

## 가상안테나를 이용한 스마트 안테나의 성능개선

임 채 현, 문 성 훈, 한 동 석

경북대학교 전자전기공학부

전화 : 053-940-8669 / 핸드폰 : 016-540-2131

### Improvement of Smart Antenna System Performance Using virtual antennas

Chae-Hyun Lim, Sung-Hoon Moon, and Dong-Seog Han  
School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University  
E-mail : chlim@palgong.knu.ac.kr

#### Abstract

A virtual antenna system is presented to increase the channel capacity of a smart antenna in cdma2000. Although a smart antenna system can increase channel capacity by forming a beam to a desired user direction, an increase of channel capacity is limited by the number of antenna elements. A virtual antenna is proposed to improve the channel capacity by increasing the degree of freedom. The results show that the proposed system has a larger channel capacity than a conventional smart antenna system for the same number of antenna elements.

#### I. 서론

이동통신의 급속한 성장과 차세대 이동통신의 상용화를 앞두고 증가되는 통신수요를 충족시키며 다양한 서비스를 실시하기 위해서 통신망의 용량증대가 절실히 요구되고 있다. 이를 위해 주파수 도약, 출력 제어, 마이크로 셀(micro cell), 스마트 안테나(smart antenna) 등의 다양한 방법이 활발히 연구되고 있다 [1]. 그 중 스마트 안테나는 적응적인 빔 형성을 이용한 공간적인 신호처리를 통해 주파수를 효율적으로 재사용함으로써 통신망의 용량증가 뿐만 아니라 통화 품질을 크게 향상시킬 수 있다.

스마트 안테나를 사용하는 이동통신 시스템의 기지국은 각각의 사용자마다 빔을 형성하여 원치 않는 사용자의 신호를 차단함으로써 수용할 수 있는 사용자수와 서비스 지역을 확대할 수 있다. 그러나 도심과 같이 많은 다중경로 신호가 발생하는 채널 환경에서는 일반적으로 스마트 안테나가 처리할 수 있는 범위를 초과하는 많은 간섭 신호가 안테나로 입사된다. 따라서 기존의 스마트 안테나 시스템은 유한한 자유도로 인해 용량을 증가시키는데 물리적인 한계를 가지게 된다.

본 논문은 스마트 안테나 시스템의 성능 개선을 위하여 공액 복소수 기법을 통해 생성시킨 가상 안테나 신호[2]를 이용하여 자유도를 증가시키는 방법을 제안한다. 그리고 도심에서의 채널환경을 간단히 모델링한 후 제 3세대 이동통신 시스템인 cdma2000의 규격[3]을 이용하여 제안 알고리즘의 성능을 분석한다.

2장에서는 제안한 가상 안테나 시스템을 설명하고, 3장에서는 도심환경의 채널 모델링을 통하여 가상 안테나 시스템의 성능을 분석하고, 4장에서 결론을 맺는다.

#### II. 제안한 가상안테나 시스템

##### 2.1 입사신호 모델

본 논문에서는 기지국내 사용자간의 간섭을 해결하

는데 초점을 두므로, 기지국간의 간섭은 고려하지 않고, 기지국내의 사용자간의 간섭만을 가정한다. 전송 신호를 cdma2000의 규격에 따라 기저대역 신호로 간단히 모델링하면

$$s_i(t) = s_I^{(i)} \cdot PN_I^{L_i} + j \cdot s_Q^{(i)} \cdot PN_Q^{L_i} \quad (1)$$

이다. 여기서  $s_I^{(i)}$ ,  $s_Q^{(i)}$ 는 QPSK 변조기에서  $i$ 번째 사용자의 I-채널 신호와 Q-채널 신호를 각각 나타내며,  $PN_I^{L_i}$ ,  $PN_Q^{L_i}$ 는 각 I, Q채널에 곱해지는  $i$ 번째 사용자의 롱코드(long code)이다. cdma2000의 규격에 의하면 Q-채널의 롱코드는 I-채널의 롱코드에 대해 한 칩(chip) 지연된 코드가 사용된다[3]. 전송된 신호는  $M$ 개의 안테나소자를 통하여 입사된다. 즉

