DBpia

논문 18-43-06-16 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '18-06 Vol.43 No.06
https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.6.1020

플랫폼 피치 운동에 의한 방향탐지 오차 보상에 관한 연구

박 병 구◆, 김 상 원*, 안 재 민°

Compensation Method for Direction Finding Angle Error by Platform Pitch Motion

Byungkoo Park◆, Sangwon Kim*, Jaemin Ahn°

요 약

방향탐지 결과를 이용하여 신호원의 위치를 추정하는 전자전 시스템(electronic warfare system)에서 방향탐지 정확도는 매우 중요하다. 일반적으로 공중 플랫폼에서 운용되는 전자전 시스템은 방향탐지를 위해 종축방향으로 배열된 선형배열안테나를 사용한다. 그러나 이러한 경우 플랫폼의 피치(pitch) 운동에 의해 방향탐지 오차가 발생하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 방향탐지 오차를 최소화하기 위해 보정 테이블을 만들어 오차를 보상하는 방법을 제안한다. 그리고 모의실험을 통해서 본 논문에서 제안한 방법이 플랫폼 피치 운동으로 발생한 방향탐지 오차를 감소시킴을 보인다.

Key Words : direction finder, pitch motion, direction finding angle error, compensation

ABSTRACT

Direction finding accuracy is very important in an electronic warfare system that estimates the position of a signal source using direction finding angles. Electronic warfare systems operated in aerial platforms use linear array antennas arranged in the longitudinal direction for direction finding. However, in this case, a direction finding angle error due to the pitch motion of the platform occurs. In this paper, we propose a correction table and compensation method to minimize angle error. The analysis of the simulation results shows that the angle error due to the pitch motion is minimized by using suggested method.

Ⅰ. 서 론

전자전 시스템(electronic warfare system)은 신호원의 위치를 추정하기 위해 신호원에서 방사되는 신호를 탐색하고 수신하여 방향을 탐지한다. 이러한 전자전 시스템은 신호원의 위치를 추정하기 위해 칼만 필터와 같은 실시간 처리 방식 또는 선형 및 비선형 최소제곱법과 같은 일괄처리 방식을 사용한다[1,3-7]. 그리고 위치추정의 정확도는 방향탐지의 횟수 및 정확도 그리고 신호원과 전자전 시스템간의 기하학적 구조 등에 의해서 영향을 받는다. 그러므로 방향탐지 정확도의 우수성은 방향탐지 결과를 이용하여 신호원의

◆ First Author : (ORCID:0000-0002-6308-5406) Department of Radio & Information Communications Engineering, Chungnam National University, Electronic Warfare PMO, Agency for Defense Development, elcapbk@naver.com, 정회원
° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-6261-0010) Department of Radio & Information Communications Engineering, Chungnam National University, jmahn@cnu.ac.kr, 종신회원
* (ORCID:0000-0002-6096-3920) Electronic Warfare PMO, Agency for Defense Development
논문번호 : KICS2018-04-004, Received April 24, 2018; Revised May 23, 2018; Accepted May 24, 2018

www.dbpia.co.kr

위치를 추정하는 전자전 시스템에서 중요한 요구사항 중의 하나이다.

전자전 시스템은 운용 개념에 따라 육상, 해상 또는 공중 플랫폼에 장착되어 운용될 수 있으며 본 논문은 공중 플랫폼에서 운용되는 경우를 가정한다. 신호원의 방향을 탐지하기 위해 사용되는 안테나는 공중 플랫폼의 경우 플랫폼의 종축 (longitudinal axis) 방향으로 직선 형태로 배열된 구조를 가진다. 즉, 선형배열안테나 구조를 가지는 것이 일반적이다. 방향탐지 기법으로는 다른 방법에 비해서 상대적으로 정확도가 우수한 위상비교 방향탐지 기법(phase inter-ferometry)을 일반적으로 사용한다[2].

