

CDMA 시스템에서 스마트 안테나의 적응 알고리즘 성능 분석

김주연, 임채현, 한동석

경북대학교 전자전기공학부

전화 : 053-940-8669 / 핸드폰 : 018-505-0352

Performance analysis of the smart antenna in CDMA system

Ju-Yeun Kim, Chae-Hyun Lim, and Dong-Seog Han
School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University
E-mail: ariel@palgong.knu.ac.kr

Abstract

This paper shows performance of smart antenna systems with various adaptive algorithms. Geometrically based single bounce elliptical model (GBSBEM) is generated and the SINR performance of various adaptive algorithms are analyzed. According to the SINR, the system capacity of each algorithm are calculated.

리듬의 SINR(signal to interference plus noise ratio) 특성을 분석하고 이를 통하여 각각의 채널 용량을 계산하였다.

본 논문은 서론에 이어서 도심 환경에서 스마트 안테나의 성능분석을 위한 채널 모델링 방법을 2장에서 설명한다. 3장에서는 간략하게 각종 적응 알고리즘에 대한 간략한 설명과 함께 모의실험을 통해서 적응 알고리즘에 따른 스마트 안테나의 SINR과 채널용량을 분석하고 4장에서 결론을 맺는다.

I. 서론

현재 이동통신 시장은 급격한 사용자 수의 증가로 인하여 다중 사용자에게 의한 간섭과 채널 용량의 부족 현상이 일어나고 있다. 이를 해결하는 방안으로 송·수신시에 여러 개의 안테나를 사용하는 스마트 안테나 기술이 대두되고 있다. 스마트 안테나 시스템은 단일 안테나를 사용할 때 보다 작은 신호 대 잡음비로도 통신이 가능하며 심볼간 간섭을 감소시키고 다중 사용자에게 의한 간섭을 최소화시킴으로써 이동통신 채널의 용량을 크게 증가시킬 수 있다[1].

그러나 스마트 안테나 시스템은 차세대 이동통신 시스템의 상용화와 함께 도입을 위한 실험 단계에 있다. 본 논문에서는 스마트 안테나 시스템에 적용 가능한 적응 알고리즘들을 실제 환경에 가깝게 모델링된 채널을 이용한 성능분석을 통해 실제 스마트 안테나를 구성할 때 최적의 알고리즘을 제시하고자 한다.

본 논문은 GBSBEM(geometrically based single elliptical bound model)을 이용하여 실제 도시의 마이크로 셀 환경에서의 이동통신 채널을 모델링하였다. 그리고 생성시킨 이동통신 모델상에서 각종 적응 알고

II. 채널 모델링

2.1. GBSBEM

GBSBEM은 안테나의 높이가 낮고 기지국 근처에 다중경로를 유발하는 많은 방해물이 몰려 있는 도시의 마이크로 셀을 모델링한 것이다. 이 모델은 방해물, 기지국, 이동국이 같은 높이에 존재한다고 가정한다. 또한 방해물의 분포는 이동국과 기지국을 초점으로 하는 타원상에 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 그림 1은 입사각의 통계적인 특성을 결정하기 위한 기하학적 모델이다. 그림 1의 ϕ_i 와 θ_i 는 각각 i 번째 다중경로의 기지국으로의 입사각과 이동국에서의 출발각을 나타낸다.

이동국과 기지국사이에는 하나의 가시 경로(line of sight)와 방해물에 한번 반사된 다수의 다중경로가 존재한다. 그 외에 회절이나 다중 반사에 의한 다중경로나 다른 요소들의 효과는 고려하지 않는다. 이러한 기하학적인 모델을 특성을 이용하여서 다중 경로의 지연 시간에 따른 입사각의 누적분포 함수를 다음과 같

이 결정할 수 있다[1].

$$F(\phi, r_i) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \cos^{-1}\left(\frac{1-r_i \cos \phi}{r_i - \cos \phi}\right) \\ - \frac{\sqrt{r_i^2 - 1} \sin(-\phi)(1-r_i \cos \phi)}{2\pi(2r_i^2 - 1)(r_i - \cos \phi)^2}, & -\pi \leq \phi \leq 0 \\ \frac{1}{2\pi} \cos^{-1}\left(\frac{1-r_i \cos \phi}{r_i - \cos \phi}\right) \\ + \frac{\sqrt{r_i^2 - 1} \sin(\phi)(1-r_i \cos \phi)}{2\pi(2r_i^2 - 1)(r_i - \cos \phi)^2}, & 0 \leq \phi \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

여기서 r_i 는 τ_0 를 가지경로의 지연시간이라 할때 τ_0 를 중심으로 정규화된 다중경로의 지연시간이다.

