

# 시스토크 어레이 구조를 갖는 최소분산 비왜곡응답 및 최소자승 회귀 빔형성기법 성능 분석

## Performance Analysis of MVDR and RLS Beamforming Using Systolic Array Structure

이 호 중\*, 서 상 우\*, 이 원 철\*  
(Ho-Joong Lee\*, Sang-Woo Seo\*, Won-Cheol Lee\*)

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부

(접수일자: 2002년 6월 11일; 수정일자: 2002년 8월 26일; 채택일자: 2002년 12월 16일)

본 논문에서는 시스토크 어레이 구조를 갖는 선택적 최소분산 비왜곡응답 (MVDR) 및 최소자승 회귀기법 (RLS) 빔형성기법에 대한 성능 분석을 하였다. 원하는 사용자 신호와 잡음을 포함한 스냅샷 벡터들이 어레이 안테나에 입사되는 경우, 수신 신호의 품질을 향상시키기 위해서 MVDR 및 RLS 알고리즘을 이용한 빔형성기법이 적용될 수 있다. 이를 통해 채널 용량을 증가시키기 위해 각 안테나 소자의 출력에 복소 가중치를 곱하여 원하는 사용자 신호방향으로 안테나의 빔을 형성하도록 하여 원하는 신호의 다중경로 성분들은 강조하고, 간섭 성분들의 입사 방향으로는 널을 발생시켜 다중간섭과 잡음에 대한 전력을 상대적으로 감소시키는 공간필터링 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 공간 필터 역할을 하는 MVDR 기법과 RLS 기법을 병렬처리를 통해 수행할 수 있는 시스토크 어레이 구조의 MVDR 및 RLS 빔형성기법에 대하여 소개하며, 이를 다중 경로와 다중 접속 간섭이 존재하는 채널 환경에 적용하여 수신 성능을 분석하였다. 컴퓨터 모의 실험을 통하여 제안된 시스토크 어레이 구조의 빔 형성기법을 적용한 공간필터의 우수성을 보여주기 위해 사용자 증가에 따른 BER (Bit Error Rate) 곡선과 빔패턴을 제시하였고, 기대치와 실험치가 잘 부합됨을 확인하였다.

**핵심용어:** 빔형성기법, 최소분산 비왜곡응답, 최소자승 회귀기법, 시스토크 어레이 구조

**투고분야:** 음향 통신기술 분야 (6.3)

This paper analyses the performance of either the minimum variance distortionless response (MVDR) or the recursive least square (RLS) beamformer structured on the systolic array. Provided that the snapshot vector including the desired user's signal and the interferences with the noise is received at the array antenna. In order to improve the quality of received signal, MVDR or RLS algorithm can be utilized to update the beamformer weights recursively. Furthermore to increase the channel capacity, by the usage of the above schemes, the effect of the spatial filtering can be obtained which constructively combining multipath components corresponding to the desired user whereas the multiple access interferences (MAI) is nulled out on spatial domain. This paper introduces the MVDR and RLS beamformer structured on systolic array conducting the spatial filtering, and its performance under the multipath fading channel in the presence of multiple access interferences will be analyzed. To show the superior spatial filtering performances of the proposed scheme employing the systolic array structured beamformer, the computer simulations are carried out. And the validity of practical deployment of the proposed scheme will be confirmed throughout showing the BER behaviors and the beampatterns.

**Keywords:** Beamforming, MVDR, RLS, Systolic array structure

**ASK subject classification:** Acoustic communication (6.3)

✉ 임저자: 이호중 (wlee@saint.ssu.ac.kr)  
136-743 서울시 동작구 상도동 1-1  
숭실대학교 정보통신전자공학부  
(전화: 02-6333-4200; 팩스: 02-6333-4220)

