 신호와 잡음이 부가된 수신 신호는 다음과 같이 표시된다.

$$x(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t) + n(t),$$

$$\text{단, } n(t): \text{AWGN}. \quad (4)$$

수신단에서 역확산 후 그림 1의 상관기(correlator) 출력단의 신호성분은  $d_j \cdot \sqrt{E_{bj}}$ 이며,  $E_{bj} = P_{kj} \cdot T_s$ 로서  $j$ 번째 심볼의 에너지이다. 본 논문에서는 모든 사용자 신호의 전력이 동일한 것으로 가정하였고 각 사용자의 신호 전력은 일정하게 유지되

로 각 심볼간의 에너지는 동일하고 따라서 첨자의 생략이 가능하다.

BPSK 복조기내 상관기 출력단에서  $k$ 번째 사용자의 간섭신호 성분은 다음과 같이 구해진다.

$$I_k = \int_{t=0}^T \sqrt{2P_k} d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) c_1(t) \cdot \text{Re} \{ \exp \{ j(2\pi f_c t + \phi_k) \} \} \cdot \text{Re} \left[ \sqrt{\frac{2}{T_s}} \exp \{ j(2\pi f_c t) \} \right] dt. \quad (5)$$

식 (5)를 참고문헌 [6]에서 식 (C.57)의 유도과정과 유사하게 풀면 하나의 간섭신호의 전력 ( $\sigma_{I_k}^2$ )은 다음과 같이 유도된다. 여기서 각 사용자마다 완벽한 전력제어를 고려하였으므로  $P_k = P$ 로 표기한다.

$$\sigma_{I_k}^2 = \frac{N T_c^2 P_k}{3 T_s} = \frac{P \cdot T_s}{3N} = \frac{E_b}{3N}. \quad (6)$$

단,  $N$ : PN 코드의 길이,  
 $E_b$ : 신호의 비트 에너지.

식 (6)은 동일 셀 내에 1개의 간섭신호가 존재할 경우의 MUI를 표시한 것으로 실제로 기준 사용자는 동일 셀 내의 다른 사용자에 의해 간섭을 받는다. 따라서, 셀 당 사용자 수는  $K$ 이므로 기준 사용자를 제외한 다른 사용자에 의한 간섭의 합 ( $\sigma_T^2$ )이 기준 사용자가 받는 MUI가 된다.

$$\sigma_T^2 = \sum_{k=1}^{K-1} \sigma_{I_k}^2 = \frac{(K-1)}{3N} E_b. \quad (7)$$

참고문헌 [6]의 결과로부터 DS-CDMA/BPSK 신호의 평균 오율식은 다음과 같다.

$$P_e = Q \left( \frac{R_1}{\sigma_\xi} \right) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left( \sqrt{\frac{R_1^2}{2\sigma_\xi^2}} \right). \quad (8)$$

단,  $R_1$ 은 기준 사용자의 상관기 출력 신호성분,  
 $\sigma_\xi^2 = \sigma_T^2 + \sigma_n^2$ .

따라서, DS-CDMA 시스템의 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{DS} = \frac{R_1^2}{2\sigma_\xi^2} = \frac{E_b}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b + N_0}, \quad (9)$$

단,  $\gamma_{DS}$ : DS-CDMA 시스템의 SNR,

$\frac{N_0}{2}$ : 양측파대 잡음전력 스펙트럼 밀도.

### III. 다중접속간섭 제거기법

본 논문에서는 다중접속간섭 제거기법으로서 adaptive array 안테나 기법 및 adaptive array 안테나와 동일채널 간섭제거기를 직렬로 채용한 기법을 고려한다.

#### 3-1 Adaptive array 안테나 기법

Adaptive array 안테나는 좁은 빔 폭을 갖는 다수의 섹터화된 빔을 희망신호의 위치정보에 따라 선택적으로 구동함으로써 희망신호의 이득을 상대적으로 높여주는 기법이다. 이 기법을 이용함으로써 희망신호는 더욱 효과적으로 수신되지만 희망신호와 다른 방향으로 수신되는 간섭신호는 제거되기 때문에 시스템의 성능을 개선시킬 수 있다.

Adaptive array 안테나 시스템은 설정된 알고리즘을 이용하여 출력 SNR을 최적의 상태로 만드는 가중치를 적응적으로 제어함으로써 안테나 element에서 각 신호의 입사각도에 따라 희망신호에는 main 빔을 형성 (beam-forming) 하고 간섭신호에는 null-steering을 실행한다.

그림 2는 M개의 element를 갖는 adaptive array 안테나의 예이다.

