논문 2009-2-20

3D 위상 배열 안테나를 이용한 DoA 추정과 빔 형성시 각도 퍼짐에의한 BER 성능 분석

BER performance analysis by angle spreading effect in the DoA estimation and beam-forming using 3D phase array antenna

임승각*, 강대수**

Seung-Gag Lim, Dae-Soo Kang

요 약 본 논문은 GPS 신호를 기반으로하여 3D 배열 안테나를 사용한 전파의 도래각 (DoA : Direction of Arrival)을 추정한 후 빔 형성시의 재머 신호의 각도 퍼짐에의한 성능 비교에 관한 것이다. 배열 안테나를 사용하여 도래각을 추정한 후 공간 필터링에의해 도래 방향으로 빔을 형성하고, 다른 방향으로는 널링시킴으로서 수신 신호의 강도와 품질을 개선할 수 있지만 이 과정에서 다중 재머 신호에의한 각도 퍼짐으로 열화되는 성능이 얻어진다. 논문에서는 열화되는 성능의 비교를 위해 5 가지의 3D 배열 안테나를 제안하였고 도래각 추정은 MUSIC 알고리즘을, 빔 형성은 LCMV 알고리즘을 이용하였다. 또한 도래되는 재머 신호의 방위각과 앙각을 변화시키면서 BPSK 모뎀을 적용할 때 비트 오율을 계산하여 성능 비교를 하였다. 시뮬레이션 결과 Curved (B) 7-Element 형 3D 배열 안테나가 다른 안테나보다 성능이 가장 우월함을 알 수 있었다.

Abstract This paper deals with the performance comparison of jammer signal's angle spreading in the beamforming after the estimation of direction of arrival using 3D array antenna basis of the GPS signal. After the estimation of direction of arrival using array antenna, the beamforming is need for the direction of arrival by spatial filtering and the other direction are nulling for reducing intererence signal, it is possible to improving the received signal strength and quality. But we obtains the degraded performance by the angle spreading due to the multi-jammer signal in this process. In this paper, the MUSIC and LCMV algorithms are applied for the estimating the direction of arrival and for beamforming using the 5 types of 3D array antenna. we performs the comparison of performance by calculating the bit error rate applying the BPSK modem and the varying the azimuth and elevation angle of incoming jammer signal. As a result of simulation, the Curved (B) type 3D array antenna has a more better performance compared to the other type antenna.

Key Words : DoA, Beamforming, MUSIC, LCMV

Ⅰ. 서 론

최근 언제 (Anytime), 어디서나 (Anywhere), 어떻게 (Anyhow), 음성 뿐만 아니라 데이타와 동영상과 같은 어떠한 (Anything) 정보원을 자유롭게 주고 받을 수 있는 4 Any 시대가 도래되면서 무선 전파를 사용하는 이동 통신이 활성화되고 있다[1][11]. 또한 기존의 음성, 비음성 통신 서비스에서 더욱 발전되어 동영상의 광대역 양방향 방송 서비스까지 확산되면서 더욱 사용자 위주의 편리함을 제공할 수 있는 장점도 있지만 전파들간의 상호 간섭 (Mutual Interference) 에의한 통신 단말 또는 시스템의 성능이 저하되고 있으므로 이를 개선키위한 고

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부(교신저자)
**교신저자, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 2009.03.25, 수정완료 2009.04.13

