

# IS-2000 1X 신호 환경하에서의 고유공간 방법에 근간한 그라디언트 온-오프 빔형성 알고리즘

정희원 이정자, 이원철, 최승원

## Gradient On-Off Beamforming Algorithm Based On Eigen-Space Method For a Smart Antenna In IS-2000 1X Signal Environment

Zheng-Zi Li, Weon-Cheol Lee and Seung-Won Choi *Regular Members*

요 약

본 논문은 이동통신 환경하에서 각도퍼짐(Angle Spread)이 증가하여도 우수한 성능을 유지하는 그라디언트 온-오프 빔형성 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 수신 벡터신호의 자기상관행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터를 이용하여 상대적으로 큰 고유치에 대응하는 2개 고유벡터를 이용하여 다이버시티 이득을 얻음으로써 하나의 고유벡터 하나만 이용하는 방법[1]보다 우수한 성능을 나타낸다. 본 제안된 방법을 IS-2000 1X신호환경에서 모의실험 결과 각도퍼짐이 증가하여도 기존의 하나의 고유벡터 하나를 사용하는 알고리즘보다 성능이 우수함을 확인 하였다.

Key Words : smart antenna, beamforming algorithm, signal processing

### ABSTRACT

This paper presents a gradient ON-OFF algorithm of which the performance is very robust even when the angle spread increases in the mobile communication environments. The proposed method getting the diversity gain by utilizing the primary and secondary eigenvector, which corresponds to the largest and the second largest eigenvalue of the autocovariance matrix of the received signal vector, outperforms the method which just utilizes one eigenvector. By applying the proposed method to IS-2000 1X signal environments, it is observed that the proposed method shows excellent performance compared to a typical beamforming method using just one eigenvector, which considerably degrades the receiving performance as the angle spread increases.

### I. 서 론

최근에 이동통신에 대한 요구가 증가함에 따라, 흔히 스마트 안테나 시스템이라 불리는 적응 안테나 어레이의 중요성이 어느 때보다도 강조되고 있다. 스마트 안테나 시스템을 이동통신의 기지국에

설치하는 목적은 통신용량과 통신 품질을 동시에 증가시키고자 하는 것이다.

안테나 어레이 시스템은 안테나 소자들간의 간격이 가까워서 각 안테나 수신신호의 전송경로가 같다고 보고 빔형성을 통해 수신신호를 공간상에서

\* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 통신신호처리 연구실(choi@dsplab.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 030210-0517, 접수일자 : 2003년 5월 17일

※본 연구는 한국과학재단 연구과제(R01-2002-000-00137-0)지원으로 수행되었습니다.

선택적으로 수신할 수 있게 한다. 기존 빔형성 알고리즘은 배열 안테나의 출력전력의 최대화를 통해 신호대 잡음비(SNR)를 최대화하기 위한 최대 고유벡터 값을 구하는 것이다. 그러나 실제 이동통신 환경에서는 각 안테나에서 수신되는 신호가 여러 신호들의 합이 중심각도에 대해 각도퍼짐만큼 분산되어 도착하기 때문에 각 안테나의 채널계수의 상관관계는 각도퍼짐이 증가함에 따라 감소하게 된다[2]. 그러나 실제 신호 환경에서는 각도퍼짐의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 특히 전송 주파수가 높아질 때 증가되는 경로손실을 줄이기 위하여 셀 반경을 줄이는 경우에는 더욱 증가되는 각도퍼짐의 영향을 고려하여야 한다. 신호대 잡음비를 최대화 하기 위한 최대 고유벡터 값을 찾는 기존 알고리즘의 경우 각도퍼짐이 고려되지 않은 상황에서 향상된 성능을 가지나 각도퍼짐이 증가할수록 성능이 현저히 떨어지게 된다[3]. 따라서 본 논문은 이런 기존 빔형성 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 2개의 우세한 고유값에 해당하는 고유벡터를 빔형성 웨이트로 이용하는 그래디언트 온-오프 알고리즘을 제안한다. 제시된 알고리즘은 수신된 신호의 자기상관 행렬로부터 2개의 가장 우세한 고유값을 구하고 이에 대한 고유벡터의 선형합을 빔형성 웨이트 벡터로 이용함으로써 각도퍼짐이 증가함에 따라 성능열화가 크게 발생하는 기존의 빔형성 알고리즘에 비해 성능이 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

즉 스마트 안테나에 수신된 신호의 자기상관 행렬로부터 그래디언트 온-오프 알고리즘을 이용하여 가장 큰 고유값에 해당하는 고유벡터를 얻고, 다시 두번째 고유벡터를 구하기 위한 자기상관 행렬을 구한 후 그래디언트 온-오프 알고리즘을 반복 적용하고 수축법(Deflation Method)을 이용하여 두번째 고유벡터를 얻는 새로운 적응 그래디언트 온-오프 알고리즘을 제시하였다. 따라서 본 논문은 수신신호의 자기상관행렬의 고유치 문제의 해를 구하는 방법에 근간을 두고 있으며 이러한 고유치 문제의 해를 구하는 기존의 계산량은  $O(N^3)$ 에 해당되나 본 논문에서는 수축법을 이용하여 그 계산량을 줄였다.

