

CDMA 환경하에서의 배열 안테나 시스템의 수정 라그랑제 알고리즘

정회원 이원철

Modified Lagrange Algorithm of a Array Antenna System in CDMA Environments

Weon-Cheol Lee *Regular Member*

요약

수신 신호벡터의 자기상관 행렬의 최대 고유값에 해당하는 고유벡터를 찾는 기존 빔형성 알고리즘의 경우 각도 퍼짐이 고려되지 않은 상황에서는 향상된 성능을 갖는 반면 각도퍼짐이 증가할수록 그 성능이 현저히 떨어지게 된다. 본 논문에서는 각도퍼짐이 존재하는 환경에서도 배열 안테나 시스템의 성능이 우수하게 되는 새로운 알고리즘을 제시하고 제안된 적응 알고리즘의 모의실험 결과 넓은 각도퍼짐에서 그 성능이 기존의 방법에 비해 우수함을 확인하였다.

Key Words : Lagrange algorithm, array antenna, CDMA

ABSTRACT

In this paper, we have presented a new adaptive beamforming technique based on eigen-space method. The proposed beamforming technique utilizes the primary and secondary eigenvectors to form the beamforming weight vector. They are computed using the Lagrange algorithm. From various computer simulations, it is confirmed that as the angle spread increases from the center angle of arrival, the performance of a typical beamforming technique using only a single eigenvector degrades rapidly. But, the performance of the proposed technique improves on the contrary.

I. 서론

배열 안테나 시스템은 원하는 신호원의 방향으로 큰 이득을 줌과 동시에 간섭 신호원들에게 해당하는 방향으로서는 이득을 최소화하는 구조를 가진 시스템이다. 즉, 배열 안테나의 빔패턴을 조정하여 이득을 증대시키는 시스템이다^[1]. 배열 안테나 시스템은 위와 같은 효과를 이용하여 이득의 증대를 통한 단말기의 송신전력 감소, 단말기의 사용시간 증가, 높은 송신 전력을 필요로 하는 고속 데이터 서비스의 실현, 기지국의 섹터 당 용량 증가 등의 장점을

가지는 시스템을 구현 할 수 있다^[2]. 상기의 배열 안테나 시스템의 장점을 충분히 활용하기 위해서는 빔형성 알고리즘이 그 핵심이 되며 빔형성을 위한 웨이트 벡터는 배열 안테나 수신 신호벡터의 자기상관 행렬의 최대 고유값에 해당하는 고유벡터를 웨이트 벡터로 사용하였다. 그러나, 이러한 빔형성 알고리즘은 각도퍼짐이 고려되지 않은 상황에서는 단일 안테나에 비해 향상된 성능을 나타내는 반면 각도퍼짐이 증가할수록 스마트 안테나의 성능은 현저히 떨어지게 된다^[3].

기존에 제시된 알고리즘은 안테나 어레이 출력을

* 용인송담대학교 정보통신과(greg@ysc.ac.kr)

논문번호 : 12009-0321, 접수일자 : 2012년 3월 21일, 게재확정일자 : 2012년 6월 20일

최대화하기 위해 정규 고유치 문제의 해, 즉 역확산 후의 신호벡터에 대한 자기상관 행렬의 최대 고유값에 대응하는 고유벡터를 웨이트 벡터로 사용하였다^{4,5}. 이러한 최대 고유값에 대응하는 고유벡터 값을 찾는 기존의 빔형성 알고리즘의 경우 각도퍼짐을 고려하지 않은 상황에서는 단일 안테나에 비해 향상된 성능을 가질 수 있으나 각도퍼짐이 증가할수록 안테나 어레이 시스템 성능은 현저히 떨어지게 된다. 그러나, 실제 통신신호 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. 따라서 본 논문은 이러한 문제점을 바탕으로 큰 두개의 고유값에 해당하는 고유벡터를 웨이트 벡터로 이용하는 빔형성 알고리즘을 제안하고 제안된 방법을 CDMA 시스템의 신호 환경하에서 모의실험을 통해 그 우수성을 확인하였다.

