

# 적응 배열 안테나 빔형성 기법을 이용한 CDMA시스템 성능에 대한 연구

이 관 형\*

## A Study on the Performance CDMA System Using Adaptive Array Antenna Beamforming Technique

Kwan-Hyeong Lee\*\*

### 요 약

본 논문에서는 이동 무선 채널에서 배열 안테나의 빔형성 기법을 이용하여 CDMA시스템의 성능을 분석한다. 적응 배열 빔형성 안테나 기술은 배열 안테나 소자에서 수신된 신호의 크기와 위상을 결합하고, 가중치를 이용하여 각 소자에서의 도래방향 신호를 증대시키는 공간 필터의 기능을 제공한다. 모의실험을 통해서, 본 논문에서는 CDMA 페이딩 환경에서의 간섭 신호를 줄이기 위하여 배열 안테나의 빔형성 기법을 이용하여 양방향 채널에서의 비트오류율을 비교 분석 하였다. 모의실험 결과 배열 안테나시스템을 사용함으로써 공간 다이버시티 효과를 얻을수 있고, MAI의 간섭이 감소하여 성능이 향상됨을 나타내었다.

### ABSTRACT

This paper is an analysis the performance of CDMA system using array antenna beamforming technique in wireless channels. Adaptive array beamforming antenna technique combine receive signal amplitude with phase in array antenna element, and can be incremental spatial filter function a direction of arrival signal using weight value. Through simulation, in this paper, we were an analysis to compare bit error rate of forward and backward channels using array antenna beamforming technique in order to interference signal decrease of CDMA fading enviroment. The result simulation, we get spatial diversity effect by using array antenna system, and improved the performance to MAI interference decrease.

**Keywords** : Adaptive array, Beamforming, CDMA, Antenna, Diversity, Weight

### 1. 서 론

무선통신에서 사용자에게 고품질, 고용량의 서

비스를 제공할 수 있는 분야가 지속적으로 연구되고 있다. 미래 통신을 실현하기 위해서 꾸준히 제안되고 있는 기술중의 하나가 바로 배열 안테나의 빔형성 기법이다. 배열 안테나의 빔형성 기법을 적

\* 대전대학교 통신공학과 (khlee@daejin.ac.kr)

접수일자 : 2012년 04월 26일, 수정일자 : 2012년 05월 17일, 심사완료일자 : 2012년 05월 24일

용시킨 안테나를 적응배열 안테나라고 한다. 적응 배열 안테나 시스템은 주어진 신호 환경에 적응하여 방사 빔 패턴을 자동적으로 변화시킬 수 있는 지능형 안테나 시스템을 말하며, 복수 개의 배열 안테나 소자를 선형, 원형, 평면형 형태로 배열된 안테나 소자들로부터 수신 신호를 적응적으로 결합하는 빔형성기법에 기반을 둔다[1]. 적응 배열 빔형성 안테나 기술은 배열 안테나 소자에서 수신된 신호의 크기와 위상을 결합하고, 가중치를 이용하여 각 소자에서의 신호 도래방향 신호를 증대시키거나 제거시킬수 있는 공간 필터의 기능을 제공하는 할 수 있다[2]. 복수개의 안테나를 일정하게 배열시키고 각 배열안테나에 가중치를 곱함으로써 각 안테나에서 방사되는 전력이 특정한 방향으로 송신하고, 다른 방향으로는 간섭을 제거시켜 원하는 방향으로 방사패턴의 지향성을 증가시키는 시스템이다.[3] 즉, 간섭신호의 입사각에 대해서는 영점(null pattern)을 형성하여 원하는 신호만을 수신하여 입사 신호의 방향을 정확히 알 수 있다. 입사 신호 추정방법의 정확성은 다음과 같이 2가지로 구분된다. 첫째는 분해능(resolution)으로 각도 분해능과 거리분해능으로 구별되며 일반적으로 물체의 식별능력이다. 두 번째는 입사 신호 방향의 추정 오차(estimate bias)로서 추정된 신호 스펙트럼의 정확성을 나타낸다. 응용분야는 무선네트워크 위치 추적시스템, 무선통신 등 여러 분야에 적용된다. 무선통신 CDMA방식에서 배열 안테나 시스템을 적용시키기 위해서는 경로신호의 방향을 추정하고 한 방향에서만 신호를 수신하기 위한 공간 필터링을 수행해주어야 한다. 또한 수신신호의 각 경로방향에 대한 공간 필터링을 수행하기 위해서는, 평면에서 해당 경로신호의 방향에 대한 복소 가중치 벡터를 추정하여 이를 수신한 신호에 곱해주어야 하나, 이는 많은 계산량을 필요로 하기 때문에 이러한 시스템을 실제 구현 시에 시스템 가격이 상승하고, 복잡도가 증가한다. 따라서 다중접속간섭을 줄이기 위해서 배열 안테나를 이용한 빔형성기법을 사용하는 스마트 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다[4][5].