그러나 종축 방향의 선형배열안테나 구조를 가지는 경우 신호원의 방향인 방위각(azimuth)과 고각(elevation)중에서 방위각만 측정 가능하다. 또한 플랫폼의 피치(pitch) 운동이 발생하면 신호원과 배열안테나 간의 기하학적 구조를 변형되어 방위각에 대한 방향탐지 오차가 발생하는 단점이 있다. 그러므로 공중 플랫폼에서 운용되는 전자전 시스템의 경우 플랫폼 피치 운동에 의한 방향탐지 오차를 최소화시켜야 신호원에 대한 위치추정 정확도를 향상시킬 수 있다.

전자전시스템의 방향탐지 정확도 향상과 관련된 기존의 문헌을 살펴보면 대부분은 여러 개의 안테나에서 안테나 조합을 통한 베이스라인 선정을 최적화하여 성능을 향상시키는 내용이며 플랫폼의 자세정보를 고려한 문헌은 찾아보기가 어렵다[9-11].

본론 1장에서는 선형배열안테나 구조의 방향탐지 원리를 설명하고 본론 2장에서는 공중 플랫폼의 움직임이 고려된 방향탐지 수식을 모델링하고 모델링된 수식을 이용하여 플랫폼의 피치 운동이 존재할 경우 방위각의 방향탐지 오차가 발생함을 보인다. 본론 3장에서는 플랫폼 피치에 따른 방위각 방향탐지 오차를 최소화하기 위한 방법을 제시하고 본론 4장에서는 모의실험을 통해 제안한 방법의 성능을 검증한다.

Ⅱ. 본 론

2.1 선형배열안테나 구조의 방향탐지 개요[1-2]

그림 1은 안테나가 장착된 플랫폼과 신호원이 동일 평면상에 존재하는 경우를 가정하고 안테나 2개로 구성된 선형배열안테나 기반의 위상비교 방향탐지 원리를 설명하고 있다. 즉, 그림 1은 신호원의 고각이 없는 경우를 가정한 그림이며 수식 (1), (2) 및 (3)은 그림 1을 기반으로 방위각이 측정되는 원리를 수식화한 것이다.

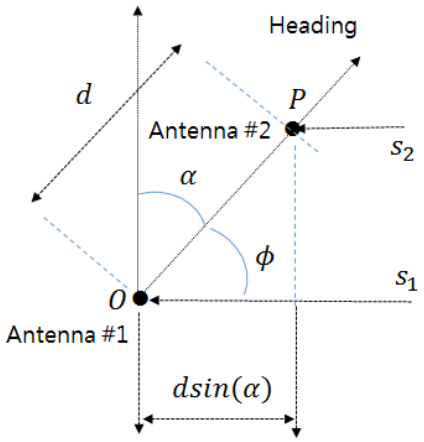


그림 1. 선형배열안테나 구조의 방향탐지 원리
Fig. 1. Direction finding with linear array antenna

여기서 s_1은 안테나 #1에 인입되는 신호원, s_2는 안테나 #2에 인입되는 신호원, f는 인입되는 신호원의 주파수, λ는 인입되는 신호원의 파장, ψ_1은 s_1의 위상, ψ_2은 s_2의 위상, $\triangle\psi$는 s_1과 s_2의 위상차, α는 헤딩(heading) 각도, ϕ는 헤딩을 기준으로 하는 신호원의 방위각 그리고 d는 안테나 #1과 #2간의 거리를 의미한다.

$$s_1 = \cos(2\pi ft + \psi_1), s_2 = \cos(2\pi ft + \psi_2) \quad (1)$$

$$\triangle\psi = \frac{2\pi}{\lambda} dsin(\alpha), \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2\pi d}\triangle\psi\right) \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2\pi d}\triangle\psi\right) \quad (3)$$

2.2 플랫폼의 움직임이 고려된 방향탐지 수식 모델링[8]

전자전 시스템을 장착한 공중 플랫폼의 경우 이동하면서 신호원의 방향을 탐지하고 그 결과를 이용하여 신호원의 위치를 추정한다. 그러므로 플랫폼의 운동을 고려하면서 방향탐지 결과를 분석하기 위해서는 플랫폼의 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 방향의 움직임이 고려된 수학적 모델이 필요하다.

