

논문 2007-44TC-4-11

# GPS 수신기를 위한 3 차원 배열 안테나의 도래각 추정 및 빔 형성 성능 분석

(Performance analysis of DOA estimation and beamforming in  
3-dimensional array antenna for GPS receiver)

이종현\*, 김석중\*\*, 임승각\*\*\*

(Chong Hyun Lee, Suk Joong Kim, and Seung Gag Lim)

## 요 약

본 논문은 GPS 수신기에서 간섭 제거를 통한 성능 개선을 목적으로 3 차원 배열 안테나를 이용한 DOA ( Direction Of Arrival ) 추정과 빔 형성 성능 분석에 관한 것이다. GPS 수신기에 배열 안테나를 이용하면 신호 도래 방향의 DOA 를 추정 한 후, 공간 필터링을 이용하여 원하는 방향으로 주빔과 널을 형성하므로써 재머 ( jammer ) 신호를 제거할 수 있으므로 시스템의 성능을 높일 수 있게된다. 본 논문에서는 5 가지의 3 차원 배열 안테나 구조를 제안한 후 도래 신호의 DOA 를 추정키위한 MUSIC 알고리즘을 적용할 경우 추정 오차 및 빔 형성의 성능을 제시하였다. DOA 성능 분석을 위하여 DOA 추정 오차를 계산하였으며 빔 형성 성능 분석을 BER 을 사용하였다. 특히 빔 형성 성능 분석에서는 다양한 jammer 전력과 GPS 신호의 존재 및 각도 퍼짐등을 고려하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 제안된 3차원 배열 안테나에서 Curved (B) 7-element 안테나가 DOA 추정, 추정 오차 및 BER 특성과 각도 퍼짐에서 다른 배열 안테나보다 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

## Abstract

This paper deals with the performance analysis of 3-dimensional array antenna by DOA estimation and beamforming in GPS receiver for performance improvement by interference elimination. The array antenna in GPS receiver can improve the system performance by estimating DOA of arriving signal direction, making the main beam for desired direction and eliminate the jammer signal by nulling while keeping the GPS signal direction by spatial filtering. In this paper, we propose five types of 3-dimensional array antenna and analyze the estimation error via MUSIC algorithm which is used for the estimation of DOA of arrived signal and beamforming performance. In analyzing DOA performance, we measure DOA estimation error, while in analyzing beamforming performance, we measure BER. In beamforming performance analyzing, we use various jammer power and the existence of GPS signal and angle spread. By performing through the computer simulation, Curved (B) 7-element antenna in proposed 3-dimensional array antenna exhibits the superior performance in the DOA estimation, estimation error, BER characteristic and angle spread compared to the rest four array antenna types.

**Keywords :** DOA, Beamforming, MUSIC

## I. 서 론

오늘날 이동 통신 기술의 발달로 초고속 광대역 데이터 서비스뿐만 아니라 GPS 위성을 이용하는 위치 기반 서비스 (LBS : Location Based Service)의 보급이 늘고 있다. 그러나 이동 통신 특유의 다중 경로(Multipath) 전파 현상이 존재하는 환경 하에서 시스템의 용량을 증대시키면서 통신 QoS의 개선 또는 만족시키기 위한 일

\* 정회원, 제주대학교 해양과학대학 해양공학부  
(Dept. of Marine Indus. Eng., College of Ocean,  
Science, Cheju National University )

\*\* 정회원, 삼성탈레스(주) 수석연구원  
(Samsung Thales Co., Korea )

\*\*\* 정회원, 국립 공주대학교 정보통신공학부  
(Dept. of Info. and Telecom. Engineering, Kongju  
National University )

