

# N-array 안테나의 빔형성기법을 이용한 DS-CDMA시스템 성능분석

정회원 이관형\*, 송우영\*\*

## The Performance Analysis of DS-CDMA system using to Beamforming Technique of N-array antenna

Kwan-Houng Lee\*, Woo-Young Song\*\* *Regular Members*

### 요 약

DS-CDMA 시스템에서는 사용자의 신호와 다른 방향에서 수신되는 다른 사용자에 의한 간섭잡음을 줄여 시스템의 성능과 용량을 향상 시키고자 한다. 채널용량을 증가시키고 통화품질을 향상시키려는 적응 배열안테나 시스템 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이동통신을 위한 N배열 안테나의 가중치를 구하였다. 그리고, DS-CDMA 시스템에 적용시켜 시스템 성능분석을 하였다.

### ABSTRACT

DS-CDMA system is improve the performance of system and increase of capacity at system is decrease the interference noise to user of signal and different path receive. Increase of channel capacity and traffic quality, adaptive array antenna system to studying. In this paper mobile communication N-array antenna which weight value to intensify. And, The performance Analysis of DS-CDMA system using.

### I. 서 론

최근들어 이동통신 서비스의 수요증가는 가입자나 운용자, 제조업체 모두에게 고품질, 고용량의 서비스를 제공할 수 있는 새로운 기술의 등장을 기대하고 있다. 향후 IMT-2000 시스템의 무선 전송기술을 위해서는 W-CDMA방식이 가장 적절한 무선 접속방식으로 인식되고 있는 상태에서 미래의 통신을 실현하기 위해서 꾸준히 제안되고 있는 기술중의 하나가 바로 배열 안테나의 빔형성 기법이다. 배열 안테나의 빔형성 기법을 적용시킨 안테나를 스마트 안테나로 알려져 있다. 스마트 안테나 시스템은 주어진 신호환경에 반응하여 자신의 방사 빔 패턴을 자동적으로 변화시킬 수 있는 지능형 안테나 시스

템을 말하며, 복수 개의 배열 안테나 소자를 선형, 원형, 평면형 형태로 배열된 안테나 소자들로부터 수신 신호를 적응적으로 결합하는 빔형성기법에 기반을 둔다<sup>[1][2]</sup>. 적응 빔형성 안테나 기술은 N개의 배열 안테나 소자에서 수신된 신호의 크기와 위상을 결합하고, 조정 제어하는 신호처리 과정을 통하여 복합적 안테나 패턴을 생성함으로써 각 소자에서의 신호 도래방향에 기초하여 신호를 증대시키거나 제거시킬수 있는 공간 필터의 기능을 제공하는 기지국 시스템이라 할 수 있다<sup>[3]</sup>. CDMA방식에 배열 안테나 시스템을 적용시키기 위해서는 레이크 수신기의 각 핑거에서 해당 경로신호의 방향을 추정하고 이 방향에서만 신호를 수신하기 위한 공간 필터링을 수행해주어야 한다. 또한 수신신호의 각 경로방향에 대한 공간 필터링을 수행하기 위해서는,

\* 영동전문대학 정보통신과(khlee@yeongdong.ac.kr)

\*\* 청주대학교 첨단공학부(songwy@chongju.ac.kr)

논문번호 : 00003-0210, 접수일자 : 2000년 2월 10일

핑거에서 해당 경로신호의 방향에 대한 복소 가중치 벡터를 추정하여 이를 수신한 신호에 곱해 주어야 하나<sup>[4][5]</sup>, 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 N-array 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 이동 무선 채널에서 배열 안테나의 빔형성 기법을 이용하여 DS-CDMA시스템의 성능을 분석한다. 배열 안테나의 간격은  $\lambda/2$ 라고 가정한다. II장에서는 배열 안테나에 대해서 기술하였고, III장에서는 신호모델에 대해서 배열 안테나의 가중치값을 구하였다. IV장에서는 시스템 성능을 평가하기 위하여 III장에서 구한 가중치값을 DS-CDMA시스템에 적용 시켰다. 마지막으로 V장에서는 시스템 성능을 시뮬레이션하여 분석하였고, 결론에 대하여 서술하였다.