## I. 서론

이동 통신 시스템의 사용자가 증가함에 따라 기존의 코드분할다중접속 방식을 채용한 이동통신 시스템은 용량이 포화에 이르게 되었으며, 제한된 스펙트럼의 사용 효율을 극대화하기 위해 최대의 시스템 용량을 얻을 수 있는 수신기법에 대한 연구가 진행되고 있다[1]. 또한 무선 통신 시스템의 수요 증가는 점차 가입자나 운전자, 제조업체 모두에게 고품질, 고용량의 서비스를 요구하며, 다양한 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 하고있다. 따라서 향후 광대역 코드분할다중접속 시스템에서는 원하는 사용자 신호성분의 전력은 최대화하고 간섭신호 및 주변잡음 신호성분의 전력은 최소화함으로써 시스템 용량 증가 및 수신신호의 에러발생 확률을 낮추는 고성능 무선 이동통신 시스템의 수신 신호처리 알고리즘이 요구된다. 이러한 요구 사항을 해결하고 고품질, 고속 데이터 전송 실현을 위해 제안되고 있는 기술 중 하나가 스마트 안테나 기술이다. 빔형성기 기술은 적응 배열 안테나(Adaptive Array Antenna)를 이용한 기술로서 무선 이동통신 시스템 상에서 기지국과 각 가입자간에 송수신 특성을 통신이 이루어지는 방향으로서는 이득을 최대화하고 여타의 방향으로서는 이득을 최소화함으로써 움직이는 가입자에 따라서 최적의 빔패턴을 조정하여 통신 파라미터를 최적화 함으로서 통신품질의 향상과 용량을 증가시킬 수 있다. 본 논문은 스마트 안테나 시스템의 빔형성기에서 사용되는 가중벡터를 갱신하기 위해서 배열 안테나에 입사되는 스핀샷 벡터들을 이용하는 시스토크 구조의 MVDR 및 RLS 알고리즘을 기반으로 한 적응 빔형성기를 소개한다. 여기서 MVDR 및 RLS 빔형성기는 각 안테나 소자의 출력에 복소 가중치를 곱하여 원하는 사용자의 신호방향으로 안테나의 빔을 형성하도록 하고 간섭 성분들의 입사 방향들로의 널을 발생시키는 공간 필터링 효과를 사용한 것이다[2]. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 안테나 어레이의 입사신호 모델링을 소개하고 3장에서는 최소분산 비왜곡응답을 4장에서는 학습을 위한 파일릿 심볼들을 기반으로 한 최소자승 회귀기법을 이용하여 최적 가중치 계산 방법에 관하여 기술한다. 마지막으로 모의 실험과 결론으로써 코드분할다중접속 시스템을 기본으로 다중경로 페이딩 채널과 다중 사용자 접속간섭이 존재하는 상황에서 제안된 적응 빔형성 기법 성능을 분석하였다.

## II. 안테나 어레이를 이용한 입사신호 모델링

셀 내에 실제  $k$ 명의 사용자가 존재하고 각 사용자가  $M$ 개의 센서가 배열되어 있는 기지국으로 자신의 신호를 송신할 경우 배열 센서상의 입사 신호들은 다음과 같은 벡터 형태로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^{L_k} a_{k,p} e^{j\phi_{k,p}} s_k(t - \tau_{k,p}) \mathbf{a}(\theta_{k,p}) + \mathbf{n}(t), s_k(t) = b_k(t) c_k(t) \quad (1)$$

식 (1)에서  $s_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자에게 신호이며, 이의 시간 지연  $[\tau_{k,p}]_{p=1}^{L_k}$ 은 분별 가능한  $L_k$  시간지연 값들이며 포아송 (poisson) 분포를 갖는다. 또한  $b_k(t)$ 는  $k$ 번째 사용자의 비트 정보이며,  $c_k(t)$ 는 대역 확산 신호를 나타낸다. 식 (1)에서 안테나 배열에  $M$ 개의 센서가 전개되었다면 이에 상응하는  $k$ 번째 사용자에게 대한 방향벡터는 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$\mathbf{a}(\theta_{k,p}) = \begin{bmatrix} 1 & e^{-j \frac{w_0 d \sin \theta_{k,p}}{c}} & e^{-j \frac{2w_0 d \sin \theta_{k,p}}{c}} \\ \dots & e^{-j \frac{(M-1)w_0 d \sin \theta_{k,p}}{c}} \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