접수일자: 2007년2월15일, 수정완료일: 2007년4월16일

환으로 한정된 주파수 자원을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 기술들이 필요하게 되어 W-CDMA, OFDM, MIMO 등의 기술이 등장하였다<sup>[11]</sup>. 특히 MIMO와 같은 차세대 이동 통신에서 안테나의 성능을 개선할 수 있는 2 가지 방법으로는 다양한 다이버시티 방법과 적응 배열 안테나의 사용을 들 수 있다. 다이버시티 방법은 신호의 품질, 셀의 거리와 채널 용량을 개선시키기 위해 먼저 복수개의 다중 경로 페이딩과를 얻기 하기 위한 것으로서 안테나 다이버시티가 많이 사용되고 있지만 이외에도 공간 다이버시티, 편파 다이버시티, 방사 패턴 다이버시티 등이 있다. 복수개의 페이딩과를 얻은 후 이들을 합성하는 방법으로 선택 합성, 등이득 합성, 최대비 합성과 최적 합성 등이 있으므로 다이버시티와 합성을 조합하여 최적의 성능을 얻게 된다<sup>[11][9]</sup>. 그러나 이런 방법들은 스펙트럼 효율을 저하시키지 않지만 부가적인 외부 장비의 설치를 필요로 한다. 그러나 적응 배열 안테나를 이용함으로써 다른 전파 경로를 갖는 신호 성분들은 다른 각도로 수신될 것이므로 적응 신호 처리하여 이들을 분리 가능케 되어 간섭 신호 또는 Jamming 신호를 억압하면서 원하는 방향의 신호만을 수신할 수 있으므로 통신 가능 거리의 확대와 링크의 품질을 개선할 수 있는 큰 특징을 갖는다<sup>[11][5]</sup>. 특히 W-CDMA 방식에서 적응 배열 안테나를 사용함으로써 송신 전력을 줄일 수 있고 여러 사람이 동시 사용함으로써 발생하는 신호로부터 발생하는 MAI( Multiple Access Interference)를 경감할 수 있기 때문에 시스템 용량을 증가시키는 장점을 가지므로 배열 안테나를 이용한 적응 빔 형성을 적용하는 적응 배열 안테나 또는 스마트 안테나 (Smart Antenna)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[12]</sup>. 스마트 안테나에서는 주파수와 시간 및 공간 개념을 추가하여 주어진 신호 환경에 반응하여 자신의 안테나 소자에서 수신되는 신호의 이득과 위상을 조절함으로써 원하는 방향으로부터의 신호만을 수신하고 다른 방향의 신호는 감쇠시킬 수 있도록 빔 패턴을 적응적으로 변화시켜 방해 신호인 Jamming 및 MAI 를 줄일 수 있는 일종의 지능형 안테나를 말하며<sup>[9]</sup> 복수개의 배열 안테나 소자를 선형, 평면형 또는 원형 형태로 배열된 안테나 소자들로부터 도래 방향 (DOA : Direction Of Arrival)을 추정한 후 이를 이용하여 적응적으로 결합하는 빔 형성기 (Beam Former)에 기반을 두고 있으며 이의 성능이 전체 시스템의 유용성을 결정하는 중요한 핵심 기술로 등장하고 있다.

본 논문에서는 이를 위하여 5 가지의 3 차원 배열 안

테나를 대상으로 먼저 시간 영역에서 도래 방향을 MUSIC 알고리즘을 이용하여 추정한 후 이의 결과를 제시하였다. 추정된 DOA 결과를 기반으로 빔 형성을 위한 LCMV 알고리즘을 이용한 공간 영역에서 빔을 형성한 후 Jammer 수와 GPS 로부터의 기준 신호의 유무에 따른 BER 특성 및 각도 퍼짐에 의한 BER 특성을 분석하여 특정한 배열의 3 차원 안테나가 가장 좋은 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 논문의 구성은 II 장에서는 선형 배열 안테나에 대한 기본적인 사항과 5 가지의 3 차원 배열 안테나를 소개한 후 DOA를 추정할 수 있는 알고리즘과 빔 형성 알고리즘에 대하여 설명하였다. III장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 3 차원 배열 안테나의 DOA 추정 결과 및 추정 오차와 Jammer 수에 따른 BER 결과를 제시한 후 마지막으로 IV장에서는 결론을 내리겠다.

## II. 본 론

### 1. 선형 배열 안테나 모델

그림 1은 배열 안테나의 베이스밴드 모델을 나타낸 것으로서 저이득 안테나를 등간격 평면 배열을 사용하며 분석의 간편을 위하여 다음과 같은 사항들을 가정한다.

