

# AOA 기법을 이용한 재머 위치추적시스템 설계

## Design of a Jammer Localization System using AOA method

임덕원\*, 최윤섭\*\*, 이상정\*\*, 허문범\*, 남기욱\*

Deok-Won Lim\*, Yun-Sub Choi\*\*, Sang-Jeong Lee\*\*, Moon-Boem Hoe\* and Gi-Wook Nam

### 요 약

위치가 고정된 다수의 수신기를 이용하여 전파 송신기의 위치를 추정하는 기법으로 TOA, TDOA, AOA 기법이 있다. 이 중 TOA 기법은 송신기와 수신기의 시각이 동기 되었을 경우에만 적용할 수 있고, TDOA 기법은 광대역 신호에만 적용할 수 있으므로 재머의 위치를 추적하기 위해서는 AOA 기법을 적용하는 것이 적합하다. 따라서 본 논문에서는 AOA 측정치의 특성을 분석하고, 시스템 설계 파라미터에 따른 측위성능 민감도를 분석하였다. 분석한 결과를 토대로 하여 목표 성능을 만족시킬 수 있는 재머 위치추적시스템을 설계하였고, 모의실험을 통하여 10km거리의 재머에 대한 위치추적 오차가 38m보다 작게 나타나는 것을 확인하였다.

### Abstract

There are TOA, TDOA and AOA method to estimate the position of the electromagnetic wave transmitter by using the multiple receivers at the fixed position. Among these methods, AOA method is suitable for the jammer localization system. Because TOA method can be adopted for the clocks of the transmitter and the receiver are synchronized each other, and TDOA method can be only adopted for a broad-band jamming signal. This paper, therefore, analyzes the characteristics of the AOA measurements and the sensitivity of the positioning performance according to the system design parameters. Based on the analyzed results, the jammer localization system to meet the desired performance is designed, and it has been checked that the positioning error for the jammer located at a distance of 10km is lower than 38m through the simulation results.

Key words : Jammer, Localization, TOA, TDOA, AOA

### I. 서 론

GPS 신호는 약 -140dBm의 낮은 전력을 갖기 때문에 비고의적인 간섭에 취약할 뿐만 아니라, 신호 규격이 공개되어 있어서 재밍 신호에 영향을 받기도 쉽다. 이러한 재밍 신호에 대응하기 위한 대표적

인 기법으로는 배열안테나 기법, 필터링 기법, 외부 센서 정보를 Aiding 받는 기법이 있다. 이 중에서 외부 센서 정보를 Aiding 받는 기법은 상대적으로 성능이 떨어지며 필터링 기법은 협대역 재밍 신호에만 효과적이라는 한계가 있다. 배열안테나 기법은 협대역 및 광대역 재밍 신호에 모두 효과적이라는 장점

\* 한국항공우주연구원 위성항법팀(Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute)

\*\* 충남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

· 제1저자 (First Author) : 임덕원

· 투고일자 : 2011년 10월 24일

· 심사(수정)일자 : 2011년 10월 24일 (수정일자 : 2011년 12월 26일)

· 게재일자 : 2011년 12월 30일

이 있지만 비용적인 측면과 휴대성 측면에서 단점을 보인다. 최근에는 위에서 언급한 기법들 이외에 재머의 위치를 추적하여 물리적인 대응을 하는 적극적인 방법도 활발히 연구되고 있다[1][2].

재머의 위치를 추적하는 방법으로 TDOA(Time Difference Of Arrival) 기법과 AOA(Angle Of Arrival) 기법이 있다. TDOA 기법은 신호 도달 시각의 차를 이용하여 재머 위치를 추정하는 기법으로서 상대적으로 연산이 간단하다는 장점이 있지만, 광대역 재밍 신호에만 적용할 수 있고 센서간의 시각 동기가 이루어져야 한다는 단점이 있다[3][4][5]. AOA 기법은 신호 도달각을 이용하여 재머 위치를 추정하는 기법으로서 센서간의 시각동기가 필요 없고 협대역 재밍 신호에도 적용할 수 있다는 장점이 있으나 배열안테나를 사용해야 하고 RF/IF 변환 채널간 위상을 동기 시켜야 한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 협대역 및 광대역 재밍 신호에 대응할 수 있는 재머 위치추적시스템을 설계하기 위하여 AOA 측정치 특성을 분석하고, 시스템 설계 파라미터에 따른 AOA 측위성능 민감도를 분석한다. 분석한 결과를 토대로 하여 원하는 성능을 만족시킬 수 있는 재머 위치추적시스템을 설계한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 AOA 측정치 생성 원리 및 그 특성을 분석하고, 3절에서는 시스템 설계 파라미터에 따른 AOA 측위성능 민감도를 분석한다. 4절에서는 AOA 기법을 이용한 재머 위치추적시스템을 설계하고, 5절에서는 모의실험을 통하여 재머 위치추적 오차가 목표치 보다 작게 나타나는 것을 검증한다. 6절에서 결론을 맺는다.