## II . 배열 안테나

본 논문에서는 다중경로 채널의 영향을 받는 DS-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<sup>[6]</sup>. 이동통신기지국용으로 배열 안테나를 사용할 경우, 배열 안테나는 기지국의 무선존(radio zone)의 형성, 존간의 간섭을 억압하는 등의 역할을 하기 때문에 이동국 지향성을 침해화하여 이득을 높이는데에 이용된다<sup>[7]</sup>. 일반적인 구조로는 반파장인 복수소자를 일렬로 복수개 배치한 것이 자주 사용되고 있는데, 그림 1과 같이 등 간격으로 배열하는 경우가 많다<sup>[8]</sup>.

배열 안테나의 간격을 일정하게 하지 않으면 통상은 특별한 이익이 없기 때문이다. 이때, 나열되는 안테나를 소자 안테나, 또는 단지 소자라고 하며,

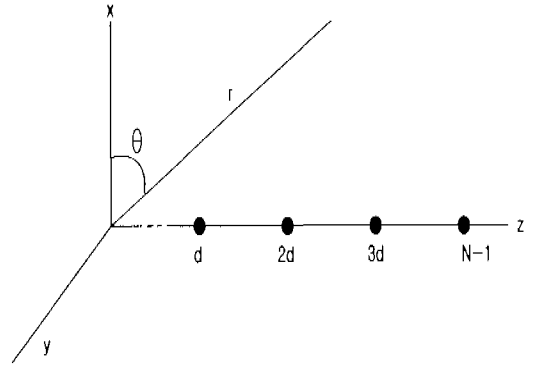


그림 1. 배열안테나 배치

나열하는 간격  $a$ 를 소자간격이라고 한다. 그림 1에서는 N개의 소자가 나열되어 있으므로 이 N을 배열 안테나의 소자수라고 한다. 배열 안테나의 배치는 z축의 주위에 대칭이므로 이때 전체소자의 총합은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[8]</sup>.

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

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.