II. 시스템 모델

일반적으로 배열 안테나 시스템에서의 빔형성은 각 수신 안테나에 채널벡터에 해당하는 적절한 가중치를 곱하고 이들의 합을 출력신호로 하여 후단의 신호검파기에 인가하며, m 번째 안테나의 기저대역 변환된 신호는 다음과 같이 표현된다⁶.

$$x_m(t) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \frac{1}{\sqrt{Q}} \sum_{q=1}^Q \alpha_{j,k,q}(t) v_j(t - \tau_{j,k,q}) e^{-i(m-m_0)\pi \sin \theta_{j,k,q}} + n_m(t) \quad (1)$$

여기서, J, K, Q 는 각각 가입자 수, 각 가입자의 다중경로, 각 경로에서의 산란되는 성분의 수를 나타낸다. 또한 $\alpha_{j,k,q}(t)$ 는 페이딩 인자, $\theta_{j,k,q}(t)$ 는 산란되는 신호의 입사각, $\tau_{j,k,q}$ 는 전파지연, $n_m(t)$ 는 AWGN을 나타낸다. (1)식에서 모든 가입자에 대한 각 주어진 경로에서의 전파지연을 동일한 것으로 가정할 수 있으므로 $\tau_{j,k,q} \cong \tau_{j,k}$ 로 할 수 있다. 이때 페이딩 인자 $\alpha_{j,k,q}(t)$ 는 다음과 같이 정의된다⁷.

$$\alpha_{j,k,q}(t) = \rho_{j,k,q} e^{i2\pi(\cos \psi_{j,k,q} t - f_c \tau_{j,k})} \quad (2)$$

여기서 $\rho_{j,k,q}$ 는 산란되는 신호의 감쇄값, f_d 는 최대 도플러 주파수, f_c 는 캐리어 주파수, $\psi_{j,k,q}$ 는 q 번

째 산란되는 성분의 방향을 나타낸다.

역확산 동안에 모든 동기가 완벽하게 일치한다고 가정하면 역확산된 신호 벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$y[n] = h[n]s[n] + u[n] \quad (3)$$

여기서 $y[n]$ 은 각 안테나에서의 기저대역 수신신호이며, n 번째 샘플링된 신호를 의미한다. 또한 $h[n]$ 은 채널 벡터로 n 번째 송신 심볼 $s[n]$ 전송시에 수신 안테나의 전체 채널 이득, $u[n]$ 은 간섭 신호를 포함하는 배경 잡음을 나타낸다. 일반적으로 배열 안테나 시스템의 각 안테나 간격을 반파장으로 하고 각 안테나에 수신된 신호는 동일 전송 경로를 통해 도착되며 단지 안테나 배열에 따른 도착 시간지연이 서로 다르다고 가정할 때 채널 벡터는 다음과 같이 표현된다⁴.

$$h[n] = \frac{1}{\sqrt{Q}} \sum_{q=1}^Q \alpha_q[n] a(\theta) \quad (4)$$

여기서 $a(\theta)$ 는 배열 안테나의 방향 벡터를 나타내고 $\alpha_q[n]$ 은 전송 경로의 페이딩 인자를 나타내며 Q 는 산란체의 수를 나타낸다. 신호의 입사각 θ 는 시간에 따라 변할 수 있기 때문에 이 경우 $a(\theta)$ 는 시변 벡터가 된다. 그러나 θ 의 변화는 $\alpha_q[n]$ 의 변화보다 항상 느리기 때문에 $a(\theta)$ 는 신호의 심볼 구간에 대해 시불변 벡터로, 페이딩 인자 $\alpha_q[n]$ 은 시변 스칼라로 심볼마다 변한다고 가정할 수 있다. 종래의 방법[3-5]에서는 이를 바탕으로 먼저 $a(\theta)$ 에 대한 시불변 벡터를 얻고 파일럿 심볼 등을 통해 $\alpha_q[n]$ 을 얻었다. 또한 각 안테나에 수신된 신호가 단일경로를 통해 도착된 것으로 인식하여 완전 상관관계를 이룬다는 가정을 기본으로 하고 있다. 그러나 실제 환경에서는 각 안테나에서 수신되는 신호는 중심 도착각도 θ 에 대해 θ_q 만큼 분산되어 도착하기 때문에 실제 환경에서의 채널 벡터는 다음과 같이 된다.