- 각 배열 소자간의 거리는 충분히 작아서 수신된 신호 동일
- 각 소자들은 무상관하며 각 순간에 안테나에는 유한 개의 신호가 수신

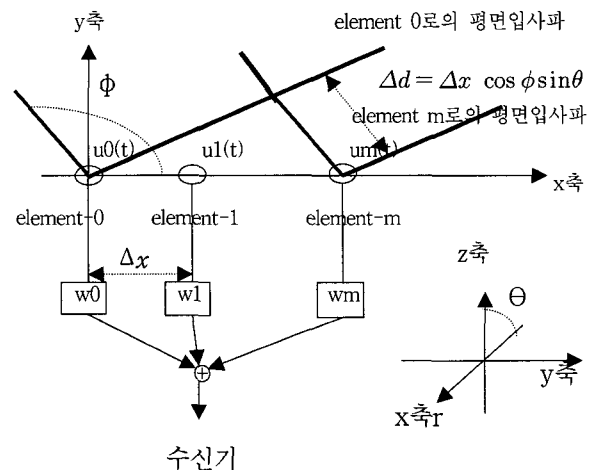


그림 1. 3-D 배열 안테나의 베이스밴드 모델  
Fig. 1. Baseband Model of 3-D array antenna.

○ 수신 신호의 대역폭은 반송파 주파수보다 매우 적음  
 (θ, φ)의 방향에서 수신되는 신호에 대해 m 번째 element와 원점에 위치한 element 간의 위상 차이는 다음과 같다. 여기서 θ는 어레이에 입사되는 평면파의 수직각(Elevation angle)이며 φ는 수평각( Azimuth angle)을 나타낸다.

$$\Delta\psi_m = \beta\Delta d_m = \beta(x_m\cos\phi\sin\theta + y_m\sin\phi\sin\theta + z_m\cos\theta) \quad (1)$$

일반적으로 일정한 간격으로 M 개가 분포하는 선형 (ULA : Uniform Linear Array) 구조에서 기저 대역에 곱해지는 가중치 w<sub>m</sub>은 크기와 위상을 갖는 복소수이며 m 번째 element의 위치는 x<sub>m</sub> = m Δx이므로 수신 신호가

$$u_m(t) = A_s(t)e^{-j\beta m\Delta x} = A_s(t)e^{-j\beta m\Delta x\cos\phi\sin\theta} \quad (2)$$

일 때 각 안테나 신호에 가중치를 곱해 더한 최종 신호 z(t) 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z(t) &= \sum_{m=0}^{M-1} w_m u_m(t) \\ &= A_s(t) \sum_{m=0}^{M-1} w_m e^{-j\beta m\Delta x\cos\phi\sin\theta} \\ &= A_s(t) f(\phi, \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 f(θ, φ)를 array factor라고 하며 신호 A<sub>s</sub>(t)와 수신 신호 z(t) 사이의 관계를 DOA 즉 (θ, φ)의 함수로 나타낸다. 여기서 w<sub>m</sub>의 값을 정함으로서 원하는 방향인 (θ<sub>0</sub>, φ<sub>0</sub>)로 주엽을 형성시킬 수 있게 된다. m 번째 가중치 w<sub>m</sub> = e<sup>jβmΔx cos φ<sub>0</sub></sup>로 정하면 array factor는

$$= \frac{\sin(\frac{\beta M \Delta x}{2} (\cos\phi\sin\theta - \cos\phi_0))}{\sin(\frac{\beta \Delta x}{2} (\cos\phi\sin\theta - \cos\phi_0))} \cdot e^{-j\frac{\beta \Delta x}{2} (\cos\phi\sin\theta - \cos\phi_0)} \quad (4)$$

가 된다. 각 element 안테나에서 수신된 신호들을 vector로 표현하면

$$u = [u_0(t) \ u_1(t) \ \dots \ u_{M-1}(t)] \quad (5)$$

가 될 것이므로 이때 어레이 안테나의 출력 z(t)는 가중치 w와 u의 곱형태가 될 것이므로 z(t) = w<sup>H</sup>u(t)가 될 것이므로 신호의 방향 (θ, φ)에 대한 array factor는

$$f(\theta, \phi) = w^H \alpha(\theta, \phi) \quad (6)$$

가 되며 여기서 α(θ, φ)를 steering vector라고 하며 (θ, φ)의 DOA를 갖는 신호에 대하여 기준 안테나의 신호에 대한 각 안테나에서의 수신 신호의 위상을 나타내며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \alpha(\theta, \phi) &= [1 \ \alpha_1(\theta, \phi) \ \dots \ \alpha_{M-1}(\theta, \phi)]^T \quad (7) \\ \alpha_m(\theta, \phi) &= e^{-j\beta(x_m\cos\phi\sin\theta + y_m\sin\phi\sin\theta + z_m\cos\theta)} \end{aligned}$$

### 2. 3차원 배열 안테나 구조

논문에서는 다음의 3 차원 어레이 안테나 구조를 제안하였다.