본 논문에서는 이를 위해 그림 2와 같이 플랫폼의 좌표계를 3축 직교 좌표계로 가정하고 그림 3과 같이 선형배열안테나의 각 안테나가 하나는 원점(O)에 다른 하나는 P_0에 위치하고 있다고 가정한다. 그림 3에서와 같이 $-x$ 축방향으로 입사되는 신호의 파면(wavefront)은 x축 방향에는 수직이고 y축 방향에는

www.dbpia.co.kr

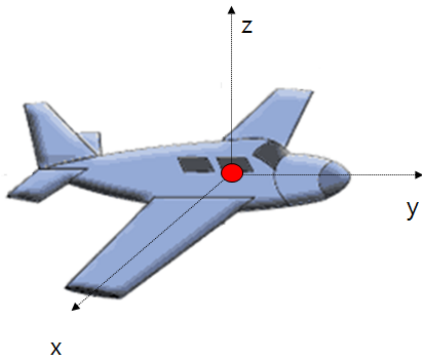


그림 2. 3축 좌표계 기반의 플랫폼
Fig. 2. Platform aligned to cartesian coordinate

평행하다고 가정한다. 그리고 초기의 항공기의 헤딩 방향은 y축 방향으로 가정한다.

그림 4는 z축 방향을 기준으로 시계방향으로 α만큼 회전하는 요(yaw) 운동을 설명한다. 그림 4에서의 회전변환행렬(rotation matrix)은 수식 (4)와 같으며 그림 3의 P_0에 위치한 안테나가 수식 (4)의 회전에 의해 이동한 위치는 그림 4의 P_1 위치가 되며 좌표는 수식 (5)와 같다.

$$R_z(\alpha)=\begin{pmatrix}\cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0\\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix} \tag{4}$$

$$P_1=R_z(\alpha)P_0=\begin{pmatrix}\sin(\alpha)\\ \cos(\alpha)\\ 0\end{pmatrix} \tag{5}$$

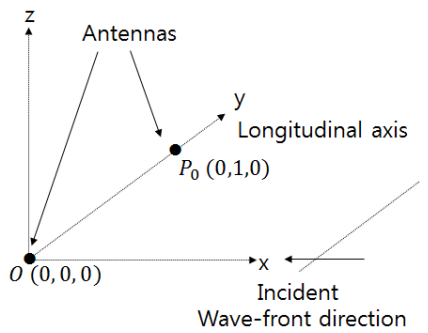


그림 3. 3축 좌표계에서의 안테나 배치 및 신호원 인입 방향
Fig. 3. Antenna arrangement and signal direction in cartesian coordinate

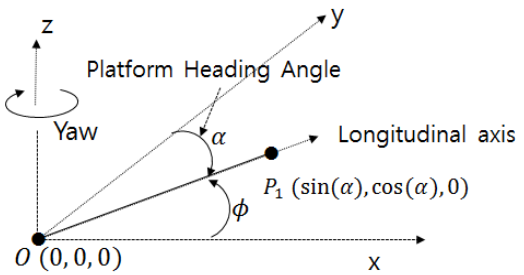


그림 4. Yaw 운동에 의한 안테나 위치 이동
Fig. 4. Antenna movement by yaw motion

플랫폼과 신호원의 고도에 차이에 의한 고각을 고려하기 위해서는 그림 5와 같이 입사되는 신호 방향과 평행한 y축 방향을 기준으로 시계방향으로 β만큼 회전하는 롤(roll) 운동이 필요하다. 그림 5에서의 회전변환행렬은 수식 (6)과 같다. P_1에 위치한 안테나가 수식 (6)의 회전에 의해 이동한 위치는 그림 5의 P_2 위치가 되며 좌표는 수식 (7)과 같다.

