

차세대 이동 통신 시스템에서 두 개의 빔형성 알고리즘을 이용한 최적의 출력값 선택

안 성 수* · 김 정 인* · 김 민 수**

Selective Beam-Forming Algorithms for Optimum Outputs of Next Generation Communication System

Ahn, Sung Soo · Kim Jung In · Kim, Min Soo

〈Abstract〉

The objective of this paper is to increase the performance by selecting the optimal value in outputs of two algorithms that are Generalized-Lagrange and LMS(Least Mean Square). This paper presents superior performance by mixed two of conventional algorithm arbitrary. Based on the analysis from various simulation, it is observed that proposed method is better performance in terms of practical WLL(Wireless Local Loop) environment.

Key Words : Beamforming, Generalized, Lagrange, LMS, WLL

I. 서론

일반적으로 빔형성은 파 필드(far field)에서 어레이에 입사하는 평면파를 어떤 특정한 방향으로는 큰 이득을 주고 다른 방향으로는 적은 이득을 주는 일종의 주파수 선별적인 시공(spatial-temporal) 필터링 작업이라고 할 수 있다. 지금까지 여러 종류의 적응 빔형성 방법들이 제시되어왔다. 그 중에서도 최적의 빔 패턴을 제공할 수 있는 스마트 안테나 시스템이란 방식이 연구되고 있다[1]. 일반 기지국의 수신 안테나는 보통 전방향 안테나(omnidirectional antenna)로 방향에 상관없이 일정한 이

득을 주도록 되어 있다. 그러나 본 논문에서 이용한 스마트 안테나 시스템은 배열 안테나를 사용하여 원하는 신호의 방향으로는 큰 이득을 주고 다른 방향으로는 상대적으로 작은 이득을 줌으로써 최적의 빔 패턴을 주는 기술을 말한다[2].

본 논문에서는 CDMA 이동 통신 환경[3]에서의 스마트 안테나 시스템을 이용하여 수신 신호의 자기상관 행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유 벡터를 이용하여 출력파워를 최대화하는 웨이트 벡터를 구한다. 즉, 신호 대 간섭과 잡음비(SINR)를 최대화하는 최적의 또는 준 최적의 웨이트 벡터를 구하는 블라인드 빔형성 알고리즘인 라그랑제 알고리즘[4][5]을 이용한다. 또한, 파일럿 신호나 초기 학습 심볼같은 미리 알고 있는 기준신호와 어레

* 명지전문대학 정보통신과

** 국방과학연구소 항공전자체계부

이 출력과의 오차신호의 제곱평균을 최소화하는 웨이트 벡터를 구하는 LMS 알고리즘[3]을 사용하여 최적의 출력값 선택방법을 제시한다.

여기서 사용하는 라그랑제 승수에 기초한 블라인드 빔형성 알고리즘은 계산량이 7.5N이다. 미리 알고 있는 신호를 이용한 LMS 알고리즘의 웨이트 벡터를 구하여 수신 신호에 적용되는 계산량이 4N으로 실제적 하드웨어 구현에 있어서 각각의 DSP로 병렬처리 된다. 따라서 계산량에 있어 문제가 되지 않고 최적의 출력값을 구하는데 이용할 수가 있다.

본 논문은 2장에서 WLL의 시스템 구조[6], 신호 모델링, 각 절에서 선형 어레이 안테나를 이용한 수신 시스템의 수학적 모델을 제시하고, 3장에서는 최적의 출력값 선택을 위한 4가지 알고리즘을 소개하며, 4장에서는 최적의 출력값 선택방법에 대한 성능분석을 수행하였으며 마지막으로 5장에서는 그 결과를 토대로 결론을 맺는다.

