

다중 간섭자환경에서 스마트 안테나를 이용한 QPSK DS-CDMA 시스템 성능분석

최기영, 김승진, 정연호
부경대학교 정보통신공학과

Performance Evaluation of Adaptive Algorithms in CDMA Mobile Communication Systems with Smart Antenna

Ki-Young Choe Seung-Jin Kim, Yeon-Ho Chung

Department of Information and Communication, Pukyong National University
E-mail: kychoe@wireless.pknu.ac.kr

요약

본 논문에서는 친사용자 환경의 시뮬레이션 환경을 제공하는 SPW 시뮬레이션 플랫폼을 이용하여 스마트 안테나 CDMA 이동통신 시스템을 구현하여 빔형성에 있어서 고정(non-adaptive)의 경우와 적응(adaptive)의 경우로 나누어 성능 분석을 수행하였다. 특히 적응인 경우는 LS (Least Square) 와 LMS (Least Mean Square) 의 적응 알고리즘을 비교하였으며 간섭 기지국의 각도 (Interferer signal angle) 변화에 따른 성능도 비교하였다. SPW 시뮬레이션 결과, 고정 경우보다는 적응 경우가 3[dB] 이상의 이득을 얻을 수 있었으며 LMS 보다는 LS 의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

I. 서론

언제, 어디서나, 어떠한 종류의 데이터라도, 그러한 정보들을 원하는 상대방과의 송수신을 가능하게 해주는 이동 통신 시스템을 완벽하게 구현하고자 하는 연구는 지금까지도 계속 되어져 오고 있다. 이러한 연구들의 성과물들은 전 세계적으로 통일된 단일 표준안을 수립하기에 이르렀고, 더 나아가서는 현재의 이동 통신 시스템보다 훨씬 높은 수준의 서비스를 제공하는 3세대 이동통신 시스템이 곧 상용화 될 전망이다. 이렇게 급성장을 보이고 있는 중신시장의 수요를 충족시키며 다양한 서비스를 실시하기 위해서 통신망의 용량증대가 절실히 요구되고 있다. 이를 위해서 주파수 도약, 출력 제어, 마이크로 셀 (micro cell), 스마트 안테나 (smart antenna) 등의 다양한 방법이 활발히 연구되고 있다[2]. 그중 스마트 안테나는 적응적인 빔 형성을 이용한 공간적인 신호처리를 통해 주파수를 효율적으로 재사용함으로써 중신망의 용량증가

뿐만 아니라 통화 품질을 크게 향상시킬 수 있다.

이동 사용자 뿐 아니라 고정된 사용자를 위하여 스마트 안테나를 적용할 수 있는 이유는 스마트 안테나를 사용함으로써 다른 간섭신호의 파워에 비하여 원하는 신호의 파워를 증가시킬 수 있기 때문이다. 이러한 스마트 안테나는 무선 시스템 성능을 개선하는 여러 가지 방법을 제공하는데, 일반적으로 통신거리의 증가, 초기 설치비 감소, 시스템 증설에 따른 링크 성능 향상 및 장기적 시스템 용량 증가 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 CDMA 이동통신망에서 스마트 안테나 시스템을 사용하여 대표적인 적응 알고리즘인 LMS 와 LS 알고리즘에 입각한 빔형성(Beamforming) 기술을 분석한다. 그리고 각각의 적응 알고리즘을 이용하여 비트오율을 통한 성능분석을 수행하여 실제의 스마트 안테나 시스템을 구성할 때 최적의 알고리즘을 제시하고자 한다.

2장에서는 서론에 이어서 LMS 와 LS 알고리즘을 설명하고자 한다. 3장에서는 SPW (Signal Processing Worksystem)[1] 를 이용하여 구현한 CDMA 환경에서의 실험을 통해 각각의 성능분석을 하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 적응 안테나 알고리즘

1. 스마트 안테나 기술

스마트 안테나는 디지털 이동통신의 통화품질과 수용량 증가를 위한 기지국 처리기술이라 하겠다.