본 논문에서 제안된 알고리즘의 성능분석을 위해 IS-2000 1X 신호 환경하에서 모의실험을 통해 사용자수 및 각도퍼짐이 증가함에 따라 기존의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다.

본 논문에서 II장은 각도퍼짐이 존재하는 환경 하

에서 수신신호의 수학적 모델링을 소개하고 III장에서는 그래디언트 온-오프 알고리즘을 이용한 제안 알고리즘을 제시하였다. 또한, IV장에서는 IS-2000 1X 신호 환경하에서 다양한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여주고 있으며, 마지막 V장에서는 본 논문의 최종 결론을 제시하였다

## II. 시스템 모델

N개의 안테나로 이루어진 선형 배열 안테나를 고려하고 각 안테나는 편의상 각 소자마다 반파장씩 떨어져 있다고 가정하자. 이때 기준 안테나를  $m_0$  번째 안테나로 하여 모델링된  $m$  번째 안테나 소자의 수신신호는 다음과 같다.

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^L \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{l=1}^L s_k(t - \tau_{k,j,l}) e^{j2\pi(f_c \cos \theta_{k,j,l} f_{k,j,l})} e^{j\pi(m - m_0) \sin \theta_{k,j,l}} + n_m(t) \tag{1}$$

여기서  $m$ 는 안테나 인덱스,  $k$ 는 사용자 인덱스,  $j$ 는 경로 인덱스,  $L$ 는 산란 신호의 개수를 나타낸다. 또한  $s_k(t)$ 는 송신신호,  $f_{k,j,l}$ 는 도플러주파수,  $\phi_{k,j,l}$ 는 신호의 움직이는 방향,  $f$ 는 캐리어주파수,  $\theta_{k,j,l}$ 는 산란되는 신호의 입사각,  $\tau_{k,j,l}$ 는 전파 지연이며  $n_m(t)$ 는 평균이 0인 복소 가우시안 잡음,  $M$ 은 사용자 숫자를 나타낸다. 한편 (1)식에서 모든 가입자에 대한 각 주어진 경로에서의 전파지연을 동일한 것으로 가정하여  $\tau_{k,j,l} \approx \tau_{k,j}$ 로 한다.

식 (1)과 같이 수신된 신호는 기저국 수신단의 역확산(despreading) 동안에 모든 동기가 완벽하게 일치한다고 가정하면 역확산된 수신신호 벡터는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$y[n] = h[n]s[n] + u[n] \tag{2}$$

여기서  $y[n]$ 은 각 안테나에서의  $n$  번째 샘플링 한 신호를 기저대역 수신신호를 의미하며,  $h[n]$ 은 채널벡터로  $n$  번째 신호  $s[n]$  전송시에 수신 안테나의 전체 채널이득을,  $u[n]$ 은 간섭신호를 포함하는 배경잡음을 나타낸다. 또한 벡터를 나타내기 위

해 \_를 사용하였다.

일반적으로 안테나 어레이 시스템의 각 안테나에 수신된 신호는 동일 전송경로를 통해 도착되며 단지 안테나 배열에 따른 도착 시간지연이 서로 다르므로, 채널벡터는 다음 식(3)와 같이 쓸 수 있다[3].

$$\underline{h}[n] = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^L \alpha_i[n] \underline{a}(\theta) \quad (3)$$

여기서  $\theta$  는 신호의 도착각도(AOA: Angle of Arrival)이고,  $\underline{a}(\theta)$  는 안테나 배열의 특성벡터인 배열응답벡터(Array Response Vector)이며,  $\alpha_i[n]$  은 전송경로의 페이딩 인자를 나타낸다. 여기서, 신호의 도착각도  $\theta$  는 시간에 따라 변할 수 있기 때문에, 이 경우  $\underline{a}(\theta)$  는 시변벡터(Time-Varying Vector)가 된다. 그러나  $\theta$  의 변화는  $\alpha_i[n]$  의 변

화보다 항상 느리기 때문에  $\underline{a}(\theta)$  는 신호의 심볼 구간에 대해 시불변 벡터(Time-Invariant Vector)로, 페이딩 인자  $\alpha_i[n]$  은 시변 스칼라(Time-Varying Scalar)로 심볼마다 변한다고 가정할 수 있다[4][5].