여기서  $w_0$ 는 반송 주파수이고  $d$ 는 인접한 센서간의 간격이며  $c$ 는 전파의 전달 속도이다. 그리고  $\theta_{k,p}$ 는  $k$ 번째 사용자 신호의  $p$ 번째 경로의 입사각이다.  $k$ 번째 사용자의  $p$ 번째 다중경로 성분에 해당하는 복소 페이딩 계수  $a_{k,p}$ 는 레일리 (Rayleigh) 분포를 갖고, 위상  $\phi_{k,p}$ 는 균일한 확률특성을 갖는다. 이 때 본 논문에서는 원하는 사용자를 첫 번째 사용자로 고려하고 시간 지연  $\tau_{l,i}$ ,  $l=1K, L$ ,는 완벽하게 알고 있는 것으로 가정하였다. 또한 각 사용자에게 해당하는 지연시간 수는 모두 동일하다고 가정한다. 즉  $L_1=L_2=\dots=L_k=L$ . 수신단의  $M$ 개의 병렬 상관기를 통과한 후,  $M$ 개의 출력벡터  $\mathbf{y}_{1,m}(t)$ ,  $m=1 \rightarrow M$ 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y}_{1,m}(t) = [y_{1,m,1}(n) \dots y_{1,m,L}(n)] \quad (3)$$

여기서 첫번째 성분은  $n-1$ 번째 심볼 주기동안 센서의 출력과 첫번째 사용자에게 할당된 첫번째 다중경로 지연시간이 고려된 의사잡음(PN) 시퀀스 사이의 상관출력이다.

$$\begin{aligned} y_{1,m,1}(n) &= \frac{1}{\sqrt{T_b}} \int_{(n-1)T_b + \tau_{1,1}}^{nT_b + \tau_{1,1}} x_m(t) c_1^*(t - \tau_{1,1}) dt \\ &= \sqrt{T_b} a_{1,1} e^{j\phi_{1,1}} b_1(n) a_m(\theta_{1,1}) + i_{m,1,1}(n) \\ &\quad + n_{m,1,1}(n) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서  $T_b$ 는 비트구간을 나타내며,  $a_m(\theta_{1,l})$ 은 원하는 사용자의 첫번째 다중경로 입사 방향 ( $\theta_{1,l}$ )에 대한  $m$ 번째 센서의 복소응답 값이다. 식 (4)에서 잡음성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n_{m,1,l}(n) = \frac{1}{\sqrt{T_b}} \int_{(n-1)T_b+\tau_{1,l}}^{nT_b+\tau_{1,l}} n_m(t) c_1^*(t-\tau_{1,l}) dt \quad (5)$$

위의 식에서 잡음성분은 평균이 0이고 분산이  $\sigma_n^2$ 인 복소 가우시안 랜덤프로세스이다.

### III. 시스트릭 어레이 구조의 최소분산 비외곽응답 기법

그림 1은 시스트릭 어레이 구조를 갖는 MVDR 및 RLS 빔형성 처리과정을 나타낸다. 본 논문에서는 기준신호로 사용될 수 있는 파일럿 시퀀스가 존재하는 부분에서는 RLS 빔형성 기법을 이용하고, 기준신호가 없는 경우에는 추정된 원하는 사용자의 방향벡터를 이용하는 블라인드 방식의 MVDR 빔형성 기법을 적용한다. 이를 위해 본 장에서는 먼저 MVDR 기법을 이용한 빔형성 기법에 대하여 설명한다.

시스트릭 어레이 구조를 사용한 최소분산 비외곽응답 공간필터 구조는 바운더리 (Boundary) 셀과 인터널

(Internal) 셀로 이루어져 있으며, 마지막 인터널 셀에서 오차신호  $e(n)$ 이 출력된다[3]. 이 때 오차신호  $e(n)$ 은 결국 최소분산 비외곽응답 빔형성기 출력 벡터  $y(n)$ 의 가장 첫번째 값과 동일하다고 볼 수 있다[3].

$$y(n) = X(n) w(n) \quad (6)$$

식 (6)에서 스냅샷 벡터 행렬  $x(n)$ 은 chip rate의 어레이 출력 신호 샘플들로 구성되는  $n$ 개의  $M \times 1$ 행 벡터로 표현되고 다음과 같다.