- Flat 7-element 배열 안테나
- Curved 7-element 3D 배열 안테나
- Curved (B) 7-element 3D 배열 안테나
- Cross 7-element 3D 배열 안테나
- Stack 7-element 배열 안테나

그림 2 는 이들 배열 안테나의 실제 구조와 Matlab 을 이용한 형상도를 각각 나타낸 것이다. (a)는 Flat 7-element 배열 안테나의 경우이며 (b)는 Curved 7-element를 나타낸 것이다. Curved 구조는 Flat 7-element의 구조에서 중앙에 위치한 안테나 소자를 중심으로 각 소자가 z 축의 아래쪽으로 배열된 형태이다. (c)는 Curved (B) 7-element로서 Curved 7-element의 구조에서 중앙에 위

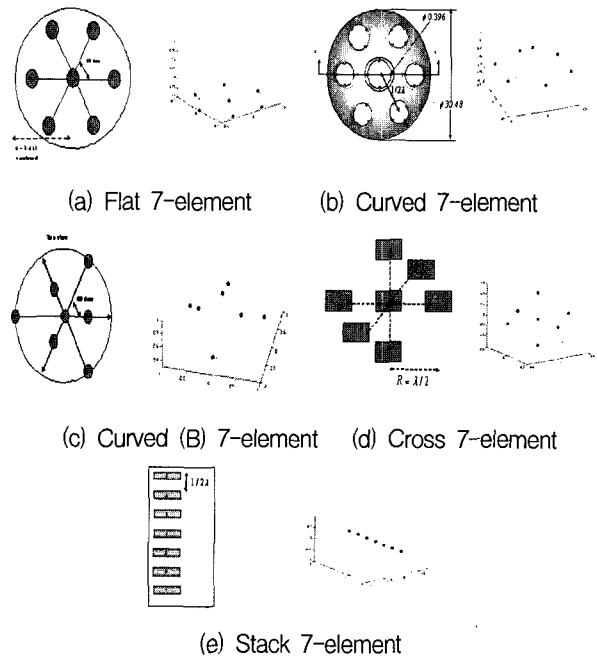


그림 2. 3차원 배열 안테나의 구조  
 Fig. 2. Structure of 3-D array antenna.

치한 안테나 소자를 중심으로 3 개의 소자 간격을 더 띠어서 배열하였으며 (d)는 Cross 7-element로서 Flat 7-element 배열 안테나를 세워서 중앙에 위치한 안테나 소자를 중심으로 2 개의 소자를 x, y, z 축으로 반파장 간격을 띠운 3 차원 구조이다. (e)는 Stack 7-element로서 x축 또는 y축 또는 z축으로 반파장 간격을 두어 배열한 선형 구조이다.

### 3. DOA 추정 알고리즘

DOA 추정 알고리즘은 전통적인 방법, 부공간을 이용하는 방법, 최대 우도비(Maximum Likelihood) 방법 등이 있는데 특히 부공간을 이용하는 방법은 입력되는 자료의 eigen 구조에 기반한 높은 해상도의 sub-optimal 한 기법으로 계산량이 적은 장점이 있다. 반면 최대 우도비 방법은 매우 낮은 신호대 잡음비에서도 양호한 결과를 얻을 수 있지만 계산량이 많은 단점도 있다. 그러나 광대역의 CDMA 신호를 대상으로 적용 가능한 방법으로는 계산량이 적은 부공간을 이용하는 방법이 좋을 것이며 대표적인 알고리즘으로는 MUSIC (Multiple Signal Classification)을 들 수 있다. 입력되는 자료의 공분산 행렬 eigen 구조를 분석하여 높은 해상도로 다수의 신호를 추정하는데 사용되며 원 신호와 소음 등의 혼재된 상황에서 각 신호의 DoA를 결정하는데 응용된다. 이의 성능은 실험적으로 검증된 반면 매우 정밀하고 정확한 배열 안테나의 보정을 필요하게 된다. 여기서는 MUSIC 알고리즘에 대하여 간단하게 설명하고 기타 알고리즘은 참고 문헌 [2],[3],[4]를 참조하기 바란다.