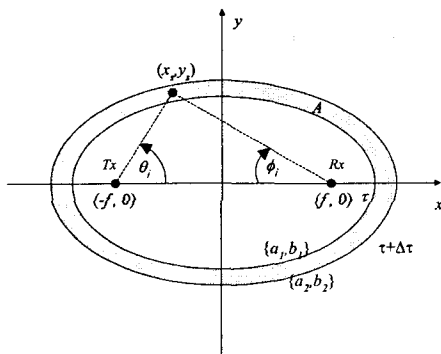


그림 1. GBSBEM에서 입사각의 통계적 특성을 결정하기 위한 기하학적 모델

2.2. GBSBEM을 이용한 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 GBSBEM의 입사각 확률 분포에 따라 다중경로의 기저국 수신 입사각을 발생시키고 실험적인 결과[2]를 바탕으로 셀 내의 사용자 당 다중경로의 수는 9에서 35개까지 임의로 발생시켰다. 확산률이 64이고 길이가 $2^{42}-1$ 개인 의사잡음신호를 사용하여 셀 내에서의 사용자를 구분하였고 실제 다중경로와 유사한 효과를 위해서 다중경로의 최소지연 시간을 1/4 칩(chip) 시간으로 설정하였다. 그리고 주어진 채널환경에서 각 알고리즘의 정확한 성능분석을 위하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하였다.

III. 적응 알고리즘에 따른 성능분석

3.1. 적응 알고리즘

(1) LMS(Least mean squares)

LMS는 훈련열을 이용하여 어레이 출력과 훈련열 사이의 자승오차를 최소화시키는 적응 알고리즘이다. 이는 어레이 가중치 벡터의 함수로 표현되는 평균자승오차의 기울기 추정을 기반으로 한다.

(2) SMI(Sample matrix inversion)

SMI 알고리즘은 기준신호와 어레이 출력 신호와의 에러를 최소화하기 위하여 임의의 시간동안의 어레이 입력신호를 이용하여 입력 벡터의 상관행렬과 입력벡

터와 기준신호간의 상호상관벡터를 추정하여 가중치를 적용시키는 알고리즘이다. 이는 입력신호의 샘플들을 이용하여 직접 optimum Wiener solution을 계산하므로 빠른 수렴특성을 가진다. 그러나 행렬의 추정 및 역행렬 계산과정에서 많은 계산을 필요로 한다.

(3) RLS(Recursive least squares)

RLS는 SMI를 적응적인 반복연산에 의하여 구현하는 알고리즘이다. 즉 RLS는 어레이 출력 신호와 기준신호사이의 오차의 합을 최소화시키는 방법을 사용하여 SMI처럼 직접적으로 자기상관행렬과 상호상관벡터를 계산하지 않고 적응적으로 추정한다.

(4) DDLMS(Decision directed LMS)

DDLMS는 어레이 출력값을 가장 가까운 심볼로 판단하고 이를 기준으로 어레이 출력신호와와의 에러를 최소화시키는 적응 알고리즘이다. 앞서 설명한 적응 알고리즘들은 빔 형성을 사용자의 결정에 따라 역확산전·후 어디에서나 구현될 수 있다. 그러나 DDLMS는 판단오차를 작게 하기 위하여 반드시 각각의 안테나 소자의 출력신호에 대해서 먼저 역확산을 수행한 후 빔 형성을 통하여 어레이 출력을 구한 후 판단을 내려야 한다. 역확산 수행 후의 가중치 갱신 과정은 LMS와 동일하다.

(5) CEAM(Channel estimation via autocorrelation matrix)

CEAM은 의사잡음 코드를 이용한 코드 필터의 출력 신호의 심볼 중 샘플을 취해서 신호들의 자기상관행렬을 구한다. 그리고 자기상관행렬에 대하여 정칙치분해(Singular value decomposition)를 수행하여 어레이 응답 특성을 구하고 원하는 방향으로 빔을 형성시키는 일종의 입사각 추정방법이다.

3.2. 성능분석

스마트 안테나 시스템에 적용 가능한 알고리즘들의 성능을 분석하고 최적의 적응 알고리즘을 제시하기 위하여 2장에서 모델링한 채널 환경에서 모의 실험을 실시하였다. SNR(signal to noise ratio)을 10dB로 고정하고, 각 알고리즘을 적용할 경우 역확산을 수행하기 전의 어레이 출력 신호를 이용하여 SINR을 구하였다. 역확산전의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{P_c}{R_{yy} - P_c} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{|r_{yd}|^2}{R_{dd}} \quad (3)$$

$$r_{yd} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y(k)d^*(k) \quad (4)$$

$$R_{dd} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K d(k)d(k)^* \quad (5)$$

$$R_{yy} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y(k)y(k)^* \quad (6)$$

여기서 P_c 는 정규화된 어레이 출력과 기준신호와의 상호상관이고 R_{yy} 와 R_{dd} 는 각각 어레이 출력과 기준

CDMA 시스템에서 스마트 안테나의 적응 알고리즘 성능 분석

신호의 자기상관이다. 그리고 r_{yd} 는 기준신호와 어레이 출력의 상관이다.