본 논문에서는 linear array를 적용한 안테나를 고려한다.  $x_m(n)$ 는 순시  $t = nT_c$ 에서  $m$ 번째 element의 수신신호의 표본치이다. 복소  $x_m(n)$ 는 희망신호와 다른 사용자로부터의 간섭신호 및 잡음 성분으로 구성되며, 다음과 같이 표현된다.

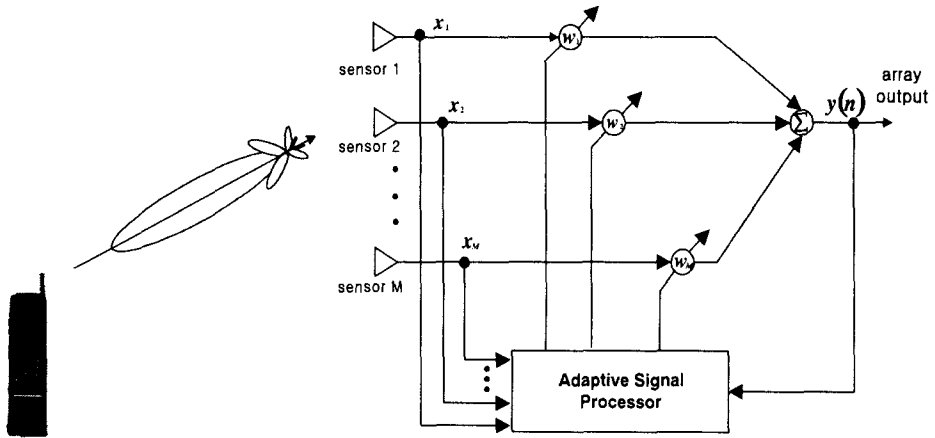


그림 2. M개의 element를 갖는 adaptive array 안테나 구조  
 Fig. 2. Adaptive array antenna structure with M elements.

$$x_m(n) = \sum_{k=1}^K s_k(n) \exp\{-j(m-1)\pi \sin \theta_k\} + n_m(n). \quad (10)$$

$K$ 는 동시에 접속하는 사용자의 수이고  $\theta_k$ 는  $k$  번째 사용자 신호의 입사각을 나타낸다.  $n_m(n)$ 는  $m$ 번째 element의 잡음 성분이다.

희망신호는 그림 1의 1번째 사용자  $A_1$ 의 신호  $s_1(n)$ 이며, 본 논문에서는 이 신호를 참조신호(Reference Signal)로 고려한다. 오차 신호  $e(n)$ 는  $y(n)$ 와  $s_1(n)$ 의 동상성분 또는 실수부의 차 즉,  $e(n) = y(n) - \text{Re}\{s_1(n)\}$ 인데, 이는 간섭과 잡음으로 이루어진다. 만약 MSE (Mean-Square Error),  $E[e(n)^2]$ 가 최적 복소 가중치에 대한 기준으로 사용된다면  $E[e(n)^2]$ 를 최소로 만드는 최적 가중치  $w_{m,opt}$ 는 잘 알려진 다음의 Wiener-Hoff 식을 적용하여 구할 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$w_{opt} = R^{-1} P. \quad (11)$$

여기서  $w = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T$ 이고,  $[\ ]^T$ 는 전치행렬을 표시한다.  $R$ 과  $P$ 는 각각 자기 공분산 행렬  $E[x_m x_m^*]$ 과 상호 상관행렬  $E[x_m s_1]$ 을

나타낸다. Adaptive array 안테나는 적응 알고리즘에 의해 최적의 가중치를 추정하여 출력값을 결정하는데 본 논문에서는 적응 알고리즘으로 LMS (Least-Mean-Square) 알고리즘을 사용한다. 이 때 칩 단위로 갱신되는 가중치는 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$w(n+1) = w(n) - \mu e(n) x(n)^*. \quad (12)$$

여기서  $\mu$ 는 스텝 크기이고, adaptive array 안테나의 출력은 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$y(n) = w^H(n) x(n). \quad (13)$$

여기서 첨자  $H$ 는 복소 행렬의 Hermition이다.

모든 복소 가중치가 최적이라면, adaptive array 안테나는 희망신호 방향으로 빔을 형성하게 되고 간섭신호에 null을 구동하게 되어, 결과적으로 희망신호는 감소없이 수신되는 반면에 간섭신호는 null 구동에 의해 억압된다. 그러나, adaptive array 안테나 기법은 단지 협대역 신호만을 완전히 제거시킨다. 따라서, DS-CDMA에서의 adaptive array 안테나 기법은 시스템이 광대역에서 동작하도록 조정되지 않는다면, 간섭 신호에 null을 깊게 구동할

수 없기 때문에 잔여 간섭이 존재하며 희망신호와 동일한 각도로 수신되는 간섭 신호의 경우에는 희망신호와 동일한 입사각을 갖게 되므로 MUI를 제거시킬 수 없게 된다<sup>[4]</sup>.