$$X(n) = \begin{bmatrix} x_1(t_1) & x_2(t_1) & \dots & x_M(t_1) \\ x_1(t_2) & x_2(t_2) & \dots & x_M(t_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(t_n) & x_2(t_n) & \dots & x_M(t_n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

아래 식 (8)과 식 (9)는 각각 원하는 사용자의  $l$ 번째 다중경로를 위한 안테나 가중치 벡터와 빔형성 출력 벡터이며, 윗 첨자 T는 전치 행렬을 의미한다.

$$w_{l,l}^T(n) = [w_1^{l,l}(t_n) \ w_2^{l,l}(t_n) \ \dots \ w_M^{l,l}(t_n)] \quad (8)$$

$$y_{l,l}^T(n) = [y(n) \ y(n-1) \ \dots \ y(n-m+1)] \quad (9)$$

최소분산 비외곽응답 알고리즘은 출력 신호의 크기를 일정하게 유지하면서 간섭 신호와 잡음 성분을 최소화 시킴으로써 원하는 사용자의 신호성분을 강조시키는 방법으로 빔형성기의 출력 신호 전력  $p(w)$ 는 다음 식

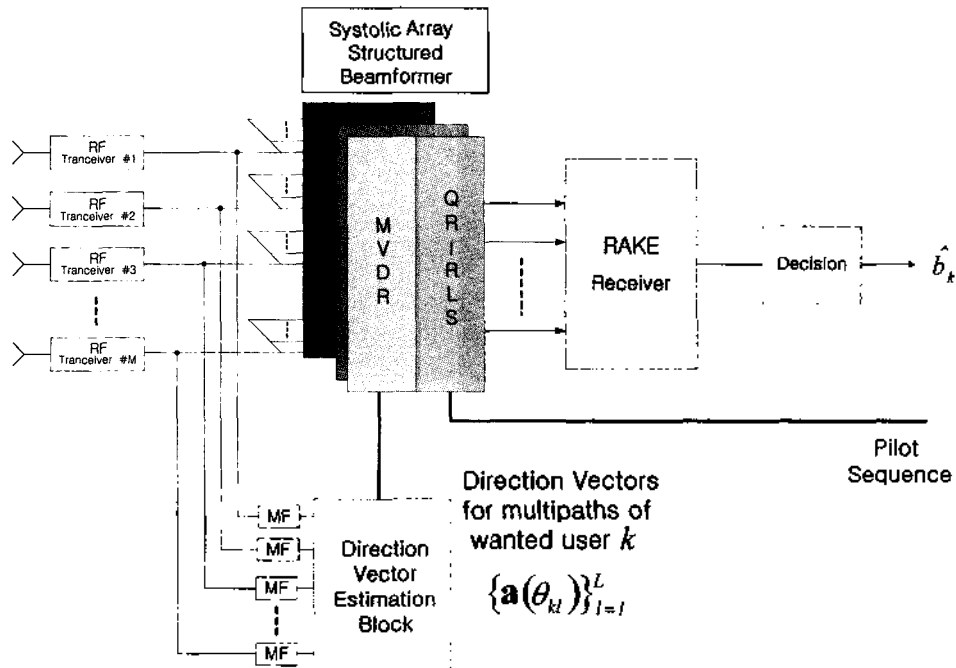


그림 1. 시스트릭 어레이 구조를 이용한 MVDR / RLS 빔형성 처리과정  
Fig. 1. Processing of MVDR/RLS beamforming using systolic array structure.

(10)과 같이 표현될 수 있다.

$$p(\mathbf{w}) = E[\mathbf{y}_{1,i}(t_n) \cdot \mathbf{y}_{1,i}^H(t_n)] = \mathbf{w}_{1,i}^H \mathbf{R}_x \mathbf{w}_{1,i} \quad (10)$$