기존의 CDMA와 같은 디지털 이동통신은 한 기지국 안테나에서 동시 처리되는 통신신호들은 서로가 잡음으로 동작하게 된다. 사용자가 늘어날수록 서로에 대한 잡음이 늘어나고 통화품질이 떨어지게 되는데, 기존의 이동통신은 그 동시사용자수에 제한을 둬으로써 안정적인 통신수용용량을 확보하게 된다.

스마트안테나는 기지국안테나를 제어(control) 가능한 배열 안테나(array antenna) 로 구성하고, 신호처리기술로 지능적인 각 사용자별로 지향성을 가진 빔패턴을 생성해 내는 기술을 의미하는데 아래의 그림1은 그러한 빔형성의 기본개념을 설명한다.

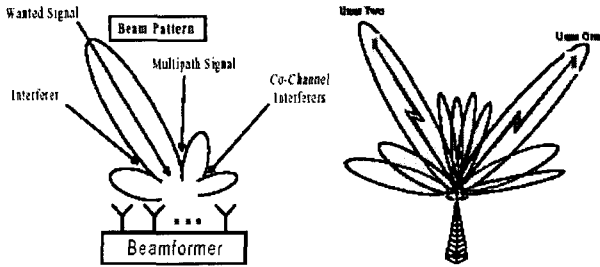


그림 3 빔패턴 개념도

이러한 방법을 이용하여 각 사용자간의 간섭이 최소화되면 기지국의 수용용량이 늘어나는 효과를 얻을 수가 있다. 이러한 스마트 안테나의 기본원리를 그림2에서 설명한다.

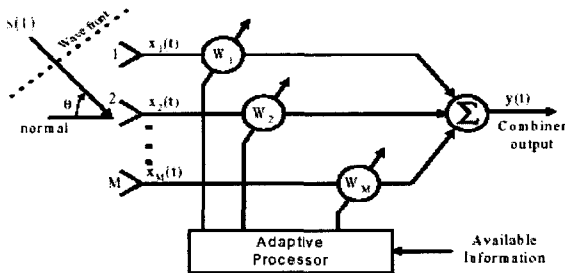


그림 4 스마트 안테나의 기본원리

그림2 에서 어레이 출력 $x(t)$ 는

$$x(t) = s(t)a(\theta) + n(t) \quad (1)$$

이고, 여기서 $x(t)$ 와 $a(\theta)$ 의 벡터값은 아래의 식과 같다.

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T \quad (2)$$

$$a(\theta) = [1, e^{jw_0 \frac{d}{c} \sin\theta}, \dots, e^{jw_0(M-1) \frac{d}{c} \sin\theta}]^T \quad (3)$$

다음으로 최종출력인 $y(t)$ 는

$$y(t) = W^H x(t) \quad (4)$$

로 정의 되는데, 여기서 w 를 $a(\theta)$ 로 가정하면

$$y(t) = s(t)a^H(\theta)a(\theta) + a^H(\theta)n(t) = Ms(t) + a^H(\theta)N(t) \quad (5)$$

로 정의 된다.

스마트 안테나는 결합 회로로 연결된 저이득 안테나 소자들의 배열을 사용하는데, 이러한 임의의 안테나 배열은 그림 3과 같다.

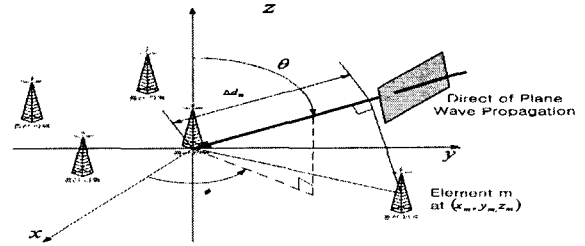


그림 3 안테나 어레이에 입사된 평면파 DOA (Direction of Arrival)

그림3 에서 Φ 는 방위각, θ 는 어레이에 입사되는 평면파의 양각, 그리고 수평축 $\theta = \pi/2$ 이다. 그리고 (θ, Φ) 방향으로부터 어레이에 입사된 평면파에서, 원점에 있는 소자와 m번째 소자에 입사되는 신호간의 위상차는 아래 식(1)에서 표현된다.

$$\Delta \Psi_m = \beta \Delta d_m = \beta(x_m \cos \Phi \sin \theta + y_m \sin \Phi \sin \theta + z_m \cos \theta) \quad (6)$$

여기서, $\beta = 2\pi/\lambda$ 는 위상정수이고, $\lambda = c/f$ 는 파장, c 는 광속으로 $3 \times 10^8 m/sec$ 이고 f 는 반송파 주파수(Hz)를 나타낸다.