### 3-2 Adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 기법

Adaptive array 안테나와 간섭제거기가 직렬로 접속된 구조에서 adaptive array 안테나는 희망신호와 다른 각도로 수신되는 간섭신호를 제거하고, 나머지 잔여 간섭신호 및 희망신호와 동일한 각도로 수신되는 간섭신호는 간섭제거기에서 제거함으로써 보다 효과적으로 다중접속간섭의 영향을 경감시킬 수 있다<sup>[4]</sup>.

기준 사용자( $A_1$ ) 이외의 다른 사용자( $A_2, \dots, A_K$ )의 정보는 각 사용자에게 다르게 할당된 PN 코드 ( $PN_2, \dots, PN_K$ )로 역확산되어 검파된다. 이때 각 사용자의 신호는 adaptive array 안테나 단에서 각각 다른 이득을 갖고 출력되므로 완벽한 전력제어를 가정한 경우에도 각 사용자의 출력 전력은 변동이 생긴다. 따라서, 직렬 접속 구조의 간섭제거기는 adaptive array 출력에서 변동되는 다

른 사용자의 전력 크기를 고려하여 MUI를 제거해야 한다. 그림 3의 직렬접속 구조에서 간섭제거기는 변동되는 다른 사용자의 전력을 Level Detector로 판정하고 판정된 신호를 재 확산과 복호 과정을 수행한 후에 원래의 수신신호에서 빼주어 MUI를 제거한다. 만일 수신 MUI의 전력변동을 고려하지 않은 기존의 간섭제거 기법을 직렬접속 구조에 사용한다면 간섭제거기에서 오히려 MUI를 더욱 증가시켜 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 직렬접속 구조의 간섭제거기에서 adaptive array 출력 신호에 포함된 MUI의 전력변동에 따라 간섭신호를 제거하는 방식을 사용하여 시물레이션을 수행한다.

## IV. DS-CDMA 시스템의 성능 분석

### 4-1 MUI 환경에서의 오율 특성

식 (9)의  $\gamma_{DS}$ 를 BPSK 오율식의 SNR 값으로 대입하면 MUI 환경에서 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

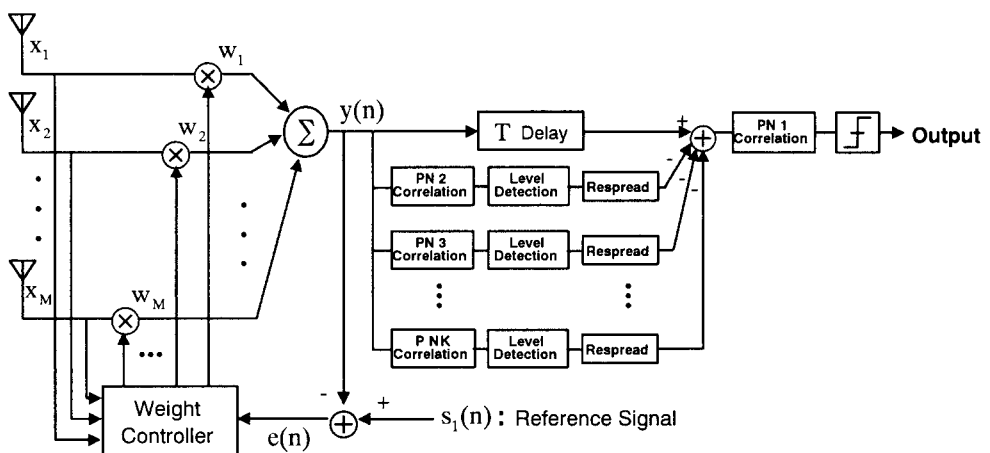


그림 3. Adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 수신기 구조

Fig. 3. Structure of an adaptive array antenna with a CCI canceller adopted in cascade form.

$$P_{DS} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{DS}}).$$

$$\text{단, } \gamma_{DS} = \frac{E_b}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b + N_0}. \quad (14)$$