속 신호 처리 알고리즘이 등장하고 있다. 이와 같은 간섭 신호는 수신 신호에대해서는 일종의 재밍 신호 또는 방해 신호 성분이될 것이다. 그러나 동시에 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하고 시스템의 정보 처리 능력을 개선시키기위해 간섭 신호를 경감할 수 있는 배열 안테나의 사용뿐만 아니라 고효율 변복조 방식, MIMO (Multi Input Multi Output) 전송 기술등이 채용되어 상기의 열악한 무선 채널의 전파 환경을 극복하고 있다. 이중에서 배열 안테나를 사용하여 원하는 전파의 도래각을 추정한 후 공간 필터링 처리에의한 원하는 방향으로 메인 빔 (Main Beam)를 형성하고 원하지 않는 방향으로 빔을 널링 (Nulling) 시킴으로서 간섭 신호의 영향을 최소화하는 스마트 안테나 또는 적응 배열 안테나 (AAA : Adaptive Array Antenna)를 사용하므로서 무선 채널의 품질 열화를 줄일 수 있게된다[2]. 스마트 안테나는 복수개 소자를 사용하여 수신 신호에서 주파수, 시간, 공간 개념을 적용하여 신호의 도래 방향인 방위각과 앙각을 먼저 추정한 후 이 방향으로만 신호가 수신될 수 있도록 안테나 소자의 이득과 위상을 조절시켜 다른 방향으로부터의 재밍 신호를 제거할 수 있게된다[3][4][8]. 즉 전파의 도래각 추정 (DoA Estimation) 과정과 추정 결과를 이용하여 빔을 형성하는 빔 형성 (Beam Forming) 의 2가지 과정이 필요하게된다. 그러나 원하는 방향을 결정하기위한 도래각 추정시에도 복수개의 산란체에의한 재머 신호로인한 각도 퍼짐이 수반되어 발생되므로서 이로인한 성능 저하가 일어난다.

본 논문에서는 3D 7소자 배열 안테나를 대상으로 하여 재머 신호의 방위각과 앙각을 변화시켜 각도 퍼짐을 발생시킨 후 도래각 추정과 빔 형성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 도래각 추정 알고리즘으로 MUSIC (MUltiple SIgnal Classification)을, 빔 형성 알고리즘으로는 LCMV (Linearly Constrained Minimum Variance)를 적용하였으며 각도 퍼짐의 범위를 0°에서 90°까지 10°단위로 변화시켰으며 재머의 수는 2 개로 제한하였다. 2 장에서는 본론으로 배열 안테나의 모델과 3D 7-Element 배열 안테나 형상, 도래각 추정 알고리즘과 빔 형성 알고리즘 및 각도 퍼짐 모델을 설명하였으며 3 장에서는 도래각 추정 결과와 각도 퍼짐에의한 비트 오율 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 결과를 제시한 후 4 장에서는 결론을 내리겠다.

Ⅱ. 본 론

1. 배열 안테나 기본

저이득 안테나 소자들을 선형 배열 형태로 결합한 배열 안테나는 그림 1 과 같으며 각 선형 소자에 입사되는 평면파는 임의의 방위각 (Azimuth angle) ϕ 와 앙각 (Elevation angle) Θ 로 특징지어진다.

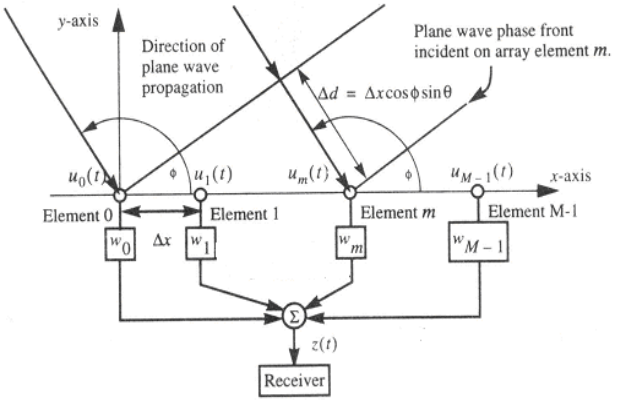


그림 1. 1D 선형 배열 안테나 구조
Fig. 1. Structure of 1D lineary array antenna

그림에서 (Θ, ϕ) 의 방향으로 배열 안테나에 입사된 평면파는 원점에 있는 소자와 m 번째 소자에 입사되는 신호간의 위상차는

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

가 된다. 여기서 $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ 는 위상 정수이다. 일반적으로 배열은 임의의 원하는 패턴을 얻기위해 여러개의 안테나 소자로 구성하며 선형 등간격 (LES : Linear Equally Spaced), 원형 등간격 또는 같은 방향으로 놓인 동일하면서 편파가 같고 저이득 안테나들의 등간격 평면형 배열로 구현한다. m 번째 위치에 소자가 수신하는 신호는

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

가 될 것이며 어레이 출력 신호는 이득에 적절한 가중치를 곱한 합이 될 것이므로

$$z(t) = \sum_{m=0}^{N-1} w_m u_m(t) = As(t) \sum_{m=0}^{N-1} w_m e^{-j\beta m\Delta x \cos\phi \sin\Theta}$$
$$= As(t) f(\Theta, \phi) \quad (3)$$

