

# Multi Rate Service 환경 하에서의 adaptive array antenna system 의 성능 분석

박현화, 김정호  
이화여자 대학교 정보통신학과

## Performance of Adaptive array antenna system under the Multi-Rate Service Environment

HyunHwa Park and JeongHo Kim,  
Department of Information Electronics Engineering,  
Ewha Womans University,  
11-1 Daehyun-Dong,  
Seodaemun-Gu, Seoul 120-750, Korea  
Tel: 82-2-3277-3596 Fax: 82-2-3277-3494  
E-mail:oursori@ewha.ac.kr, jho@ewha.ac.kr

### Abstract

본 논문에서는 multi-media service 를 제공하는데 smart antenna system 을 적용했을 때의 performance 를 각 서비스별 특성에 따라 평가한다. 서로 다른 다중 rate 의 신호가 각각의 안테나를 통해서 수신되는 환경 하에서 adaptive smart antenna 를 적용함으로써 보다 고속이고 향상된 용량의 서비스를 제공할 수 있도록 하기 위해서는 사용자의 지리적 분포 또는 간섭 전력에 따라서 성능 특성이 달라지므로 이에 대한 성능 분석을 시뮬레이션을 통해서 수행한다.

### I. 서론

점차적인 이동 통신의 발전으로 차세대 통

신 환경은 다양한 종류의 서비스 제공을 필요로 하게 되었다. 뿐만 아니라 이동 통신에 관한 수요가 증가함에 따라 한 셀 내에서 통화하고 있는 사용자에게 대한 간섭 신호가 증가하게 되었다. 이러한 간섭의 영향을 줄이기 위해서 스마트 안테나 시스템을 사용할 수 있는데 이는 복수개의 배열 안테나를 이용해 각각의 안테나로 수신되는 신호들의 이득 및 위상을 조절하여 기지국에서 원하는 방향의 신호에는 최대 이득을 주고 나머지 방향에서 수신되는 신호의 레벨을 크게 감소시켜 시스템의 성능을 향상시키고 기지국의 채널 용량을 증가 시킨다 [1-3].

본 논문에서는 시스템의 빔 패턴이 주위 환경과 트래픽 증가에 따라 변화하는

적용형 스마트 안테나를 사용하여 간섭 신호의 영향을 최소화 시키고 다양한 종류의 서비스가 지원되는 다중 서비스 환경에 적용함으로써 얻을 수 있는 용량 증가와 성능 향상에 관하여 살펴 본다.

본 논문의 구성은 우선, 논문에서 사용하고 있는 전체적인 시스템의 구조에 대해 설명하고 간단한 수학적 전개와 함께 사용자가 단일 rate의 서비스를 이용하는 경우와 multi rate의 서비스를 이용하는 경우로 나누어 살펴본다. 그 후에 시뮬레이션을 통해서 시스템의 성능을 분석하고 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 본론

### 2.1 시스템 구조

binary sequence 로 구성된 사용자의 information signal 은 chip sequence 와 곱해지면서 spreading 된다. 이 신호가 채널을 통해서 전송되게 되는데, 여기서 사용자의 information signal 을  $d(t)$ 라 하고 chip sequence 를  $p(t)$ 라고 하면 전송되는 사용자의 신호  $s(t)$ 는 다음과 같다.

$$s(t) = d(t) * p(t) / \sqrt{2} \quad \text{식(1)}$$

각각의 사용자 신호는 무선 채널을 통해서 수신 단에 있는 안테나로 전송되게 되는데, 이 과정에서 더해지는 잡음을 AWGN (additive white gaussian noise)이라고 하면, 안테나로 전송되는 신호는

$$r(t) = s(t) + n(t) + I(t) \quad \text{식(2)}$$

이다. 여기서  $I(t)$ 는 간섭으로 작용하는 다른 사용자의 신호를 말하고,  $n(t)$ 는 전력 스펙트럼 밀도  $N_0$ 인 잡음 성분을 의미한다. 이렇게 더해진 신호는 그림 1의 각각의 안테나를 통해서 수신이 된다. 이 논문에서는 수신 단의 안테나의 개수를 4 개로 가정한다. 각 안테나를 통해 수신된 신호는 matched filter 를 거치면서 despreading 된다.

$$y(m) = \frac{1}{T} \int_{mT}^{(m+1)T} r(t)p(t)^* dt \quad \text{식(3)}$$

여기서 \*는 complex conjugate 를 의미한다. 이제 각 안테나에서 despreading 된 신호  $y(m)$  은 적절한 weight 와 곱해지고 SIR 이 최대가 되는 안테나 빔 패턴을 형성하기 위해 빔 형성기에서 결합된다.

$$Z(m) = \sum_{j=1}^J y(m)W(m)^* \quad \text{식(4)}$$

여기서  $J$  는 안테나의 수이고, 이 곱해진 신호  $Z(m)$  은 rake combiner 를 거쳐 출력되게 된다. 이때 곱해지는 weight 를 update 시키는 알고리즘에는 여러 가지 방식이 있지만 본 논문에서는 LMS(Least Mean Squared) 방식을 사용한다[4].