## II. AOA 측정치 특성 분석

본 절에서는 일반적인 AOA 측정치의 생성 원리를 설명하고, AOA 측정치의 특성을 분석한다.

### 2-1 도달각 추정 기법

그림 1과 같이 배열안테나를 사용하는 시스템에서 두 안테나 간 신호의 위상차를 측정할 수 있으면  $\theta = \sin^{-1}(\Delta\phi\lambda(2\pi d))$ 로부터 신호의 도달각을 구할 수 있다. 도달각 추정 기법은 스펙트럼 추정 기법

과 파라미터 추정 기법으로 분류할 수 있다.

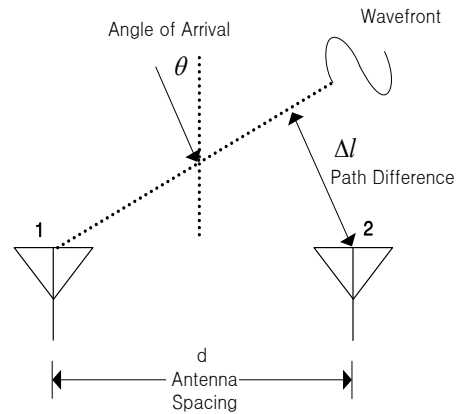


그림 1. 배열안테나를 사용한 도달각 추정  
Fig. 1. Estimation of AOA using an array antenna.

스펙트럼 추정 기법으로는 Capon Minimum Variance와 MUSIC (Multiple Signal Identification and Classification)이 대표적이며, 파라미터 추정 기법으로는 ESPRIT (Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Technique)와 ML (Maximum Likelihood) 이 대표적이다. 각 기법의 장단점은 표 1과 같으며, 이 중에서 MUSIC과 ESPRIT가 복잡도 대비 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[6]. 그러나 ESPRIT는 선형 배열안테나에만 적용할 수 있으므로 MUSIC이 많이 활용되고 있는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 MUSIC을 이용하여 도달각을 추정한다.

표 1 도달각 추정 기법의 장단점

Table 1. Comparison of angle estimation methods.

기법	장점	단점
Capon	- 높은 해상도	- 안테나의 잡음전력에 따라 성능 제한
MUSIC	- 중간 해상도	- ESPRIT 알고리즘 보다 낮은 성능 - 입사 신호의 이득과 위상 오차에 민감 - 동기된 다중경로 오차에 민감
ESPRIT	- 높은 해상도 - 비정밀 배열안테나에 강인	- 많은 계산량 - 안테나의 배치에 제한 - 많은 스냅샷을 요구
ML	- 백색잡음과 원하는 신호만 인가된 환경에서 최적	- 많은 계산량 - 많은 스냅샷을 요구

2-2 도달각 추정 기법

MUSIC 기법을 표현한 수학적 모델은 아래와 같다.  $L$  개의 소자를 갖는 배열안테나에  $M$  개의 재밍신호가 입사했을 때 입력신호  $\tilde{x}(t)$  는 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}(k) &= \sum_{i=1}^M \alpha(\theta_i, \phi_i) \tilde{s}_i(t) + \tilde{n}_i(t) \\ &= \begin{bmatrix} \alpha(\theta_1, \phi_1) \\ \vdots \\ \alpha(\theta_M, \phi_M) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \tilde{s}_1(t) \\ \vdots \\ \tilde{s}_M(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{n}_1(t) \\ \vdots \\ \tilde{n}_M(t) \end{bmatrix} \\ &= \tilde{A}(t) \tilde{s}(t) + \tilde{n}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\tilde{s}_i(t)$  는  $i$  번째 신호 벡터이고,  $\alpha(\theta_i, \phi_i)$  는  $i$  번째 신호의 방향벡터이며,  $\tilde{n}_i(t)$  는 잡음벡터로서 정규분포를 갖는다고 가정한다. 입력 신호의 공분산 행렬은 식 2와 같이 계산할 수 있으며,  $(\cdot)^H$  는 행렬의 허미션(Hermitian)을 의미한다.