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= [x_0(t), x_1(t), \dots, x_{M-1}(t)]^T \\ &= \mathbf{a}_1 \cdot s_1(t) + \sum_{i=2}^K \mathbf{a}_i \cdot s_i(t) + \mathbf{n} \end{aligned} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $K$ 는 셀 내의 사용자 수이고,  $\mathbf{n}$ 은  $M \times 1$ 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타내며,  $\mathbf{a}_i$ 는 어레이 응답벡터

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_i &= [a_{0,i} \ a_{1,i} \ \dots \ a_{M-1,i}] \\ &= [1 \ e^{-j2\pi d \sin(\theta_i)/\lambda} \ \dots \ e^{-j2\pi(M-1)d \sin(\theta_i)/\lambda}] \end{aligned} \quad (3)$$

이다.  $d$ 는 안테나 소자간 거리이고,  $\theta_i$ 는  $i$ 번째 사용자신호의 입사각,  $\lambda$ 는 입사신호의 파장을 나타낸다.

## 2.2 가상 안테나 시스템

$M$ 개의 안테나를 사용하는 스마트 안테나는 사용자의 방향으로 빔을 지향하고  $M-1$ 명의 다른 사용자에 대한 간섭신호를 제거 할 수 있는 자유도를 가진다. 일반적으로 이동통신 시스템에서 스마트 안테나는 4개에서 8개 정도의 안테나 소자를 사용한 사용자간의 공간적인 분리를 통해서 기존의 단일 안테나를 가지는 기지국에 비해 증가된 채널 용량과 시스템 성능을 획득할 수 있다. 따라서, 스마트 안테나의 공간적 분리를 위한 많은 알고리즘들이 연구되고 발전되어 왔다[1]. 일정한 형태로 빔을 형성한 후 사용자가 포함되어 있는 빔으로 스위칭하여 다른 사용자의 간섭을 줄이는 방법과 적용 알고리즘을 이용하여 사용자의 방향으로 최대한 빔을 형성하고 다른 사용자의 간섭을 제거하는 방법 등이 있다[1].

그러나 기존의 적용 알고리즘만을 가지고는 물리적 안테나 소자의 개수에 따른 자유도가 고정되므로 성능을 향상시키는 데는 한계를 가진다. 그림 1은 제안된 가상 안테나 시스템을 나타낸다. 그림 1과 같이 제안

된 시스템은 입사신호의 공액 복소수와 I, Q 채널의 직교성을 이용한 부호보상법을 사용하여 가상 안테나를 형성한다. 따라서 전체 안테나 소자수가  $M-1$ 개 늘어나므로 제안된 시스템은 스마트 안테나의 자유도를 증가시킨다. 즉 채널용량을 증가시킬 수 있다..

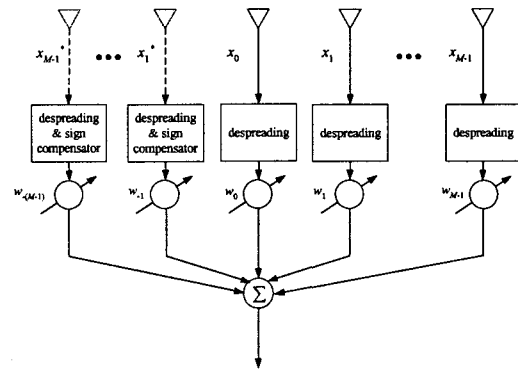


그림 1. 가상 안테나 신호를 적용 시킨 제안된 스마트 안테나 시스템

그림 1에서 식 (2)와 같은  $M$ 개의 안테나에 입사되는 신호 중 첫 번째 안테나에 들어오는 신호( $x_0$ )를 제외한 나머지 신호를 공액 복소수화 하면