2. LS 알고리즘

최적의 빔형성을 표현하기 위해서는 비용함수(cost function)를 최소화로 하는 가중치 벡터(weight vector)를 구해야 하는데 이 가중치 벡터는 아래의 식 (2)에서 설명된다.

$$w = [w_0 \dots w_{M-1}]^H \quad (7)$$

여기서 H 는 Hermitian transpose로 복소공액(complex conjugation)을 겸한 전치(transposition)이다. 이러한 비용함수는 어레이 출력 신호 품질에 반비례하므로 비용함수는 최소로 하면, 신호 품질은 최상이 된다. 비용함수를 최소화 하는데 널리 사용되는 두 가지 방법으로 MMSE (Minimum Mean Square Error)와 LS 판별법이 있다. 그림 4는 적응 어레이(Adaptive Array)구조를 나타낸다.

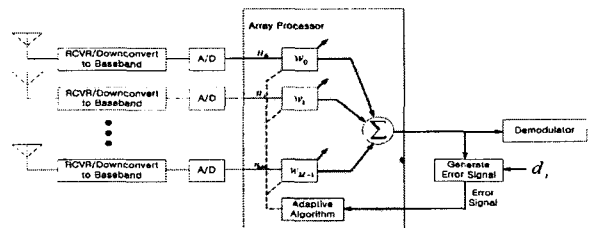


그림 4 Adaptive Array Structure

MMSE 알고리즘은 어레이 출력과 어떤 기대 신호 $d(t)$ 간의 차이를 최소화하는 방법이다[3,4]. 이 MMSE 알고리즘에서, 입력 데이터 행렬 $u(t)$ 와 기대 신호 $d(t)$ 간의 상호-상관 벡터 (cross correlation vector)는

$$p = E [u(t)d_k^*(t)] \quad (8)$$

이다.

이때 최적의 MMSE 결과치는

$$w_k = R^{-1} p \quad (9)$$

이다. 식 (4)에서 R이 non-singular 이면 하나의 해를 가지게 되는데, 이것은 식 (4)의 잡음성분의 분산이 영 (zero)이 아닌 경우이다[3].

LS 알고리즘은 MMSE에서 사용된 통계적 평균 (Ensemble average)대신에 시평균(time average)을 이용한다는데 차이가 있다. 이러한 LS 알고리즘의 주요한 개념 중의 하나는 가중치 벡터(식(2))가 고려된 시간창(time window)동안에 관측된 데이터에서만 최적이 되고 정체성(stationarity)에 관한 가정은 필요하지 않다는 것이다.

이 LS 알고리즘의 최적의 해는

$$w_k = (A^H A)^{-1} A^H d_k \quad (10)$$

이다[2]. 여기서 데이터 행렬은

$$A^H = [u_0 \ u_1 \ \dots \ u_{p-1}] \quad (11)$$

이고, 기대 신호 벡터는

$$d_k = [d_{k,0} \ d_{k,1} \ \dots \ d_{k,p-1}]^H \quad (12)$$

으로 정의하면 식(5)의 최적의 해가 나오게 된다.

LS의 핵심사항은 기대 공간 필터 출력을 알거나 구할 수 있어야 하는 것인데, 이것은 트레이닝 시퀀스(training sequence)를 주기적으로 보내면 알 수 있다.

3. LMS 알고리즘

다른 적응 알고리즘의 예로 LMS 가 있는데 알고리즘 연산 순서는 표 1과 같다.

표 1. LMS 알고리즘[3]

$\hat{w}_0 = 0$	$z_n = \hat{w}_n^H u_n$ $e_n = d_n - z_n$ $\hat{w}_{n+1} = \hat{w}_n + \mu e_n^*$	Step size parameter μ , $0 < \mu < \text{Trace}(R)$
-----------------	---	--

LMS 는 훈련열을 이용하여 어레이 출력과 훈련열 사이의 자승오차를 최소화시키는 적응 알고리즘이다. 이는 어레이 가중치 벡터의 함수로 표현되는 평균자승 오차의

기울기 추정을 기반으로 한다. LMS 알고리즘에서 기대 신호는 트레이닝 시퀀스(Training sequence)또는 결정 방향(detection direction)을 사용하여 공급해야 한다.