본 논문에서는 이동 무선 채널에서 배열 안테나의 빔형성 기법을 이용하여 CDMA시스템의 성능을

분석한다. 배열 안테나의 간격은  $\lambda/2$ 라고 가정한다. II장에서는 적응 배열 안테나에 대해서 기술하였고, III장에서는 신호모델에 대해서 배열 안테나의 가중치값을 구하였다. IV장에서는 제안방법을 나타내었다. V장에서는 시스템 성능을 시뮬레이션하여 분석하였고, 결론에 대하여 서술하였다.

## II. 적응 배열 안테나

본 논문에서는 다중경로 채널의 영향을 받는 CDMA시스템에 적용 가능한 배열 안테나의 빔형성기법을 적용하고 있다. 각 사용자의 신호들은 각 신호성분이 서로 다른 지연, 위상, 안테나 입사각, 진폭변동의 영향을 받아 수신된다. 이때 원하는 사용자의 신호 또한 동기화된 신호와 한 칩 이상의 수신 지연값의 차이를 가지게 되는 경우 간섭 성분으로 영향을 미치게 된다. CDMA 시스템의 경우 다중경로에 의한 각 신호 성분의 지연값의 분포는 칩 간격보다 훨씬 넓게 분포한다. 원하는 안테나의 지향성을 얻기 위해서 복수의 안테나소자를 배열해서 각각의 안테나소자의 여진조건을 제어하여 원하는 지향성을 얻도록 하는 것이 배열 안테나(array antenna)이다[6]. 이동통신기지국용으로 배열 안테나를 사용할 경우, 배열 안테나는 기지국의 무선존(radio zone)의 형성, 존간의 간섭을 억압하는 등의 역할을 하기 때문에 이동국 지향성을 침예화하여 이득을 높이는데에 이용된다[6]. 일반적인 구조로는 반파장인 복소소자를 일렬로 복수개 배치한 것이 자주 사용되고 있는데, 그림 1과 같이 등 간격으로 배열하는 경우가 많다. [7]

배열 안테나의 간격을 일정하게 하지 않으면 통상은 특별한 이익이 없기 때문이다. 이때, 나열되는 안테나를 소자 안테나, 또는 단지 소자라고 하며, 나열하는 간격  $d$ 를 소자간격이라고 한다. 그림 1에서는  $N$ 개의 소자가 나열되어 있으므로 이  $N$ 을 배열 안테나의 소자수라고 한다. 배열 안테나의 배치는  $z$ 축의 주위에 대칭이므로 이때 전체소자의 총합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.[8]

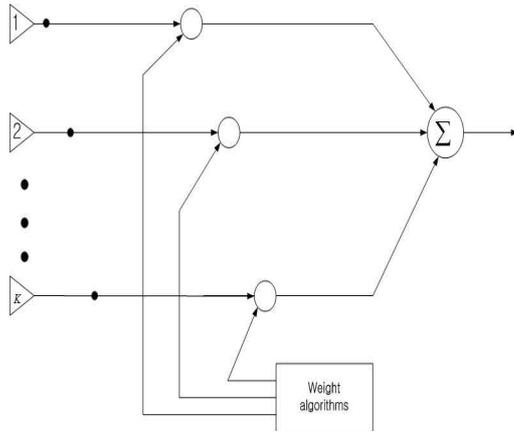


그림 1. 적응 배열 안테나 시스템  
Fig. 1 Adaptive Array Antenna System

$$F(\theta) = g(\theta) \sum_{n=0}^{N-1} I_n \exp(j\Phi_n + jnkd \cos \theta) \quad (1)$$

여기서  $g(\theta)$ 는 소자 하나의 지향성이고,  $I_n$ 은 여진진폭,  $\Phi_n$ 은 여진위상이다. 총합으로 표시된 항을 배열 인자(array factor)라 한다.  $I_n=1$  이고,  $\Phi_n=0$  이라고 가정하면, 이때 배열 인자는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D(\theta) &= \sum_{n=0}^{N-1} e^{jnkd \cos \theta} = \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\phi} \\ &= \frac{1 - e^{jN\phi}}{1 - e^{j\phi}} \quad (2) \\ &= \left| \frac{\sin(N\phi/2)}{N\sin(\phi/2)} \right| \cdot e^{j\zeta} \end{aligned}$$