MUSIC 알고리즘은 신호 파라미터 추정 문제를 기하학적으로 고찰하여 만약 D 개의 신호 배열이 있다면 M 개의 배열 안테나에 수신된 입력 벡터는 D 개의 신호 파형들과 잡음의 합으로 표현할 수 있다.

$$u(t) = \sum_{i=0}^{D-1} a(\phi_i) s_i(t) + n(t) \tag{8}$$

$$u(t) = [a(\phi_0) \ a(\phi_1) \ a(\phi_{D-1})][s_0(t) \ s_{D-1}(t)]^T + n(t)$$

$$= As(t) + n(t)$$

여기서  $a(\phi_j)$ 는 j 번째 신호의 DOA에 대응하는 array steering vector이다. 이를 이용하여 다음의 공분산 행렬을 구한다.

$$R_{uu} = E[uu^H] = AE[ss^H]A^H + E[nn^H] \tag{9}$$

여기서 H 는 Hermitian을 의미한다. 식 (9)를 다음과 같

은 eigen decomposition을 수행한다.

$$R_{uu} V = V \Lambda \tag{10}$$

$\Lambda = \text{diag}[\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{M-1}]$ ,  $\lambda_0 \geq \lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_{M-1}$ 은 고유치이며  $V = [q_0, q_1, \dots, q_{M-1}]$ 은  $R_{uu}$ 의 해당 고유 벡터이다. 가장 작은 고유치  $\lambda_{\min}$ 의 다수 K로부터 신호 D의 수를 다음과 같이 추정한다.

$$D = M - K \tag{11}$$

이를 이용하여 다음 식을 이용한 MUSIC Spectrum을 구한다.

$$P_{MUSIC\ SPECTRUM}(\phi) = \frac{a^H(\phi)a(\phi)}{a^H(\phi) V_n V_n^H a(\phi)} \tag{12}$$

여기서  $V = [q_D, q_{D+1}, \dots, q_{M-1}]$ 의 관계가 있으며  $P_{MUSIC\ SPECTRUM}(\phi)$ 의 가장 큰 최고치 D개를 찾아서 DOA를 추정하게 된다.

### 4. 빔 형성 알고리즘

빔 형성은 배열 안테나를 통해 수신된 신호를 분석, 처리하면서 특정한 방향으로부터 도착한 신호를 강조하여 처리한다. 즉 공간 필터링 빔 형성(Spatial Filtering Beam Forming)을 통해 각각의 배열 신호를 적절한 가중치를 취한 후 합함으로써 특정 방향으로 빔을 형성토록 한다. 빔 형성 알고리즘으로는 전통적인 빔 형성 방식인 Delay-and-sum과 LCMV(Linear Constrained Minimum Variance) 방식이 있다. Delay-and-sum 방식은 빔의 폭과 side lobe 의 높이는 소스가 존재하거나 다중 방향으로 도착된 신호가 있을 때 효율성이 제한되는 문제점이 있으며 분해능이 낮다. 반면 LCMV 는 빔 형성을 위한 가중치 w 를 구할 때 비교적 신호 왜곡이 적어지며 신호대 잡음비를 최대화하여 구하므로 매우 효율적인 방법이 된다. 논문에서는 LCMV 알고리즘을 적용하여 빔 형성을 구현하였다. LCMV 알고리즘은 출력 전력과 분산  $E[|y(n)|^2] = w^H E[x(n)x(n)^H] w$ 의 최소화에 바탕을 두어 원하는 신호의 요구되는 응답을 갖도록 가중치를 구하는 방법으로 협대역과 광대역 빔 형성에 사용된다. 분산의 최소화는 원하는 신호를 유지하도록 하는 동안에 다음과 같은 빔 형성 출력을 효과적으로 최소화한다.

$$P_0 = \min \text{ of } w^H R_s w, \text{ subject to } C^H w = f \tag{13}$$

식 (13)은 Lagrange 곱셈을 사용하여 쉽게 얻을 수 있으

며 그 해는 다음과 같다.

$$w = R_x^{-1} C (C^H R_x^{-1} C)^{-1} f \tag{14}$$

데이터는 상관관계가 없는 잡음을 포함하므로 C는 full rank 이고  $R_x$ 는 positive definite이므로 그 역을 존재한다. 식 (14)를 이용하여 출력 분산은 다음과 같이 된다.

$$P_0 = f^H (C^H R_x^{-1} C)^{-1} f \tag{15}$$

여기서  $w^H d(\theta_s, w_s) = 1$ 에서 주어진 억압된 특정 세트를 사용하는 LCMV의 특정한 형태를 빔 형성을 MVDR (Minimum Variance Distortionless Response)이라고 하지만 이는 단일 주파수  $w_s$ 에 종속된 협대역 빔 형성 특성을 갖게 된다.