종래의 방법에서는 이를 바탕으로 먼저  $\underline{a}(\theta)$  에 대한 시불변 벡터를 얻고, 파일럿(Pilot) 심볼 등을 통해  $\alpha_i[n]$  을 얻었다[8][9]. 또한 각안테나에 수신된 신호가 단일경로를 통해 도착된 것으로 보아 완전 상관관계를 이룬다는 가정을 기본으로 하고 있다. 그러나 실제 환경에서는 각 안테나에서 수신되는 신호는 중심 도착각도  $\theta$  에 대해  $\theta_i$  만큼 분산되어 도착하기 때문에 실제 환경의 채널벡터는 다음 식 (4)와 같이 된다.

$$\underline{h}[n] = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^L \alpha_i[n] \underline{a}(\theta + \theta_i) \quad (4)$$

일반적으로  $\theta_i$  는 작은 값을 갖기 때문에 종래의 방법에서는 이를 0으로 가정하고 채널벡터를 추정하였다. 그런데 실제 이동통신 환경 하에서는  $\theta_i$  가 0이 아니고 무시하지 못할 정도로 크다는 점을 감안한다면, 수신 벡터신호의 자기상관행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터를 이용하는 기존의 신호 처리 방법으로는  $\theta_i$  가 크더라도 다이버시티 이득을 얻을 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 수신 신호벡터의 자기상관행렬의 최대 고유치에 대응하는

고유벡터를 이용하되, 상대적으로 큰 고유치에 대응하는 고유벡터부터 순차적으로 적어도 2개 이상을 이용하여 수신신호를 처리하여 다이버시티 이득을 얻고자 한다[12].

이상과 같이 상대적으로 큰 고유값에 대응하는 고유벡터의 선형결합으로 구한 빔형성기의 수신 신호에 대한 웨이트 벡터를  $\underline{w}$  라 하면 빔형성기의 출력 결정변수  $Z$  는 다음 식 (5)과 같이 표현된다.

$$z = \underline{w}^H \underline{y} \quad (5)$$

여기서  $H$ 는 공액전치(Conjugate Transpose)를 나타낸다.

### III. 그라디언트 온-오프(Gradient On-Off Algorithm) 알고리즘

수신 어레이 안테나 시스템을 구현하기 위한 가장 중요한 부분은 원하는 방향으로 빔패턴을 제공할 수 있는 웨이트 벡터를 계산하기 위한 적응 알고리즘을 개발하는 것으로, 본 장에서는 수신 어레이 안테나 시스템의 구조를 설명하고, 2절에서 언급한 수신된 신호의 자기상관 행렬로부터 구한 상대적으로 큰 고유값에 해당하는 고유벡터의 선형결합으로 웨이트 벡터를 계산하기 위한 그라디언트 온-오프(On-off) 알고리즘을 소개한다.

일반적으로 빔형성기의 웨이트 벡터  $\underline{w}$  는 다음 식에 근거하여 구할 수 있다.

$$R_{yy} \underline{w} = \lambda \underline{w} \quad (6)$$

여기서  $R_{yy}$  는 기저국 수신신호가 역확산된 신호  $\underline{y}$  의 자기상관행렬을 나타낸다. 즉 빔형성을 위한 웨이트 벡터를 식(6)의 최대 고유값에 해당하는 고유벡터로 하면 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성할 수 있다. 즉, 처리이득의 영향으로 원하는 신호가 간섭신호와 잡음신호보다 월등한 전력을 갖는 CDMA 이동통신 환경에서는 배열안테나에서 수신한 신호로 구성된 자기상관행렬로부터 구한 최대 고유값에 해당하는 고유벡터를 빔형성을 위한 웨이트 벡터로 사용하게 되며, 이렇게 적용한 웨이트 벡터는 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성하게 된다. 식(6)을 바탕으로 각도퍼짐이  $0^\circ$ 와  $20^\circ$ 인 경우의 안

테나 소자가 6개인 안테나 어레이의 고유 값 크기를 구하여 보면 알 수 있듯이 각도퍼짐이 없을 경우는 우세한 고유 값이 다른 값들에 비해 월등한 차이를 가짐을 알 수 있으나 각도퍼짐이 20°로 신호간의 상관도가 떨어지는 경우에는 최대 고유 값과 그 다음 값의 차이가 절대적으로 크지 않으므로 최대 고유 값에 해당하는 고유벡터 하나로만 웨이트 값을 나타내는데 어려움이 있다.

결국 2개 이상의 가장 큰 고유 값에 해당하는 고유벡터의 합으로 웨이트벡터를 구하면 되나, 성능증가와 계산량을 고려할 때 2개의 고유벡터의 합이면 충분함을 알 수 있다.