III. 모의 실험 환경 및 결과

본 논문에서는 CDMA 이동 통신 시스템에서 스마트 안테나의 적응 알고리즘 중 LS, LMS 그리고 Non-adaptive 상황에서 BER과 SNIR의 상관관계를 분석하여 성능을 비교하였다. 실험에 사용된 시뮬레이션은 다양한 시스템구성과 그에 따른 조작 실험이 용이한 Cadence 사의 SPW를 사용하여 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 사용한 스마트 안테나 CDMA 이동통신 시스템 전체 시스템 구성도는 그림 5과 같다.

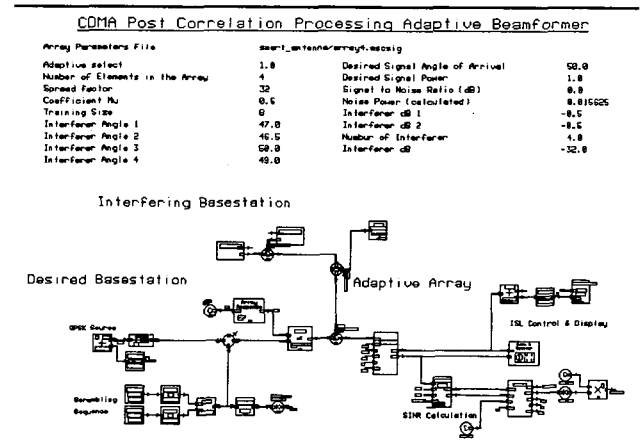


그림 5 CDMA 시스템 구성도

본 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들은 아래와 같다.

- Number of Elements in array : 4
- Desired Signal Angle of arrival : 50
- Signal to Noise Ratio[dB] : 0
- Desired Signal Power : 1.0

4개의 간섭 기지국 (Interfering base station) 과 희망 기지국 (Desired base station) 으로 구성되어 있으며 데이터는 먼저 QPSK 변조 과정을 거친다. 그 다음에 서로 다른 PN 코드를 적용하게 된다. 시뮬레이션 파라미터인 SINR (Signal-to-Interference plus Noise Ratio) 에 따라 간섭 기지국 신호 레벨을 변환시켜 희망 기지국 신호와 함께 수신하게 된다. 이렇게 수신된 신호는 PN 코드 상관 과정을 거친 뒤 적응 빔 형성 알고리즘에 따라 빔 형성을 한 뒤 QPSK 복조를 수행하여 비트오율을 계산하게 된다. 그림 4 는 시뮬레이션에 사용된 적응 어레이 시스템의 구성도이다.

CDMA Post Correlation Processing Beamforming Algorithms

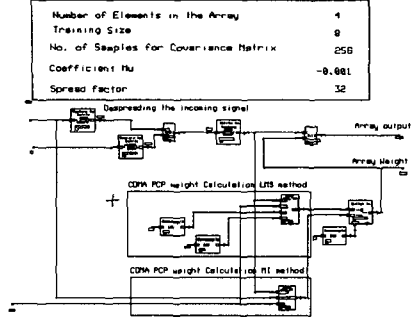


그림 6 적응 어레이 시스템 구성도

시뮬레이션은 AWGN 환경에서 수행하였으며, 비적응 (Non-Adaptive)과 LMS 및 LS 환경에서 각각의 간섭 기지국의 입사파 각도를 바꾸어서 그 성능을 비교하였다.

1. Interferer Signal Angle 0°, 1°, 2°, 3°

그림 5는 각각의 Interferer Signal Angle 에서 각 조건의 성능을 비교한 결과로 시뮬레이션에 사용된 프레임의 길이는 1600(bits)이다.