가 된다. 여기서 $f(\Theta, \phi)$ 는 어레이 계수로서 기준 안테나 소자에서 측정된 신호 $As(t)$ 에 대한 어레이 출력 신호 $z(t)$ 의 비를 DoA 또는 (Θ, ϕ) 의 함수로 나타낸 것으로서 가중치 집합 $\{w_m\}$ 을 조정하면 희망하는 방향으로 어레이 계수의 메인 빔의 최대치 방향으로 조절할 수 있게된다. 어레이 안테나를 설명할때 벡터를 사용하면 편리하므로 가중치 벡터를

$$w = [w_0 \ w_1 \ldots\ldots \ w_{N-1}]^H \quad (4)$$

로 정의하자. H 는 Hermitian Transpose 이며 각 안테나 소자로부터 신호는 데이타 벡터

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

를 형성하면 식 (2-3) 으로부터 어레이 출력은 다음과 같이 된다.

$$z(t) = w^H u(t) \quad (6)$$

또한 신호의 방향 (Θ, ϕ) 에대한 어레이 계수는

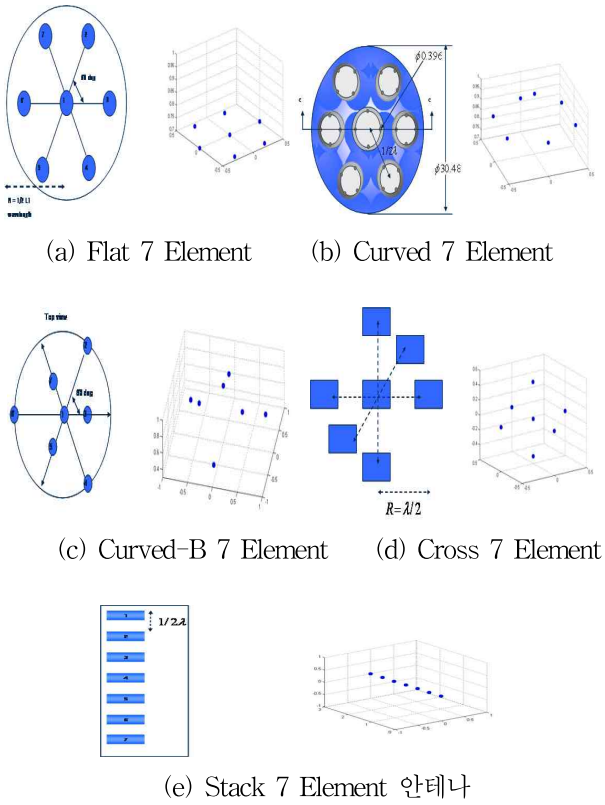
$$f(\Theta, \phi) = w^H a(\Theta, \phi) \quad (7)$$

로 쓸 수 있게되며, 여기서 벡터 $a(\Theta, \phi)$ 는 (Θ, ϕ) 방향의 스티어링 벡터 (Steering Vector) 를 나타낸다[5][8].

2. 3D 배열 안테나의 형태

논문에서는 앞절의 1D 배열 안테나를 확장하여 A.K.Brown등이 제안한 다음의 5 가지 3D 배열 안테나를 대상으로[9] 각도 퍼짐의 영향을 시뮬레이션을 수행하였으며 실제 형상도를 그림 2 에 나타내었다[9][10][11].

- Flat 7 Element 3D 안테나
- Curved 7 Element 3D 안테나
- Curved-B 7 Element 3D 안테나
- Cross 7 Element 3D 안테나
- Stack 7 Element 3D 안테나



(a) Flat 7 Element (b) Curved 7 Element

(c) Curved-B 7 Element (d) Cross 7 Element

(e) Stack 7 Element 안테나

그림 2. 3D 안테나의 소자 배치도
Fig. 2. Element layout figure of proposed 3D antenna

3. 도래각 추정 알고리즘 (MUSIC 알고리즘)