$$\begin{aligned} \tilde{R}(t) &= E[\tilde{x}(t)\tilde{x}(t)^H] \\ &= \tilde{A}E[\tilde{s}(t)\tilde{s}(t)^H]\tilde{A}^H + E[\tilde{n}(t)\tilde{n}(t)^H] \\ &= \tilde{A}\tilde{S}\tilde{A}^H + \sigma^2 I \end{aligned} \quad (2)$$

식 2를 이산시간에서 정리하면 식 3과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{R}(t) &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \tilde{x}(t)\tilde{x}(t)^H \\ &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \tilde{A}\tilde{s}(t)\tilde{s}(t)^H \tilde{A}^H + \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \tilde{n}(t)\tilde{n}(t)^H \\ &= \tilde{A}\tilde{S}\tilde{A}^H + \sigma^2 I \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\tilde{A}\tilde{S}\tilde{A}^H$  행렬의 랭크(Rank)  $M$  이 배열안테나의 소자 수  $L$  보다 작으면,  $\tilde{A}\tilde{S}\tilde{A}^H$  최소 고유값(Eigen Value)은 0이 되며  $L-M$  개의 반복(multiplicity)을 갖는다. 이것을 식으로 나타내면 식 4

와 같이 고유분해(Eigen-decomposition)한 행렬로 나타낼 수 있다[7].

$$\tilde{A}\tilde{S}\tilde{A}^H = V \begin{bmatrix} \Lambda_M & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} V^H \quad (4)$$

여기서  $V = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_L]$  는 직교 고유벡터(Eigen Vectors),  $\Lambda_M$  은  $M$  개의 0이 아닌 고유값들을 의미한다. 식 4를 이용하여 식 3을 다시 정리하면 식 5와 같다.

$$\tilde{R}(k) = V \begin{bmatrix} \Lambda_M & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} V^H + \sigma^2 VV^H = V\Lambda V^H \quad (5)$$

여기서  $\Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_M + \sigma^2 I & 0 \\ 0 & \sigma^2 I \end{bmatrix}$  이다.

위의 식으로부터 재밍신호와 잡음으로 부공간이 나누어지는 것을 알 수 있으며, 이때, 식 6은 신호의 부공간을 나타내는 고유값, 식 7은 잡음의 부공간을 나타내는 고유값이다. 그러므로 재밍 신호의 개수는  $L$  개의 고유값 중에서 식 7을 만족하는 고유값의 수를 뺀 값으로 예측할 수 있다.

$$\lambda_i > \sigma^2, \quad i=1, \dots, M \quad (6)$$

$$\lambda_i = \sigma^2, \quad i=M+1, \dots, L \quad (7)$$

앞서 설명한 바와 같이 MUSIC은 배열안테나로 입력된 신호의 고유벡터 중 잡음에 해당하는 고유벡터  $V_n = [v_{M+1} \ v_{M+2} \ \dots \ v_L]$  과 신호의 방향벡터  $\tilde{A}$  의 직교성( $V_n^H \tilde{A} \square 0$ )을 이용한다. 따라서 MUSIC에서 출력 전력  $P_{MUSIC}(\theta, \phi)$  은 식 8과 같다.

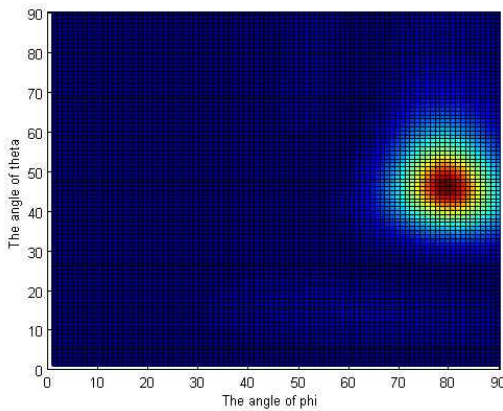
$$P_{MUSIC}(\theta, \phi) = \frac{1}{\alpha^H(\theta, \phi) V_n V_n^H \alpha(\theta, \phi)} \quad (8)$$