II. 신호 모델링

<그림1>에서와 같이 N개의 안테나가 반 파장씩 떨어져 등간격으로 배열되어 있는 선형 배열 안테나를 고려해 보자. 각각의 안테나 소자는 전 방향에 대해서 동일한 이득을 주는 등방성(omnidirectional)안테나라고 가정한다. 그리고, 신호원은 원거리신호인 평면파라고 역시 가정한다. 그러면, 수신 신호가 방향 θ 각도로 안테나 어레이에 입사하게 되면 두 안테나 소자간에 상대적인 시간 지연이 생긴다. 어레이 소자간 시간 지연 τ_k 는 다음과 같다[7][8].

$$\tau_k = \frac{d \sin \theta_k}{c} = \frac{\sin \theta_k}{2f_c} \quad (1)$$

여기서, c 는 파의 진행 속도, d 는 인접한 두 안테나 소자간의 간격으로 $\frac{\lambda}{2}$ 이고, f_c 는 송신 캐리어 주파수이다.

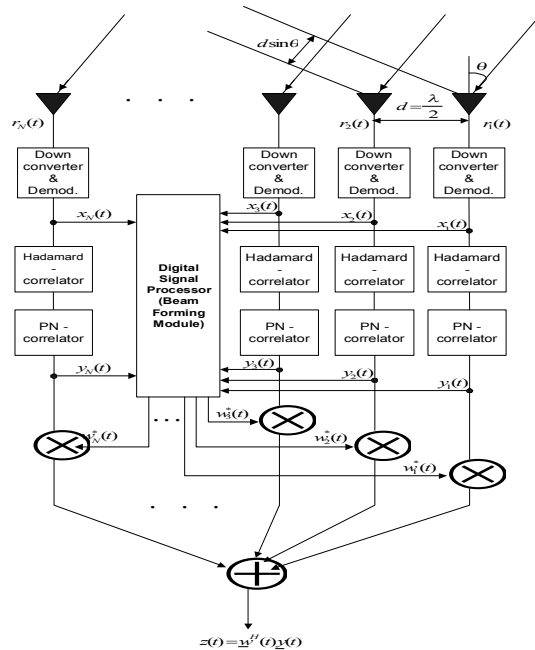
시간 지연으로 인접한 두 안테나 소자간에 위상의 차이가 생기는데 위상차는 다음과 같다.

$$\varphi_k = 2\pi f_c \tau = \pi \sin \theta_k \quad (2)$$

따라서, 기준 안테나로부터 m 번째 떨어진 안테나 어레이에 수신되는 신호는 식(3)과 같다[2].

$$y_m(t) = \sum_{k=1}^M s_k(t) e^{-j(m-1)\pi \sin \theta_k} + n_m(t) \quad (3)$$

여기서, $s_k(t)$ 는 k 번째 사용자 신호원으로부터 전송된 신호가 기준 안테나에서 수신된 값이고, θ_k 는 k 번째 신호원의 도달각이며, $n_m(t)$ 는 m 번째 안테나에 더해지는 열잡음으로 평균이 0인 백색 가우시안(AWGN)으로 고려한다. 식(3)에 다중경로에 의한 페이딩을 고려하여 적용하면 각 안테나에서의 k 번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같다.



<그림 1> 선형 배열 안테나의 수신 시스템

$$y_m(t) = \sum_{k=1}^M \left(\frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^L s_k(t - \tau_{ki}) e^{j2\pi(f_c \cos \phi_{ki} t - f_{ri})} e^{-j(m-1)\pi \sin \theta_{ki}} \right) + n_m(t)$$

$$\approx \sum_{k=1}^M s_k(t - \tau_0) \left(\frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^L e^{j2\pi(f_c \cos \phi_{ki} t - f_{ri})} e^{-j(m-1)\pi \sin \theta_{ki}} \right) + n_m(t) \quad (4)$$

여기서, L 은 다중경로의 수를, τ_{ki} 는 k 번째 신호에서 i 번째 경로의 시간 지연 정도를, f_d 는 도플러 주파수를, ϕ_{ki} 는 k 번째 신호에서 i 번째 경로의 방향을, 그리고 θ_{ki} 는 k 번째 신호에서 i 번째 경로의 각도 퍼짐(angle spread) 정도를 나타낸다. 식(4)에서 $s(t)$ 가 협대역 신호 라면 $s(t - \tau_{ki}) \approx s(t - \tau_0)$ 라고 할 수 있고, 식(4)의 마지막 항을 만족한다.