### III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

상기의 5 가지 형태의 3 차원 배열 안테나 구조에 따른 DOA 추정 결과와 추정 오차 및 빔 형성을 통한 BER의 분포 등을 컴퓨터 시뮬레이션 하였으며 이를 표 1에 나타내었다. 여기서 (x, y)는  $\theta$ 와  $\phi$ 의 값을 나타낸다.

그림 3 의 (a), (b), (c), (d)는 MUSIC 알고리즘을 적용할 때 Flat 7-element 형과 Curved 7-element 형, Stack 7-element 형과 Cross 7-element 형의 DOA 추정 결과를 나타낸 것이다. MUSIC Spectrum상에서 4 개의 피크점이 분포되어 원하는 DOA 추정 결과를 3 가지의 안테나에서는 알 수 있지만 Stack 7-element 형은 x, y, z 축 중 한축으로 배열된 형태이므로 추정 결과가 나뉘을 알 수 있다.

그림 4는 Jammer의 전력에 따른 DOA 추정 오차를 나타낸 것으로서 추정 오차는 수직각을 고정시킨 후 수평각의 차이를 나타낸 것이다. 단일 Jammer 의 경우와 2 Jammer 의 경우를 나타낸 것으로 GPS 각도와 크기를 (5,5) 와 0dB, Jammer 각도와 크기를 (40,10), (-40,-20) 와 30dB 씩 갖도록 변화하였다. 단일 Jammer 의 경우 Curved (B) 7-Element 가 가장 DOA 오차가

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameter.

SNR	0dB
GPS 신호 각도	(0,0)
GPS 신호 크기	0dB
jammer 각도	(40,10)(-40,-20)(40,60)(-20,20)
jammer 크기	30dB(30dB)(30dB)(30dB)

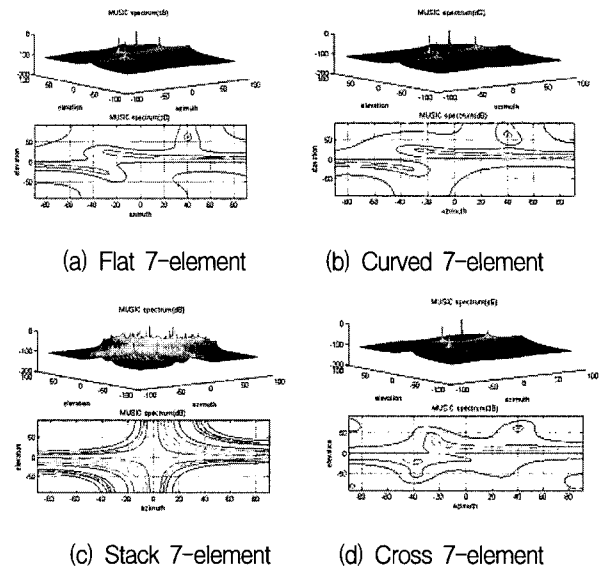
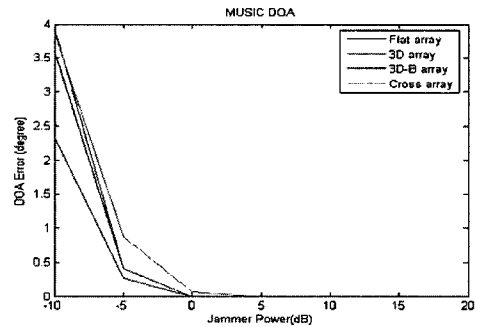
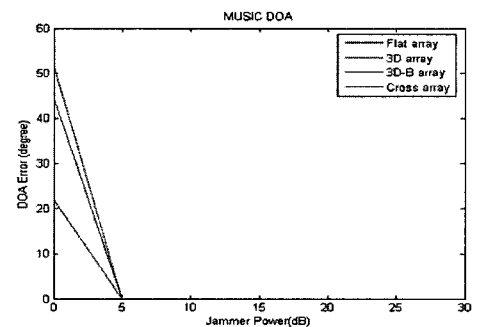


그림 3. DOA 추정 결과  
Fig. 3. Result of DOA estimation.



(a) 단일 jammer



(b) 2 jammer

그림 4. jammer 전력에 따른 DOA 오차  
Fig. 4. DOA Error by jammer power.