$M$  개의 재밍 신호에 대한 도달각은  $(\theta_i, \phi_i)$  에

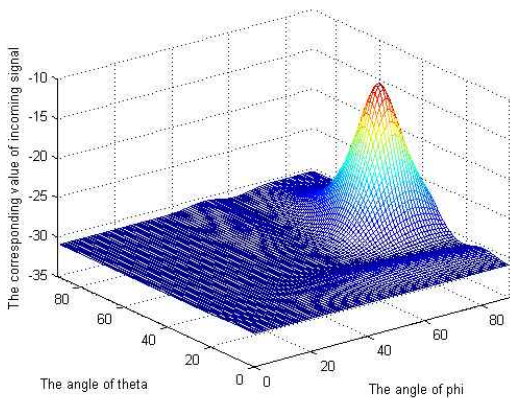
대하여 목적함수인 식 8의 출력 전력  $P_{MUSIC}(\theta, \phi)$  을 검색하고, 각 재밍 신호의 전력 스펙트럼을 최대로 하는 각을 도달각이라고 결정한다.

2-3 MUSIC을 이용한 AOA 측정치 특성

MUSIC은 배열안테나의 소자 수에 따라 성능에 상대적으로 큰 영향을 받는다. 또한, 재밍신호와 잡음과의 상관관계를 이용하여 입사 신호의 도달각을 찾기 때문에 잡음이 존재하지 않는 경우에는 입사 신호의 도달각을 구할 수 없다. 따라서 본 절에서는 설계한 MUSIC 알고리즘의 안테나 소자 수에 따른 성능을 비교함으로써 MUSIC을 이용한 AOA 측정치의 특성을 분석한다.

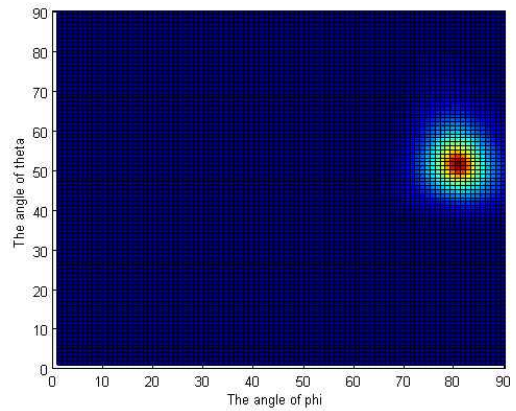


(a) 2D

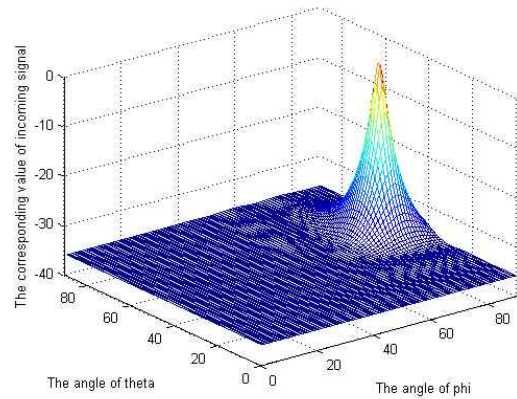


(b) 3D

그림 2. 2x2 안테나를 사용할 때의 전력 스펙트럼  
Fig. 2. Power spectrum for 2x2 antenna.



(a) 2D



(b) 3D

그림 3. 4x4 안테나를 사용할 때의 스펙트럼  
Fig. 3. Power spectrum for 4x4 antenna.

배열안테나 소자 수에 따른 MUSIC 알고리즘의 방향각 추정 성능을 분석하기 위해서 JNR(Jammer to Noise power Ratio)을 10[dB]로 설정하고, 입사 방위각이 50도, 양각이 80도인 신호를 MATLAB 기반에서 생성하여 모의실험을 수행하였다. 배열안테나 소자 수는 2x2, 4x4인 경우를 고려하였으며, 각각의 경우에 대한 전력 스펙트럼의 결과는 그림 2, 그림 3과 같다.

위의 결과에서 볼 수 있듯이 배열안테나의 소자 수가 증가할수록 전력 스펙트럼의 첨예도(Sharpness)가 높아지며, 이에 따라 추정된 도달각(양각, 방위각)의 정확도가 증가함을 확인할 수 있다. 또한 식 3 으로부터 검색 간격이 줄어들거나 스냅샷 수가 늘어날수록 스펙트럼의 첨예도가 높아질 것으로 예상할 수 있다.