$$\mathbf{x}^*(t) = [x_1^*(t), \dots, x_{M-1}^*(t)]^T \quad (4)$$

이다. 여기서 첫 번째 안테나의 위상을 기준으로 잡으면 두 번째 안테나의 공액 복소수화된 신호는

$$x_1^* = \sum_{i=1}^K e^{j2\pi d \sin(\theta_i)/\lambda} \cdot s_i^* + n_1^* \quad (5)$$

이 되어 그림 1에서처럼 -1번째에 위치한 안테나로 신호가 들어오는 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 공액 복소수화 된 신호를 그대로 사용할 경우 식 (5)에서처럼 전송된 신호  $s_i$  또한 공액 복소수화 된다. 즉, 공액 복소수화된 전송신호는 식 (1)에서 Q채널 신호의 부호가 다음과 같이 실제 전송된 신호와는 반대의 부호를 가지게 된다

$$s_i^* = s_I^{(i)} \cdot PN_I^{L_i} - j \cdot s_Q^{(i)} \cdot PN_Q^{L_i} \quad (6)$$

따라서, 가상 안테나가 구성되지 못하며 자유도는 증가되지 않는다. 그러므로, 가상 안테나를 형성하기 위해서는 공액 복소수화된 전송신호의 부호 보상이 필요하다.

먼저, Q채널의 부호 보상을 위해서  $s_i^*$ 의 신호에 I채널의 의사잡음신호를 이용하여  $s_I^{(i)}$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} s_i^* \cdot PN_I^{L_i} &= s_I^{(i)} - j \cdot s_Q^{(i)} \cdot PN_Q^{L_i} \cdot PN_I^{L_i} \\ &= s_I^{(i)} \end{aligned} \quad (7)$$

### 가상안테나를 이용한 스마트 안테나의 성능개선

여기서 I, Q채널의 의사잡음신호는 한 칩 떨어져 있기 때문에 두 의사잡음신호는 완전히 직교함을 가정하면,  $s_i^*$ 의 Q채널 신호를 역확산할 때 의사잡음신호의 부호를 반전시켜 다음과 같이 공액 복소수에 의해 바뀐 Q 채널 신호의 부호를 보상해 준다.

$$s_i^* \cdot (-PN_Q^{L_i}) = s_i^{(i)} \cdot PN_I^{L_i} \cdot (-PN_Q^{L_i}) - j \cdot s_i^{(i)} \cdot (-1) = js_Q^{(i)} \quad (8)$$

구해진 식 (7)과 (8)을 더하여 가상 안테나로 들어오는 신호를 완전하게 만들 수 있다. 복구된 신호를 이용하여 그림 1과 같이  $M-1$ 개의 가상안테나를 구성한다.

### III. 모의 실험

제한된 시스템의 성능을 분석하기 위해 cdma2000의 규격을 이용하여 도심에서의 채널환경을 모델링하였다. 1Km반경의 마이크로 셀 모델을 설정하였고, 도심 환경에서 발생할 수 있는 많은 다중경로 신호들 중 각 사용자당 수신신호는 전송된 신호의 크기로 수신신호를 정규화 했을 때, 신호의 크기가 0.5에서 1인 3개의 신호를 고려한다. 수신신호는 입사각이 랜덤한 분포를 가지며, 입사 신호의 최소 지연 시간은 한 칩으로 정하였고 최고 5칩의 지연시간을 가지는 신호로 가정하여 실험하였다. 또한 기지국에 도달하는 각 사용자의 신호는 기지국과의 전력제어에 의해 일정한 크기로 입사되며 인접기지국의 간섭은 고려하지 않고 단일 기지국내에서 사용자간의 간섭이 존재한다고 가정하였다. 그러므로 의사잡음신호는 사용자 구분을 위한 확산률이 64이고 길이가  $2^{42-1}$ 개인 룭 코드만을 사용한다.