식(3)의 수신신호의 형태를 벡터 표현식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다[1].

$$\underline{y}(t) = A\underline{s}(t) + \underline{n}(t) \quad (5)$$

여기서, $\underline{y}(t)$ 와 $\underline{n}(t)$ 는 $N \times 1$ 인 벡터로 다음과 같다.

$$\underline{y}(t) = [y_1(t) y_2(t) \dots y_N(t)]^T \quad (6)$$

$$\underline{n}(t) = [n_1(t) n_2(t) \dots n_N(t)]^T \quad (7)$$

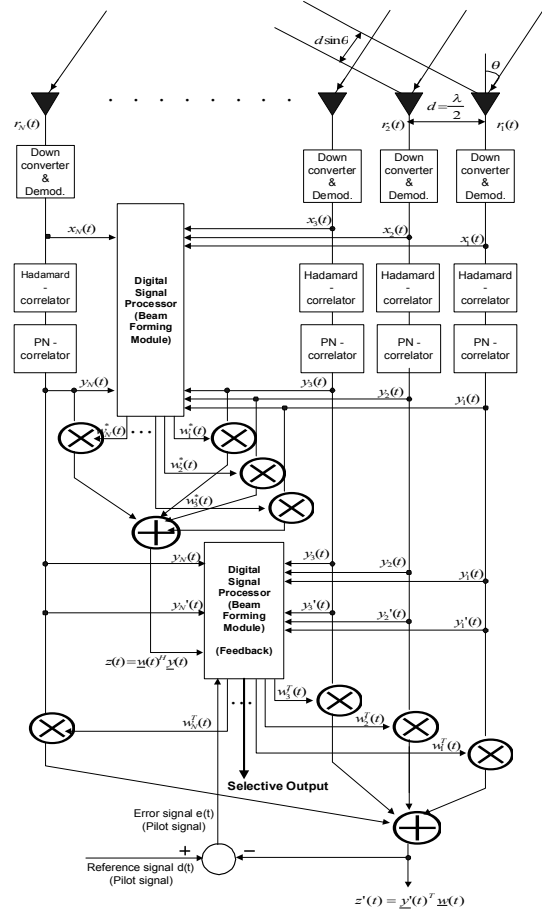
또한, 기준 안테나에서 수신되는 신호들로 구성된 $\underline{s}(t)$ 는 크기가 $M \times 1$ 으로서 식(8)과 같이 표현된다.

$$\underline{s}(t) = [s_1(t) s_2(t) \dots s_M(t)]^T \quad (8)$$

$N \times M$ 크기의 행렬 A 는 식(9)와 같이 각 신호의 방향벡터(steering vector)로 구성된다.

$$\underline{a}(\theta_k) = [1 \ e^{-j\pi \sin \theta_k} \dots e^{-j(n-1)\pi \sin \theta_k}]^T \quad (9)$$

여기서 $\underline{a}(\theta_k)$ 는 k 번째 신호원의 방향 벡터이다.



<그림 2> 선택적 출력값 신호처리

III. 최적의 출력값 선택 알고리즘

본 논문에서 사용된 알고리즘은 두 개의 빔형성 알고리즘을 이용한 최적의 출력값 선택을 하기 위해 두 가지의 알고리즘을 이용하였다. 첫째로, 송신 데이터를 모르는 블라인드 상황에서 배열 안테나를 이용하여 신호 대 간섭과 잡음비(SINR)를 최대화하기 위해 라그랑주 승수를 이용한 일반화된 고유치 문제(Generalized eigen-problem)를 해결한 (준)최적의 웨이트 벡터를 구하여 출력값을 얻었고, 둘째로 역방향 트래픽 채널 PPCS(Pilot, Power Control and Signaling)을 통해 파일럿 시그널을 이용한

LMS(Least Mean Square) 알고리즘으로 웨이트 벡터를 구하여 출력값을 얻어서 이들 두 개의 출력값으로 이를 이용하여 선택적 출력값 방법을 제시하였다. 일반화된 고유치 문제는 출력값의 자기상관 함수만을 이용하여 웨이트 벡터를 구하는 정규화된 고유치 문제(Ordinary eigen-problem)과 달리 입력값과 출력값의 자기 상관함수를 이용하여 웨이트 벡터를 구하는 방법이다[7].