식 (10)에서  $H$ 는 공액복소 전치행렬을 위한 연산자이며,  $\mathbf{R}_x$ 는  $t_n$ 에서 추정된 chip 레벨의 어레이 출력 벡터에 대한 공간 상호 상관 행렬이다. 그리고 라그랑제 곱셈기 (Lagrange multipliers)를 이용하여 얻을 수 있는 최적의 가중치 벡터는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{w}_{1,i}^{opt}(n) = \frac{\mathbf{R}_x^{-1}(n) \mathbf{a}(\theta_{1,i})}{\mathbf{a}^H(\theta_{1,i}) \mathbf{R}_x^{-1}(n) \mathbf{a}(\theta_{1,i})} \quad (11)$$

위의 식에서  $\mathbf{a}(\theta_{1,i})$ 은 원하는 사용자의  $i$ 번째 다중 경로 성분 입사각에 대한 방향 벡터이며, 최소분산 비외 곡응답 기법의 제한 조건을 위해 사용된다. 식 (11)에서 볼 수 있듯이 원하는 사용자의  $i$ 번째 다중 경로를 위한 최적의 안테나 가중치 벡터 계산에 필요한 추정된 공간 상호 상관 행렬  $\mathbf{R}_x(n)$ 의 역행렬과 원하는 사용자의  $i$ 번째 다중경로에 대한 방향 벡터로 계산됨을 알 수 있다. 이후  $i$ 개의 다중경로 성분들에 대한 빔형성 출력들은 레이크 (Rake) 수신단의 입력으로 사용된다.

#### IV. 시스토크 어레이 구조를 이용한 최소자승 회기 (RLS) 빔형성 기법

기지국 시스템상에서 역방향 링크에 제공되는 사용자의 파일럿 신호를 기준신호로 사용하는 RLS 빔형성을 위한 최적의 계수벡터는 이론적으로 다음과 같이 표현된다[3].

$$\mathbf{w}_{k,i}(n) = \mathbf{R}_x^{-1}(n) \mathbf{r}_{k,i}(n) \quad (12)$$

식 (12)에서  $\mathbf{w}_{k,i}(n)$ 는  $k$ 번째 사용자의  $i$ 번째 다중 경로 성분에 대한 빔형성기의 최적 가중 벡터이며,  $\mathbf{R}_x(n)$ 는 배열 안테나에 입사되는 스냅샷 벡터의 공간 상관 행렬이며  $\mathbf{r}_{k,i}$ 는 기준신호로 사용되는  $k$ 번째 사용자의  $i$ 번째 다중 경로 지연 시간이 고려된 칩 레벨의 확산된 파일럿 시퀀스와 배열 안테나 입사신호 벡터간의 상호상관 벡터이다. 식 (12)에서 알 수 있듯이 최적 가중치 벡터를 계산하기 위해서는 스냅샷 벡터의 상호 상관 행렬의 역행렬 계산이 필수적이며, 표본화된 기저대역 성분의 스냅샷 벡터들을 사용하여 공간상관 행렬을 반복적으로 추정하는 과정이 필수적이며 관련 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\mathbf{R}}_x(n) = \hat{\mathbf{R}}_x(n-1) + \mathbf{x}(n)\mathbf{x}^H(n) \quad (13)$$

식 (13)에서  $\mathbf{x}(n)$ 은  $n$ 번째 스냅샷 벡터이고, 추정된 공간 상관 행렬에 대한 역행렬을 이용하여 스냅샷 단위로 반복적으로 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\mathbf{R}}_x^{-1}(n) = \lambda^{-1} \hat{\mathbf{R}}_x^{-1}(n-1) - \lambda^{-1} \mathbf{k}(n)\mathbf{x}^H(n) \hat{\mathbf{R}}_x^{-1}(n-1) \quad (14)$$

식 (14)에서  $\mathbf{k}(n)$ 은 칼만 (Kalman) 이득 벡터이며,  $\lambda$ 는 망각인자이다. 또한 이와 더불어 칼만 필터 기법을 응용한 확장된 QR 분해방법을 이용한 최소자승 회귀 방법을 이용하여 공간 상호 상관행렬을 반복적으로 구할 수 있으며 식 (15)는 이에 대한 관계식을 나타낸다.[3]