수신신호의 신호대 잡음비는 10dB로 고정하고, 셀내의 사용자 수는 10명에서 100명, 안테나 소자는 4, 7, 10개로 변화시키며 실험하였다. 실험에 사용되는 적응 알고리즘은 LMS(least mean squares) 알고리즘, DDLMS(direct decision LMS) 알고리즘 및 RLS(recursive least squares) 알고리즘을 이용하여 제안된 가상 안테나 시스템과 기존의 시스템과의 성능을 비교하였다.

그림 2는 기존의 스마트 안테나 시스템과 제안된 가상 안테나 시스템에 LMS 알고리즘을 이용하여 추정된 SINR(signal to interference and noise ratio)을 나타내고 있다. 안테나 수가 같을 때, 기존의 스마트 안테나 시스템보다 제안된 시스템이 높은 SINR특성을 나타냄을 알 수 있다. 또한 가상 안테나 시스템의 물리적 소자의 개수가 4개일 때 3개의 가상 안테나를 구성하게 되는데, 실제 7개의 물리적 안테나를 가지는

기존의 스마트 안테나 시스템과 유사한 SINR특성을 지님을 알 수 있다.

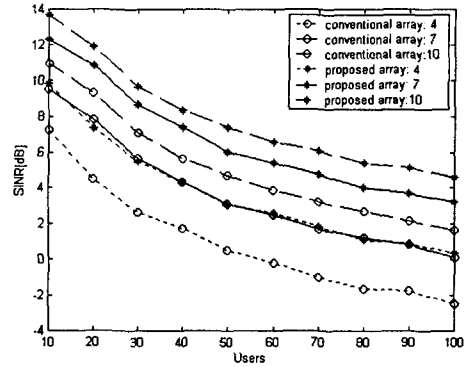


그림 2. LMS 알고리즘을 적용한 제안된 시스템과 기존 시스템의 SINR비교

그림 3은 DDLMS 알고리즘을 적용한 기존의 스마트 안테나 시스템과 제안한 가상안테나 시스템의 SINR특성을 나타낸다. DDLMS는 입력 신호를 판단하여 기준신호로 삼고, 그 기준신호에 의해 가중치를 적용시켜나가는 방법이므로 사용자의 수가 적은 구간에서는 비교적 높은 SINR특성을 보이나 사용자의 수가 많을수록 기준신호를 잘못 판단하는 경우가 많이 발생하게 되므로 전체적으로 SINR특성이 나빠짐을 볼 수 있다. 또한 DDLMS의 경우에도 제안된 가상안테나의 SINR특성이 기존의 스마트 안테나에 비해 향상된 성능을 보여 줌을 알 수 있다.

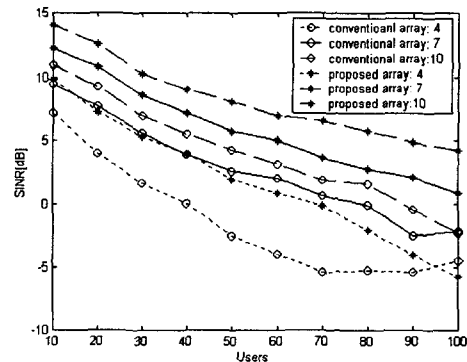


그림 3. DDLMS 알고리즘을 적용한 제안된 시스템과 기존 시스템의 SINR비교

그림 4는 RLS 알고리즘을 사용하였을 때 SINR성능을 나타낸다. RLS 알고리즘을 사용한 경우에도 제안된 시스템에서 자유도의 증가로 인한 채널용량의 향상

이 일어남을 알 수 있다.