그림 2는 본 논문에서 제안하는 선택적 신호값 출력 블록도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 두 개의 프로세서를 이용하여 각각의 출력값을 이용해 본 논문에서 제안한 4가지 방법으로 좀 더 개선된 출력값을 얻도록 하였다. 그림 2의 블록도 그림을 보면 수신 신호 r 은 하향변환기(down converter)를 통해 x 로 변환되며 PN 상관기(correlator)를 통해 y 로 변환된다. 이 x, y 두 개의 값은 상위 DSP(Digital Signal Processor)안에 내장된 라그랑제 알고리즘을 통해 웨이트 벡터 ω 를 생성하고, 이 웨이트 벡터와 또다른 값 y 는 하위 DSP로 입력되어 LMS 알고리즘을 통해 최종 출력값을 발생시킨다.

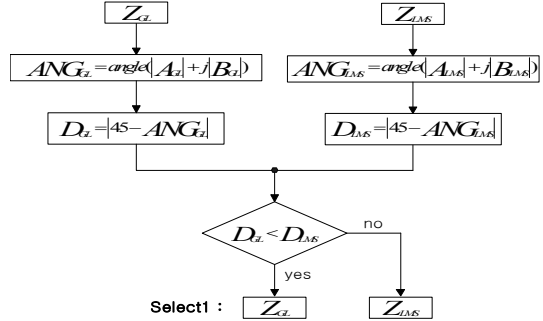
본 논문에서는 일반화된 라그랑제 알고리즘을 이용한 출력값과 LMS알고리즘을 이용한 출력값을 가지고 최적의 출력값 선택을 하기 위한 네 가지의 방법을 제시한다.

3.1 실시간 출력값의 위상 비교법(Select 1)

두 알고리즘의 실시간 출력값에 대해서 위상을 각각 구한 후 이상적인 위상각인 $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ 와 비교하여 차이가 작은 것을 선택하여 최종 출력값을 선택한다.

<그림 3>에서 Z_{GL} 은 일반화된 알고리즘의 출력값이고, Z_{LMS} 는 LMS 알고리즘의 출력값이다. ANG 는 출력 신호의 위상을 뜻한다.

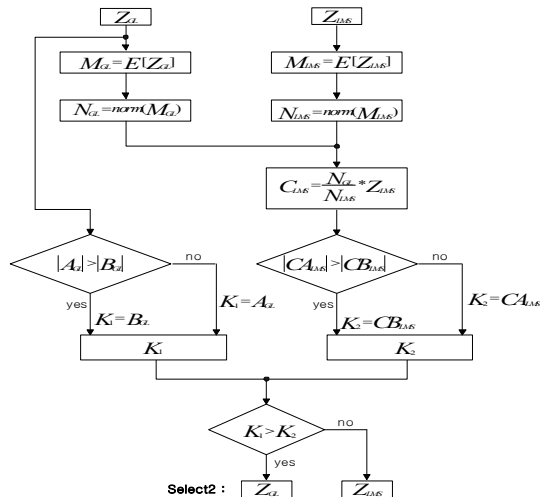
3.2 크기가 1로 보정된 출력값의 평균과 실시간 출력값의 실수축값과 허수축값의 크기 비교법(Select 2)



<그림 3> 첫 번째 출력값 결정 알고리즘 구성도

매 스냅샷마다 사용된 두 알고리즘의 출력값의 평균 크기를 각각 갱신한 후, 그 평균값의 크기가 신호환경에 대해 서로 다르므로 1로 보정시킨다. 그렇게 한 후, 각 알고리즘의 실시간 출력값을 해당 보정된 평균 출력값과 실수축값, 허수축값에 대해 각각 비교하여 차이가 작은 부분의 값을 각각 취한 후 그 중에서 크기가 큰 부분에 해당하는 알고리즘의 출력값을 선택하여 최종 출력값으로 취한다.