#### 4-2 Adaptive array 안테나 기법을 채용한 경우의 오율특성

빔 패턴  $A(\theta)$ 는 희망신호의 방향으로 빔이 형성되고 간섭신호의 방향으로 null이 구동되도록 안테나 element에서 형성되는 빔의 형태를 의미한다. 따라서 빔 패턴은 셀 내 희망신호의 이동과 간섭신호의 분포정도 및 수신 신호의 세기에 따라 순시적으로 변동하게 된다. 본 논문에서는 셀 내에 사용자가 일양하게 분포하고 기지국과 이동국 사이에 전력제어가 완벽하게 이루어진다고 가정한다. 또한, 빔 패턴의 구동은 수평방향만 고려한다. 이때의 빔 패턴은  $0^\circ \sim 360^\circ$  까지 정규화된 형태로 간주될 수 있다. 정규화된 빔 패턴  $G(\theta)$ 과 그에 따른 방향성 ( $D$ )은 다음과 같다.<sup>[7],[9]</sup>

$$G(\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{|A(\theta)|^2}{M^2} \right\} \text{ [dB]}. \quad (15)$$

$$D = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} G(\theta) d\theta}. \quad (16)$$

단,  $A(\theta)$  : 빔 패턴,

$M$  : 안테나 element 수,

$D$  : Directivity.

방향성은 안테나의 최대 방사 밀도 방향의 방향이득을 나타낸다.

MUI 환경에서 adaptive array 안테나 기법을 채용할 때 안테나의 방향성을 이용한 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율식은 참고문헌 [9]의 결과식 (1.9)를 이용하면 다음 식과 같이 구해진다.

$$P_A = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_A}), \quad (17)$$

$$\text{단, } \gamma_A = \frac{E_b}{\frac{2(K-1)}{3ND} E_b + N_0}.$$

#### 4-3 Adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우의 오율특성

그림 3에서 간섭제거기의 입력신호를 구성하고 있는 각 사용자 신호를 검파할 때 비트 에러가 발생하지 않았다면 MUI는 완벽하게 제거되지만 간섭제거기 입력신호, 즉 adaptive array 안테나 출력신호에서  $k(k=1, 2, \dots, K)$ 번째 사용자의 수신신호에만 검파 과정에서 에러가 발생하였다면  $PN_k$ 에 의해 복원되는 신호는 간섭제거기 입력신호에 포함된  $k$ 번째 사용자의 수신신호와 다른 것이 되고 이것이 다시  $PN_k$ 에 의해 확산되어  $T$ 시간 지연된 간섭제거기 입력신호에 더해지게 된다. 이때 에러가 발생한  $k$ 번째 사용자의 신호는  $T$ 시간 지연된 간섭제거기 입력신호에 MUI로 더해지므로 간섭제거기 출력신호는  $k$ 번째 사용자에 의한 MUI의 2배의 전압 (전력면에서는 4배)을 포함하게 된다. 간섭제거기 출력신호와 기준 사용자의 수신신호 사이의 신호 대 잡음 전력 비  $\gamma_{CCI}$ 는 다음 식과 같이 주어진다.<sup>[5]</sup>

$$\begin{aligned} \gamma_{CCI} &= \frac{1}{\left( Av \cdot \frac{2}{3N} \right) + \left( \frac{N_0}{E_b} \right)} \\ &= \frac{1}{\left( 4 \cdot P_{DS} \cdot \frac{2(K-1)}{3N} \right) + \left( \frac{N_0}{E_b} \right)}, \quad (18) \end{aligned}$$

단,  $Av = 4 \cdot P_{DS} \cdot (K-1)$ .

$P_{DS}$  :  $\gamma_{DS}$ 을 이용한 오율식.

MUI 환경에서 간섭제거기를 채용할 때 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율식은 식 (14)와 식 (18)을 이용하면 다음과 같이 구해진다.



$$P_{CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{CCI}}), \quad (19)$$

$$\text{단, } \gamma_{CCI} = \frac{E_b}{4P_{DS} \cdot \left[ \frac{2(K-1)}{3N} E_b \right] + N_0}$$

본 논문에서는 간섭제거기의 입력으로 adaptive array 안테나의 출력이 사용되므로, MUI가 함께 존재하는 환경에서 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용하는 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율식은 식 (19)의 결과를 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$P_{AC} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_{AC}}), \quad (20)$$

$$\text{단, } \gamma_{AC} = \frac{E_b}{4P_{DS} \cdot \left[ \frac{2(K-1)}{3ND} E_b \right] + N_0}$$

### V. 수치계산 및 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 다중접속간섭(MUI) 환경에서 비동기 DS-CDMA/BPSK 시스템의 성능 개선기법으로 adaptive array 안테나 기법을 채용한 경우 및 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우의 성능을 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Computer simulation parameter.

Element Distance	$\lambda/2$
Number of Element (M)	4
Modulation	BPSK
Adaptive Algorithm	LMS
Length of PN Code (N)	15
Number of Users (K)	4, 11
Step Size ( $\mu$ )	0.0005
Number of Bits Simulated	Until the Number of Error is 100

션을 수행하여 비교·분석한다. 시뮬레이션 수행은 Mathworks사의 MATLAB Tool을 사용하였다. 표 1은 본 논문의 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다.