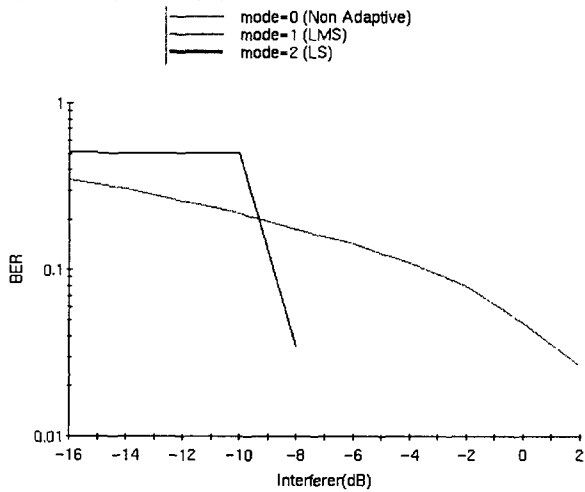


그림 7 Interferer Signal Angle 0°, 1°, 2°, 3°

스마트 안테나의 적응 알고리즘을 LMS로 했을 경우 non-adaptive 경우 보다 SINR이 약 5[dB] 이상의 이득을 얻을 수 있었다. 그리고 LS의 경우에는 예러가 발생하지 않았다.

2. Interferer Signal Angle 46°, 47°, 49°, 50°

그림 6은 각각의 Interferer Signal Angle 에서 프레임 길이는 1600[bits]로 실험한 결과이다.

non-adaptive 나 LMS 에서의 성능은 거의 유사하나 LS 인 경우에 성능은 3[dB] 이상 우수하였다. 다시 말해 LS 가 더욱 우수한 성능을 제공하는 것으로 관찰되었다.

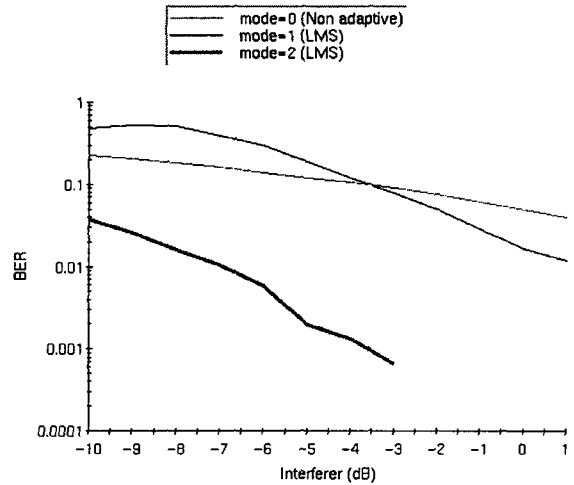


그림8 Interferer Signal Angle 46°, 47°, 49°, 50° 이는 스마트 안테나의 non-adaptive 보다는 adaptive 빔형성이 높은 성능 개선을 제공함을 알 수 있었으며 적응 알고리즘에 있어서는 LMS 보다는 LS 의 성능이 우수함을 알 수 있었다. 그리고 이러한 비트오율 성능은 Interferer signal Angle 과도 밀접한 관련이 있음을 보여 주고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 무선 시스템의 성능을 향상시키는 스마트 안테나의 적응 알고리즘 중에서 LS 및 LMS의 성능을 non-adaptive 와 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 프레임의 길이는 800 [bits]로 Interferer Signal Angle 에 변화를 주면서 실험한 결과 adaptive 경우가 non-adaptive 경우보다는 성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 또한 시스템의 성능은 Interferer Signal Angle 에 민감하게 변화됨을 알 수 있었다. 향후 연구과제로 간섭 기지국 수를 증가시키고 채널 부호화 기술을 적용한 스마트 안테나 CDMA 시스템을 구현하여 다중경로 페이딩 채널 환경에서 종합적인 성능분석을 할 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

[1] <http://www.cadence.com>
 [2] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, *Smart antennas for wireless communications: IS-95 and Third generation CDMA applications*, NJ: Prentice Hall, 1999.
 [3] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, NJ, 1991.
 [4] B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering", *IEEE Acoustics, Speech, and Signal Processing Magazine*, Apr. 1988.
 [5] 3rd Generation Partnership Project 2, "Physical layer standard for CDMA2000 spread spectrum systems", 3GPP2 Technical Specification, C.S0002-A, June 9, 2000.