이 weight adaptation 알고리즘의 목적은 beam former 의 출력 단에서  $E\{e(m)^2\}$  를 최소화 하는 것이다. Error signal 은 rake combiner 출력 단의 신호인 reference signal 과 beam former 출력 단의 신호의 차에 의해서 만들어진다.

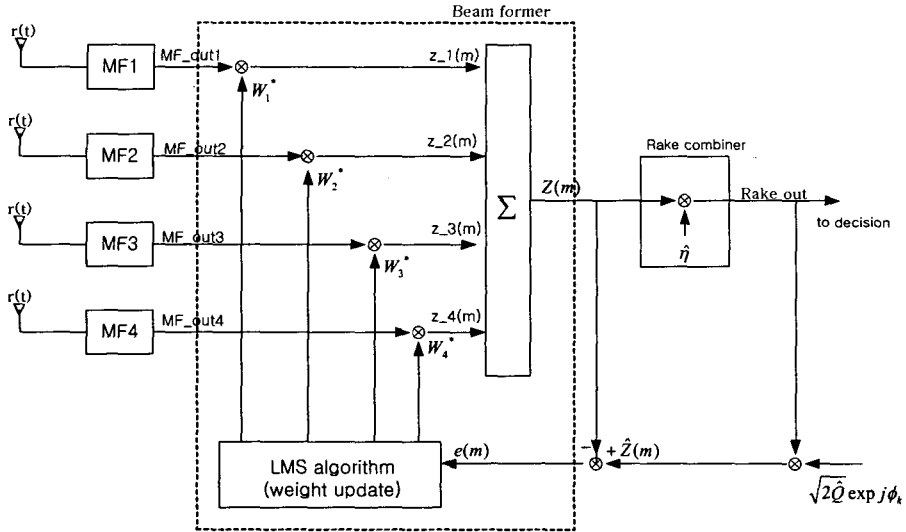


그림 1. 전체 시스템의 block diagram

$$e(m) = \hat{z}(m) - z(m) \quad \text{식(5)}$$

여기서,  $\hat{z}(m)$  은 rake combiner 출력 단에서 만들어진 신호를 의미하는데,

$$\hat{z}(m) = \sqrt{2\hat{Q}(m)} \exp j\hat{\phi}(m) \quad \text{식(6)}$$

$\hat{Q}(m)$  는 rake combiner 출력에서의 평균 신호 전력의 estimate 로  $\frac{1}{2}|z(m)|^2$  로 계산된다.

이렇게 만들어진 error signal 을 최소화 하도록 LMS 알고리즘이 동작한다. 따라서 LMS 알고리즘에 의해 weight 는 다음과 같은 방식으로 update 된다.

$$w(m+1) = w(m) + \mu \frac{y^{(j)}(m)}{\sum_{j=1}^J |y^{(j)}(m)|^2} e^*(m) \quad \text{식(7)}$$

여기서  $\mu$  는 step size 를 나타내며, \*는 complex conjugate 이다. 알고리즘에 의해 update 된 weight 는 다음 슬롯에 들어오는 데이터에 곱해짐으로써 그 데이터를 검출하는데 오류를 줄일 수 있게 한다. 이와 같은 weight update 는 반복적으로 수행되게 되며 이렇게 구해진 weight 는 array response 를 사용하여 Beam pattern 을 그릴 수 있다.

## 2.2 사용자가 단일 rate 의 서비스를 이용할 경우

시스템에서 사용되고 있는 사용자의 신호가 동일한 rate 으로 전송될 때 즉, desired

signal 과 간섭 신호가 음성 또는 비디오와 같이 동일한 종류의 서비스를 사용할 경우에 대해서 고려해 보자. 예를 들어 원하는 신호가  $40^\circ$  에서 들어오고 간섭 신호가  $-60^\circ$  에서 들어온다고 하자. 그리고 채널을 통해서 들어온 신호에는 오직 AWGN 만이 존재한다고 가정하자.