### III. AOA 측정치를 이용한 위치 추적

#### 3-1 위치 추적 알고리즘

AOA를 이용한 재머 위치추적 기법은 그림 4와 같이 각 센서에서 구한 재밍 신호의 도달각의 연장선이 만나는 점을 알아냄으로써 위치를 추적한다 [8][9].

$k$  번째 센서에서의 도달각과 재머의 위치, 센서의 위치의 관계는 식 9와 같다.

$$\theta_k = \arctan\left(\frac{y-y_k}{x-x_k}\right) + n_{\theta k} \quad k \in S \quad (9)$$

위 식에서 도달각으로부터 재머의 위치를 구하기 위하여 선형화하면 식 10과 같다[10][11].

$$-(x-x_k)\sin\theta_k + (y-y_k)\cos\theta_k + \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}n_{\theta k} = 0 \quad k \in S \quad (10)$$

여기서  $\theta_k$  는  $S$  안에 포함된  $k$  번째 센서의 AOA 측정치,  $(x_k, y_k)^T$  는 센서의 위치,  $n_{\theta k}$  는 측정치 오차이다. 식 10은 식 11과 같이 정리할 수 있다.

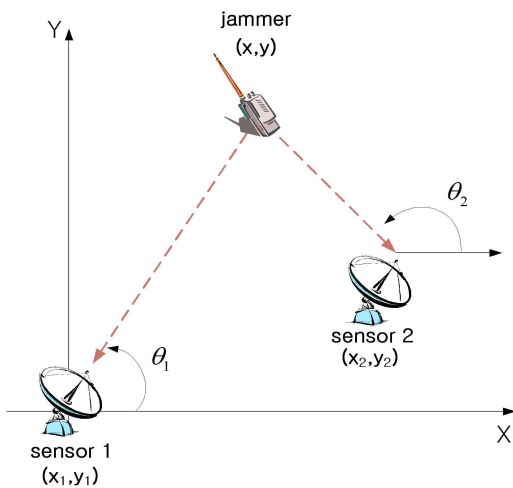


그림 4. AOA 위치 추적 방식의 개념도  
Fig. 4. Concept of AOA positioning.

$$(x_0 - x_k)\sin\theta_k - (y_0 - y_k)\cos\theta_k = [-\sin\theta \quad \cos\theta] \begin{bmatrix} x-x_0 \\ y-y_0 \end{bmatrix} + \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}n_{\theta k} \quad (11)$$

최소자승법을 이용하여 위 식의 해를 구하면 식 12와 같이 재머의 초기 위치에 재머의 위치 변화량을 더한 형태로 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + (\mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \begin{bmatrix} (x_0 - x_1)\sin\theta_1 - (y_0 - y_1)\cos\theta_1 \\ \vdots \\ (x_0 - x_k)\sin\theta_k - (y_0 - y_k)\cos\theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서  $(x_0, y_0)^T$  는 재머의 초기 위치이고  $(dx, dy)^T$  는 재머의 위치 변화량이다. 그리고  $\mathbf{H}$  와  $\mathbf{Q}$  는 각각 식 13, 식 14와 같다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 \\ \vdots & \vdots \\ -\sin\theta_k & \cos\theta_k \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{Q} = E(\mathbf{nn}^T) \quad (14)$$

또한 각 센서의 AOA 측정치의 잡음은 센서와 재머 사이의 거리에 영향을 받으므로 AOA 측정치의 공분산 행렬  $\mathbf{Q}$  는 다음 식 15와 같다.

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} D_1^2 \sigma_\beta^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & D_k^2 \sigma_\beta^2 \end{bmatrix} = \sigma_\beta^2 \begin{bmatrix} D_1^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & D_k^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서  $D_k$  는 해당 센서  $k$  와 재머 간 거리이고,  $\sigma_\beta^2$  는 측정치의 분산으로서 모든 센서가 동일한 값을 갖는다고 가정한다.

재귀(Recursive) 형태의 최소자승법에서는 재머의 위치 변화량을 계산하고, 이를 선형화 지점에서의 재머 위치에 더하여 최종 재머 위치를 추정한다. 계산된 재머 위치는 다시 재머의 초기 위치로 재설정하여 재머의 위치 변화량이 임계치 이내로 들어올 때까지 위 과정을 반복한다[10].