안테나 수와 사용자의 수에 따른 성능 비교를 위해 안테나 소자의 수를 1에서 10까지, 사용자를 1명에서 100명까지 변화시키면서 SINR을 측정하였다.

그림 2는 LMS 알고리즘을 적용할 경우 안테나 소자의 수와 사용자 수에 따른 SINR 특성이다. 안테나의 수가 6개 이상이 되면 안테나의 수가 증가되어도 SINR의 증가가 둔화됨을 알 수 있다.

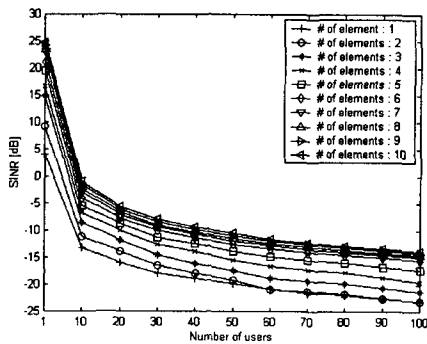


그림 2. LMS 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 안테나 수와 사용자수에 따른 SINR

그림 3은 RLS 알고리즘을 사용하였을 때의 SINR 특성이다. LMS 알고리즘보다는 증가된 SINR 특성을 나타내고 있다. RLS 알고리즘을 적용하였을 때도 안테나 소자의 수가 6개 이상으로 증가할 경우 성능 향상이 그리 크지 않다.

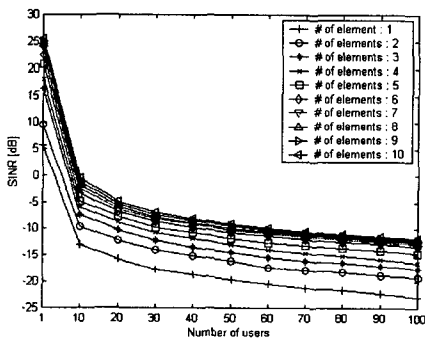


그림 3. RLS 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 안테나 수와 사용자수에 따른 SINR

그림 4는 DDLMS 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 SINR 특성을 나타낸다. 앞의 두 알고리즘과는 달리 낮은 SINR을 보여 주고 있다. 이는 DDLMS 알고리즘은 어레이 출력값을 가장 가까운 심볼로 판단하고 이를 기준으로 어레이 출력신호와의 에러를 최소화

화시키므로 잘못된 판단에 의한 오류로 인해 낮은 SINR을 보인다. 또한 안테나 소자의 수의 변화에 따른 SINR 변화폭이 앞의 두 알고리즘보다는 적다.

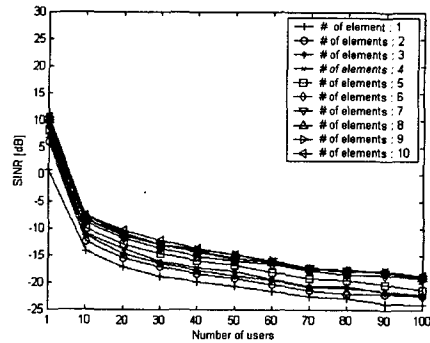


그림 4. DDLMS 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 안테나 수와 사용자수에 따른 SINR

그림 5는 SMI 알고리즘을 적용한 스마트 안테나의 SINR 특성을 나타낸다. LMS와 RLS 알고리즘을 사용한 스마트 안테나와 유사한 결과를 볼 수 있다. 그러나 SMI의 경우 LMS 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템보다는 보다 나은 SINR 특성을 보이고 RLS와는 거의 유사한 성능을 보인다.