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

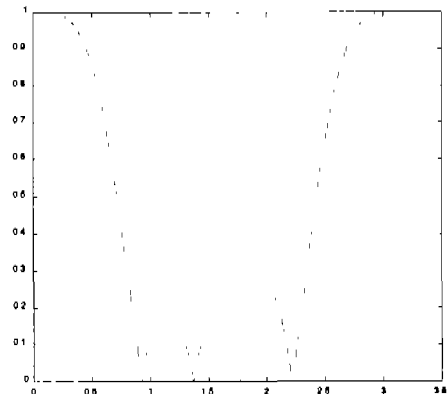


그림 2.  $d=\lambda/2$ 이고,  $N=5$ 인 배열인자

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

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

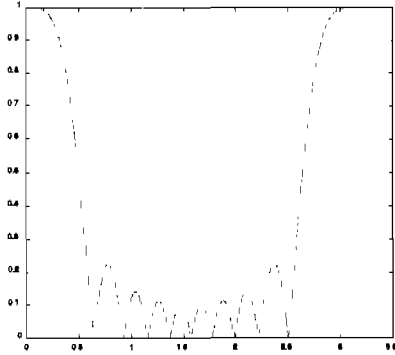


그림 3.  $d=\lambda/2$ 이고,  $N=10$ 인 배열안테나

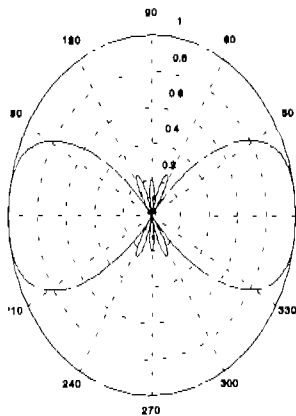


그림 4.  $d=\lambda/2$ 이고,  $N=5$ 인 방사패턴

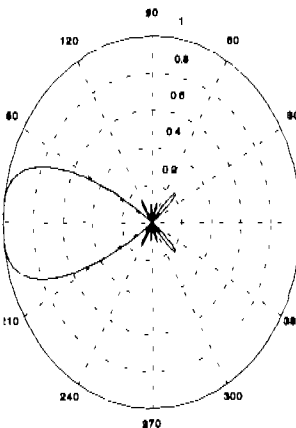


그림 5.  $d=\lambda/2$ 이고,  $N=10$ 인 방사패턴

### Ⅱ. 신호 모델

단일셀 환경에서 기지국이 사용자들을 찾는 때는 선형 배열 안테나를 이용하는 것이 적당하다.  $N$ 명의 사용자가 불규칙하게 분포 되었다고 가정하면, CDMA 방식으로는 다른 외사부호코드를 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 배열요소외 수신 전력은 같은 레벨이라고 가정한다. 그러면 배열안테나의 출력은 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

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

여기서,  $P$ 는 사용자의 수신전력이고,  $b_j(t)$ 는 비트 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.

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

배열안테나요소의 간격은  $\lambda/2$  이고,  $\theta_j$ 는 수신 신호와 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  $i$ 번째 사용자  
의 확산코드  $c_i(t)$  와 상관함수로서 다음과 같이  
표현할 수 있다.

$$G_j(l) = \int_{T_s}^{lT_s} c_j(t) y_i(t) dt \quad (8)$$

이때 전파지연은 무시한다. 데이터 비트  $b_j$ 는 각  
각 독립적이라고 가정하고, 이때 평균(mean)은 제로  
이다. 부가 잡음  $n(t)$ 는 제로 평균의 복소 가우시  
안 랜덤 벡터와 공분산(covariance) 함수로 다음과  
같이 표현할 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 플러스 잡음  
전력(interference-plus-noise)은 다음과 같이 표현할  
수 있다.

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

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

여기서,

$$R_{aa} = a_j a_j^H \text{ 이고}$$

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

여기서,  $r_{i,j}$ 는  $i \neq j$ 인  $i$ 번째와  $j$ 번째 확산코드사  
이의 상호상관(cross correlation)값으로 다음과 같이  
표현할 수 있다.

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

$r_{j,j}$ , 확산부호된  $j$ 번째 사용자의 에너지볼 나타낸다.  
그러므로 SINR값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

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

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

여기서,  $\beta$ 는 임의의 상수이다. 그러므로, SINR은  
다음과 같이 표현 할수 있다.

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

#### IV. 시스템 성능분석

이동무선채널에서 변조방식인 BPSK의 에러 확률  
식  $P_2(\gamma)$ 는 다음과 같이 표현 된다<sup>[10]</sup>.

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

이때 잡음은 백색가우시안잡음(AWGN)이다.  
여기서,  $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 다음과 같이 표현된다.

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

그러므로, 평균에러확률은 다음과 같이 표현된다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_2(\gamma) P(\gamma) d(\gamma) \quad (19)$$

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

#### V. 시뮬레이션 및 결론

무선 채널의 환경은 다중경로 페이딩이라는 환경  
하에서 나카카미 페이딩분포로 해석하였다. 시뮬레  
이션은 배열 안테나의 빔형성을 이용하여 다중경로  
페이딩환경에서  $E_b/N_0$  향상도 및 N-배열 안테나를  
이용하여 비트오류율을 분석하였고, 각 소자수에 따  
른 페이딩 영향이 어떻게 변화되는가에 대해서 비  
교 평가 하였다. 그림 6 은 역방향 채널에서 5개와  
10개의 배열 안테나를 고려했을 때 비트 오류율  
(BER)성능을 나타내었다. 배열 안테나에서 10개의  
소자를 사용했을 경우 비트 오류율이  $10^{-3}$ 에서 5개  
의 소자보다 약 16db이상 우수함을 알 수 있고, 이  
보다 더 많은 소자를 배열 할 경우에는 비트 오류  
율이 향상될 것이다. 그림 7의 순방향 채널에서는  
10개의 소자를 사용했을 경우 비트 오류율이  $10^{-3}$ 에  
서 5개의 소자보다 약 22db이상 우수함을 알 수 있