이러한 이유로 웨이트 벡터  $w$ 의 각 원소(Element)는 가장 큰 값을 가지는 두개의 고유값 각각에 해당하는 고유벡터의 합으로 표현되며 다음 식(7)과 같이 나타난다.[13]

$$w = \alpha e_1 + \beta e_2 \tag{7}$$

여기서  $e_1, e_2$ 는 수신 벡터신호의 자기상관행렬의 가장 큰 고유값에 해당하는 고유벡터이며[6],  $\alpha, \beta$ 는 채널 계수로써 고유벡터와 수신 벡터신호의 내적으로 다음 식(8)로 구할 수 있다.

$$\alpha = e_1^H \cdot y, \beta = e_2^H \cdot y \tag{8}$$

종래의 그래디언트 온-오프(On-Off)방식은 수신신호의 출력파워에 대한 그래디언트값을 구하여 그 부호에 따라 적응이득의 증감을 결정한 다음 현재의 위상지연 벡터에 더해 갱신된 위상지연 벡터를 구하는 방법으로 다음과 같다.

$$\phi_m(n+1) = \phi_m(n) + \mu \text{sign}(\nabla P) \tag{9}$$

여기서  $\nabla P$ 는 배열 안테나 출력 전력의 그래디언트를 나타내며  $\mu$ 는 위상지연 벡터를 갱신하기 위한 적응이득을 나타낸다. 이때 안테나 출력 전력은 다음과 같다.

$$P = |z|^2 = w^H R_{yy} w \tag{10}$$

여기서  $R_{yy}$ 는 기지국 수신신호가 역확산된 신호  $y$ 의 자기상관행렬이다. 식(9)에서  $(\nabla P)$ 는 다음과

같이 쓸 수 있다.

$$\nabla_m = \frac{\partial P}{\partial \phi_m} = \frac{\partial P}{\partial w_m} \frac{dw_m}{d\phi_m} + \frac{\partial P}{\partial w_m^*} \frac{dw_m^*}{d\phi_m} = 2 \text{Im} [y_m^* w_m^* z^*] \tag{11}$$

그러므로 모든 안테나 출력 파워를 고려하면, 식(12)과 같이 첫번째 고유벡터에 해당하는 웨이트벡터도 결정된다.

$$w_1(n) = e^{j\phi(n)} \tag{12}$$

식(7)에 나타나 있듯이 두번째로 큰 고유값에 해당하는 고유벡터를 구하기 위해 본 논문에서는 수축법[6]을 사용하여 다음과 같이 새로운 자기 상관 행렬을 다음과 같이 구한다.

$$R_y = R_{yy} - \gamma w_1 w_1^H \tag{13}$$

여기서  $\gamma$ 는 자기상관 행렬  $R_{yy}$ 의 가장 큰 고유값을 나타낸다.  $R_y$ 는 두 번째 웨이트를 구하기 위한 자기상관행렬이고,  $\gamma, w_1$ 은  $R_{yy}$ 의 고유치와 고유 벡터에 해당하는 값이다.

식(13)에서 얻은 자기상관 행렬을 다시 한번 위와 같은 순서로 두 번째 고유벡터에 해당하는 웨이트벡터를 구할 수 있다.

이러한 개념을 바탕으로 승수( $\gamma$ )를 계산한 후 웨이트 벡터를 최종으로 구할 수 있는 그래디언트 온-오프 알고리즘을 이용하여 매 스냅샷마다 최적의 웨이트 벡터를 갱신 할 수 있다. 식(7)에 근거하여 웨이트를 계산함에 있어서 첫번째 항에 해당되는 고유벡터  $e_1$ 에 수렴하는 웨이트 벡터  $w_1$ 은 SNR을 최대화 하는 최대 고유값에 해당되는 고유벡터이다. 두번째 항에 해당되는 고유벡터  $e_2$ 에 수렴하는 웨이트 벡터  $w_2$ 는 SNR을 최대화하는 두번째 고유값에 해당되는 고유벡터이다. 최적의 위상지연 벡터를 구하는 절차는 그림1의 흐름도에서 보여주고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 고유공간 방법에 근간한 Ordinary 온-오프 알고리즘은 총  $O(13N)$  ( $N$ : 배열 안테나 소자 수)의 계산량이 필요함을 알 수 있다. 이는 기존의 Ordinary 온-오프 알고리즘의

연산량  $O(3N)$ 에 비해 그 연산량이 증가하였지만, 기존의 Ordinary 온-오프 알고리즘은 각도퍼짐이 증가함에 따라 성능이 열화되나 본 논문에서 제시한 고유공간 방법에 근간한 온-오프 알고리즘은 각도퍼짐이 증가하여도 기존의 Ordinary 온-오프 알고리즘에 비해 그 열화정도가 아주 작아 더욱 우수한 성능을 나타낸다. 또한 본 논문은 수신신호의 자가상관행렬의 고유치 문제를 구하는 방법에 근간을 두고 있으며, 이러한 고유치 문제의 해를 구하는 기존의 계산량은  $O(N^3)$ 에 해당되나 본 논문에서는 수축법을 이용하여 계산량을 1차( $O(13N)$ )로 줄였다. 이러한 새로운 절차를 통해 얻어진 2개의 고유벡터를 이용하여 최적의 웨이트 벡터를 구해 스마트 안테나 시스템의 빔형성 웨이트 벡터로 사용함으로써 각도퍼짐이 넓게 존재하는 신호 환경에서도 그 우수성을 확인할 수 있다.

