

CDMA2000 시스템에서 파일럿 채널을 이용한 스마트 안테나 시스템의 성능향상 연구

안 성 수* · 김 민 수**

Research on Improving Performance Utilizing Pilot Channel of Smart Antenna System in CDMA2000 system

Ahn, Sung Soo · Kim, Min Soo

〈Abstract〉

This paper suggests novel signal processing methods for optimal beamforming of smart antenna system in CDMA2000 mobile communication environments. This method utilize characteristics of the reverse pilot channel of CDMA2000 mobile communication systems, and applies them to improve the performance of an adaptive algorithm, which is used to a smart antenna system for beamforming.

To perform the best beamforming, it is important to get an exact beamforming algorithm. This paper proposed an algorithm based on Lagrange multiplier which has such an adaptive process, and also proposed the method to demodulate the received signal through array antenna using pilot channel in CDMA2000 environment.

This paper analysed the enhanced performance of proposed algorithm in various signal environment through signal modeling of physical layer in CDMA2000 reverse link.

Key Words : Smart Antenna, Lagrange Algorithm, CDMA2000, Pilot Channel

I. 서론

이동통신 시스템은 한정된 무선채널 대역폭에서 고속화 및 대용량화를 통한 통신용량의 증대 및 통신품질 향상을 위해 지속적으로 진화되어왔다. 본 논문에서는 CDMA2000 이동통신 환경에서 위와 같은 목표를 만족

시키기 위한 기술 중 하나인 스마트 안테나 시스템에 대한 성능을 분석하였다. 스마트 안테나 시스템은 이동통신 환경에서 배열 안테나(array antenna)를 사용하여, 안테나에 수신되는 신호 중, 원하는 사용자의 신호가 안테나에 입사하는 방향으로 신호 이득을 크게 하고, 다른 방향으로 신호 이득을 상대적으로 떨어지게 조절하여, 원하는 사용자의 신호만을 선택적으로 수신하는 효과를 갖게 한다. 스마트 안테나 시스템은 원하는 신호원이 수

* 명지전문대학 정보통신과

** 국방과학연구소 항공전자체계부

신되는 방향으로 큰 이득을 줌과 동시에 간섭 신호원들에 해당하는 방향에 대한 수신이득을 최소화하는 구조로 동작된다. 즉, 배열 안테나의 빔 패턴(beam pattern)을 조정하여 수신이득을 증대시키는 시스템이다[1, 2].

본 논문에 제안한 알고리즘의 기본적인 동작원리는 기지국 셀 혹은 섹터 내부에 동작 간섭 신호들이 존재할 때 이동하는 목표 신호원의 방향으로 최대 이득을 가진 빔 패턴을 제공하여 공간적 여파(spatial filtering)를 통해 간섭신호의 수신 전력을 최소화함으로써 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)를 최대화하는 적응절차를 거친다[3]. 스마트 안테나 시스템에서 최대의 이득을 얻기 위해서는 최적의 웨이트 벡터를 구해야 하며, 이러한 웨이트 값은 수신 신호의 위상을 보정해 주는 역할을 한다. 최적의 웨이트 벡터를 구하기 위한 기존의 알고리즘들은 그 대부분은 고유분리법(eigen decomposition)에 근간을 두고 있다[4, 5]. 고유분리법에 근간을 두는 방법들은 정확한 해를 구할 수 있지만, 계산량이 많아 실시간 처리를 요하는 분야에 응용하는 데 어려움이 많다. 계산량이 상대적으로 작은 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용하면 앞의 방법보다 계산량을 크게 감소시킬 수 있기 때문에 실시간처리에 많은 가능성을 보이지만, 이 방법은 기준신호(reference signal)를 수신측에서 알아야 한다는 부담을 가지고 있다[6]. 웨이트 벡터를 구하는 또 다른 방법인 라그랑제 승수(Lagrange multiplier)를 이용하는 기존의 알고리즘이 최근 발표되었으나 이 방법은 안테나 출력의 파워를 최대화하는 정규 라그랑제 알고리즘[7]으로 성능이 뛰어나다고 볼 수 없다. 본 논문에서는 기준신호를 알지 못하는 블라인드(blind)환경에서 라그랑제 승수에 기초하여 신호대 간섭 및 잡음비를 최대화하는 알고리즘을 적용하였다. 또한, CDMA2000 환경[8]에서 지 원하는 파일럿 채널의 특성을 이용하여 배열 안테나로 수신된 데이터를 정확히 복조 시키는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 II장에서 빔형성 알고리즘을 소개하고 있으며, III장에서 파일럿 신호를 이용한 수신 복조방법을 제안하였고, IV장에서 제안 방법에 대한 성능분석을

제시하였다. 마지막으로 V장에서 논문의 결론을 작성하였다.