3-2 DOP(Dilution of Precision) 특성 분석

PDOP(Position DOP), HDOP(Horizontal DOP)과 VDOP(Vertical DOP)은 식 13을 이용하여 각각 식 16 ~ 식 18과 같이 정의한다[12].

$$PDOP \equiv \sqrt{((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{1,1} + ((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{2,2} + ((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{3,3}} \quad (16)$$

$$HDOP \equiv \sqrt{((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{1,1} + ((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{2,2}} \quad (17)$$

$$VDOP \equiv \sqrt{((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{3,3}} \quad (18)$$

여기서  $((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{1,1}$ ,  $((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{2,2}$  과  $((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})_{3,3}$  는 각각  $(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1}$  행렬의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 대각 성분을 나타낸다.

IV. 재머 위치추적시스템 설계

본 절에서는 원하는 성능을 만족시킬 수 있는 재머 위치추적시스템의 구성을 제시하고 사양을 도출한다.

4-1 목표 성능 및 운용 환경

본 논문에서 목표로 하는 위치추적 성능은 10km 거리에 위치한 재머에 대하여 50m(RMS)이하의 수평 오차로 추적하는 것이다. 재밍 신호의 형태는 CW(Continuous Wave) 형태이며 최소 수신 전력이 JNR 0[dB] 이상으로 두었다. 또한 그림 5와 같이 4개의 재밍 신호 수신용 센서를 사용하며, 한 변이 4km인 정사각형 형태로 배치한다.

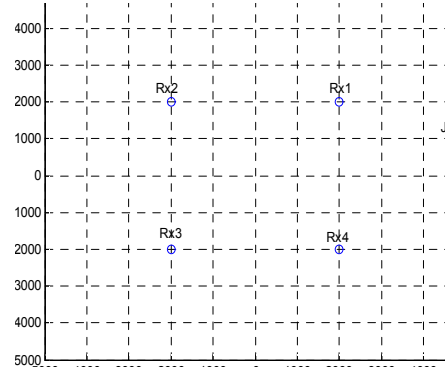


그림 5. 재밍 신호 수신용 센서의 배치  
Fig. 5. Arrangement of the sensors for receiving the jamming signal.

4-2 시스템 설계

센서간 방위각 정렬이 이루어졌고, 각 센서의 RF/IF 변환 채널간 위상 동기가 이루어졌다고 가정할 때 AOA 측정치의 최대 오차는 검색 간격의 1/2 이므로 최대 수평 위치 오차는 식 22와 같다.

$$Max(P_{err}) = HDOP_{AOA} \times \left( \frac{\text{Resolution}}{2} \right) \quad (22)$$

이 때 HDOP는 그림 6에 나타난 것과 같이 거리에 비례하며, 거리가 10km일 때 평균 1.5 나타낸다. 따라서 10km이내의 모든 지점에서 원하는 목표 성능을 만족시키려면 0.0016도 이하의 검색 간격을 가져야 하지만, 거리가 10km인 지점에서 평균적으로 목표 성능을 만족시키기 위해서는 0.01도 이하의 검색 간격이 필요하다.

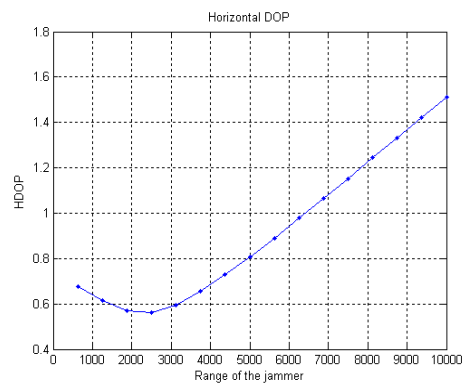


그림 6. 재머와의 거리에 따른 HDOP  
Fig. 6. HDOP according to the range to the jammer.

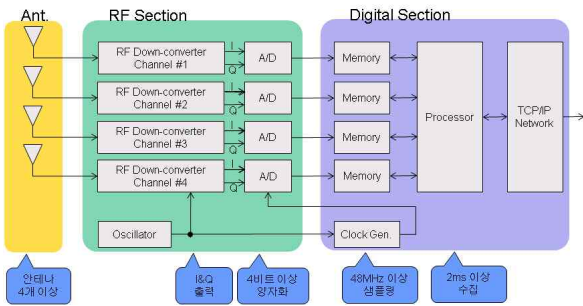


그림 7. 재밍 신호 수신용 센서의 구성 및 설계 사양  
Fig. 7. Composition and design specification of the sensor for receiving the jamming signal.