$$h[n] = \frac{1}{\sqrt{Q}} \sum_{q=1}^Q \alpha_q[n] a(\theta + \theta_q) \quad (5)$$

일반적으로 θ_q 는 작은 값을 갖기 때문에 종래의 방법에서는 이를 0이라 가정하고 채널벡터를 추정

하였다. 그런데 θ_q 가 0이 아니고 무시하지 못할 정도로 크다는 점을 감안한다면, 수신 벡터신호의 자기상관행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터를 이용하는 기존의 신호처리 방법으로는 θ_q 가 크더라도 다이버시티 이득을 얻을 수 없게 된다. 따라서 수신 신호벡터의 자기상관행렬의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터를 이용하되 상대적으로 큰 고유치에 대응하는 고유벡터부터 순차적으로 적어도 2개 이상을 이용하여 수신신호를 처리하면 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 것이다.

III. 적응 빔형성 알고리즘

일반적으로 CDMA 시스템에서 확산이득이 크다면 어레이 출력의 전력을 최대화하는 웨이트 벡터는 다음의 정규 고유값 문제의 가장 큰 고유값에 해당하는 고유벡터가 된다.

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

여기서 R_{yy} 는 기지국 수신 신호벡터가 역확산된 신호벡터 y 의 자기상관 행렬이다. 각도퍼짐이 없을 경우는 우세한 고유값이 다른 값들에 비해 월등한 차이를 나타내는 반면, 각도퍼짐이 $\pm 20^\circ$ 로 신호간의 상관도가 떨어지는 경우에는 최대 고유값과 그 다음 고유값의 차이가 절대적으로 크지 않으므로 최대 고유값에 해당하는 고유벡터 하나로만 웨이트 벡터를 결정하는 방법에는 문제점이 있다. 이러한 이유로 웨이트 벡터 w 는 큰 고유값을 가지는 고유벡터의 합으로 표현되어야 한다. 각도퍼짐에 따른 고유값 분포를 확인해 본 결과, 각도퍼짐이 0° 일 때를 제외한 다른 경우에는 고유벡터의 수가 두 개일 경우 한 개일 때 보다 향상된 성능이 나타남을 알 수 있으나 두 개 이상이 되면 두 개일 경우와 비교해서 성능적으로 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 결국 두 개 이상의 가장 큰 고유값에 해당하는 고유벡터의 합으로 웨이트 벡터를 구하면 되나, 성능증가와 계산량을 고려할 때 두 개의 고유벡터의 합이면 충분함을 알 수 있다. 이러한 이유로 웨이트 벡터 w 의 각 원소는 우세한 두 개의 고유값에 해당하는 고유벡터의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$w = \alpha e_1 + \beta e_2 \quad (7)$$

여기서 e_1, e_2 는 수신 신호벡터의 자기상관 행렬의 가장 큰 고유값과 두번째로 큰 고유값에 해당하는 고유벡터이다. 식 (7)에서 α, β 는 채널 계수로써 다음과 같다.

$$\alpha = e_1^H y, \beta = e_2^H y \quad (8)$$

이러한 개념을 바탕으로 라그랑제 승수(γ)를 계산한 후 웨이트 벡터를 최종으로 구할 수 있는 정규 라그랑제 알고리즘을 이용하여 매 스냅샷마다 최적의 웨이트 벡터를 갱신 할 수 있다. 식 (7)에 근거하여 웨이트 벡터를 계산함에 있어서 첫번째 항에 해당되는 고유벡터 e_1 에 수렴하는 웨이트 벡터 w_1 은 최대 고유값에 해당되는 고유벡터이다. w_1 을 구하기 위하여 라그랑제 승수를 이용한 비용 함수는 다음 식을 웨이트 벡터 w_1 로 편미분한 결과인 그래디언트(∇)를 0으로 하는 값을 구함으로써 이루어진다.