$$R_y(\beta)=\begin{pmatrix}\cos(\beta) & 0 & -\sin(\beta)\\ 0 & 1 & 0\\ \sin(\beta) & 0 & \cos(\beta)\end{pmatrix} \tag{6}$$

$$P_2=R_y(\beta)P_1=\begin{pmatrix}\sin(\alpha)\cos(\beta)\\ \cos(\alpha)\\ \sin(\alpha)\sin(\beta)\end{pmatrix} \tag{7}$$

그림 5에서 직선 OP_2에 대한 피치 운동을 고려하기 위해서는 피치 운동의 기준이 되는 축(axis)을 찾아야 한다. 그림 2와 그림 3을 살펴보면 초기의 피치 축은 x축 방향이다. 그러므로 x축 방향의 단위벡터가 수식 (4)와 수식 (6)의 회전변환행렬을 통해서 어떻게 변화되었는지를 살펴보면 피치의 축 방향을 결정할 수 있다. 수식 (8)는 x축 방향의 단위벡터(unit vector)가 $R_z(\alpha)$ 및 $R_y(\beta)$에 의해서 변화된 벡터(vector)를

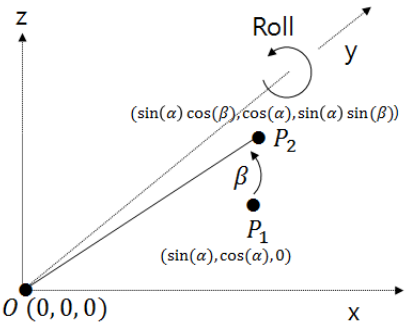


그림 5. Roll 운동에 의한 안테나 위치 이동
Fig. 5. Antenna movement by roll motion

www.dbpia.co.kr

나타낸다.

$$R_y(\beta)R_z(\alpha)\begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos(\beta)\cos(\alpha)\\-\sin(\alpha)\\\sin(\beta)\cos(\alpha)\end{bmatrix}=\vec{k} \quad (8)$$

임의의 단위벡터 $\vec{u}=(u_x,u_y,u_z)$를 축으로 γ만큼 반시계 방향으로 회전하는 변환행렬은 수식 (9)와 같다[13].

$$R_u(\gamma)=\begin{bmatrix}r_{11}\,r_{12}\,r_{13}\\r_{21}\,r_{22}\,r_{23}\\r_{31}\,r_{32}\,r_{33}\end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서, 수식 (9) 회전변환행렬의 각 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
r_{11}&=\cos(\gamma)+u_x^2(1-\cos(\gamma))\\
r_{12}&=u_xu_y(1-\cos(\gamma))-u_z\sin(\gamma)\\
r_{13}&=u_xu_z(1-\cos(\gamma))+u_y\sin(\gamma)\\
r_{21}&=u_yu_x(1-\cos(\gamma))+u_z\sin(\gamma)\\
r_{22}&=\cos(\gamma)+u_y^2(1-\cos(\gamma))\\
r_{23}&=u_yu_z(1-\cos(\gamma))-u_x\sin(\gamma)\\
r_{31}&=u_zu_x(1-\cos(\gamma))-u_y\sin(\gamma)\\
r_{32}&=u_zu_y(1-\cos(\gamma))+u_x\sin(\gamma)\\
r_{33}&=\cos(\gamma)+u_z^2(1-\cos(\gamma))
\end{aligned}$$

수식 (9)에서 $\vec{u}$를 $\vec{k}$로 대체하면 직선 OP_2에 대해서 $\vec{k}$를 기준으로 반시계 방향으로 γ만큼 회전시키는 피치 운동이 된다. 이러한 피치 운동 후의 그림 5의 P_2 위치가 P_3 위치로 변화된다고 하면 그 좌표는 수식 (10)과 같다.

$$P_3=R_k(\gamma)P_2=\begin{pmatrix}p_{3x}\\p_{3y}\\p_{3z}\end{pmatrix} \quad (10)$$