II. 라그랑제 승수에 근거한 빔형성 알고리즘

본 절에서는 송신 데이터를 모르는 블라인드 상황에서 배열 안테나 시스템의 기본 목적인 원하는 신호 방향으로 최대의 이득을, 간섭 신호 방향으로 최소의 이득을 주기 위한 최적의 빔 패턴을 달성하기 위하여, 라그랑제 승수를 이용하는 적응 알고리즘을 설명한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 선형 배열 안테나를 이용하여 신호 대 간섭 및 잡음비를 최대화하는 최적의 웨이트 벡터를 구하는 알고리즘으로 기존의 안테나 출력의 파워를 최대화하는 정규 라그랑제 알고리즘보다 성능이 개선되었다.

신호 대 간섭과 잡음비를 최대화하는 웨이트 벡터를 구하기 위해서는 다음과 같은 식을 최대화해야 한다.

$$\frac{E\left[|w^H \underline{s}|^2\right]}{E\left[|w^H \underline{u}|^2\right]} \quad (1)$$

여기서 \underline{s} 는 수신된 원하는 신호벡터이고, \underline{u} 는 수신된 간섭과 잡음벡터를 나타낸다. $w^H \underline{s}$ 는 배열 안테나 출력의 원하는 신호성분이고, $w^H \underline{u}$ 는 간섭 및 잡음성분이다. 그리고, (1)식은 (2)식과 같이 쓸 수 있다. 즉, (1)식을 최대화하기 위해서는 (2)식을 최대화하기 위한 웨이트 벡터 w 를 구하면 된다.

$$\frac{E\left[w^H \underline{s} \underline{s}^H w\right]}{E\left[w^H \underline{u} \underline{u}^H w\right]} = \frac{w^H E\left[\underline{s} \underline{s}^H\right] w}{w^H E\left[\underline{u} \underline{u}^H\right] w} = \frac{w^H \underline{R}_{ss} w}{w^H \underline{R}_{uu} w} \quad (2)$$

\underline{R}_{ss} 와 \underline{R}_{uu} 는 각각 원하는 신호와 간섭신호의 자기상

관 행렬을 나타낸다. 만약 (2)식의 최대값을 λ_{\max} 라하면 구하고자 하는 웨이트 벡터는 일반화된 고유치 문제 (Generalized eigen-problem)의 최대 고유치에 대응하는 고유벡터가 되며, (3)식과 같다.

$$R_{ss}w = \lambda_{\max} R_{uu}w \quad (3)$$

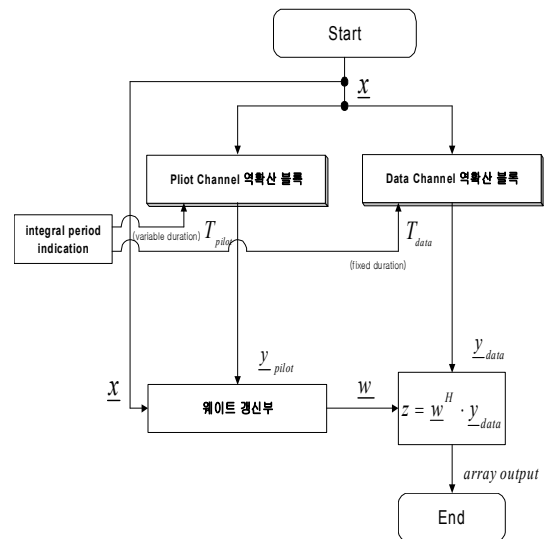
바꾸어 말하면, 배열 안테나 출력단의 신호 대 간섭과 잡음비를 최대화하는 웨이트 벡터를 구하는 것은 (3)식의 최대 고유치에 해당하는 최대 고유벡터를 구하는 것이 된다.