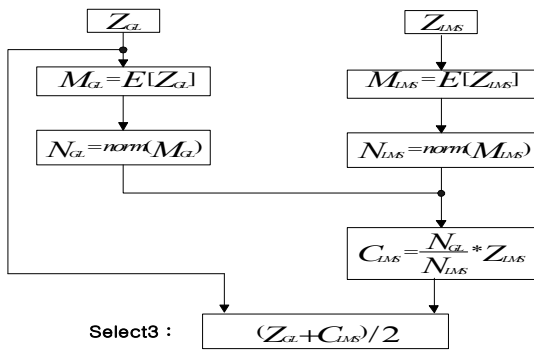
<그림 4>에서 $E[\cdot]$ 는 \cdot 의 평균값을 의미하며, $norm[\cdot]$ 는 \cdot 값을 정규화(normalize) 값을 의미한다. A와 B는 출력값의 실수값과 허수값을 나타낸다.



<그림 4> 두 번째 출력값 결정 알고리즘 구성도

3.3 크기가 상대적으로 보정된 출력값의 다이버시티 방법(Select 3)

실시간 출력값이 각 알고리즘에 대해 평균 크기가 신호환경에 대해 서로 다르므로 크기를 1로 보정시킨 후 보정된 두 출력값을 더하여 원하는 신호에 보다 가까운 신호를 구하여 최종 출력값으로 취한다.

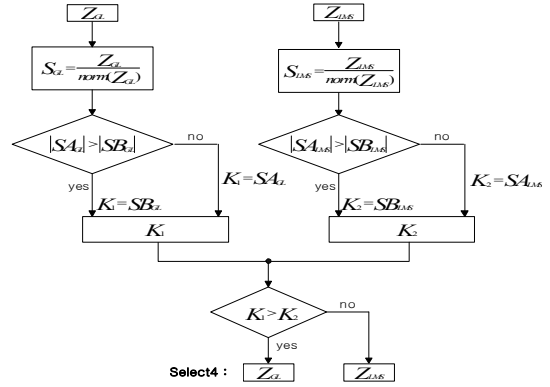


<그림 5> 세 번째 출력값 결정 알고리즘 구성도

3.4 크기보상을 한 실시간 출력값 실수측값과 허수측값의 크기 비교법(Select 4)

실시간 출력값이 각 알고리즘에 대해 평균 크기가 신호환경에 대해 서로 다르므로 한 알고리즘의 실시간 출력값의 크기와 같게 하기 위해 다른 알고리즘의 출력값의 크기를 스케일링해서 각 출력값의 크기가 동일하도록 맞춘다. 그렇게 한 후, 각 알고리즘의 실시간 출력값을 해당 보정된 평균 출력값과 실수측값, 허수측값에 대해 각각 비교하여 차이가 작은 부분의 값을 각각 취한 후 그 중에서 크기가 큰 부분에 해당하는 알고리즘의 출력값을 선택하여 최종 출력값으로 취한다.

<그림 6>에서 SA, SB는 출력값의 크기를 1로 보정한 값의 실수와 허수값을 나타낸다.