#### IV. 성능분석

본 절에서는 IS-2000 1X 신호 환경에서 제안 방법의 성능을 분석해 보도록 한다. IS-2000 1X의 채널 중 기본(fundamental) 채널을 데이터 채널로 하였고, 파일럿 채널을 이용하여 웨이트 벡터를 구하도록 하였다. 즉, 역확산된 파일럿 채널은 제안 그라디언트 온-오프 알고리즘을 통해 웨이트 벡터를 만들게 되고, 이 웨이트 벡터를 데이터 채널에 웨이팅하여 최종 출력신호를 얻게 된다[10]. 기본 채널의 심볼율은 76.8ksp/s이 되므로 처리이득은 16이 되고 파일럿 채널의 처리이득이 높고 낮을 때 고려하여 성능분석을 수행 하였다. 또한, 본 성능분석에서 공동으로 사용한 파라미터는 다음과 같다.

- (1) SNR=10dB
- (2) 도플러 주파수 = 80 Hz
- (3) 이동도(mobility) =  $0.01^0/\text{snapshot}$
- (4) 안테나 수 = 8

그림2는 파일럿 처리이득이 256일 때의 성능곡선을 나타낸 것으로 기존의 방법은 각도퍼짐이 증가함에 따라 성능이 감소함을 알 수 있다. 즉, 각도퍼짐이 작을 때( $< 5^0$ )는 기존 방법과 성능 차이 없지만 각도 퍼짐이 클수록( $> 5^0$ ) 기존의 방법보다 본 논문에서 제시한 방법의 성능이 더 우수함을 알 수 있다.

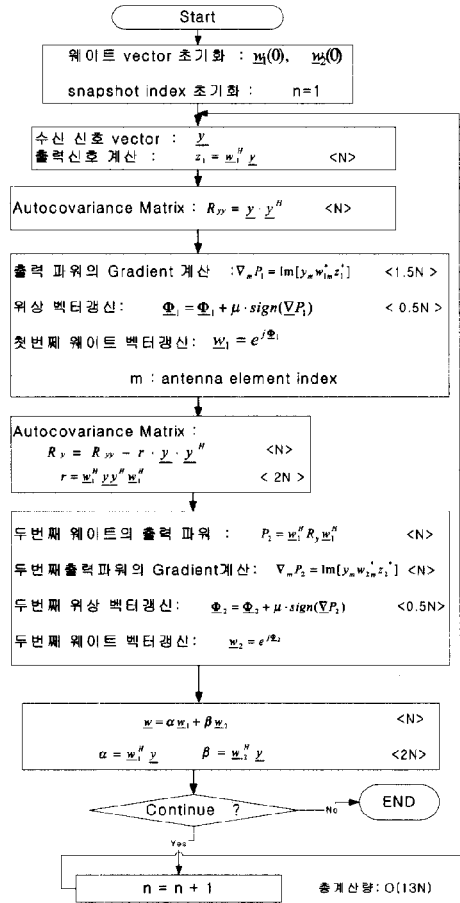


그림1. 제안 알고리즘(Gradient On-Off algorithm) 순서도  
Fig. 1. Flowchart of the proposed algorithm(Gradient On-Off algorithm)

그림3은 처리이득이 64인 경우의 BER을 나타내는 것으로 그림2와 마찬가지로 각도퍼짐이 크면 클수록 기존방법과 제안한 방법의 차이가 현저히 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 각도퍼짐이 존재할 때 기존방법은 최대 고유치에 해당한 고유벡터 하나만 구하지만 제안한 방법은 최대 고유치 두개 해당한 고유벡터를 구하므로 더욱 정확한 웨이트 벡터를 계산하기 때문이다.

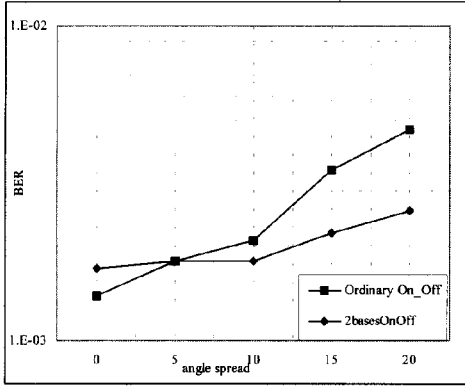


그림2. 파일럿 처리이득이 256일 때의 BER 성능  
Fig.2. BER performance when Pilot Processing Gain is 256

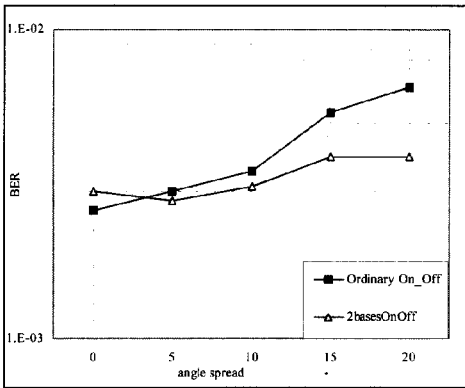


그림 3. 파일럿 처리이득이 64일 때의 BER 성능  
Fig.3. BER performance when Pilot Processing Gain is 64