수식 (10)에서 피치 각(γ) 및 고각(β)을 모두 0으로 설정하면 플랫폼의 요(yaw) 운동만 존재하는 그림 1에서의 조건과 같아진다. 이 때 2개의 안테나의 위치는 원점 및 수식 (11)과 같이 그림 6의 P_1 위치에 존재하게 된다.

$$P_3|_{\gamma=0,\beta=0}=\begin{bmatrix}\sin(\alpha)\\\cos(\alpha)\\0\end{bmatrix}=P_1 \quad (11)$$

그리고 신호의 파면이 x축 방향에는 수직이고 y축 방향에는 평행한 경우, 두 안테나 간의 위상 차이는 그림 6의 P_1좌표의 x축 방향 좌표 값과 관련이 있다. 즉, 위상차($\triangle\psi$)에 해당되는 거리는 $d\sin(\alpha)$인데 이것은 곧 P_1의 x축 좌표 값이 된다. 이러한 개념으로 수식 (3)에서의 위상의 차이 값을 거리로 표현한 것이 수식 (12)이다.

$$\phi=\frac{\pi}{2}-\sin^{-1}\left(\frac{d\sin(\alpha)}{d}\right) \quad (12)$$

고각(β)만 0으로 설정하면 플랫폼의 요(yaw), 피치(pitch) 운동이 존재하는 상황이 된다. 이 때 2개의 안테나의 위치는 원점 및 수식 (13)의 위치에 존재하게 되며 수식 (12)의 개념을 이용하여 방위각 방향 탐지 수식인 수식 (14)를 구할 수 있다.

$$P_3|_{\beta=0}=\begin{bmatrix}p_{3x}'\\p_{3y}'\\p_{3z}'\end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
p_{3x}'&=\sin(\alpha)(\cos(\gamma)-\cos(\alpha)^2(\cos(\gamma)-1))\\
&\quad+\cos(\alpha)^2\sin(\alpha)(\cos(\gamma)-1)\\
p_{3y}'&=\cos(\alpha)(\cos(\gamma)-\sin(\alpha)^2(\cos(\gamma)-1))\\
&\quad+\cos(\alpha)\sin(\alpha)^2(\cos(\gamma)-1)\\
p_{3z}'&=\sin(\gamma)\cos(\alpha)^2+\sin(\gamma)\sin(\alpha)^2
\end{aligned}$$

$$\phi=\frac{\pi}{2}-asin\left(\frac{p_{3x}'}{d}\right) \quad (14)$$

그리고 플랫폼의 수평면상에 신호원이 존재하지 않는 경우 즉, 신호원의 고각이 있는 경우는 고각 (β)이 0아니므로 플랫폼의 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 운동을 모두 고려하여야 한다. 이를 고려한 방위각 방향

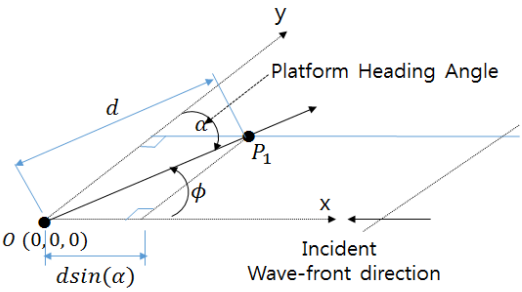


그림 6. 고각과 Pitch각이 없는 경우의 위상차
Fig. 6. Phase difference without elevation and pitch angle

www.dbpia.co.kr

탐지 수식은 수식 (15)와 같으며 D는 수식 (10)의 x 축 좌표 값이 된다.