MUSIC 알고리즘은 신호의 파라미터 추정을 기하학적으로 고찰하여 만약 D 개의 신호 배열이 있다면 M 개의 배열 안테나에 수신된 입력 벡터는 D 개의 신호 파형들과 잡음의 합으로 표현된다.

$$u(t) = \sum_{i=0}^{D-1} a(\phi_i) s_i(t) + n(t) \quad (8)$$
$$u(t) = [a(\phi_0)\, a(\phi_1) \ldots\ldots \ a(\phi_{D-1})][s_0(t)\, s_1(t) \ldots\ldots \ s_{D-1}(t)]^T$$
$$+ n(t) = As(t) + n(t)$$

여기서 $a(\phi_j)$ 는 j 번째 신호의 DoA 에 대응하는 Array steering vector 이므로, 이를 이용하여 다음의 공분산 행렬을 구한다.

$$R_{uu} = E[uu^H] = A \ E[ss^H] A^H + E[nn^H] = AR_{ss}A^H + \sigma_n^2 I \quad (9)$$

여기서 $E[\ ]$ 는 기대치를 나타내며 H 는 Hermitian 을 나타낸다. 식 (2-8) 에서 수신된 벡터 $u(t)$ 는 조합의 계수인 $s(t)$ 성분과 steering vector 의 1 차 조합임을 알 수 있다. 공분산 행렬의 고유치는 $\lambda_0, \lambda_1, \ldots. \lambda_{M-1}$ 이므로 다음과 같은 식을 풀으면 얻을 수 있다.

$$|R_{uu} - \lambda_I I| = 0 \tag{10}$$

식 (2-10) 을 식 (2-9) 에 대입하면

$$|AR_{ss}A^H + \sigma_n^2 I - \lambda_I I| = |AR_{ss}A^H - (\lambda_i - \sigma_n^2) I| = 0 \tag{11}$$

가 되며, $AR_{ss}A^H$ 의 고유값 v_i 는 다음과 같다.

$$v_i = \lambda_i - \sigma_n^2 \tag{12}$$

A 는 선형적으로 독립된 steering vector 로 구성되어 있으며 신호 상관 행렬 R_{ss} 는 서로 독립인 신호로 구성된 공분산 행렬이다. 여기서 Full rank column rank A 와 Nonsingular R_{ss} 는 신호 수 (D) 가 배열 소자 M 의 수보다 적을때 보장된다. 따라서 M by M 행렬인 $AR_{ss}A^H$ 는 D 열을 가진 positive semidefinite 이다. 그러나 자동 상관 행렬 R_{uu} 가 한정된 데이타로부터 계산되므로 모든 잡음 전력에 해당되는 고유값은 동일하지 않을 수 있다. 가장 적은 고유값 K 가 결정되면 이에따라 D 에 대한 추정치 $\mathcal{D}$ 는 M=D+K 의 관계로부터 구할 수 있게되므로 예상되는 신호의 수는

$$\mathcal{D} = M - K \tag{13}$$

가 될것이다. 식 (2-9) 를 eigen decomposition 하면

$$R_{uu} V_s = V_n \Lambda \tag{14}$$

$\Lambda = diag[\lambda_0, \lambda_1, \ldots. \lambda_{M-1}]$, $\lambda_0 \geq \lambda_1 \geq \ldots. \lambda_{M-1}$ 은 고유치이며 $V_s = [q_0, q_1, \ldots. q_{M-1}]$ 은 R_{uu} 의 해당 고유 벡터이다. 가장 적은 고유치 $\lambda_{\min}$ 의 다수 K 로부터 신호의 수는 식 (2-13) 을 적용한다. 이를 이용하여 다음의 MUSIC Spectrum 을 구한다.

$$P_{MUSIC\ \ SPECTRUM}(\phi) = \frac{a^H(\phi) a(\phi)}{a^H(\phi) V_n V_n^H a(\phi)} \tag{15}$$

여기서 $V_n = [q_D, q_{D+1}, \ldots. q_{M-1}]$ 의 관계가 있으며 $P_{MUSIC\ \ SPECTRUM}(\phi)$ 의 가장 큰 최고치 D 개를 찾아서 DoA 를 추정하게된다[3][5][7].