안테나의 element 수, 사용자 수(K), PN 코드의 길이(N), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비( $E_b/N_0$ ), adaptive array 안테나의 방향성(D) 등을 함수로하여 수치계산한 결과와 시뮬레이션 결과를 그림 4~그림 12에 나타내었다. Adaptive array 안테나의 BER에 대한 시뮬레이션 결과는 MSE가 충분히 수렴한 이후의 값으로 고려하였다.

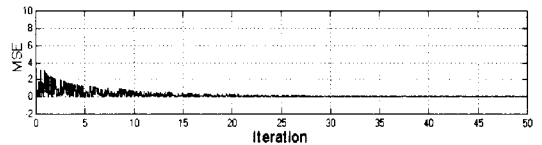


그림 4. Adaptive array 안테나의 mean-square error (각 사용자의 신호가 서로 다른 각도로 수신되는 경우,  $K=4$ )

Fig. 4. Mean-square error of an adaptive array antenna (Each user's signal with a different received angle respectively,  $K=4$ ).

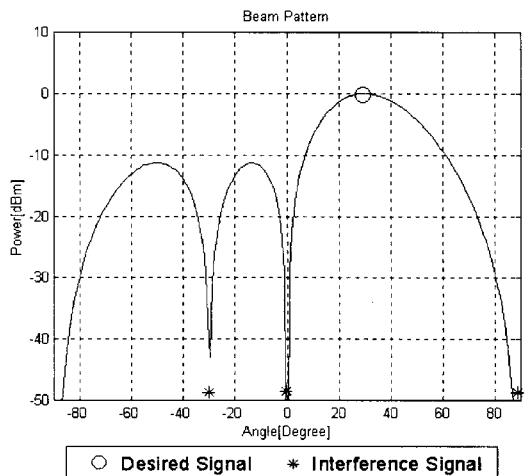


그림 5. 4명의 사용자 신호가 각각 다른 각도로 수신될 경우의 빔 패턴

Fig. 5. Beam pattern of 4 users' signals with each different received angle.

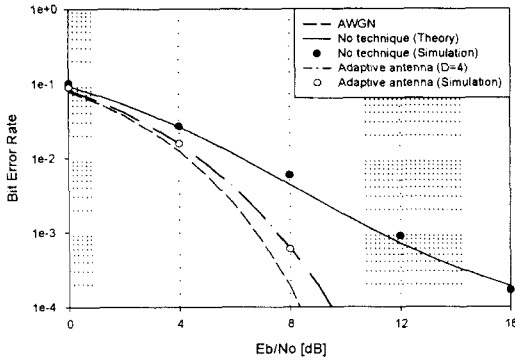


그림 6. MUI 환경에서 adaptive array 안테나를 채용한 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율특성(각 사용자의 신호가 서로 다른 각도로 수신되는 경우,  $K=4$ )

Fig. 6. Error performance of DS-CDMA/BPSK system adopting an adaptive array antenna in MUI environments.(Each user's signal with a different received angle respectively,  $K=4$ ).

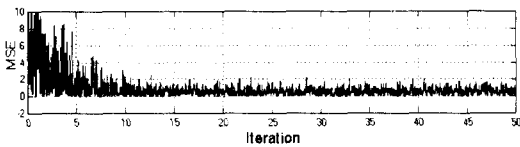


그림 7. Adaptive array 안테나의 mean-square error (각 사용자의 신호가 서로 다른 각도로 수신되는 경우,  $K=11$ )

Fig. 7. Mean-square error of an adaptive array antenna.(Each user's signal with a different received angle respectively,  $K=11$ ).

그림 4~그림 6은 adaptive array 안테나를 채용한 DS-CDMA 시스템에서  $K$ 가 4인 경우에 사용자 신호가 모두 다른 입사각으로 수신될 때의 adaptive array 안테나 출력단의 MSE 수렴도와 빔 패턴 및 오율특성을 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯 희망 사용자의 신호가 adaptive array 안테나의 간섭 제거에 의해 정확히 복구되고, MSE가 iteration에 따라 0에 수렴함을 알 수 있다. 또한 그림 5에서는 안테나 element 수가 사용자 수와 같기 때문

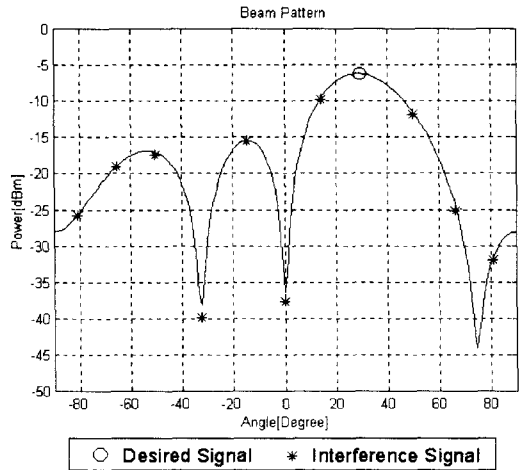


그림 8. 11명의 사용자 신호가 각각 다른 각도로 수신될 경우의 빔 패턴

Fig. 8. Beam pattern of 11 users' signals with each different received angle.