$$\begin{bmatrix} \lambda^{1/2} \hat{\mathbf{R}}_x^{-1/2}(n-1) & \mathbf{x}(n) \\ \lambda^{1/2} \mathbf{P}^H(n-1) & d_{k,i}(n) \\ \sigma^2 & 1 \\ \lambda^{1/2} \hat{\mathbf{R}}_x^{-1/2}(n-1) & 0 \end{bmatrix} \Theta(n) = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{R}}_x^{1/2}(n) & 0 \\ \mathbf{P}^H(n) & \xi(n)\gamma^{1/2}(n) \\ \mathbf{x}^H(n)\hat{\mathbf{R}}_x^{-1/2}(n) & \gamma^{1/2}(n) \\ \hat{\mathbf{R}}_x^{-1/2}(n) & -\mathbf{k}(n)\gamma^{-1/2}(n) \end{bmatrix} \quad (15)$$

식 (15)에서  $\xi(n)$ 은 기준신호  $n-1$ 번째 스냅샷 벡터로부터 계산된 빔형성기의 가중벡터와  $n$ 번째 스냅샷 입력벡터를 이용하여 추정된 기준신호와의 오차신호를 나타내며, 이를 전오차신호 (priori error)라고 한다.  $\gamma(n)$ 은 전오차신호와 후오차신호, 즉 기준신호와  $n$ 번째 스냅샷 벡터로부터 계산된 빔형성기의 가중벡터와  $n$ 번째 스냅샷 입력벡터를 이용하여 추정된 기준신호와의 오차신호  $e(n)$ 간의 비를 나타낸다. 또한  $\Theta(n)$ 는 다단계 Given's Rotation을 수행한 후 최종적으로 나타나는 unitary 특성을 갖는 변환 행렬이다. 이후 시스토크 어레이 구조로 매 스냅샷마다 갱신되는 식 (15)상의 값들을 사용하여, QR-RLS 빔형성 안테나 가중 벡터들을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\mathbf{w}_{k,i}(n) = \mathbf{w}_{k,i}(n-1) + (\mathbf{k}(n)\gamma^{-1/2}(n))(\xi(n)\gamma^{-1/2}(n))^* \quad (16)$$

#### V. 모의실험 및 고찰

본 모의실험에서는 3GPP에서 제안된 W-CDMA 역방향 링크의 송신단 구조[4]를 이용하였으며, 사용자를 구별하는 롱 스크램블링 코드 (Long Scrambling code)를 사용하였다. 무선 다중 경로 페이딩 채널을 모의실험하기 위해서 복소 페이딩 계수 감쇠 이득 값은 레일레이 분포를 갖고 위상 값은 균일한 분포를 갖도록 정하였다. 수신단에서 선형적으로 분포된 안테나 배열들의 안테나간 거리는

1/2이라고 정하였다. 각각의 수신된 신호들과 관련된 다중 경로 시간 지연들과 완벽한 채널추정에 의해 모든 사용자에 대응하는 다중경로 신호의 입사각은 완벽히 안다고 가정하였다. 모든 사용자에게 대한 송신전력은 '1'로 고정된 후 3개의 다중경로 신호 성분들과 COST231 - Hata 경로손실 모델을 적용하여 각각의 서로 다른 수신전력을 적용하였다[5]. 배열 안테나에 입사되는 각도는  $-60^\circ$ 에서  $60^\circ$ 의 범위로 균일하게 확산되어 있다고 가정하였다.

그림 2는 일반적인 최소분산 비왜곡응답 빔형성기법의 효과를 나타내기 위하여 사용자 3명의 다중경로 성분을 고려하지 않는 경우이며, 이때 원하는 사용자 경로는 입사각  $5^\circ$ , 간섭경로 입사각은 각각  $-34^\circ$ 와  $42^\circ$ 일 경우 굵은 실선의 빔패턴은 최소분산 비왜곡응답 기법을 적용한 경우로 최상의 기준치 벡터에 의해 원하는 사용자 경로 방향으로의 출력을 최대화시키고 간섭경로와 잡음 성

분이 포함된 원하지 않는 사용자 신호 성분들에 대해서는 출력 전력을 최소화한 경우이다. 가는 실선은 방향벡터의 공액복소 값들을 안테나가 중점으로 삼는 간단한 형태의 빔형성기를 이용한 CCDV (Complex Conjugate Directional vector) 방법에 의해 생성된 빔패턴이다.