4. 빔 형성 알고리즘 (LCMV 알고리즘)

LCMV 는 협대역과 광대역 빔 형성에 사용되며 출력 전력과 분산의 최소화에 바탕을 두어 원하는 신호의 요구되는 응답을 가지도록 가중치를 구하는 방법이다. 분산 최소화는 원하는 신호를 유지하도록 하는 동안 다음과 같은 빔 형성기 출력을 효과적으로 최소화한다.

$$P_0 = \min\ w^H R_x w, \quad C^H w = f \tag{16}$$

여기서 $R_x = E[x(n) x^H(n)]$ 이며 Lagrange 곱셈을 사용하여 쉽게 얻을 수 있는데 그 해는 다음과 같다.

$$w = R_x^{-1} C (C^H R_x^{-1} C)^{-1} f \tag{17}$$

데이타는 상호 관계가 없는 잡음을 항상포함하고 있으므로 C 는 full rank 이고 R_x 는 positive definite 라고 가정하므로 그 역이 존재한다. 식 (2-11)을 이용하여 출력 분산은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_0 = f^H (C^H R_x^{-1} C)^{-1} f \tag{18}$$

빔 형성기 출력의 신호대 잡음비를 최대화시키도록 수행하는데 x(n) 에는 신호와 간섭 (잡음) 이 포함되어 있으므로

$$R_x = \sigma_s^2 d(\Theta_s, w_s) d^{H(\Theta_s}, w_s) + R_n$$
$$w = a R_n^{-1} d(\Theta_s, w_s) \tag{19}$$

가 되며, 스칼라 $a = (d^H(\Theta_s, w_s) R_n d(\Theta_s, w_s))^{-1}$ 가 된다. 원하는 신호대 잡음비

$$SNR = \frac{w^H \sigma_s^2 d(\Theta_s, w_s) d^H(\Theta_s, w_s) w}{w^H R_n w} \tag{20}$$

가 되므로 식(2-20)을 최대로하는 W 를 구하며 된다. 그러나 SNR을 최대화함으로서 신호의 왜곡이 어느 정도

발생될 수 있게된다[7].

5. 각도 퍼짐 모델

각도 퍼짐은 그림 3 과 같이 다수의 다중 경로에 의해 다수의 평면파가 중첩되어 수신된 신호는 일정 각도를 중심으로 퍼져 수신될 것이므로 이를 나타낸 것이다.

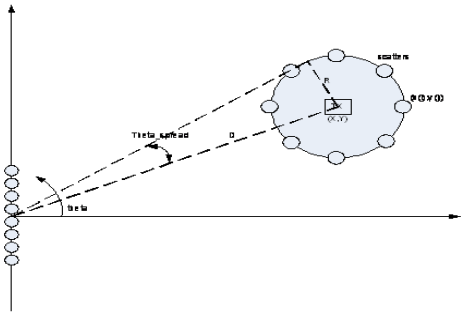


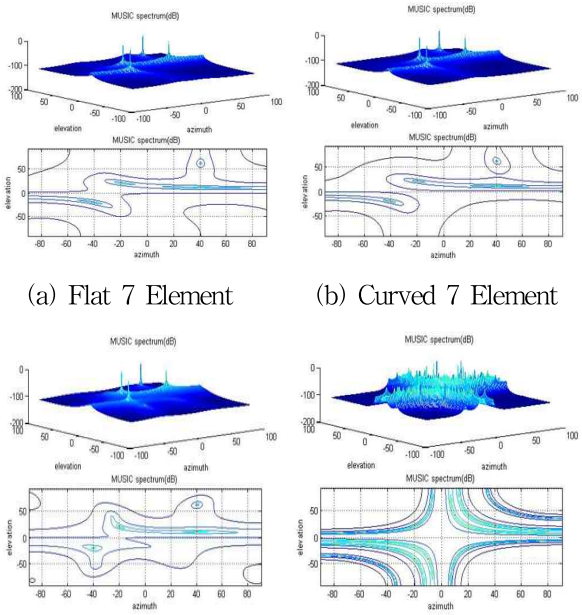
그림 3. 각도 퍼짐 모델
Fig. 3. Angle spread Model

Ⅲ. 컴퓨터 시뮬레이션

GPS 신호를 기준으로 2차원 배열 안테나를 이용할 때 도래각 추정후 빔 형성시 다수의 산란체에의한 평면파가 중첩 수신될 때 이의 성능 열화 정도를 분석하기위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 도래각 추정을 위한 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다.