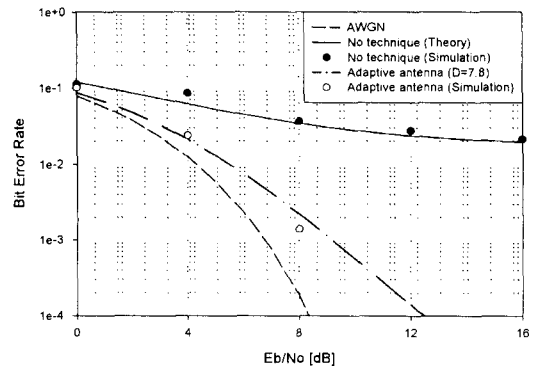


그림 9. MUI 환경에서 adaptive array 안테나를 채용한 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율특성(각 사용자의 신호가 서로 다른 각도로 수신되는 경우,  $K=11$ )

Fig. 9. Error performance of DS-CDMA/BPSK system adopting an adaptive array antenna in MUI environments.(Each user's signal with a different received angle respectively,  $K=11$ ).

에 희망신호의 방향으로 main 빔이 형성되고 간섭 사용자의 방향으로 null이 확실히 구동되는 것을 나타낸다. 그림 6에서는  $E_b/N_0$ 가 8 dB일 때의

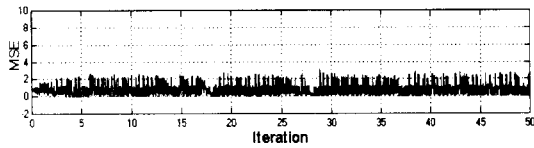


그림 10. Adaptive array 안테나의 mean-square error (모든 사용자의 신호가 동일한 각도로 수신되는 경우,  $K=4$ )

Fig. 10. Mean-square error of an adaptive array antenna(All users' signal with the same received angle,  $K=4$ ).

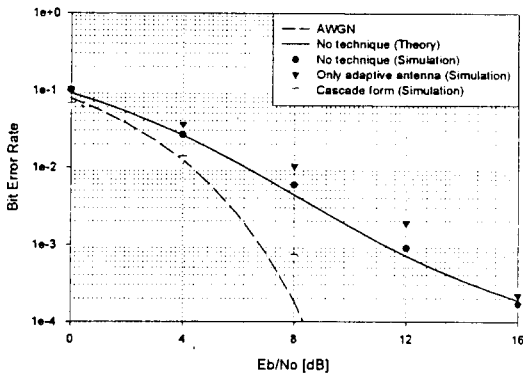


그림 11. MUI 환경에서 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭제거기를 직렬로 채용한 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율특성(모든 사용자의 신호가 동일한 각도로 수신되는 경우,  $K=4$ )

Fig. 11. Error performance of DS-CDMA/BPSK system adopting an adaptive array antenna with a CCI canceller in cascade form in MUI environments(All users' signals with the same received angle,  $K=4$ ).

시뮬레이션 결과가 성능 개선기법을 적용하지 않았을 경우에는 BER이 약  $6 \times 10^{-3}$ 이 되지만 adaptive array 안테나를 채용한 경우에는 약  $6 \times 10^{-4}$ 이 되어 시스템의 성능이 개선되는 것을 보여준다. 이때의 시뮬레이션 결과는 방향성  $D$ 가 4일 때의 이론 해석 결과에 해당된다.

그림 7~그림 9는 adaptive array 안테나를 채용

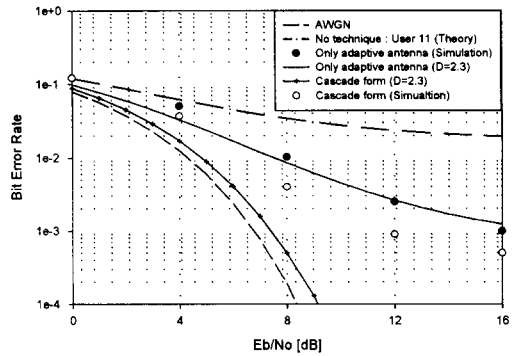


그림 12. MUI 환경에서 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭제거기를 직렬로 채용한 DS-CDMA/BPSK 시스템의 오율특성(5명의 신호만 동일한 각도로 수신되는 경우,  $K=11$ )

Fig. 12. Error performance of DS-CDMA/BPSK system adopting an adaptive array antenna with a CCI canceller in cascade form in MUI environments(Only 5 users' signals with the same received angle,  $K=11$ ).