그림 3은 매 샘플마다 페이딩 값이 변하는 빠른 페이딩 채널 환경에서 셀 내의 다중접속간섭을 고려하여 사용자 수 증가에 따른 원하는 사용자에 대한 BER을 나타내며, 이때 각 사용자에게 대한 다중경로수는 3개로 지정하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 셀 내에서 사용자의 수를 증가시키는 경우 공액복소수 방향벡터를 이용한 CCDV 성능보다 최소분산 비왜곡응답 알고리즘을 적용한 시스토릭 어레이 구조의 공간필터를 사용한 경우가 더 나은 성능을 보임을 알 수 있다. 이 때  $E_b/N_0$ 는 0 dB로 가정하였다.

그림 4는 다중경로를 고려하여 셀 내에 사용자 수 및

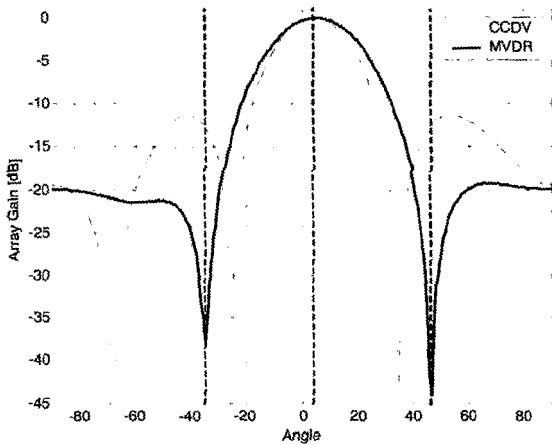


그림 2. MVDR 기반의 빔형성기의 빔패턴 특징  
Fig. 2. Beam-pattern character of Beamformer using MVDR.

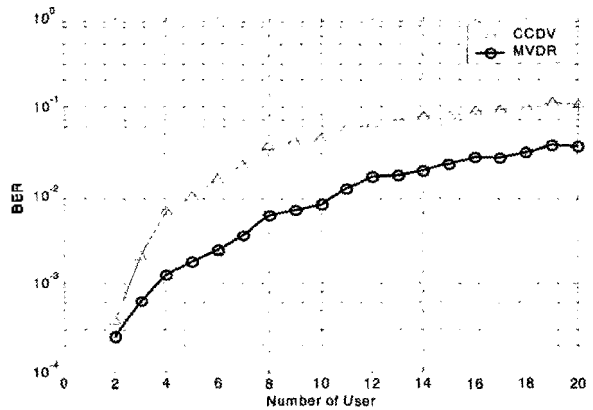


그림 3. MVDR 기반의 Systolic 어레이 구조를 이용한 경우의 BER  
Fig. 3. BER of MVDR using Systolic array structure.

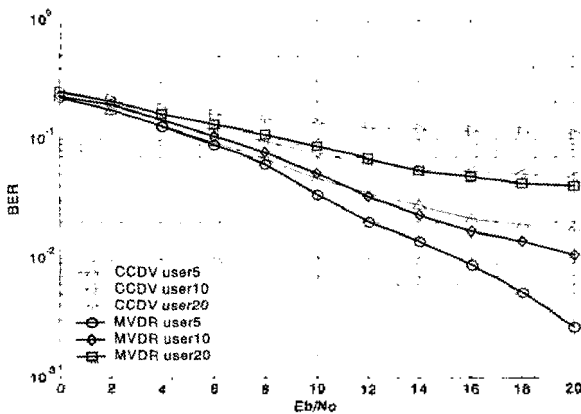


그림 4. MVDR과 CCDV 기법 적용시 사용자 수 및  $E_b/N_0$  증가에 대한 BER.  
Fig. 4. BER according to increased user and  $E_b/N_0$  using MVDR and CCDV techniques.