적은 것으로 나타났으며 2 Jammer의 경우 Cross 형태와 Flat 형태가 거의 동등한 성능을 보이고 Curved 배열이 조금 우수하며 가장 우수한 성능은 Curved (B) 7-element임을 알 수 있다. 또한 Jammer의 수가 증가할수록 DOA 오차가 커짐을 알 수 있다.

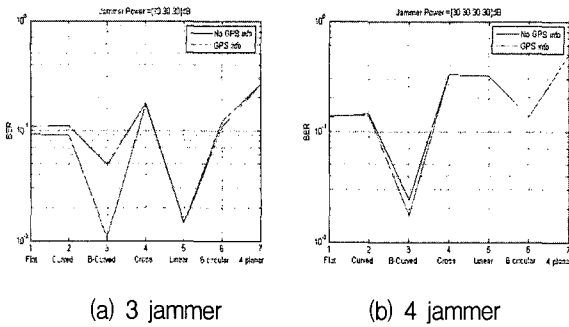


그림 5. jammer 수에 따른 BER 분포  
Fig. 5. BER distribution by jammer.

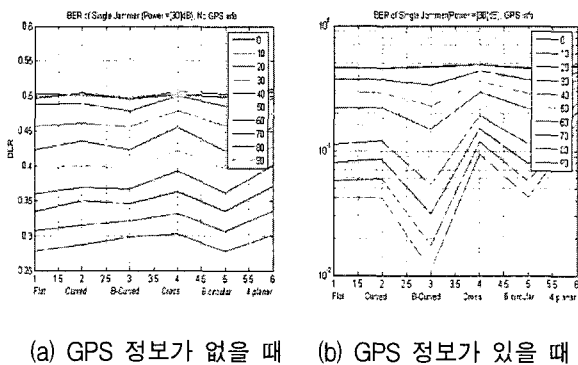


그림 6. 각도 퍼짐에 의한 BER 분포  
Fig. 6. BER distribution by angle spread.

이와 같은 배열 구조에서 DOA 추정 결과를 이용하는 통신 시스템을 구성할 때 빔 형성의 결과를 보이기 위한 BER 특성을 분석하였으며 변복조 방식으로는 BPSK를 적용하였으며 빔 형성 알고리즘으로는 LCMV를 사용하였고 GPS 방향을 모르는 경우는 방향으로 (0,0)로 가정하였다. 그림 5는 Jammer의 수를 3, 4로 하였을 때 GPS 정보를 이용할 때와 모를 때 이들 3차원 배열 안테나를 사용할 때의 비트 오율 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 3차원의 경우 Curved (B) 형이 가장 우수함을 알 수 있지만 Jammer의 수가 증가함으로써 매우 양호한 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그러나 실제적인 채널은 매우 복잡하며 신호의 광대역성과 평면파 가정이 성립되지 않으므로 실제로 입사되는 신호는 일정 각도를 중심으로 퍼져서 수신될 것이다. 이와 같은 각도 퍼짐 (Angle Spread)는 DOA 추정 결과를 떨어뜨려서 시스템의 성능 저하의 원인이 된다. 각도 퍼짐 현상을 최소화하기 위한 방안으로 GPS 정보를 이용한다. 그림 6은 각도 퍼짐을 0에서 10도 단위로 90도 까지 변화시킬 때 GPS 방향 정보가 없을 때와 있을 때의 single jammer 전력이 30dB 일 때의 BER 분포를 나타낸 것으로서 각도 퍼짐이 커질수록 BER 이