- 배열 안테나의 소자 수 : 7 개
- 신호대 잡음비 : 0dB
- 기준 GPS 신호 각도 및 크기 : (0,0), 0dB
- 재머 각도 및 크기 :
  (40,10),(-40,-20),(40,60),(-20,20)
- GPS 방향 정보 : 유 또는 무 (빔 형성시 필요)

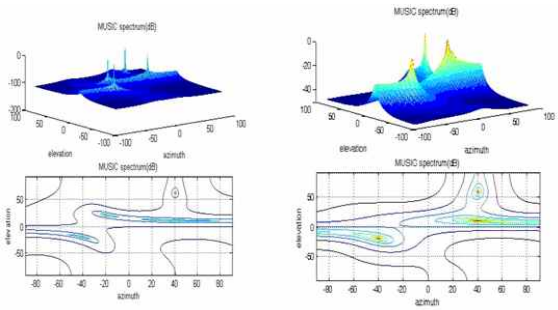
먼저 수신되는 전파의 도래각을 추정한 후, 이를 이용하여 도래각 방향으로 메인 빔이 최대가 되도록 공간 필터링이 수행되어져한다. 도래각 추정을 위해서는 식 (2-15) 의 MUSIC 알고리즘을 적용하였으며, 추정된 도래각 방향으로 메인 빔을 형성키위한 공간 필터링을 위해서는 식 (2-20) 의 LCMV 알고리즘을 적용하였다. 그림 4 는 Flat 7-Element, Curved 7-Element, Cross 7-Element, Stack 7-Element 배열 안테나에서 각도 퍼짐이 없으며 신호대 잡음비가 0 이고 재머 신호의 각도가 변화하지않는 경우 도래각 추정의 결과를 방위각과 앙각으로 분리하여 나타낸 것이며, 그림 5 는 Flat 7-Element 안테나에 각도 퍼짐이 발생한 경우의 MUSIC 알고리즘을 수행한 결과이다.



(a) Flat 7 Element (b) Curved 7 Element

(c) Cross 7 Element (d) Stack 7 Element

그림 4. 3D 배열 안테나의 도래각 추정 결과
Fig. 4. DoA estimation result of 3D array antenna

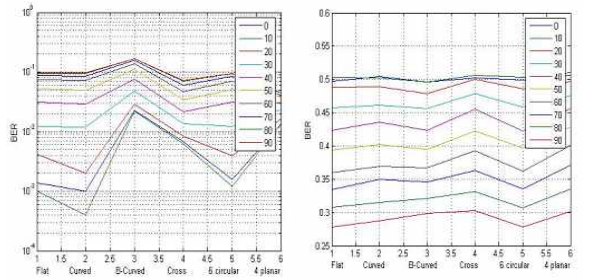


(a) 각도 퍼짐 무 (b) 각도 퍼짐 유

그림 5. 각도 퍼짐의 유무에따른 도래각 추정 결과
Fig. 5. DoA estimation result in the presence and absense of angle spread

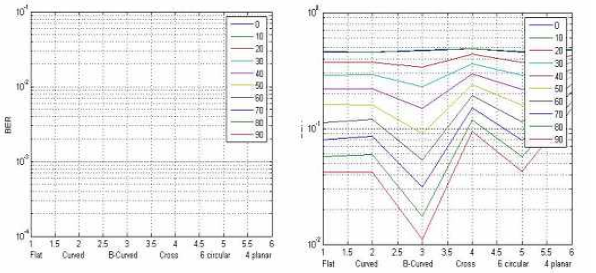
도래각 추정 결과 Flat 형, Curved 형, Cross 형과 같이 x, y, z 축으로 배열된 안테나의 경우 도래각 추정 결과가 우수하지만 Stack 형과 같이 y 축의 단방향으로 배열되는 경우 도래각 추정 결과가 열화됨을 알 수 있다. 그러나 각도 퍼짐이 있는 그림 5 에서는 (a) 와 같이 4 개의 재머 신호의 DoA를 정확하게 추정하였지만 (b) 와 같이 신호의 광대역성과 다수의 평면파가 수신되는 각도