그림4에서는 낮은 파일럿 처리이득(PG=16)일 때의 BER 곡선으로, 그림에서 보이듯이 처리이득이 낮은 신호 환경하에서도 각도퍼짐이 크면 클수록 제안한 방법이 더욱 좋은 성능이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그림5와 그림6은 2개의 경로가 존재 할 경우의 기존의 빔형성 방법과 본 논문의 빔형성 방법의 BER 곡선을 나타내고 있다. 그림5와 그림6에서 볼 수 있듯이 2개의 경로가 존재할 경우에도 각도퍼짐이 증가함에 따라 본 논문의 그래디언트 온-오프 알고리즘이 기존의 방법에 비해 각도퍼짐이 증가함에 따라 우수한 성능을 나타낼을 알 수 있다.

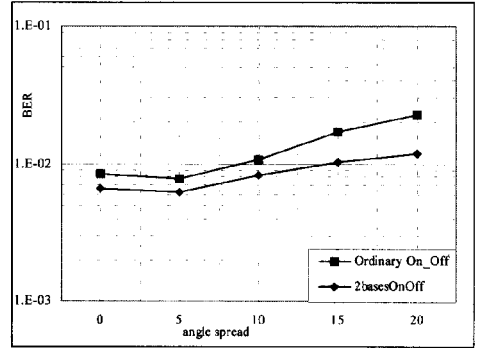


그림. 4. 파일럿 처리이득이 16일 때의 BER 성능  
Fig. 4. BER performance when Pilot Processing Gain is 16

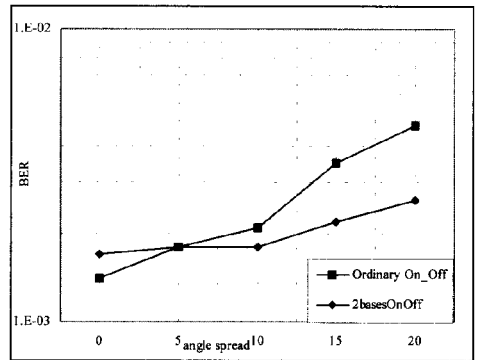


그림 5. 파워 비율이 같을(PG=256)때의 BER 성능  
Fig.5. BER performance when Power ratio is equal(PG=256)

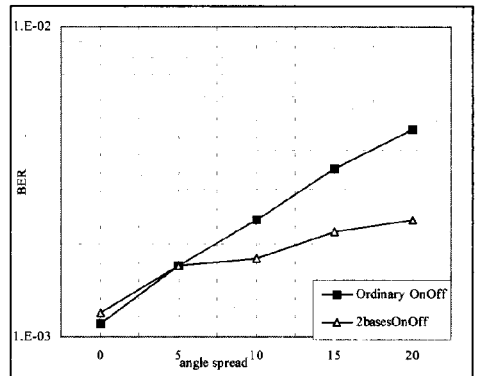


그림 6. 파워비율이 1:9(PG = 256)일 때의 BER 성능  
Fig.6. BER performance analysis when Power ratio is 1:9(PG=256)

그림7와 그림8에서 사용자의 수가 증가함에 따른

성능 분석 곡선을 나타내고 있다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 각도퍼짐이  $10^0$  정도로 그리 크지 않은 경우에는 사용자수에 따른 성능향상이 그리 크지 않으나, 각도퍼짐이  $20^0$ 로 커진 경우에 있어서는 기존의 그라디언트 온-오프 알고리즘에 비해 우수한 성능을 나타낼을 알 수 있다.

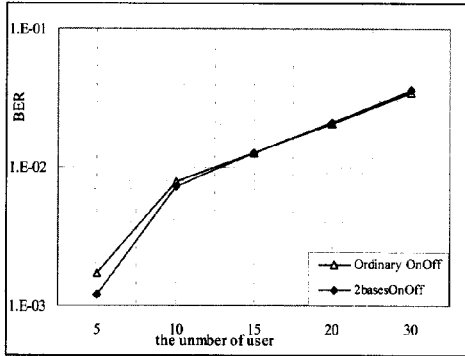


그림 7. 각도퍼짐이  $10^0$ (PG=256)일 때의 BER 성능  
Fig.7. BER performance when angular spread is  $10^0$ (PG=256)

섭+잡음비(SINR : Signal to Interference plus Noise Ratio)을 최대화 하는 Generalized 온-오프 알고리즘 모두 하나의 최대 고유값에 해당하는 고유벡터를 빔형성 웨이트 벡터로 사용하기 때문에 그림 11과 같이 각도퍼짐이 증가함에 따라 성능이 크게 감퇴됨을 알 수 있다.