한 시스템에서  $K$ 가 11이고, 사용자 신호가 모두 다른 입사각을 갖고 수신될 때의 안테나 출력단의 MSE 수렴도와 빔 패턴 및 오율특성을 나타낸 것이다. 그림 7을 보면 MSE는  $K$ 가 4인 경우에 비해 수렴 이후의 크기가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 그림 8에서는 희망신호의 방향으로는 main 빔이 형성되고 간섭 사용자의 방향으로 null이 형성되지만, null을 구동할 수 있는 안테나 element 수가 사용자 수보다 적기 때문에 몇 개의 간섭 신호는 약간의 이득을 갖고 입사함을 보여준다. 따라서 시스템의 성능이  $K$ 가 4인 경우보다 열화된다. 이때의 시뮬레이션 결과는 방향성  $D$ 가 7.8일 때의 이론 해석 결과에 해당된다.

그림 10은  $K$ 가 4이고 모든 사용자가 동일한 각도로 수신되는 worst case일 때, adaptive array 안테나 기법만을 채용한 경우 및 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우의 MSE 수렴도를 나타내고, 그림 11은 이때의 오율특성을 나타낸다. MSE는 iteration에 따라 0에 수렴하지

못하고 일정한 값을 유지함을 확인할 수 있는데, 그것은 adaptive array 안테나가 간섭제거 기능을 제대로 달성하지 못하기 때문이다.  $E_b/N_0$ 가 8 dB일 때의 오율특성에서, 시뮬레이션 결과는 성능 개선기법을 적용하지 않았을 경우 BER이 약  $6 \times 10^{-3}$ 이 되지만 adaptive array 안테나를 채용한 경우에는 약  $1 \times 10^{-2}$ 이 됨을 확인할 수 있다. 즉, adaptive array 안테나 기법만을 채용했을 때는 성능개선 기법을 적용하지 않은 경우보다도 오히려 오율성능이 더 열화된다. 이는 희망 신호를 포함한 모든 사용자의 신호가 동일하게 입사하는 방향으로 형성되는 main 빔이 간섭 신호들의 영향을 감소시키기 위해 이득이 감소되기 때문이다. 그러나, 직렬접속 구조의 경우에는  $E_b/N_0$ 가 8dB일 때, BER이 약  $7 \times 10^{-4}$ 이 되어 성능 개선기법을 적용하지 않은 경우보다 오율특성이 개선됨을 알 수 있다.

그림 12는  $K$ 가 11이고 그 중 5명의 사용자 신호가 동일한 각도로 수신되고 나머지는 main 빔에서 충분히 벗어나 다른 각도로 수신될 때, 직렬접속 구조를 채용한 시스템의 오율특성을 나타낸 것이다. 이 경우에도 adaptive array 안테나를 독립적으로 채용한 경우보다 직렬접속 구조를 채용한 경우가 성능 개선의 폭이 큼을 알 수 있다. Adaptive array 안테나를 독립적으로 채용한 경우의 방향성  $D$ 값에 해당되는 2.3을 직렬접속 구조의 오율식에 적용하였을 때의 결과는 AWGN 환경하의 오율특성에 근접한다. 이 결과는 시뮬레이션 결과에 비해 월등히 성능이 우수한데, 그것은 시뮬레이션에서 adaptive array 안테나의 출력신호에 포함된 간섭 사용자 신호의 전력레벨 변동이 간섭제거기에서 상관복조여러를 더욱 증가시키는데 이것의 영향을 이론 해석과정에서는 고려하지 않았기 때문이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 다중접속간섭 (MUI: Multi-User Interference) 환경에서 MUI 제거 기법으로 adap-

tive array 안테나와 간섭제거기를 도입한 DS-CDMA 통신 시스템의 BER 개선 정도를 이론 해석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 정량적으로 비교·분석하였다.