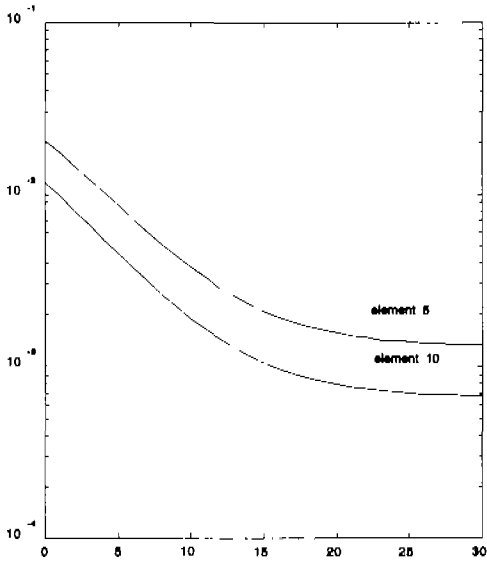


그림 6.  $d=\lambda/2$ , 역방향 비트 에러율

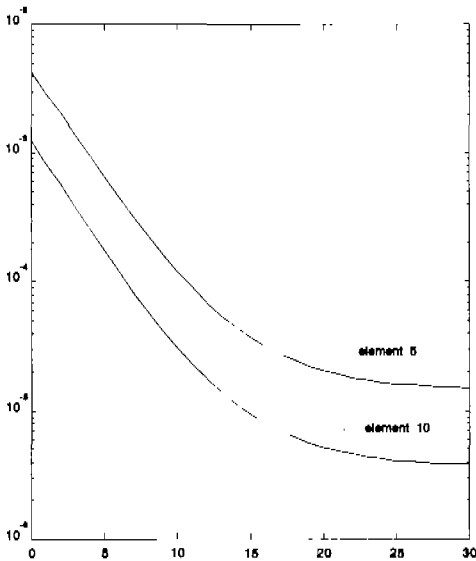


그림 7.  $d=\lambda/2$ , 순방향 비트 에러율

다. 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(decorrelation)를 줄일수 있다고 본다. 그러나 이러

한 배열 안테나의 크기는 현실적으로 너무 크므로 실제로는 8~16개의 안테나 소자를 사용하게 된다.

본 논문에서는 DS-CDMA 페이딩 환경에서의 간섭 신호를 줄이기 위하여 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. N-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 N-배열 안테나 시스템의 빔 형성 기법은 향후 이동통신 발전에 크게 기여 할것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] John S. Thompson, Peter M. Grant, and Bernard Mulgrew, "Smart antenna Arrays for CDMA Systems", IEEE Com.Oct, 1996.
- [2] Jack H. Winters AT&T Labs-Research, "Smart Antennas for Wireless System", IEEE Com. Feb. 1998.
- [3] C.B.Dietrich, Jrand W.L.Stuzman, "Smart antennas enhance cellular/PCS performance : partII", Micro wave & RF, pp164-168, May 1997.
- [4] JackH.Winters, "Smart Antenna for Wireless systems", IEEE Com, pp.23-27, Feb, 1998.
- [5] EDMOND NICOLAU. Adaptive Arrays ELSEVIER pp.12 - 25, 1989.
- [6] Shiann-Jeng Yu and Ju-Hong Lee, "Adaptive Array Beamforming Based on an Efficient Technique", IEEE Trans on Antenna& Propagation. Vol .44, No .8 .Aug 1996.
- [7] B.Widrow, P.E.Mantey, L.J.Griffiths, B.B. Goode, "Adaptive Antenna Systems", IEEE Proceeding, Vol. 55. no. 12, Des. 1967, pp. 2143-2159
- [8] Warren L. Stutzman & Gary A. Thiele Antenna Theory and Design. John Wiley. pp. 108 - 168, 1981.
- [9] Alime Ozyildirmm and Yalcin Tank, "Antenna Diversity and Adaptive Beamforming for