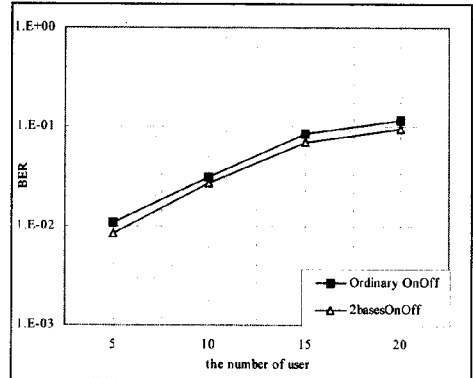


그림 9. 각도퍼짐이  $10^0$ (PG=16)일 때의 BER 성능  
Fig.9. BER performance when angular spread is  $10^0$ (PG=16)

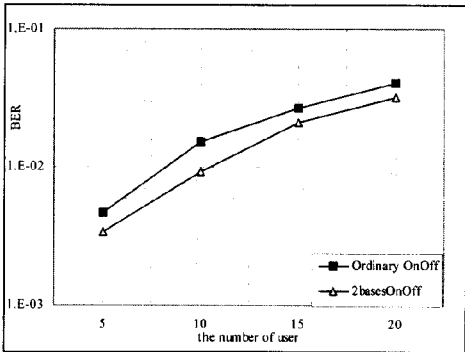


그림 8. 각도퍼짐이  $20^0$ (PG=256)일 때의 BER 성능  
Fig.8. BER performance when angular spread is  $20^0$ (PG=256)

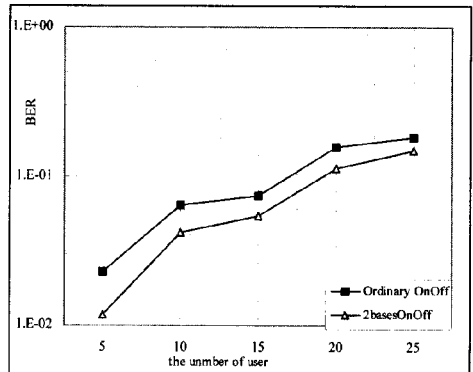


그림 10. 각도퍼짐이  $20^0$ (PG=16)일 때의 BER 성능  
Fig.10. BER performance when angular spread is  $20^0$ (PG=16)

그림 9,10은 사용자수가 증가할 때 처리이득이 16인 경우의 성능을 나타낸 것으로 처리이득이 256인 경우에서와 같이 각도퍼짐이 증가할수록 기존의 방법에 비해 본 논문에서 제안한 그라디언트 온-오프 알고리즘의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 11은 처리이득이 256일때 기존 Ordinary 온-오프 알고리즘과 Generalized 온-오프 알고리즘[13]의 성능을 나타내고 있다. 수신된 배열 안테나 출력의 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)를 최대화하는 Ordinary 온-오프알고리즘과 신호대 간

그러나 Ordinary 온-오프 알고리즘에 비해 Generalized 온-오프 알고리즘은 SINR을 최대화하기 때문에 약간의 성능 향상을 얻을 수 있으나, 약  $10^0$  이상의 각도퍼짐이 존재하는 상황에서는 고유공간 방법에 근간한 방법이 성능이 더 우수함을 할 수 있다.

그림12는 처리이득이 16 (각도퍼짐 :  $20^0$ )일때 Ordinary 온-오프 알고리즘과 기존에 많이 알려져 있는 Power Method를 본 논문의 방법과 비교한 것

이다. 그림에서 볼 수 있듯이 SNR이 증가함에 따라 전체적으로 성능이 개선되며 본 논문에서 제안한 방법이 Ordinary 온-오프 알고리즘과 기존 Power Method보다 각도퍼짐이 존재 할 때 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

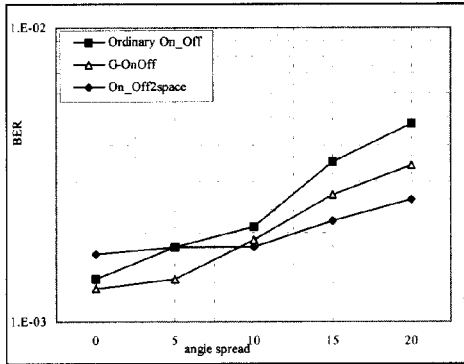


그림 11. 처리이득이 PG=256일 때의 BER 성능  
Fig.11. BER performance when Processing Gain is 256.