안테나의 개수는 4 이고 effective  $E_b/N_0$  를 4dB, 그리고 안테나를 통해 들어오는 두 신호의 rate 이 동일하므로 chip 당 에너지를 1 로 정규화 했을 때 각 안테나를 통해서 들어오는 신호  $r(t)$  는

$$r(t) = s(t) * \exp(-j\pi(J-1)\sin(\theta_1)) + n(t) \quad \text{식(8)}$$

$$+ I(t) * \exp(-j\pi(J-1)\sin(\theta_2))$$

여기서,  $s(t)$  는 원하는 신호이고  $I(t)$  는 간섭 신호,  $\theta_1$  은 원하는 신호의 방향,  $\theta_2$  는 간섭 신호의 방향,  $J$  는 안테나의 수를 의미한다. 이처럼 안테나를 통해 들어오는 신호의 이득 및 위상이 조절된다. 수신된 신호를 바탕으로 LMS 알고리즘에 의해 update 된 weight 를 사용하여 Beam pattern 을 그리면 그림 2 와 같다.

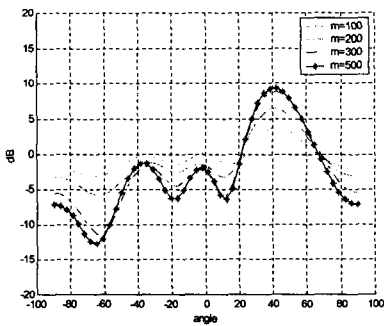


그림 2. 안테나 빔 패턴 (symbol 수=500 개)

이 그림에서 볼 수 있듯이 update 된 weight 에 의해서 beam 은 원하는 신호가 들어오는 방향  $40^\circ$  에 대해서는 최대 이득을, 간섭 신호가 들어오는 방향  $-60^\circ$  에 대해서는 null 을 형성해 가는 것을 볼 수 있다.

또한 송신한 데이터에 대하여 rake combiner 의 출력 단에서 decision 된 데이터 값과 비교하여 이 시스템에서 발생하는 error 의 수를 계산할 수 있다. 그림 3 에 동일한 rate 의 사용자에 대한 BER 곡선을 그렸다. 이 그림은 시스템의 SIR 을 변화시켜 가면서 측정한 BER 값을 1 개의 안테나에 대한 이론적인 BER 값과 비교한 것이다.

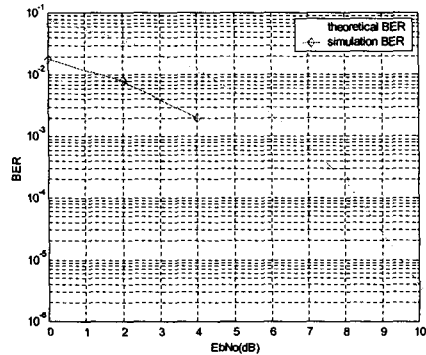


그림 3. 동일한 rate 사용자의 BER 곡선

그림 3 에서처럼 LMS 알고리즘을 사용하여 update 된 weight 로 신호를 검출했을 때 BER 이 1 개의 안테나에 대해서 2.5dB 이상 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 데이터의 수를 500 개로

정의하여 실험하였고, 4dB 이후에는 매우 낮은 BER 값이 얻어지므로 시뮬레이션 수행시간이 충분치 않아 0 이 나오므로 그림에는 그려지지 않았다.

### 2.3 사용자가 multi rate 의 서비스를 사용할 경우

시스템에서 사용되고 있는 사용자의 신호가 서로 다른 rate 으로 전송될 때 즉, 원하는 신호와 간섭 신호가 음성 또는 비디오, 패킷과 같은 서로 다른 종류의 서비스를 사용할 경우에 대해서 고려하고자 한다. 예를 들어, 두 명의 사용자가 가운데 한 사용자는 음성의 서비스를 이용하고, 다른 사용자는 비디오 서비스를 이용한다고 가정한다. 여기서 우리가 원하는 신호는 음성 정보이고, 이때 비디오 신호는 간섭 신호로 작용한다. 이 시뮬레이션에서는 WCDMA 환경에서 12.2Kbps 의 음성과 144Kbps 의 비디오 신호를 사용한다 desired signal 인 음성 신호가 40° 의 방향에서 들어오고 간섭 신호인 비디오 신호가 -60° 에서 수신된다. 또한 채널을 통해 들어오는 신호에는 오직 AWGN 만이 존재한다고 가정한다. 전송되는 신호의 rate 이 다르므로 chip 당 에너지가 1 로 정규화 된 음성신호 대비 비디오 신호의 chip 에너지를 계산해 준다. 따라서 이때 안테나를 통해 수신되는 신호 r(t)는

$$r(t) = S_{vo}(t) * \exp(-j\pi(J-1)\sin(\theta_1)) + n(t) \quad \text{식(9)}$$

$$+ \sqrt{E_c} S_{vd}(t) * \exp(-j\pi(J-1)\sin(\theta_2))$$

여기서,  $S_{vo}$  는 음성 신호,  $S_{vd}$  는 비디오 신호,  $\sqrt{E_c}$  는 비디오 신호의 chip 당

에너지를 뜻한다. Multi rate 의 사용자 환경에서의 beam pattern 은 그림 4.a 와 그림 4.b 에 나타냈다.