$$J(w_1, \gamma) = w_1^H R_{yy} w_1 + \gamma(1 - w_1^H w_1) \quad (9)$$

고유벡터 e_2 에 수렴하는 웨이트 벡터 w_2 를 구하기 위해서는 수축법(deflation method)을 이용하여 새로운 자기상관 행렬 R'_{yy} 을 다음과 같이 구한다^[8].

$$R'_{yy} = R_{yy} - \gamma w_1 w_1^H \quad (10)$$

식 (10)에서 γ, w_1 은 자기상관 행렬 R_{yy} 의 가장 큰 고유값과 이에 해당하는 정규화된 고유 벡터를 나타낸다. 식 (10)에 의해 고유벡터 e_2 를 위한 새로운 자기상관 행렬 R'_{yy} 를 구하고 고유벡터 e_1 에 수렴하는 w_1 을 계산하는 과정을 다시 반복하여 고유벡터 e_2 에 수렴하는 웨이트 벡터 w_2 를 구한다.

IV. 모의 실험 결과

본 절에서는 CDMA 신호환경에서 제안한 알고리즘의 성능을 다양한 측면에서 비교해 본다. 성능 분석을 위한 모의실험에서는 파일럿 채널과 데이터율이 9.6kbps인 기본 채널을 사용하였다. 기본 채널

은 길이가 16인 Walsh 부호로 확산되며 최종적으로 1.2288Mcps의 PN 부호로 스크램블링 된다. 표 1은 제안된 알고리즘의 성능분석을 위한 모의실험 파라미터를 나타낸다. 표 1에 나타난 바와 같이, 채널환경은 단일경로인 레일리 페이딩 환경에서 잡음은 AWGN으로 가정하였다. 모의실험에 사용된 안테나는 6개이며, 사용자의 입사각은 3셀/섹터 환경을 가정하여 -60° 에서 60° 사이에 랜덤하게 균일 분포하는 것으로 가정하였다. 성능분석은 사용자 수와 각도퍼짐에 따른 성능의 차이를 비교하였다. 각 경우에서 파일럿 신호의 적분 구간인 처리이득(PG)은 384로 하였다.

표 1. 모의 실험 파라미터.

Item	Value
Uplink carrier frequency	1,776,250Hz
Number of scatter	20
Fundamental channel	W_4^{16}
User distribution	Uniform from -60° to 60°
Number of antenna element	6

그림 1은 사용자 수는 10명인 조건하에서 각도퍼짐에 따른 부호화되지 않은 평균 BER 곡선을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 각도퍼짐이 증가함에 따라 각각의 경우에 가장 큰 고유값 하나에 대한 고유벡터 값에 근접하는 웨이트 값을 구한 경우보다 본 논문에서 제안하는 두개의 우세한 고유값에 해당하는 고유벡터의 합으로 표현되는 웨이트 값을 구하는 알고리즘이 더욱 향상된 성능을 얻을 수 있다. 이는 원하는 신호의 입사각이 심한 산란에 의해 중심 입사각으로부터 넓게 퍼져서 수신되는 경우에는 단지 하나의 고유벡터만으로는 원하는 신호의 방향벡터를 표현할 수 없기 때문이다. 또한, 주목할 만한 것은 하나의 우세한 고유벡터만을 사용하는 경우의 BER 성능은 각도퍼짐이 증가함에 따라 그 성능이 더욱 악화되는 반면, 본 논문에서 제안된 기술의 BER 성능은 각도퍼짐이 증가하면 오히려 향상됨을 알 수 있다. 이는 각도퍼짐이 커짐으로 인해서 각 안테나간에 생기는 공간 다이버시티 효과를 두개의 웨이트 벡터를 사용함으로써 얻을 수 있기 때문이다. 다이버시티 이득은 원하는 신

호의 각도퍼짐이 증가함에 따라 각 안테나 소자에 수신된 신호가 서로 독립적으로 작용하게 되면서 증가하게 된다.

