

# FFT를 이용한 스마트 안테나 수신 시스템 구현에 관한 연구

이 하 영, 안 재 민

충남대학교 정보통신공학과

전화 : 042-821-7796 / 핸드폰 : 011-9403-2129

## Performance of spatial FFT based smart antenna receiver system

Ha young Lee, Jeamin Ahn

Dept. of Information Communication Engineering, Chungnam National University

E-mail : hylee@seolhwa.cnu.ac.kr

### Abstract

A new smart antenna scheme based on spatial FFT is proposed. By combining the output of spatial FFT, the proposed structure shows similar performance gain compared to ordinary smart antenna systems. Moreover, the proposed scheme could be easily integrated to general receiver without beam focusing module.

The analysis and simulation results show that the performances of proposed scheme are comparable to ordinary smart antenna systems.

### I. 서론

최근 이동통신이 다양한 형태의 서비스를 요구하게 되면서 보다 나은 서비스의 품질을 제공하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 기술 중의 하나인 스마트 안테나 기술은 기지국에서 복수개의 배열 안테나 소자를 사용하여 각각의 안테나 소자에 수신되는 신호들의 이득 및 위상을 조절함으로써, 기지국에서 원하는 사용자의 방향에서 전파되어 오는 신호만을 수

신하고(beam focusing) 그 외의 방향에서 전파되어 오는 다중 간섭 신호들을 줄여(nulling) 신호 대 잡음비를 개선시키고 용량을 줄일 수 있는 효과적인 기술이다.

기존의 smart antenna는 한 개의 module은 한 개의 수신기와 연동해서 동작해야 만 하는 한계를 가지고 있다[1][3][4]. 따라서 여러개의 수신기가 수신 안테나에서 공동으로 신호를 수신할 경우에는 각각의 수신기 별로 별도의 smart antenna module이 존재해야 한다. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 수신 안테나 어레이에 대한 spatial FFT를 통하여 여러 수신기 별로 관심 있는 신호를 선별적으로 수신하게 함으로써 일반적인 수신기를 사용하여 smart antenna와 유사한 신호 대 잡음비 개선 효과를 얻을 수 있는 방법을 제안한다[2]. 특히 제안한 방법은 각각의 수신 채널별로 최대비결합(MRC : Maximal Ratio Combining)을 수행할 수 있으므로 spatial FFT block의 추가만으로 기존의 수신기로서 smart antenna 성능을 얻을 수 있도록 한다.

본 논문의 2장에서는 시스템 모델을 기술하였고, 3장에서는 performance analysis를 표현하였으며, 4장에서는 analysis 및 simulation result를 도시하였다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

이 연구는 BK21 충남대학교 정보통신 인력양성 사업단과 과학재단(R01-2001-00349)에 지원을 받았음.

II. 시스템 모델

<그림1>과 같이 N개의 안테나가 등 간격으로 배열된 선형 어레이에서 신호 S(t)가 입사할 때, 기준 antenna로부터 n번째 위치에 있는 antenna에 입사하는 신호 S<sub>n</sub>(t)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

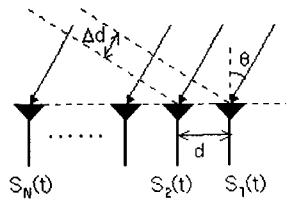
$$S_n(t) = S(t) \cdot e^{j(\omega_r t + \omega_r(n-1)\tau + \phi)} + N_n(t) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{c}$$

$$\phi = 2\pi f_r \tau, t = \pi \sin \theta$$

여기서, τ는 시간지연율, φ는 위상지연율 말하며, d는 안테나간의 거리를 나타내고(d=λ/2, Δd=sinθ), f<sub>r</sub>는 평면 파형의 주파수, c는 빛의 속도를 나타낸다. 또한, λ는 파장을, θ는 입사각도를, N<sub>n</sub>(t)는 n번째 안테나에서 수신되는 백색잡음을 의미한다. 식(1)을 기저대역에서 정리하면 다음과 같다.

$$S_n(t) = S(t) \cdot e^{-j(n-1)\pi \sin \theta} + N_n(t) \quad (2)$$



<그림1> 등간격 선형 어레이 안테나

<그림2>는 spatial FFT를 이용한 smart antenna 수신기 구조를 보여 주고 있다. 식(2)에 나타낸 것과 같이 N개의 안테나로 수신된 신호 S<sub>1</sub>(t), S<sub>2</sub>(t) ... S<sub>N</sub>(t)는 spatial FFT에 의하여 신호의 입사 각도에 해당하는 출력 port를 중심으로 다음과 같이 수신 신호 X<sub>1</sub>(t), X<sub>2</sub>(t) ... X<sub>N</sub>(t)를 형성한다.