여기서  $\phi = kd \cos \theta$ 이고,  $\zeta = (N-1)\phi/2$ 이다. 안테나의 복사특성을 표시할 경우, 통산 최대치로 정규격화된 절대치를 사용하는데,  $D(\theta)$ 의 최대치는  $N$ 이므로 정규격화하여 다시쓰면 다음과 같다.

$$|D(\theta)| = \left| \frac{\sin(N\phi/2)}{N\sin(\phi/2)} \right| \quad (3)$$

### III. 신호 모델

단일셀 환경에서 기지국이 사용자를 찾는다는 선형 배열 안테나를 이용하는 것이 적합하다.  $N$ 명의

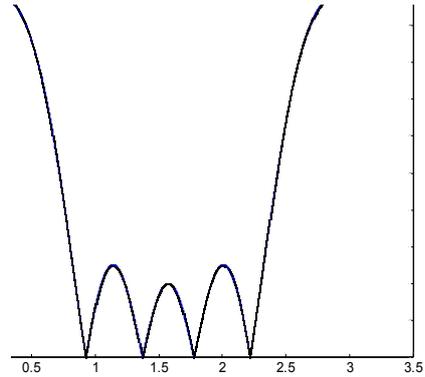


그림 2.  $d=\lambda/2$ ,  $N=5$ 인 배열인자  
Fig. 2  $d=\lambda/2$ , Array Element in  $N=5$   
사용자가 불규칙하게 분포 되었다고 가정하면, CDMA방식으로는 다른 의사부호코드를 사용하여 대역폭이 확산된다. 기지국에서  $M$ 개의 선형 배열 안테나가 있다고 가정한다.

본 논문에서는 간단한 평면파 모델을 사용하고, 전체 구조는 2차원으로 해석하였다. 전력제어는 이상적이고, 각 사용자에서 배열요소의 수신 전력은 같은 레벨이라고 가정한다. 그러면 배열안테나의 출력은 다음과 같다.[9]

$$x(t) = \sum_{j=1}^N \sqrt{P} b_j(t) c_j(t) a_j + n(t) \quad (4)$$

여기서  $P$ 는 사용자의 수신전력이고,  $b_j(t)$ 는 데이터 심벌이다.  $c_j(t)$ 는 사용자의 확산코드로서  $\pm 1$ 의 값을 갖는다.  $a_j$ 는  $j$ 번째 사용자 수신신호의  $M \times 1$  배열 응답 벡터이다.  $n(t)$ 는  $M \times 1$ 의 가우시안 잡음이다. 코드의 처리이득은 다음과 같다.

$$L = \frac{T_b}{T_c} \quad (5)$$

$T_b$ 는 비트 주기이고,  $T_c$ 는 칩주기이다.  $j$ 번째 사용자의 배열 응답벡터는 다음과 같다.

$$a_j = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp j2\pi d_1 \sin \theta_j \\ \exp j2\pi d_2 \sin \theta_j \\ \vdots \\ \exp j2\pi d_{M-1} \sin \theta_j \end{bmatrix} \quad (6)$$

배열안테나요소의 간격은  $\lambda/2$  이고,  $\theta_j$  는 수신신호와 배열 요소 사이의 각이다.  $j$ 번째 사용자로부터 안테나 배열의 출력값은 가중벡터( $w_j$ )와 합성한다. 이때 빔형성 출력은 다음과 같다.

$$y_j(t) = w_j^H x(t) \quad (7)$$

여기서  $(\cdot)^H$ 는 복소공액응답이다. 배열안테나에서 수신신호를 합성하기 위해서,  $j$ 번째 신호와 가중벡터  $w_j$ 를 합성하는데, 이때  $w_j$ 값을 구해야 한다.  $j$ 번째 사용자의 최적제한은 최대의  $SINR$ 로 한다. 가중신호는  $j$ 번째 사용자의 신호에서  $j$ 번째 사용자의 확산코드  $c_j(t)$ 와 상관함수로서 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$G_j(I) = \int_{T_b}^{IT_b} c_j(t) y_j(t) dt \quad (8)$$

이때 전과지연은 무시한다. 데이터 비트  $b_j$ 는 각각 독립적이라고 가정하고, 이때 평균(mean)은 제로이다. 부가 잡음  $n(t)$ 는 제로 평균의 복소 가우시안 랜덤 벡터와 공분산(covariance) 함수로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$E\{n(t)n^H(t)\} = \delta^2 I \quad (9)$$