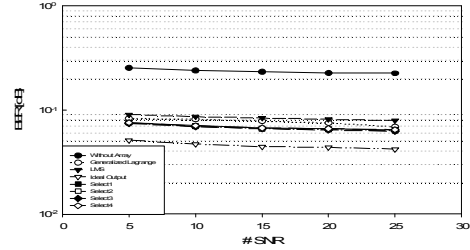
<그림 6> 네 번째 출력값 결정 알고리즘 구성도

제 4장 성능분석

각각의 출력값 선택 방법에 대한 성능을 분석하였는데, 모든 시뮬레이션은 WLL환경이고, 각각의 데이터 전송률(Information bit rate)에 대하여 파라미터들의 값이 달라지는데 본 논문에서는 100km/hr의 속도로 움직이는 이동체에 대해서 C언어를 이용하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션시 프로그램을 100,000번 돌려 이에 따른 BER 값을 측정하였다. 각 결과값에 대하여 공통된 파라미터는 반송파주파수: 2310MHz, 도플러주파수 : 214Hz, $\tau_{k,i} (= \tau_0)$: 15.625 μ s, 각도 퍼짐(angle spread)의 경로수는 50으로 하였다[6]. 그 외의 파라미터값인 수신 안테나 수(4, 6, 8), PG(8, 16, 32, 64, 128), SNR(5, 10, 15, 20, 25), 사용자(간섭수: 10, 20, 30, 40, 50)를 고려하여 각각의 출력값 선택 방법에 대한 성능을 분석하였다. Ideal Output은 사용한 두 알고리즘 모두가 에러가 날 경우의 BER로 둘 중 하나의 알고리즘이 에러가 없이 정확히 얻어냈다면 정확한 선택적 결과값을 구했다고 할 수 있다.

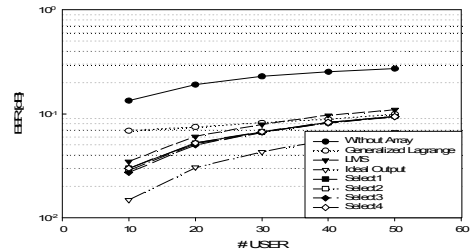
$$\begin{aligned}
 f_d &= v(m/s) \times \frac{f_0(Hz)}{c(m/s)} = v(m/s) \times \frac{f_0(MHz)}{300} \\
 &= 100(km/hr) \times \frac{f_0(MHz)}{1080} = 214Hz
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

네 가지 출력값 선택방법에 따른 성능비교는 <그림 7~10>에서 보여주고 있다. 성능분석은 안테나가 하나인 경우(without array), 일반화된 알고리즘(Generalized Lagrange) 사용 경우, LMS 알고리즘 사용, 4가지 출력값 선택방법(Select1~4번), 이상적인 출력값(Ideal output) 등으로 구분하였다. 이러한 성능분석은 안테나, PG (Processing Gain), SNR, 간섭자수에 따라 제시하였다. <그림 7~10>에서 보는 바와 같이 안테나를 1개 사용하는 경우가 배열 안테나를 사용하는 경우보다 가장 성능이 떨어지며, 제안 방법인 Select1~4번 경우가 일반화된 라그랑제 알고리즘과 LMS 알고리즘 보다 성능이 뛰어난 것을 보여주고 있다. 라그랑제 알고리즘과 LMS 알고리즘을 혼합한 제안 방법 4가지는 안테나 1개 사용시와 독립적 알고리즘 사용시보다 성능이 우수하였으며, 4가지 제안 방법은 대부분 성능이 동일하였다. 제안 방법보다 성능이 조금 떨어지는 일반화된 라그랑제 알고리즘과 LMS 성능은 유사하였으나 간섭자수가 적을 때에는 LMS 알고리즘이 일반화된 알고리즘보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 이는 간섭이 적은 경우 파일럿 신호를 사용하는 LMS 알고리즘이 보다

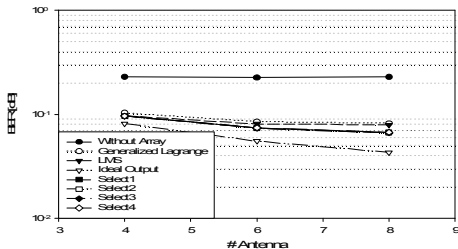


<그림 9> SNR값에 대한 네가지 선택법의 성능분석

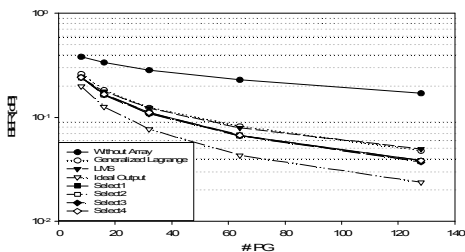
정확한 신호수신을 한다는 것을 알려준다.