III. 파일럿 채널의 특성을 이용한 수신데이터 복조

본 절에서는 CDMA2000 환경에서 파일럿 채널과 다른 채널 즉, 데이터 통화채널, 제어 채널, 신호 채널 등이 여러 개 다중화 되어 전송되는 경우 파일럿 채널의 특성을 이용하여 적응 배열안테나 시스템의 성능을 향상시키는 방법을 제시하였다. 즉, 적응 배열안테나 시스템의 빔형성을 위한 핵심 과정인 웨이트 벡터의 생성을 데이터 전송채널이 아닌 파일럿 채널을 통하여 구하고, 이렇게 구해진 웨이트 벡터를 데이터채널에 적용하여 최종 출력을 얻는 방법을 제시하였다. <그림 1>은 본 논문에서 제안한 기술인 적응 배열안테나 시스템에서 파일럿 채널을 이용하여 웨이트 벡터를 갱신하는 방법에 대한 블록도이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 파일럿 채널의 특성을 이용하는 것이다. x 는 역확산전 수신신호이고, y 는 역확산후 신호를 의미한다. 역확산전, 후의 파일럿 신호를 이용하여 웨이트 벡터 w 를 구해 데이터의 최종 출력 z 값을 정확하게 구하게 한다. 즉, 파일럿 채널은 적분주기를 가변 설정할 수 있으므로 필요에 따라 적분주기를 길게 설정함으로써 높은

확산율로 역확산 할 수 있다. 반면 데이터 채널의 경우 전송 데이터 율에 따라 확산율이 고정되어 있으므로 데이터 채널의 역확산 과정에서 얻을 수 있는 확산율은 고정되어 있다. 또한, 전송 데이터 율이 높아질수록 확산율은 감소한다. 따라서, 파일럿 채널로부터 얻어진 역확산 신호벡터 y_{pilot} 는 데이터 채널로부터 얻어진 역확산 신호벡터 y_{data} 에 비해 훨씬 높은 확산율로 역확산 할 수 있으므로 웨이트 갱신부에서 웨이트 갱신시에 y_{data} 대신 y_{pilot} 을 사용함으로써 웨이트 갱신부의 성능을 향상시킬 수 있다. 이는 웨이트 갱신부의 성능이 역확산 이후의 신호벡터인 y 에 의존하는 특성에 의한 것이다[9].



<그림 1> 파일럿 채널을 이용한 웨이트 갱신 구조도

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능분석

4.1 시뮬레이션 방법

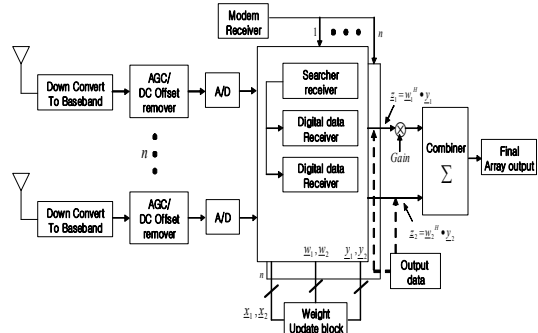
본 논문에서는 CDMA2000 환경의 역방향 링크에서 스마트 안테나 시스템의 성능을 분석하였다. 제안한 스마트 안테나 시스템의 성능을 분석하기 위해, 이동통신

기지국의 수신 안테나 시스템으로 통상적으로 사용되고 있는 2 안테나 다이버시티(2-antenna diversity)시스템과 성능을 비교하였다.

또한, 기지국에서 주로 사용하는 레이크 수신기법과 일반적인 도심지역의 무선 채널에서 존재하는 각도 퍼짐(angle spread)에 대한 성능 분석을 통해 통신상황에 따른 각 안테나 시스템의 성능 변화를 분석하였다. 본 논문에서의 시뮬레이션은 CDMA2000 환경의 역방향 링크에서 수행하였으며, 단말기에서 기지국까지의 송신과정과 기지국에서의 수신 후 복조과정을 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 본 성능분석 방법은 CDMA2000의 역방향 링크에서 파일럿 채널이 할당되어 있기 때문에, 파일럿 채널의 확산을 변동에 따라 데이터 전송 채널인 기본 채널에 대해서 BER을 측정하였다.

적응 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서는 다양한 통신환경에서 성능 분석이 필요하다. 특히, 입사각의 분포 및 채널 특성에 대한 변화 즉, 페이딩과 각도 퍼짐의 조건에 따라 알고리즘의 특성이 변화하므로 이와 같은 환경을 변화시키면서 성능을 분석하였다. 또한, 기지국 수신시스템에서 사용되고 있는 핑거 레이크(finger-rake) 수신구조에 대한 성능 분석도 실시하였다.