여기서  $I$ 은  $M \times M$ 의 행렬이고,  $\delta^2$  은 잡음 분산(noise variance)이다. 데이터 비트와 잡음 관점에서 볼 때 우리가 원하는 신호에서의 간섭 펄스 잡음 전력(interference-plus-noise)은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\bar{S} = Pr_{j,j}^2 w_j^H R_{aa} w_j \quad (10)$$

$$\bar{I} = w_j^H R_{kk} w_j \quad (11)$$

여기서  $R_{aa} = a_j a_j^H$  이고

$$R_{kk} = P \sum_{i=1, i \neq j}^N r_{i,j}^2 a_i a_i^H + \delta^2 r_{i,j} I \quad (12)$$

여기서  $r_{i,j}$ 는  $i \neq j$ 인  $i$ 번째와  $j$ 번째 확산코드 사이의 상호상관(cross correlation)값으로 다음과

같이 표현 할 수 있다.

$$r_{i,j} = \int_{T_b}^{IT_b} c_i(t) c_j(t) dt \quad (13)$$

$r_{i,j}$  확산부호된  $j$ 번째 사용자의 에너지를 나타낸다. 그러므로  $SINR$ 값은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$SINR = \frac{\bar{S}}{\bar{I}} = Pr_{j,j}^2 \frac{w_j^H R_{aa} w_j}{w_j^H R_{kk} w_j} \quad (14)$$

최대와 최저의 고유치는  $R_{kk}^{-1/2} R_{aa} R_{kk}^{*/2}$ 의 행렬로 나타낼 수 있다. 배열응답벡터  $a_j$ 가 완전하게 평가(estimated)됐다고 가정하면, 빔형성 가중치는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$w_j = \beta R_{kk}^{-1} a_j \quad (15)$$

여기서,  $\beta$ 는 임의의 상수이다. 그러므로,  $SINR$ 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$SINR = Pr_{j,j}^2 a_j^H R_{kk}^{-1} a_j \quad (16)$$

#### IV. 제안 방법

이동무선채널에서 변조방식인 BPSK의 에러 확률식  $P_2(y)$ 는 다음과 같이 표현 된다.[10]

$$P_2(y) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{y}) \quad (17)$$

이때 잡음은 백색가우시안잡음(AWGN)이다.

여기서  $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-y^2} dy \quad (18)$$

그러므로, 평균에러확률은 다음과 같이 표현된다.

$$P_e = \int_0^\infty P_2(y) P(y) d(y) \quad (19)$$

여기서  $P_2(\cdot)$ 는 비트에러율(BER)로,  $P(\cdot)$ 는  $SINR$ 의 분포로 표현된다.

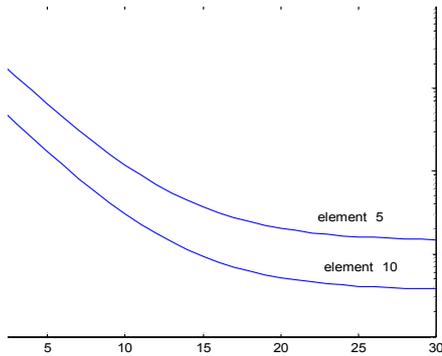


그림 3. 역방향 추정 확률  
Fig. 3 Backward Estimation Probability

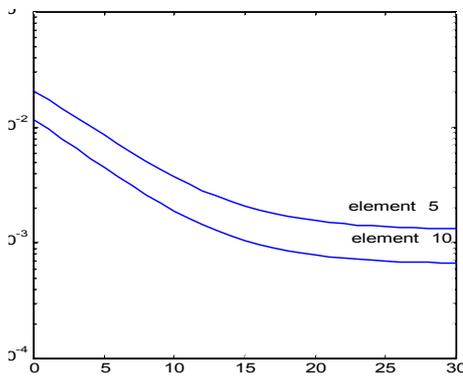


그림 4. 순방향 추정 확률  
Fig. 4 Forward Estimation Probability

### V. 결론

무선 채널의 환경은 다중경로 페이딩이라는 환경 하에서 나카카미 페이딩분포로 해석하였다. 시뮬레이션은 배열 안테나의 빔형성을 이용하여 다중경로 페이딩환경에서  $E_b/N_0$  향상도 및 적응 배열 안테나를 이용하여 비트오류율을 분석하였고, 각 소자수에 따른 페이딩 영향이 어떻게 변화되는가에 대해서 비교 평가 하였다. 그림3은 역방향 채널에서 5개와 10개의 배열 안테나를 고려했을 때 비트 오류율(BER)성능을 나타내었다. 배열 안테나에서 10개의 소자를 사용했을 경우 비트 오류율이  $10^{-3}$ 에서 5개의 소자보다 약 16dB이상 우수함을 알 수 있고, 이보다 더 많은 소자를 배열 할 경우에는 비트 오류