$$S_n(t) = S(t) \cdot e^{j(n-1)\pi \sin \theta} + N_n(t) \quad (3)$$

$$X_k(t) = \sum_{n=1}^N S_n(t) \cdot e^{j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (4)$$

$$= \sum_{n=1}^N \left[ S(t) \cdot e^{j(n-1)\pi \cdot \sin \theta} \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} + N_n(t) \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \right]$$

$$= S(t) \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\pi \sin \theta} \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} + N'_k(t) \quad (5)$$

$$= S(t) \cdot x_k + N'_k(t)$$

여기서 N'<sub>k</sub>(t)는 FFT된 백색잡음으로서 역시 백색잡음의 특성을 갖는다. 또 x<sub>k</sub>는 spatial FFT의 k번째 출력 port의 weighting이다.

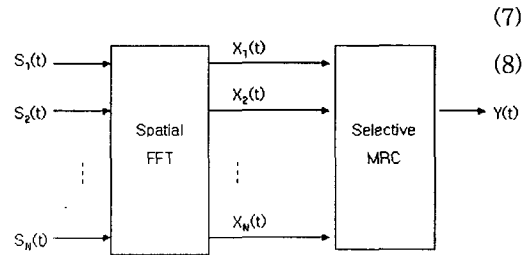
선택적 MRC 부분에서는 spatial FFT를 거쳐 나온 신호 X<sub>1</sub>(t), X<sub>2</sub>(t) ... X<sub>N</sub>(t)에 대한 최대비결합을 수행함으로써 beam focusing의 효과를 얻는다. 이 과정에서 X<sub>i</sub>(t), i=1, ... N 중에서 상대적으로 크기가 큰 몇 개의 신호를 결합함으로써 복잡도를 줄일 수 있다. spatial FFT를 거친 X<sub>n</sub>(t)는 weight α<sub>n</sub>을 곱해주어 틀어진 위상을 보상에 준 후 combining을 수행한다. 이러한 과정이 MRC 부분에서 이루어진다. 따라서, MRC를 수행한 결과 값 Y(t)는 식(6)과 같이 나타낼 수 있고, 식(6)은 신호 부분과 잡음 부분으로 식(7)과 같이 나누어 질 수 있다.

$$Y(t) = \sum_{k=1}^N X_k(t) \cdot \alpha^*_k$$

여기서 α<sub>k</sub>는 MRC를 위한 k번째 FFT 출력의 weighting으로서 이상적인 상황을 가정하면 MRC의 weight x<sub>k</sub>와 같은 값이 된다. 그리고 n은 최대비결합에 포함되는 안테나 개수를 의미한다. 따라서 식(6)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Y(t) = S(t) \cdot \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2 + \sum_{k=1}^N [\alpha^*_k \cdot N_k(t)]$$

$$= S(t) \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2 + N''(t)$$



<그림2> Spatial FFT를 이용한 smart antenna 수신기 구조

이상의 선택적 최대비결합 과정에서 몇 개의 신호를 결합하여야 하는가 라는 문제가 발생하게 된다. 물론 많은 수의 신호를 결합 할 수록 좋은 성능을 보이겠지만, 복잡성 및 계산량의 증가 등을 고려하였을 때 최상의 방법은 아니다. 따라서 본 논문의 3장과 4장에서

는 analysis와 simulation을 통하여 만족할 만한 성능을 얻기 위하여 몇 개 이상의 신호를 결합하여야 하는가를 확인하였다.

### III. Performance analysis

식(8)에서 MRC 출력신호  $Y(t)$ 에 대하여 살펴보면, 우변의 첫 항이 신호성분이고 둘째 항이 잡음성분임을 알 수 있다. 또한 잡음성분은 spatial FFT와 MRC 과정을 거친 백색잡음으로서 역시 백색잡음이 됨을 알 수 있다. 따라서 식(8)에 대하여 평균과 분산을 구함으로써 제안한 방식의 신호대 잡음비를 얻을 수 있다. 식(8)의 평균과 분산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_{mean} &= S \cdot \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2 \\
 Y_{var} &= E \{ |Y - Y_{mean}|^2 \} \\
 &= E \left\{ \left| \sum_{k=1}^N \alpha_k \cdot N_k \right|^2 \right\} \\
 &= N_0 \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2 \quad (9)
 \end{aligned}$$

따라서, MRC 출력의 신호대 잡음비는 다음과 같이 주어진다. (10)

$$\begin{aligned}
 SNR &= \frac{\left( S \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2 \right)^2}{N_0 \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2} \quad (N_0 = N_k \text{의 평균}) \\
 &= \frac{S^2 \sum_{k=1}^N |\alpha_k|^2}{N_0} \quad (11)
 \end{aligned}$$

### IV. Simulation results and discussion

제안한 방식의 성능을 검증하기 위한 simulation을 아래와 같은 조건에서 수행하였다.