퍼짐이 있는 경우 재머 신호를 3 개 추정하고 있음을 알 수 있어서 추정 오류가 발생함을 알 수 있다. 빔 형성을 위하여 GPS 방향 정보의 유무가 매우 중요한 요소가 된다. 이 정보를 이용하여 도래각 추정을 위한 피크점의 해당 각도를 결정하여 이 방향으로 메인 빔을 형성할 수 있기 때문이다. 각도 퍼짐에의한 성능 열화 정도를 시뮬레이션하기위해 BPSK 변복조 방식을 사용할때 GPS 방향 정보의 유무와 방위각 또는 앙각을 변화시킬때의 비트 오율 분포 곡선을 나타낸 것이다. 그림 6 은 GPS 방향 정보의 유무에따라 각도 퍼짐의 영향을 보이기 위해 재머의 방위각이 0°에서 90°까지 10°단위로 변화시키고 앙각을 0°로 고정시킬때의 3D 배열 안테나별 비트 오율 분포 곡선을 나타낸 것이다. GPS 정보가 있는 경우 각도 퍼짐에의한 비트 오율 특성이 모든 안테나에서 우월하였으며, 각도 퍼짐에의해 성능의 많은 차이가 있음을 알 수 있다. GPS 정보가 없는 경우 앙각에서는 Curved 형이 어떤 각도의 재머에대해서 우수한 추정 및 빔 형성 결과를 얻을 수 있지만, GPS 정보가 있는 경우 Curved (B) 형 안테나가 앙각과 방위각의 추정과 빔 형성이 우수함을 알 수 있다.



(a) 앙각 (b) 방위각

(1) GPS 정보 무



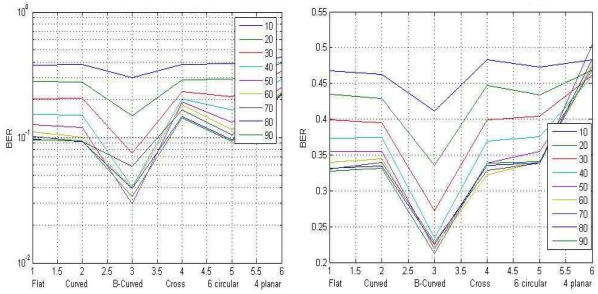
(a) 앙각 (b) 방위각

(2) GPS 정보 유

그림 6. 재머의 방위각이 변할 때 비트 오율 특성
Fig. 6. Bit Error Characteristics of jammer azimuth angle variation

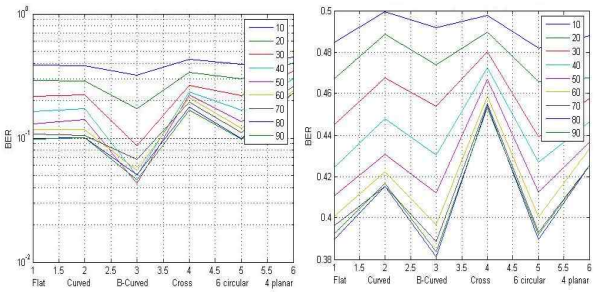
그러나 실제적으로는 GPS 방향 정보를 이용하여 빔 형성을 수행한다. 그림 7 은 재머의 수가 2 개인 경우 방위각과 앙각이 대각으로 변하는 경우 3D 배열 안테나별 비트 오율 곡선을 나타낸 것으로 다음의 시뮬레이션 파라미터를 적용한 것이다.

- 재머 각도 : (5,5), (1:10:90, 0:10:90)
- 재머 크기 : 30, 30dB



(a) 앙각 (b) 방위각

(1) GPS 정보 무



(a) 앙각 (b) 방위각

(2) GPS 정보 유

그림 7. 재머의 방위각과 앙각이 변할 때 비트 오율 특성
Fig. 7. Bit Error Characteristics of jammer's azimuth and elevation angle variation

재머의 방위각과 앙각이 변할때의 각도 퍼짐에 대해서는 그림 7에서 알 수 있듯이 앙각과 방위각의 도래각 추정과 빔 형성에서 Curved (B) 형 배열 안테나가 다른 3차원 배열 안테나보다 아주 우수함을 알 수 있다. 이는 그림 3 (b) 의 Curve 형 배열 구조에서 중앙에 위치한 소자를 중심으로 3 개의 소자 간격을 더 띠어서 배치하는 3차원 구조 형상에 기인함을 알 수 있다.