율이 향상될 것이다. 그림 4는 순방향 채널에서 10개의 소자를 사용했을 경우 비트 오류율이  $10^{-3}$ 에서 5개의 소자보다 약 22dB이상 우수함을 알 수 있다. 배열 안테나의 기하학적인 구성은 배열 안테나 및 시스템의 성능 측면에서 상당히 중요한 위치를 점하고 있다. 안테나의 소자수는 안테나 성능의 가장 큰 변수로 작용한다. 안테나 수를 증가시킴으로써 수신전력의 증대를 가져오며, 보다 많은 안테나의 사용은 공간 다이버시티 효과를 증대시킬 수 있기 때문이다. 전형적으로 40개의 안테나를 사용하였을 경우 배열 안테나 소자간의 완전한 비상관함수(uncorrelation)를 줄일수 있다고 본다. 그러나 이러한 배열 안테나의 크기는 현실적으로 너무 크므로 실제로는 8~16개의 안테나 소자를 사용하게 된다.

본 논문에서는 CDMA페이딩 환경에서의 간섭 신호를 줄이기 위하여 적응 배열 안테나의 빔형성 기법을 이용하여 양방향 채널에서의 비트오류율을 비교 분석 하였다. 그 결과 배열 안테나시스템을 사용함으로써 공간 다이버시티 효과를 얻을수 있고, MAI의 간섭을 줄이는데 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 적응 배열 안테나 시스템의 빔 형성 기법은 신호의 경로방향에 의한 배열 안테나 소자간의 위상차를 함께 추적함으로써, 원하는 사용자의 신호를 수신하는 공간필터링이 수행되어 시스템의 복잡도를 크게 감소시킬수 있다. 그러므로, 이러한 적응 배열 안테나 시스템의 빔 형성 기법은 향후 무선통신 발전에 크게 기여 할것으로 전망된다.

### 참고 문헌

[1] Nadav Levanom, Eli Mozeson, "RADAR SIGNA" Wiley&Wiley, 2004.  
 [2]Charles E.Cook, Marvin Bernfeld, "RADAR SIGNAL An Introduction to Theory and Application", Artec house 1994.  
 [3]C.B.Dietrich, Jrand W.L.Stuzman, "Smart antennas enhance cellular/PCS performance : partII", Micro wave & RF IEEE, pp164-168 ,May 1997,

- [4] Jack H. Winters, "Smart Antenna for Wireless systems", Conference IEEE, pp.23-27, Feb, 1998.
- [5] EDMOND NICOLAU. "Adaptive Arrays" ELSEVIER, 1989
- [6] Shiann-Jeng Yu and Ju-Hong Lee, "Adaptive Array Beamforming Based on an Efficient Technique", Trans on Antenna & Propagation IEEE 44(8), pp. 1270-1276, Aug 1996.
- [7] Dr. Md. Rafiul Islam, Ibrahim A.H. Adam, "Performance Study of Direction of Arrival (DOA) Estimation Algorithm for Linear Array Antenna", CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING System IEEE, pp.268-271, May, 2009
- [8] Benjamin Friedlander, "A Subspace Method for Space Time Adaptive Processing", Trans on signal processing, IEEE 53(1) pp.74-82, Jan 2005
- [9] Peng Li, and Rodrigo C. de Lamare, "Adaptive Decision-Feedback Detection With Constellation Constraints for MIMO Systems", Trans on signal processing IEEE 61(2), pp.853-859, Feb 2012.
- [10] John G. Proakis. "Digital Communications", McGraw-Hill, 1989.

---

### 저자약력

---

#### 이 관 형 (Kwan-Hyeong Lee)



1998년 3월 ~ 2004년 8월 :  
강릉영동대학 조교수

2005년 3월 ~ 2007년 2월 :  
청주대학교 전자정보공학부  
강의전담 전임강사

2007년 3월 ~ 2010년 2월 :  
국방과학연구소 근무

2010년 3월~현재 :  
대진대학교 교수

<관심분야> 무선통신, 위치추적