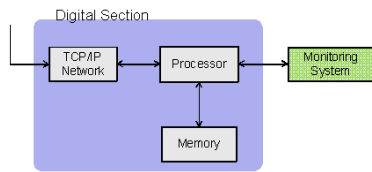


그림 8. 재밍 위치추정 서버의 구성  
Fig. 8. Composition of the server for jammer localization.

따라서 재밍 신호 수신용 센서의 구성을 그림 7에 나타내었으며, 설계 사양도 함께 제시하였다. 그림 8은 재밍 위치추정 서버의 구성을 나타내며, 서버는 센서로부터 측정치를 수신하고 최소자승법을 이용하여 재밍의 위치를 추정한다.

### V. 모의실험 및 검증

본 절에서는 모의실험을 통하여 앞 절에서 설계한 시스템의 타당성을 검증한다. MATLAB기반에서 100회 Monte-Carlo 실험을 수행하였으며, 재밍 신호는 CW 형태이고 송신전력은 5mW로 두었다.

재밍와의 거리가 10km일 때 샘플링 주파수, 배열 안테나 소자 수와 스냅샷 시간에 따른 수평 위치 오차를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 알 수 있듯이 48MHz의 샘플링 주파수와 4개의 안테나 소자, 2ms의 스냅샷 시간을 사용하는 경우에 10km의 거리에 위치한 재밍에 대해서 목표 성능인 50m이하의 오차를 가짐을 알 수 있다.

그림 9는 검색 간격이 0.01도 일 때 재밍와의 거리와 방위각에 따른 수평 위치 오차를 나타낸 것이

며, 방위각에 대한 평균값을 그림 10에 나타내었다.

표 2. 수평 위치 오차

Table. 2. Horizontal position error.

	6MHz	12MHz	24MHz	48MHz
4개/1ms	394m	114m	92m	55m
4개/2ms	257m	82m	44m	38m
9개/1ms	120m	31m	18m	13m
9개/2ms	105m	18m	15m	10m

그림에서 알 수 있듯이 재밍와의 거리가 멀어짐에 따라 오차가 커지는 추세를 보이지만, 방위각에 따른 편차가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉 DOP에 의한 영향보다 검색 간격 오차에 의한 영향을 더 크게 받는 것을 확인할 수 있다.

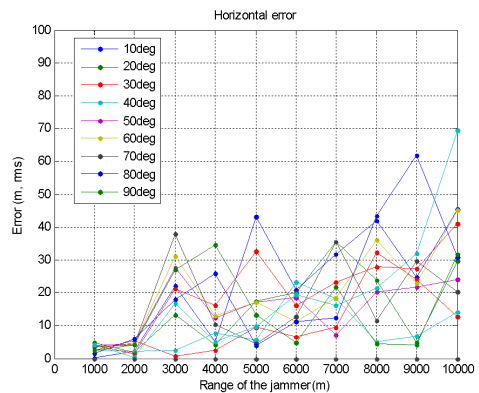


그림 9. 재밍와의 거리와 방위각에 따른 수평 위치 오차  
Fig. 9. Horizontal position error according to the range to the jammer and the azimuth angle.

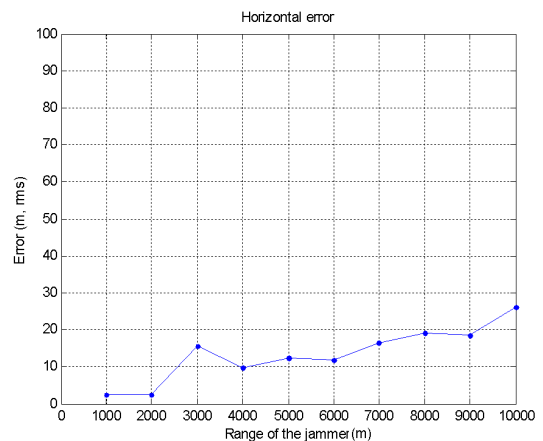


그림 10. 재밍와의 거리에 따른 평균 수평 위치 오차  
Fig. 10. Mean of the horizontal position error according to the range to the jammer.