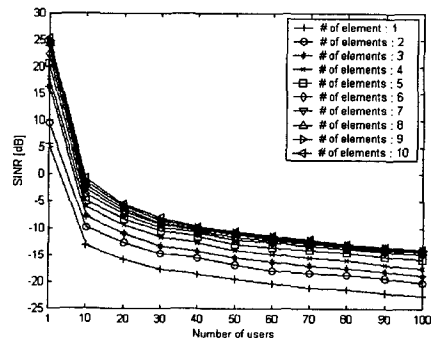


그림 5. SMI 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 안테나 수와 사용자수에 따른 SINR

그림 6은 CEAM 알고리즘의 SINR 특성이다. 앞의 실험에 사용된 알고리즘 보다는 낮은 SINR을 가짐을 알 수 있다. 또한 안테나 수의 증가에 따른 SINR의 변화의 폭이 매우 작음을 볼 수 있다. 이는 CEAM은 원하는 신호의 입사방향으로 빔을 지향할 뿐 간섭신호를 제거하지는 않기 때문이다.

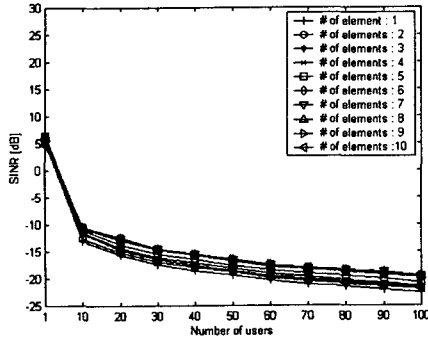


그림 5. CEAM 알고리즘을 적용한 스마트 안테나 시스템의 안테나 수와 사용자수에 따른 SINR

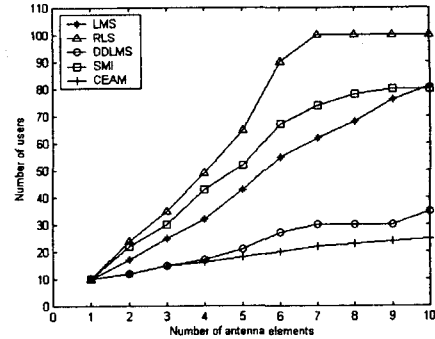


그림 7. 안테나 수에 따른 각 알고리즘의 채널용량 비교

그림 6은 공통적으로 6개의 안테나 소자를 사용할 경우의 각 알고리즘의 SINR 특성이다. SMI, LMS, RLS 알고리즘은 기준신호를 사용하여 가중치를 적응시키므로 좋은 성능을 보인다. CEAM은 코드필터 특성을 이용하여 빔을 지향하지만 본 실험에서는 많은 다중경로 신호를 고려하였으므로 다소 성능의 열화가 있다. DDLMS는 입사신호를 판단 할 때 많은 다중경로에 의해 오차가 존재하므로 낮은 SINR을 보인다.

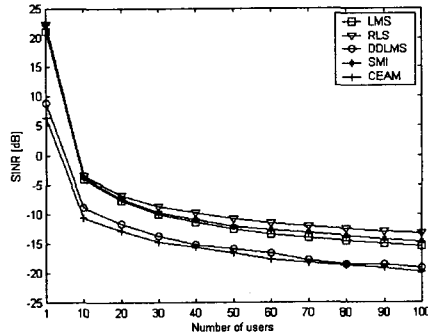


그림 6. 각 알고리즘간의 SINR 비교

일반적으로 이동통신환경에서 통신이 가능한 최대 비트 에러 확률은 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 정도이다. 이때 최소통신 가능 SINR은 -13에서 -15dB 이다[3]. 이러한 에러 확률을 기준으로 각 알고리즘의 채널용량을 그림7에 나타내었다. RLS 알고리즘의 경우 안테나 소자의 증가에 따른 용량의 증가량이 크고 안테나 소자의 수가 7개 정도이면 100여명의 사용자를 수용할 수 있다. 반면에 CEAM 알고리즘의 경우 10개의 안테나 소자를 사용하더라도 약 25명의 사용자만을 수용할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 GBSBEM을 사용하여 실제 도심환경과 유사한 채널 환경을 구현하였다. 적응 알고리즘에 따른 SINR을 구하였고 이를 이용해 채널용량을 계산하여 각 알고리즘간의 성능 비교를 수행하였다. 본 논문은 각 어레이 안테나 알고리즘의 성능분석 결과를 제시함으로써 CDMA환경과 차세대 통신에서 스마트 안테나 적용의 기초 자료로서 최적화 알고리즘의 개발에 많은 도움이 되리라고 생각된다.

참고문헌

- [1] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, *Smart antennas for wireless communications: IS-95 and Third generation CDMA applications*, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [2] S. Y. Seidel, "UHF indoor radio channel models for manufacturing environments," Master's thesis, Virginia Tech, Blacksburg, VA, Aug. 1989.
- [3] R. B. Ertel, "Spatial filtering with adaptive antenna array algorithms in DS-SS communication systems," Master's thesis, Pennsylvania State University, 1996.

※ 본 논문은 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구 지원사업으로 수행된 결과의 일부임.