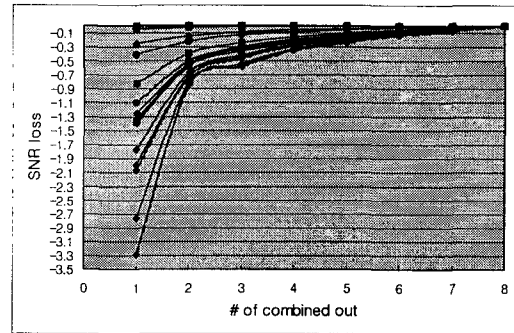
- 안테나 개수 :  $N = 8$
- AWGN 채널
- angular spread : no
- 입사각도 :  $0^\circ \sim 180^\circ$  ( $5^\circ$  간격)

3장의 analysis 결과를 도시한 것이 <그림3>이다. <그림3>의 x축은 combine한 안테나의 개수를 의미하고, y축은 최대 성능을 기준으로 한 제안 방식의 SNR loss를 의미한다. 따라서, combining 개수에 따라서 성능 gain이 달라지는 정도를 살펴 볼 수 있다. <그림3>

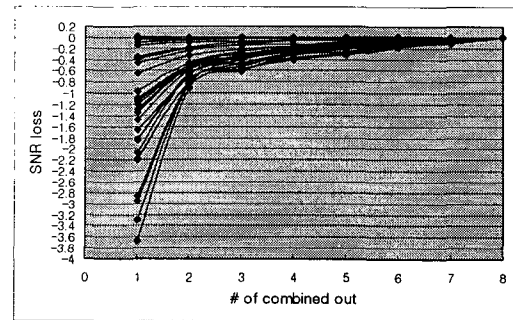
을 살펴보면, 최적성능대비 0.5dB 이내의 loss를 얻기 위해 신호를 4개 이상만 결합하면 된다는 것을 알 수 있다.

analysis 결과를 확인하기 위하여 simulation을 수행하고 그결과를 <그림4>에 나타내었다. <그림4>의 simulation 결과는 <그림3>의 analysis 결과와 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

또한, 제안된 방식에서 원하지 않는 신호에 대하여 suppression 되는 정도를 확인하기 위한 simulation도 수행하였으며 <그림5>와 같은 결과를 얻을 수 있었다. <그림5>에서 볼 수 있는 바와 같이 원치 않는 방향의 신호는 MRC하는 antenna의 개수가 증가하더라도 약 8dB 정도의 suppression 효과가 있음을 확인할 수 있었다.



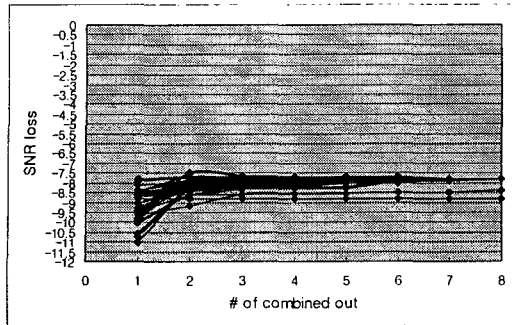
<그림3> AWGN, beam focusing



<그림4> AWGN, beam focusing

<그림5> AWGN, nulling

### V. 결론



본 논문의 4장에서 여러 가지 simulation 결과를 통해 수신안테나가 8개일 경우 4개 이상의 신호만을 결합하더라도 최적성능대비 0.5dB 이내의 만족할 만한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제시한 spatial FFT를 이용한 beam focusing 기법이 기존의 스마트 안테나 기술과 유사한 신호 대 잡음비의 개선 효과를 보임을 확인할 수 있었다. 또한 제안한 방법이 갖는 장점, 즉 기존의 일반 수신기를 이용하여 beam focusing을 할 수 있다는 점은 기존의 이동통신 시스템에서의 손쉬운 적용을 가능하게 하리라 생각된다.

#### 참고문헌(References)

- [1] Joseph C. Liberti, JR. , Theodore S, Rappaport Smart Antennas For Wireless Communication : IS-95 and Third Generation CDMA application, Prentice Hall 1999.
- [2] Lawrence J. Ziemek, "Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time signal Processing", CRC press 1995.
- [3] Garret T. Okamoto, "Smart Antenna Systems And Wireless LANs", Kluwer Academic Publishers 1999.
- [4] B. Widrow, P. E. Mantcy, L. J. Griffiths, B. B. Bgoode, "Adaptive Antenna Systems", IEEE. Proceedings, Vol 55, No.12, pp.2143-2159, December 1967.