## VI. 결 론

본 논문에서는 AOA 측정치 특성을 관찰하고, 시스템 구성 요소에 따른 AOA 측위성능 민감도를 분석하였다. 분석한 결과를 토대로 하여 최종적으로 원하는 성능을 만족시킬 수 있는 시스템 사양을 도출하였고, 모의실험을 통하여 주어진 환경에서 재머 위치추적 오차가 목표치 보다 작게 나타나는 것을 확인하였다. 추후에는 실시간으로 동작하는 재머 위치추적시스템 테스트베드를 개발하여 그 성능을 평가할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비지원(06교통핵심A03)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Brown, D. Reynolds, "Civil Applications of the GPS Jamming Detection and Location (JLOC) System," *Presentations in National Physical Laboratory*, Teddington 23rd February 2010.
- [2] K. Gromov, D. Akos, S. Pullen, P. Enge, and B. Parkinson, "GIDL: Generalized Interference Detection and Localization System," *Proc. ION GPS 2000*, 19-22, Salt Lake City, UT, Sept. 2000.
- [3] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 42, no. 8, pp. 1905-1915, Aug. 1994.
- [4] Y. T. Chan and K. C. Ho, "An Efficient Closed-form Localization Solution from Time Difference of Arrival Measurements," *IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing Conf.*, vol 2, pp. 393-396, Apr. 1994.
- [5] J. O. Smith and J. S. Abel, "Closed-Form Least-Squares Source location Estimation from Range-Difference Measurements," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 35, no. 12, pp. 1661-1669, Dec. 1987.
- [6] J. Ramos, C. P. Mathews and M. D. Zoltowski, "FCA-ESPRIT: A Closed-form 2-D Angle Estimation Algorithm for Filled Circular Arrays with Arbitrary Sampling Lattices," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 47, no. 1, pp. 213-217, Jan. 1999.
- [7] G. Strang, *Linear Algebra and Its Applications 2nd edition*, Academic Press, New York, 1980.
- [8] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA," *IEEE 22nd Computer and Communications Joint Conf.*, vol. 3, pp. 1734-1743, Apr. 2003.
- [9] R. Pen and M. L. Sichitiu, "Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks," *IEEE 3rd Sensor and Ad Hoc Communications and Networks Conf.*, vol. 1, pp. 374-382, Sept. 2006.
- [10] C. Ma, "Techniques to Improve Ground-Based Wireless Location Performance using a Cellular Telephone Network," *Geomatics Engineering, University of Calgary*, 2003.
- [11] S. H. Song, H. J. Im, J. W. Park, and T. K. Sung, "A New Angle-Based Location Method Using a Forward-Link Signal," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2009, June. 2009.
- [12] M. Nur-A-Alam and M. M. Haque, "A Least Square Approach for TDOA/AOA Wireless Location in WCDMA System," *Proc. 11th Computer and Information Technology Conf.*, pp. 686-690, Dec. 2008.

## 임 덕 원 (林德元)



2004년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학사)

2011년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학박사)

2011년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

관심분야 : GNSS 수신기 설계,

Anti-jamming.



최 윤 섭 (崔尹燮)



2010년 2월 : 충남대학교 전자전과 정보통신공학과(공학사)  
2010년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자전과정보통신공학과 석사과정  
관심분야 : GNSS, Anti-Jamming.

남 기 욱 (南基旭)



1983년 2월 : 한국항공대학교 항공운항학과(공학사)  
1988년 2월 : 한국항공대학교 항공운항학과(공학석사)  
1996년 6월 : Cranfield Univ. 항공공학과(공학박사)  
1988년 7월 ~ 1989년 7월 : 한국과학기술연구원 연구원

이 상 정 (李相禎)



1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)  
1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)  
1987년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)  
1988년 3월 ~ 현재 : 충남대학교

전자공학과 교수

관심분야 : 강인제어, GNSS.

1989년 8월 ~ 1992년 7월 : 한국항공우주연구원 선임연구원

1996년 12월 ~ 현재 : 항공우주연구원 책임연구원  
관심분야: GNSS, 위성항법, 항행시스템 등

허 문 범 (許文範)



1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과(공학사)  
1997년 12월 : Illinois Institute of Technology 항공기계공학과(공학석사)  
2004년 12월 : Illinois Institute of Technology 항공기계공학과(공학

박사)

2005년 10월 ~ 현재 : 항공우주연구원 선임연구원

관심분야: GNSS, 위성항법, 항행시스템 등.