결과에 의하면 DS-CDMA 시스템에 MUI 제거 기법으로 adaptive array 안테나만을 채용한 경우보다 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬접속한 경우가 MUI를 효과적으로 제거하였고 각 기법의 문제점도 보완하였다. Adaptive array 안테나만을 채용한 경우, 모든 사용자 신호의 수신 방향이 다른 경우에는 적응 알고리즘에 의해 희망신호의 방향으로 main 빔을 형성하고 간섭 신호 방향으로는 null을 구동함으로써 MUI를 억압할 수 있었다. 그러나, 희망신호와 동일각도로 수신되는 간섭신호가 증가함에 따라 adaptive array 안테나에서는 간섭 신호를 제대로 억압하지 못하였고 모든 간섭신호가 희망신호와 동일한 각도로 입사하는 경우에는 adaptive array 안테나를 적용하지 않은 경우보다 성능이 저하되는 문제점이 나타났다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬 접속하는 수신기 구조를 도입하였다. 이러한 직렬접속 구조에서는 희망신호와 동일각도로 수신되는 간섭신호를 adaptive array 후단에 접속된 간섭제거기에서 제거시키므로 간섭신호의 수신 방향에 관계없이 MUI를 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 고려한 adaptive array 안테나와 간섭제거기를 직렬로 접속한 MUI 제거 기법은 향후 이동통신 사용자가 증가하고 음성을 포함한 영상 및 데이터 통신을 동시에 수행하는 경우에도 효과적인 MUI 제거기법으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 이 기법은 비록 복잡한 하드웨어 구조를 갖는 단점이 있지만 고속의 DSP(Digital Signal Processing) 기술을 기반으로 하는 Software Radio 등의 기술을 이용하여 극복이 가능할 것으로 생각된다. 향후 연구로는 MUI와 다중경로 페이딩이 동시에 존재하는 채널환경을 고려하여 실제 이동 통

신 채널에 더욱 근접한 환경에서의 성능을 평가하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 124-136, Oct., 1996.  
 [2] K. S. Gilhousen, I. Jacobs, R. Padovani, A. J. Vitervi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. VEH. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May, 1991.  
 [3] A. F. Naguib, "Adaptive antennas for CDMA wireless networks," Ph. D. Dissertation, Dept. of Electrical Engr., Stanford Univ., Aug., 1996.  
 [4] R. Kohno, H. Imai, M. Hatori, and S. Pappathy, "Combination of an adaptive array antenna and a canceller of interference for direct-sequence spread-spectrum multiple-access

system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, pp. 675-682, May, 1990.  
 [5] S. Tachikawa, "Characteristics of M-ary/spread spectrum multiple access communication systems using co-channel interference cancellation techniques," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 8, pp. 941-946, Aug., 1993.  
 [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : Principles and Practice*, Prentice-Hall, Inc. 1996.  
 [7] J. Litva and T. K. Lo, *Digital Beamforming in Wireless Communications*, Artech House, Inc. 1996.  
 [8] R. T. Compton, Jr., *Adaptive Antennas Concepts and Performance*, New Jersey: Prentice Hall, 1988.  
 [9] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug., 1994.

최 충 열



1961년 3월 20일 생  
 1980년 3월~1984년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)  
 1988년 3월~1990년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)  
 1996년 3월~현재: 한국항공대학교

대학원 항공통신정보공학과 박사과정

1990년 12월~현재: SK Telecom 중앙연구소 근무

[주 관심분야] 이동통신, 지능망, IMT-2000

홍 주 석



1973년 6월 23일 생  
 1992년 3월~1997년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)  
 1997년 3월~1999년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

1999년 2월~현재: (주)에이스 테크놀로지 중앙연구소 근무

[주 관심분야] 이동통신, 스마트 안테나, IMT-2000

김 봉 철



1972년 12월 2일생  
1991년 3월~1995년 2월: 한국항공  
대학교 항공통신정보공학과(공학  
사)  
1995년 3월~1997년 8월: 한국항공  
대학교 대학원 항공통신정보공학  
과(공학석사)

1998년 8월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보  
공학과 박사과정  
1998년 10월~현재: (주)세영통신 근무  
[주 관심분야] 이동통신, 무선통신, Software Radio

조 성 준



1946년 1월 9일 생  
1965년 4월~1969년 2월: 한국항공  
대학교 항공통신공학과(공학사)  
1973년 4월~1975년 2월: 한양대학  
교 대학원(공학석사)  
1977년 4월~1981년 3월: 오사카대  
학 대학원 통신공학과(공학박사)

1969년 4월~1972년 7월: 해군기술장교  
1972년 8월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과  
교수  
[주 관심분야] 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자  
공학

오 창 현



1965년 2월 10일 생  
1984년 3월~1988년 2월: 한국항공  
대학교 항공통신공학과(공학사)  
1988년 3월~1990년 2월: 한국항공  
대학교 대학원 항공통신정보공학  
과(공학석사)  
1991년 3월~1996년 2월: 한국항공

대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)  
1990년 2월~1993년 9월: 한진전자(주) 기술연구소 근무  
1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀  
근무  
1999년 3월~현재: 한국기술교육대학교 정보통신공학과  
전임강사  
[주 관심분야] 이동통신, 무선통신