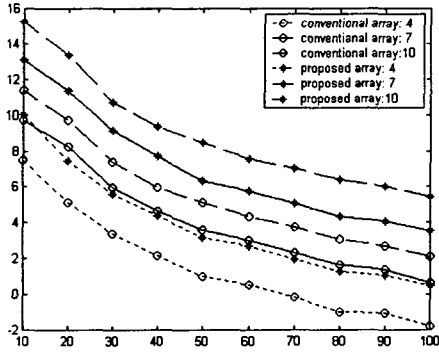


그림 4. RLS 알고리즘을 적용한 제안된 시스템과 기존 시스템의 SINR비교

그림 5는 물리적 안테나 개수가 7개 일 때, 제안된 가상안테나 시스템에서 각 알고리즘 간의 SINR을 비교하고 있다. RMS 알고리즘이 가장 안정된 성능을 보임을 알 수 있으며, DDLMS는 스프레딩 이득에 의해 간섭신호가 적은 환경에서는 LMS 알고리즘에 비해 많은 차이를 나타내지 않지만, 간섭신호가 많아 질수록 성능의 열화 정도가 커짐을 볼 수 있다.

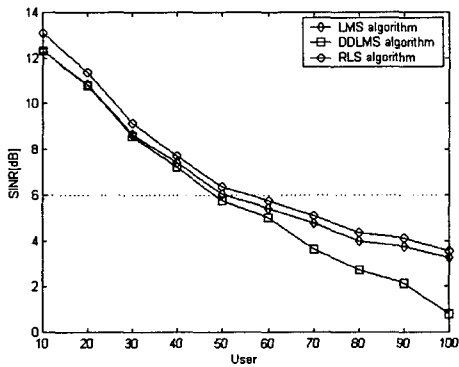


그림 5. 제안된 시스템에서의 각 알고리즘간 성능비교

일반적으로 양질의 통화품질을 위해서 BER(Bit error rate)이  $10^{-3}$  일 때 SINR이 5dB이상이 되어야 하므로[4], SINR이 5dB이고 물리적 안테나 개수가 7개 일 때 제안된 시스템과 기존의 시스템의 채널용량을 표 1에 나타내었다. 제안된 안테나 시스템이 서비스 할 수 있는 사용자의 수가 기존의 안테나 시스템에 비해 26 ~ 32명까지 증가됨을 볼 수 있다.

표 1. 스마트 안테나 시스템과 제안된 가상 안테나 시스템의 용량 비교

	LMS	DDLMS	RLS
기존방법	35 명	34명	39 명
제안된방법	67 명	60 명	71 명

## V. 결론

이동통신 기술의 진보와 시장의 확대에 따른 다양한 서비스를 하기 위한 통신망의 용량증대는 현재뿐만 아니라 미래에도 끝이지 않을 중요 연구 과제이다. 본 논문은 제안된 가상 안테나 시스템을 cdma2000규격을 이용하여 분석하였고, 모의 실험을 통하여 기존의 스마트 안테나 시스템과 성능을 비교하였다. 실험 결과, 제안된 가상 안테나 시스템은 안테나 소자 수를  $M-1$  개 증가시켜 채널용량을 향상시켰다. 따라서, 상용화를 앞두고 있는 제 3세대 이동통신 시스템의 도입에 있어 중요한 자료 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [2] J. Fuhl and A. F. Molisch, "Virtual-image-array single-snapshot (VIASS) algorithm for direction-of-arrival estimation of coherent signals" in *Proc. PIMRC'95*, vol. 2, pp. 658-663, 1995.
- [3] 3rd Generation Partnership project 2, "Physical layer standard for cdma2000 spread spectrum systems," *3GPP2 Technical Specification*, C.S0002-A, June 9, 2000.J.
- [4] R. B. Ertel, "Spatial filtering with adaptive antenna array algorithms in DS-CDMA communication systems," Master's thesis, Pennsylvania state University, 1996.

※ 본 논문은 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구 지원사업으로 수행된 결과의 일부임.