<그림 10> 간섭자수에 대한 네가지 선택법의 성능분석



<그림 7> 안테나수의 대한 네가지 선택법의 성능분석



<그림 8> PG값에 대한 네가지 선택법의 성능분석

제 5장 결론

본 논문에서는 최적의 출력값 선택을 위해 블라인드 빔형성 알고리즘인 일반화된 라그랑제 알고리즘 출력과 파일럿 신호를 이용한 LMS 알고리즘 출력을 혼합하여 새로운 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 4가지 출력값 선택 방법은 신호 환경에 관계없이 모두 일반화된 라그랑제 알고리즘을 사용할 때나 LMS 알고리즘을 사용할 때 보다 성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 실제 4가지 출력값 선택 방법은 구현하고자 하는 시스템 구성 소자, 멀티 패스 환경, 신뢰도 등을 평가하여 적절한 방법을 선택하면 된다.

기존의 알고리즘 계산을 수행하는 DSP 칩 외에 최적의 출력값 선택을 위해 추가로 DSP 한 개를 사용하지만 약 1N(배열안테나의 수)에 해당하는 적은 계산량으로 성

능 개선이 가능하다. 기존의 알고리즘 단점을 보완하는 새로운 제안 방법을 제시함으로써 WLL 시스템을 좀 더 정확하고 신뢰성있게 사용하게 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] B. Widrow, P.e. Mantey, L.J. Griffiths, and B.B. Goode, "Adaptive Antenna System", *Proc. IEEE*, vol. 55, No.12, Dec. 1967, pp.2143-2159.
- [2] S. Choi and D. Yun, "Design of an Adaptive Antenna Array for Tracking the Source of Maximum Power and Its Application to CDMA mobile Communications", *IEEE Trans. Antennas and Propagations*, Vol.45, No.9, Sept. 1997, pp. 1393-1404.
- [3] A. J. Paulraj, C. B. Papadias, "Space-Time Processing for Wireless Communications", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 14, No. 6, Nov. 1997, pp 49-83.
- [4] J. S. Lee and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House Publishers, 1998, pp. 333-423.
- [5] M. Barrett and R. Arnott, "Adaptive Antennas for Mobile Communications", *Electronics & Communicational Engineering Journal*, Aug. 1994, pp 203-214.
- [6] Seiichi Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall PTR, pp, 1997, pp. 15-54.
- [7] S. Choi, I. Oh, S. Kwon, "Performance of Adaptive Antenna Array System Utilizing the Eigenvector Method in a CDMA Channel", *1999 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Jul. 11-16, 1999, pp. 256.
- [8] R. A. Monzingo and T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, Wiley, New York, 1980, pp. 29-77.

■ 저자소개 ■



안 성 수
Ahn, Sung Soo

2002년 3월~현재
명지전문대학 정보통신과 부교수
2001년 8월 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1990년~2007년 9월
국방과학연구소 연구원
1990년 2월 한양대학교 전산공학과 (공학석사)
1987년 2월 한양대학교 전자공학과 (공학사)
관심분야 : DSP를 이용한 신호처리, 적응 알고리즘, 스마트 안테나, 이동통신
E-mail : ssan@mjc.ac.kr



김 정 인
Kim Jung In

2004년 3월~현재
명지전문대학 정보통신과 조교수
2001년 9월~2003년
신성대학 컴퓨터응용과 전임강사
2000년 2월 미국 The George Washington University M. S. in Computer Science
1997년~1999년
미국 Quantum Research / CIS Inc 연구원
1997년 2월 미국 The American University B. S. in Computer Science
관심분야 : Multimedia, Computer Graphics, VR
E-mail : sirekt@hotmail.com



김 민 수
Kim, Min Soo

2006년 10월~현재
국방과학연구소 항공전자체계부 연구원
2003년 2월 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
2001년~2006년 10월
한중대학교 정보통신과 교수
1990년 2월 한양대학교 전산공학과 (공학석사)
1987년 2월 한양대학교 전자공학과 (공학사)
관심분야 : 차세대 이동통신, DSP 응용, 안테나 어레이, MIMO
E-mail : mskim1019@paran.com

논문접수일	2008년 7월 19일
수정일	2008년 8월 8일
게재확정일	2008년 8월 20일