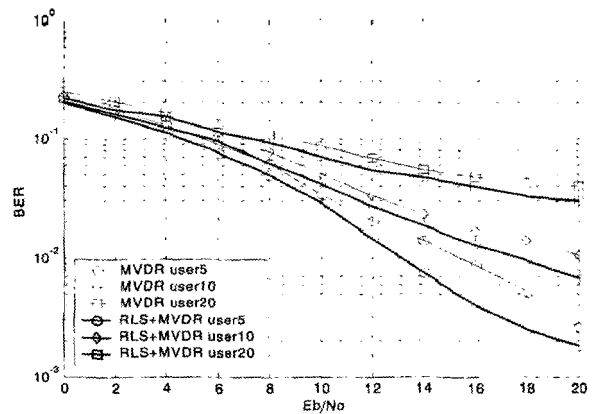


그림 5. MVDR과 RLS+MVDR기법 적용시  $E_b/N_0$  증가에 대한 BER  
Fig. 5. BER according to increased user and  $E_b/N_0$  using MVDR and RLS+MVDR techniques.

$E_b/N_0$ 를 증가시키면서 원하는 사용자에 대한 BER을 나타낸 것으로  $E_b/N_0$ 가 12 dB 이상일 경우 최소분산 비왜곡응답 기법을 적용한 시스토릭 어레이의 공간필터 구조가 공액복소수 방향벡터 기법보다 최소 4 dB이상의 성능을 개선시킴을 보인다.

마지막으로 그림 5는 파일럿 심볼을 사용하지 않는 최소분산 비왜곡응답 기법과 파일럿 심볼을 사용하는 최소자승 회귀기법을 함께 적용한 경우로써 최소분산 비왜곡응답 기법만을 적용했을 경우와 비교한 것이다. 여기서 볼 수 있듯이 두가지 기법을 파일럿 심볼의 유무에 따라서 선택적으로 적용시에 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 W-CDMA 역방향 링크에 포함되어 있는 파일럿 심볼과 채널 파라미터를 이용하여 다중경로와 다중 사용자의 신호에 대하여 최적의 공간필터를 적용하는 모의 실험 결과를 제시하였다. COST-231 HATA 모델을 기반으로한 다중경로 페이딩 채널과 다중 사용자 간섭신호가 존재하는 상황에서 기준신호를 사용하지 않은 최소분산 비왜곡응답 기법을 적용한 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 기존의 공액복소수 방향벡터 방법인 CCDV 기법보다 시스템 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 본 논문에서는 기준신호, 즉 파일럿 시퀀스의 유무에 따른 MVDR 및 RLS 빔형성기법을 복합적으로 응용하였을 경우 더욱 우수한 BER 성능을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 본 논문에서는 시스토릭 어레이 구조를 갖는 병렬처리 구조의 MVDR 및 RLS 공간필터를 제안하였으며, 이를 통해 빔 형성을 위한 계수 값들을 계산하는데 고속 병렬처리가 가능한 시스토릭 어레이 구조를 적용하므로써 구현시에 주문형 반도체 (ASIC)화가 용이하다는 장점을 갖게 될 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 논문은 2002년도 정보통신부 ITRC 사업의 지원 결과임.

## 참고 문헌

1. J. C. Liberti and T. S. Rappaport, Smart antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications, Prentice Hall, 1999.
2. A. F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity improvement with base station antenna arrays in cellular CDMA" *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 43, Issue: 3 Part: 1-2, 691-698, Aug. 1994.
3. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th ed, Prentice Hall, 2001.
4. 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, "Technical specification radio access network physical layer procedures," 3GPP TS 25.211 V3.9.0, Dec. 2001
5. L. Sankaranarayanan, "Wireless communication technologies," Lecture 01-26-00, Course (16:332:559), 2000.

## 저자 약력

### ● 이 호 중 (Ho-Joong Lee)



2002년 2월: 한국외국어대학교 정보통신공학과 공학사  
 2002년 3월 ~ 현재: 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정  
 ※ 주관심분야: 스마트 안테나, Adaptive Filter

### ● 서 상 우 (Sang-Woo Seo)



2000년 2월: 호서대학교 정보통신공학과 졸업  
 2002년 2월: 2002 숭실대학교 정보통신대학원 졸업  
 현재: VK CDMA Group S/W 연구원  
 ※ 주관심분야: Position Location, 스마트 안테나

### ● 이 원 철 (Won-Cheol Lee)

한국음향학회논문지 제21권 제3호 참조