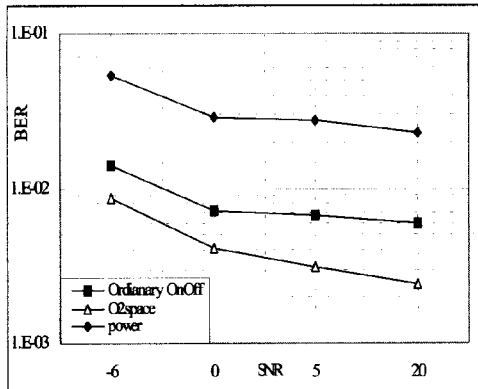


그림 12. SNR 따른 Power Method과의 BER 비교성능(PG=64)  
Fig.12. BER performance with Power Method(PG=64)

### V. 결론

본 논문에서는 그래디언트 온-오프 알고리즘을 근간으로 고유공간 방법 이용하는 빔형성 알고리즘을 제시하였으며, 최적의 빔형성 웨이트 벡터를 만들기 위해 그래디언트 온-오프 알고리즘을 이용하여 2개의 고유벡터의 선형결합으로 웨이트 벡터를 구하는 새로운 방법을 제시하였다. 본 제안 방법은 하나의 고유벡터를 이용한 온-오프방법보다 각도퍼짐이 커

지는 환경에서 상대적으로 성능이 우수하다는 것이 판명되었다. 또한 온-오프 알고리즘을 이용하여 웨이트 벡터를 구하는 본 제안 방법은 기존의 방법보다 계산량이 줄어들어 고속의 DSP를 이용한 실시간 처리[11]가 가능하게 되어 그 우수성을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] S. Ahn and S. Choi "An Adaptive Beamforming Algorithm with a Linear Complexity for a Multipath Fading CDMA Channel", *IEICE, Trans. on Communication*, Vol.E84-B, no.8, pp.2317-2320, Aug. 2001.
- [2] S. Choi and D. Shim, "A Novel Adaptation Beamforming Algorithm for a Smart Antenna System in a CDMA Mobile Communication Environment", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol.49, no.5, pp.1795-1799, Sep., 2000.
- [3] A. F. Naguib, Adaptive Antennas for CDMA Wireless Networks, Ph.D. Dissertation, Stanford Univ., 1996.
- [4] A. J. Paulraj and C. B. Papadias, "Space-Time Processing for Wireless Communications", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 14, No. 6, pp. 49-83, Nov. 1997.
- [5] S. Kwon, I. Oh, S. Choi, K. Lee, and K. Lee, "A smart antenna system based on the extreme eigen-solution for a wideband CDMA channel", *10th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sept. 12-15, 1999.
- [6] Howard Anton, Elementary Linear Algebra, John Wiley & Sons, 1982.
- [7] J.H. Winters, "Smart antennas for wireless systems", *IEEE Person. Commun. Mag.*, pp.23-27, February 1998.
- [8] J.G. Proakis and J.H. Miller, "An adaptive receiver for digital signaling through channels with intersymbol interference", *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. IT-15, July 1969.
- [9] S. Sampei, Application of digital Wireless



Technologies to Global Wireless Communications, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, N.J, 1997.

- [10] J.S.Lee and L.E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Archtech House, 1998.
- [11] H.Im, W. Hwang, S. Choi and H. Kim, "Performance analysis of a smart antenna system utilizing a test-bed implemented on a DSP board", APMC2000, Australia, 2000.
- [12] J.Choi and S. Choi, "Diversity gain in antenna arrays and its use in CDMA systems equipped with antenna arrays", *IEEE Tr. Veh. Tech.*, Vol.52, pp.72-723, May, 2003.
- [13] Z.Li, S. Ahn, S.Choi "Performance Analysis of a Generalized On-Off Algorithm for Smart Antenna System in IS2000 1X Signal Environment", *IEICE trans. Communication*, Vol.E85-B. No. 11, pp2547-2550, Nov. 2002

이 정 자(Zheng-Zi Li)

정회원



1993년 9월 : 중국 연변과학  
기술대학교 전자 전산학과  
(공학사)  
1998년 2월 : 한양대학교 전  
자 통신공학과(공학석사)  
2000년 2월~현재 : 한양대학  
교 전자통신전파공학과 박사

과정 수료

<주관심분야> 스마트 안테나, SDR, 이동통신

이 원 철(Weon-Cheol Lee)

정회원



1992년 2월 : 한양대학교 전자  
통신공학과 (공학사)  
1994년 2월 : 한양대학교 전자  
통신공학과(공학석사)  
1994년 1월~2001년 2월 : LG  
전자 연구소  
2001년 3월 ~ 현재 : 용인송

남대학 정보통신과 교수

2001년 9월~현재 : 한양대학교 전자통신전파공학과  
박사과정 수료

<주관심분야> 통신신호처리, 스마트 안테나 시스템,  
디지털 방송 기술

최 승 원(Seung-Won Choi)

정회원



1980년 2월 : 한양대학교 전자  
공학과 (공학사)  
1982년 2월 : 서울대학교 전자  
공학과 (공학석사)  
1985년 12월 : Syracuse Univ  
전기 및 전산과(공학석사)  
1988년 12월 : Syracuse Univ.

전기 및 전산과 (공학박사)

1992년 8월~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학  
과 교수

<주관심분야> 스마트 안테나 시스템, 디지털 통신,  
DSP 응용