Ⅴ. 결 론

이동 통신과 같은 무선 전송시 스펙트럼 효율성이 중

요시되며 재머 신호와같은 간섭 에대한 강인성 (Roburstness)으로 통신 채널의 품질을 개선시킬 수 있는 smart 안테나의 사용이 필수적이다. smart 안테나는 입사되는 전파의 도래각을 추정한 후 이 방향으로 빔을 형성할 수 있는 안테나로서 기본적으로 배열 안테나를 사용하고 있다. 논문에서는 이와같은 목적으로 사용될 5 가지의 3D 배열 안테나를 제시한 후 이들의 재머 신호가 존재하는 환경을 고려한 각도 퍼짐이 존재하는 환경에서 도래각 추정과 빔 형성 알고리즘의 성능을 분석하였다. 재머 신호의 방위각과 앙각을 변화시키면서 이들의 방향을 추정한 후 빔을 형성토록 MUSIC 과 LCMV 알고리즘을 사용하였으며 BPSK 변복조를 적용할때의 비트 오율 특성을 계산하였다. 재머 신호의 방위각과 앙각을 0°에서 90°까지 10°단위로 변화시키는 각도 퍼짐을 고려한 결과 5 가지 3D 배열 안테나중에서 Curved (B) 7-Element 안테나가 가장 우수한 성능을 얻음을 알 수 있었다.

본 연구 결과는 GPS 신호를 이용하는 모든 통신 응용 분야에서 시스템의 성능을 개선시키기위한 기반 기술로서 이용될 수 있을 것으며 향후 효과적인 시공간 신호 처리를 위한 고속 알고리즘의 구현이 해결되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 고학림, 김주완, “파일롯 신호를 이용한 CDMA 통신방식용 스마트 안테나 시스템 설계”, Telecom-munication Review, 제9권, 2호, pp.133~144, 1999

[2] 경문건외 5인, “CDMA 스마트 안테나 시스템의 설계 및 구현”, Telecommunication Review, 제9권, 2호, pp.145~185, 1999

[3] K.J.Lee, B.Y.Ahn et al, "Performance analysis of beamforming algorithms for CDMA smart antenna system", Proc. of CIC, Seoul, Korea, pp.283~287, Oct., 1997

[4] Seungwon Choi, "Design of an adaptive antenna array for tracking the source of Maximum power and Its application to CDMA mobile communication", IEEE Trans. Ant. and Prop., Vol.45, No.9, Sep. 1997

[5] 임승각, 강대수, “원형 배열 안테나의 DoA 추정 알고리즘 성능 분석”, 한국산학기술학회, Vol.9, No.2, pp.395~400, 2008

[6] S.G.Glisic, Advanced Wireless Communication, John Wiley & Sons Pres., 2004

[7] S.Haykin, Adaptive Filter Theory, 2nd Edition, Prentice Hall Pres., 1991

[8] 이문수역, 스마트안테나, 두양사, 2002

[9] A.K.Brown, B.Mathews, "GPS Multipath Mitigation using a three dimensional phased array", pp.1~6, Proceedings of ION GNSS 2005, Sep. 2005

[10] 임승각, 강대수, “W-CDMA에서 3차원 적응 배열 안테나를 이용한 방해 신호의 도래각 추정 성능에 관한 연구“, 한국인터넷방송통신TV학회, 제9권, 1호, pp.11~17, Feb. 2009

[11] Applebaum S. P.,D. J. Chapman,"Adaptive arrays with main beam constraints", IEEE Trans. Antenna Propag., Vol.AP-24, pp.605~662, 1976

※ 본 연구는 2009년 지식경제부 정보통신연구진흥원 미디어융합 전공과정 지원사업에 의해 수행된 결과임

저자 소개

임 승 각(정회원)

- 1983년 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>

강 대 수(정회원)

- 1983년 경희대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1992년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 디지털통신, 신호처리, 이동통신>