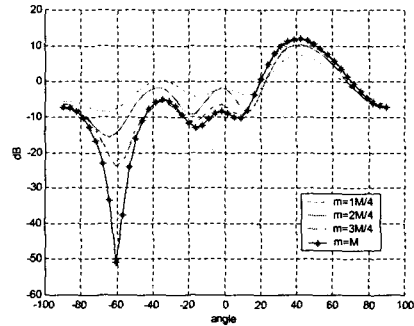


그림 4.a multi rate 의 빔 패턴

이 경우에 음성 신호가 수신되는 40° 방향에 대해서는 최대 이득을, 비디오 신호가 수신되는 -60° 방향에 대해서는 null 을 형성함을 볼 수 있다.

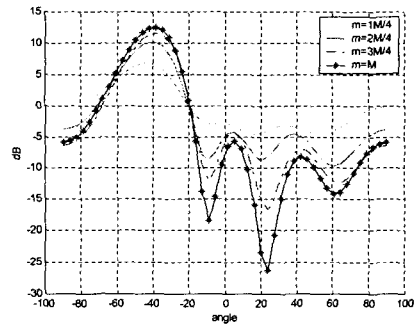


그림 4.b multi rate 의 빔 패턴

그림 4.b 는 음성 신호가 -40° 에서 수신되고, 비디오 신호가 30° 에서 수신될 때의 빔 패턴이다. 이 그림에서 보면, 신호가 들어오는 방향에 따라 빔 패턴이 형성되는 것을 관찰할 수 있고, 원하는

신호인 음성신호가 들어오는 방향으로는 최대 이득을 주지만, 간섭 신호가 들어오는 방향에서는 정확하게 nulling 을 하지 못하는 경우도 관찰할 수 있다. 간섭 신호인 비디오 신호에 대해서 정확하게 nulling 을 하지 못하는 원인으로는 LMS 알고리즘 자체의 제한 요인과 일시적인 잡음의 영향으로 인한 것일 수 있다. 그림 5 에는 multi rate service 환경에서의 음성 서비스 사용자에게 대한 BER 곡선을 그렸다.

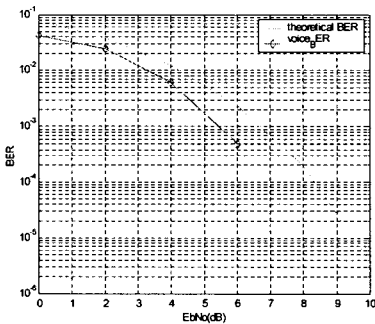


그림 5. multi rate 에서 음성 사용자의 BER

그림에서 알 수 있듯이 음성 신호의 경우 동일한 rate 의 신호보다는 조금 열화된 BER 특성을 보이지만, 단일 안테나에 대비하여 multi rate service 환경에 adaptive smart antenna 를 적용함으로써 시스템의 수신 성능이 향상 됨을 관찰할 수 있다.

### III. 결론

지금까지 다중 사용자 환경에서 multi-rate 서비스에 적응 어레이 스마트 안테나 시스템을 적용하였을 때 시스템의 성능을

시뮬레이션을 통하여 살펴보았다. 여기서 사용자가 단일 rate 의 경우 beam pattern 이 정확하게 형성됨을 볼 수 있었고 BER 도 하나의 안테나 대비 수신 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. multi rate 의 경우 원하는 신호에 대해 최대 이득을 주는 빔 패턴을 형성하지만, null 은 시뮬레이션을 수행할 때마다 조금씩 다른 양상을 보인다. 이는 그때마다 발생하는 잡음과 간섭 신호의 영향에 따라 또는 알고리즘 자체의 한계로 인해 달라지는 결과로 예상된다. 그러나 multi rate 의 경우에도 단일 안테나를 사용하는 경우와 비교하여 낮은 값을 가지므로 전체 시스템의 성능이 향상 됨을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Javad Razavilar, Farrokh Rashid-Farrokhi, and K. J. Ray Liu, "Software Radio Architecture with Smart Antennas: A Tutorial on Algorithms and Complexity," IEEE journal on selected areas in communication, Vol.17, NO. 4, April 1999
- [2] Joseph C. Liberti, Jr. and Theodore S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice-Hall PTR, 1999.
- [3] John Litva and Titus Kwok-Yeung Lo, *Digital Beam forming in Wireless Communications*, Artech House, 1996.
- [4] Shinya TANAKA, Mamoru SAWAHASHI, and Fumiyuki ADACHI, "Pilot symbol-assisted decision-directed coherent adaptive array

diversity for DS-CDMA mobile radio  
reverse link," IEICE Trans,  
Fundamentals, vol. E80-A, NO.12  
December 1997