그림 2는 사용자 수는 20명인 조건하에서 각도퍼짐에 따른 부호화되지 않은 평균 BER 곡선을 나타낸다. 이 경우에 있어서도 기존의 방법에 비해 각도퍼짐이 증가함에 따라 성능이 향상됨을 확인할 수 있으며 이론 값과도 거의 일치함을 알 수 있다.

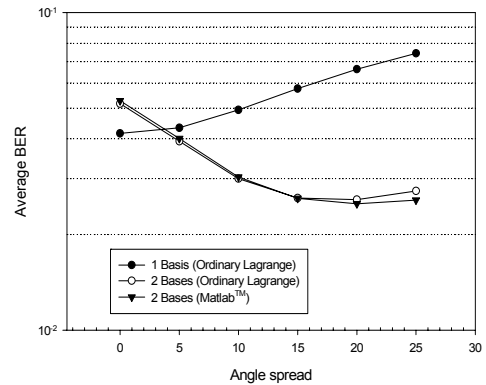


그림 1. 각도퍼짐에 따른 성능분석(사용자 수=10)

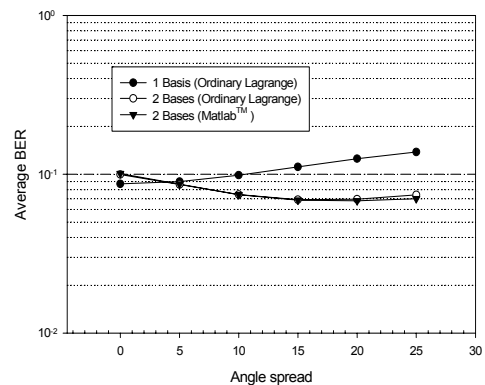


그림 1. 각도퍼짐에 따른 성능분석(사용자 수=20)

V. 결론

본 논문에서는 각도퍼짐이 증가하는 상황에서도 스마트 안테나 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 수정 라그랑제 알고리즘을 제안하고 CDMA 신호 환경에서 그 성능을 분석하였다. 기존의 빔형성 알고리즘은 각도퍼짐이 증가하면 기지국 수신 성능이 현저히 감소한다. 본 논문에서는 각도퍼짐의 변화에 따라서 제안 알고리즘의 성능을 분석하여 BER 측면에서 비교 해 본 결과 각도퍼짐이 증가할 경우에도 기존 알고리즘에 비해 현저한 성능 향상이 있음

을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. Liberty, Jr., and T. Rappaport, Smart Antennas for Wireless Communications, Prentice Hall PTR,1999.
- [2] J. Bologh and L. Hanzo, Third Generation Systems and Intelligent Wireless Networking: smart antennas and wireless networking, John Wiley and Sons,2002.
- [3] S. Choi and D. Shim, "A novel adaptation beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.49, no.5, pp. 1795-1799, Sep. 2000.
- [4] G. Okamoto, Smart Antenna Systems and Wireless LANs, Kluwer Academic Publisher, Boston, 1999.
- [5] A. F. Naguib, Adaptive Antennas for CDMA wireless Networks, Ph.D. Dissertation, Stanford University, August, 1996.
- [6] S. Choi, T. Sarkar and J. Choi, "Adaptive antenna array for direction of arrival estimation utilizing the conjugate gradient method," Signal Processing, vol.45, no.3, pp. 313-327, 1995.
- [7] 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.
- [8] Howard Anton, Elementary Linear Algebra, John Wiley & Sons, 1982.

이 원 철 (Weon-Cheol Lee)

정회원

한국통신학회논문지 03-9 Vol.28 No.9A 참고