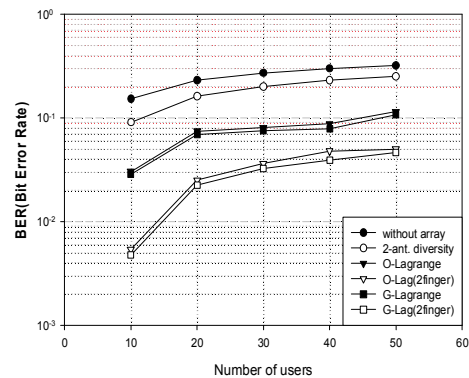
본 논문에서는 기존의 O-Lagrange(ordinary lagrange) 알고리즘과 G-Lagrange(generalized lagrange)을 각각 적용하여 각 통신상황에 대한 성능을 비교하였다. <그림 2>는 본 시뮬레이션에 적용한 수신구조로서 2핑거의 레이크 수신구조를 배열 안테나 시스템에 적용한 형태이다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 안테나로 수신된 신호는 Down Converter를 통해 반송파가 제거되고, Searcher에서 원하는 신호의 동기를 찾아낸다. Modem Receiver에서 웨이트 벡터값이 구해지고, Weight Update block에서 수신신호와 곱해져 출력을 얻게 된다. 이러한 출력값은 Combiner를 통해 합쳐져 최종 출력으로 생성된다. 본 논문에서는 하나의 안테나로 2개의 멀티패스를 고려해 2 핑거를 사용하였다.



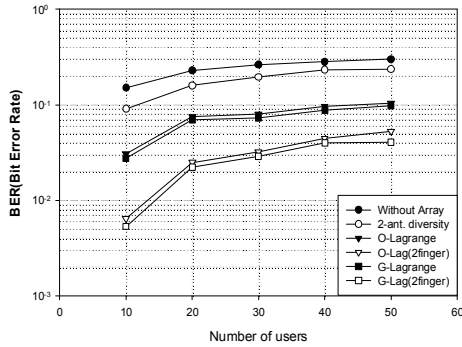
<그림 2> 핑거 수신기의 구조

4.2 성능분석

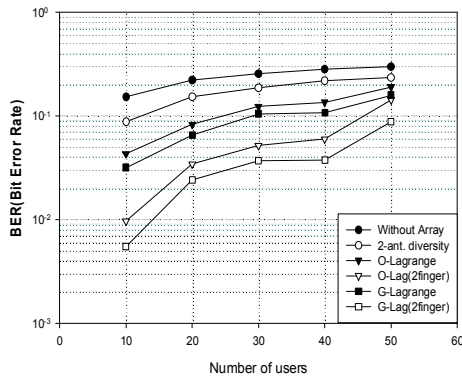
본 절에서는 다중 경로로 인한 페이딩을 핑거를 이용하여 레이크 수신(rake receiving)한 결과와 각도 퍼짐의 변화에 따른 성능을 분석하였다. 파일럿 채널의 확산율과 기본 채널 확산율은 각각 384와 16으로 고정하였고 각도 퍼짐을 $\pm 3^\circ, \pm 7^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ$ 으로 증가시키면서 알고리즘의 성능을 분석하였다.



<그림 3> 각도 퍼짐이 ± 30 경우



<그림 4> 각도 퍼짐이 ±70° 경우



<그림 5> 각도 퍼짐이 ±200° 경우

본 시뮬레이션은 다중 경로로 인한 페이딩을 핑거를 이용하여 레이크 수신(rake receiving)한 결과와 각도 퍼짐의 변화에 따른 성능을 분석하였다. <그림 3-6>에서 보는 바와 같이, 2개의 핑거를 사용한 결과는 핑거가 없을 때의 결과보다 성능이 좋아지는 것을 확인하였다.