매우 열악해짐을 알 수 있으며 GPS 정보를 이용함으로써 이를 크게 개선할 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문은 GPS를 이용한 통신 시스템에서 3차원 적응 배열 안테나를 이용한 DOA 추정과 빔 형성 성능에 관한 것이다. 특유의 다중 경로 전파와 간섭, jammer 신호가 존재하는 환경에서 원하는 방향으로부터 도래하는 신호만을 수신함으로써 통신 가능 거리의 확대와 링크의 품질을 향상시킬 수 있어 시스템의 성능을 극대화할 수 있다. 이를 위하여 5가지의 3차원 배열 안테나 구조를 대상으로 jammer가 존재하는 환경에서 각 구조에 대한 DOA 추정을 수행하였으며 jammer 전력에 따른 DOA 추정 오차를 분석하였다. 추정 결과 3차원 배열을 x, y, z 축 방향으로 분포시킴으로서 DOA 추정에서는 우월한 결과를 얻을 수 있었는데 특히 1개의 축 방향으로 배열하는 Stack 7-element 방식은 예상대로 추정 결과가 나뭇을 확인할 수 있었다. 추정 오차의 경우 일반적으로 jammer 수가 증가할수록 DOA 오차가 증가함을 알 수 있었으며 마지막으로 DOA 추정 후 빔 형성에 대한 결과를 BPSK로 변조하였을 때, GPS 방향 정보의 유무에 따른 BER 분석 및 각도 퍼짐에 의한 BER 분석을 수행하여 이들 3차원 배열 안테나의 성능을 확인할 수 있었다. 특히 모든 성능에서 재머의 수가 많아질수록 GPS 정보의 유무 및 각도 퍼짐 현상 하에서도 Curved (B) 7-element 안테나가 가장 우수한 성능을 보였으며 Crossed 7-element가 가장 열악함을 알 수 있었다. 향후 본 연구 결과를 더욱 확장하여 실제의 전파 환경과 유사한 무선 채널 모델링을 수행함으로써 이에 대한 3차원 배열 안테나의 성능을 평가하는 과정이 필요케 되며 GPS 방향 정보를 이용하는 모든 정보 통신 시스템의 성능을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] G. V. Serebryakov, S. A. Tiraspol'sy, "High Resolution Capability of adaptive Antenna Array for communication system", Journal of Radioelectronics, Nov. 2002.
- [2] P. Stoica, Z. Wang, J. Li, "Robust Capon Beamforming", IEEE Singal Processing Letters, Vol.10, No.6, pp.172~175, June 2003.
- [3] J. Capon, "High Resolution frequency-

wavenumber spectrum analysis”, Proc. of the IEEE, Vol.57, No.8, pp.1408~1418, Aug. 1969.

[4] K. J. Raghunath, V. U. Reddy, “Finite data performance analysis of MVDR beamformer with and without spatial smoothing”, IEEE Trans. on signal processing, Vol.40, No.11, pp.2126~2136, Nov. 1992.

[5] H. Krim, M. Viberg, “Two decades of array signal processing research”, IEEE Signal processing Magazine, Vol.13, No.4, pp.67~94, July 1996.

[6] K. Steiglitz, L. Mcbride, “A Technique for Identification of Linear Systems”, IEEE Trans. on Automatic Control, AC-10, pp.461~464, Oct. 1965.

[7] H. Krim, P. Forster, J. G. Proakis, “Operator Approach to Performance Analysis of Root-MUSIC and Root Min-Norm”, IEEE Trans. on Acoustic, Speech and Signal Processing, VOL.40, July 1992.

[8] 고희림, 김주환, “과일릿 신호를 이용한 CDMA 통신 방식용 스마트 안테나 시스템 설계”, Telecommunications Review, 제9권, 2호, pp.133~144, 1999.

[9] J. C. Liberti, T. S. Rappaport, Smart Antennas for wireless communications, Prentice Hall, 1999.

[10] J. Meehan, “Antenna diversity for improved indoor reception of US digital terrestrial television receivers”, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.48, No.4, pp.850~853, Nov. 2002.

[11] S. G. Glisic, Advanced Wireless Communications, John Wiley & Sons press, 2004.

[12] 이문수역, 스마트안테나, 두양사, 2002.

저 자 소 개



이 종 현(정회원)  
 1985년 한양대학교 (공학사)  
 1987년 Michigan Techonology University (공학석사)  
 2002년 한국과학기술원(공학박사)  
 1990년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원

2003년 3월~2006년2월 서경대학교  
 2006년 3월~현재 제주대학교 해양과학대학 해양공학부 조교수  
 <주관심분야 : 신호처리, 이동통신, 디지털방송>



김 석 중(정회원)  
 1992년 성균관대학교 전자공학과 (공학사)  
 2005년 성균관대학교 전자전기학 (공학석사).  
 1992년~1999년 삼성전자(주) 선임 연구원

2000년~현재 삼성탈레스(주) 수석연구원  
 <주관심분야 : 통신시스템, 신호처리, 국방정보 및 제어, 위성항법시스템, 군사전자>



임 승 각(정회원)  
 1983년 숭실대학교 (공학사)  
 1985년 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 경희대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1988년~1993년 삼성전자(주) 선임연구원

2004년~현재 국립 공주대학교 정보통신공학부 부교수  
 <주관심분야 : 통신시스템, 통신신호처리, 이동통신>