또한, 각도 퍼짐이 있는 채널 환경에서 일반화된 라그랑제 알고리즘이 정규 라그랑제 알고리즘에 비해 전반적으로 우수하다. 각도 퍼짐이 ±20° 이상이 되면 본 일반

화된 라그랑제 알고리즘이 정규화된 라그랑제 알고리즘보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 특히 각도 퍼짐이 커질수록 알고리즘 간의 성능 차는 더 커짐을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 공간여파의 특성과 간섭원에 대한 억제(nulling)효과가 우수한 일반화된 라그랑제 알고리즘의 특성이 반영된 것이다. 본 성능결과에서 보는 바와 같이, 각도 퍼짐이 커질수록 성능이 떨어지는 현상은 본 제안 알고리즘이 블라인드(blind) 환경에서 동작되므로, 채널환경이 좋지 않아 다이버시티 효과를 기대할 수 없기 때문이다. 또한, 배열 안테나를 이용한 수신시스템이 2-안테나 다이버시티 수신구조보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 즉, 스마트 안테나 시스템을 사용함으로써 수용 가능한 통신용량이 증대되고, 시스템의 전송률이 향상되는 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 CDMA2000 시스템의 역방향 링크 통신환경에서 라그랑제(Lagrange)에 근간한 알고리즘을 이용하여 적응 배열 안테나 시스템의 성능을 분석하였다. 성능 분석에는 페이딩 및 각도 퍼짐, 레이크 수신기, 단말기의 이동도 등을 고려하였으며, 각도 퍼짐과 사용자의 수가 변화하는 무선 채널환경에서 기존의 기지국 안테나 시스템인 2 안테나 다이버시티(2-antenna diversity) 시스템과 적응 배열 안테나 시스템간의 성능을 비교하였다. 또한, 고유치 문제의 해법에 따라 정규 라그랑제(O-Lagrange) 알고리즘과 일반화된 라그랑제(G-Lagrange) 알고리즘을 각각 동일 무선 채널환경에서 적용하여 분석했으며, 핑거 레이크(finger rake) 수신구조에 따른 성능변화도 분석하였다.

성능 분석의 결과에 의하면 핑거 레이크 수신 구조를 적용할 경우 통신 환경이 좋을수록 1 핑거의 경우에 비해 성능 향상이 두드러짐을 확인할 수 있었다. 또한, 각도 퍼짐이 증가함에 따라 전반적으로 성능이 악화되지

만, 일반화된 라그랑제 알고리즘은 각도 퍼짐이 비교적 심한 상황에서도 정규 라그랑제 알고리즘에 비해 안정된 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. 결과적으로, 일반화된 라그랑제 알고리즘의 공간 여파(spatial filtering) 특성이 보다 우수함을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 제안 빔형성 알고리즘과 새로운 수신 데이터 복조방법을 CDMA2000 이동통신 방식에서 사용한 스마트 안테나 시스템은 단일 안테나와 2-안테나 다이버시티 수신구조보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 즉, 스마트 안테나 시스템을 사용함으로써 수용 가능한 통신용량이 증대되고, 시스템의 전송률이 향상되는 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: A versatile approach to spatial filtering", *IEEE ASSP Magazine*, Apr. 1988.
- [2] A. J. Weiss and B. Friedlander, "Array shape calibration using sources in unknown locations - A maximum likelihood approach", *IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc.*, vol. ASSP-37, no. 12, Dec. 1989.
- [3] 3GPP2, *Physical layer standard for cdma2000 spread spectrum systems*, Release A, Dec. 15, 1999.
- [4] D. H. Jonson and S. Degraaf, "Improving the resolution of bearing in passive sonar arrays by eigenvalue analysis", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-30, Aug. 1982, pp. 638-647.
- [5] M. Kaveh and A. J. Barabell, "The statistical performance of the MUSIC and minimum-norm algorithms for resolving plane waves in noise", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, k vol. ASSP-34, Apr. 1986, pp. 331-341.
- [6] A. F. Naguib, *Adaptive Antennas for CDMA Wireless Networks*, Ph. D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Stanford Univ., Aug. 1996.
- [7] S. Choi and D. Shim, "A novel adaptive beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 49, no. 5, Sep. 2000, pp. 1793-1806.
- [8] T. Shan and T. Kailath, "Adaptive beamforming for coherent signals and interference", *IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc.*, vol. ASSP-33, no. 3, June 1985.
- [9] T. K. Sarkar, X. Yang and E. Arvas, "A limited survey of various conjugate gradient methods for solving complex matrix equations arising in electromagnetic wave interactions", *Wave Motion*, Elsevier Science Pub. B. B., (North Holland), 1988, pp. 527-546.

■ 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 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 : 2009년 4월 22일
수 정 일 : 2009년 6월 20일
게재확정일 : 2009년 7월 7일