$$\phi = \frac{\pi}{2} - asin(\frac{D}{d}) \tag{15}$$

$$D = P_{3x} = \cos(\beta)\sin(\alpha)(\cos(\gamma) - A^2B) - \cos(\alpha)(\cos(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) - AB\sin(\alpha)) - \sin(\alpha)\sin(\beta)(AB\cos(\alpha)\sin(\beta) + \sin(\alpha)\sin(\gamma))$$

$$A = \cos(\alpha)\cos(\beta)$$

$$B = \cos(\gamma) - 1$$

그림 7은 신호원의 고각이 없고 안테나에 인입되는 신호의 파면이 x축 방향에는 수직이고 y축 방향과는 평행하다고 가정에서 플랫폼의 피치 운동에 의해서 방위각 방향탐지 오차가 발생함을 설명하는 그림이다. 실제 두 안테나 간의 위상차에 해당되는 거리는 $d\sin(\alpha)$이나 두 안테나 간에서 측정되는 위상차에 해당하는 거리 값은 $p_{3x}{}'$가 된다. 이와 같이 플랫폼의 운동에 의해 안테나와 신호원 사이의 기하학적 구조가 변형되어 실제 위상차와 측정되는 위상차가 다르게 된다. 이러한 위상차의 차이가 방향탐지 오차를 발생시키게 된다.

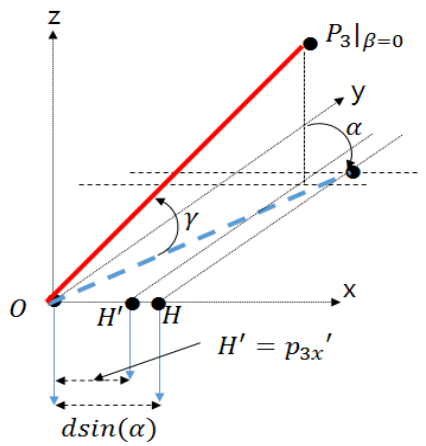


그림 7. 피치 운동에 의한 방향탐지 오차(신호원 고각이 없는 경우)
Fig. 7. Direction finding error by pitch motion (antenna bore-sight : 0 degree)

2.3 플랫폼 피치 운동에 따른 방향탐지 오차 보상 방법

피치 각도는 공중 플랫폼 내부에 장착된 관성항법장치(INS, Inertial Navigation System)를 통해서 주기적으로 전달 받을 수 있으므로 신호원의 방향을 측정할 시점의 피치 각도는 쉽게 획득할 수 있다. 그러므로 피치 운동에 따른 방위각 방향탐지 오차 값을 테이블로 저장하고 있다가 방향탐지 시점의 플랫폼 자세 정보를 이용하여 방향탐지 오차를 보상할 수 있다. 그림 8은 본 논문에서 제안하는 플랫폼 피치 운동에 따른 방향탐지 오차 보상 방법을 설명한 그림이다.

그림 9는 플랫폼의 헤딩을 y축 방향, 고각을 0도로 가정하고 피치 각도를 0도부터 3도까지 1도 간격으로 변화시키면서 신호의 방위각을 -60도에서 60도까지 1도 간격으로 변화시킬 때 발생되는 방위각 방향탐지 오차를 도시한 그림이다. 여기서 x축 방향을 방위각 0도, 좌측 방향을 음수, 우측 방향을 양수 값으로 표현하였다.

일반적으로 공중 플랫폼의 경우 지상 신호원은 플랫폼의 수평면보다 아래쪽에 존재하므로 고각이 존재하며 음수의 값을 가진다. 그러므로 그림 10은 플랫폼

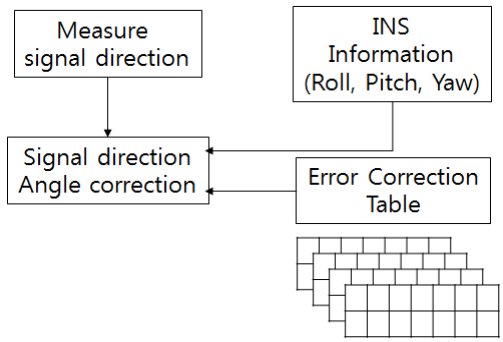


그림 8. 피치 운동에 따른 방향탐지 오차 보상 방법
Fig. 8. Compensation method of direction finding angle error caused by pitch motion

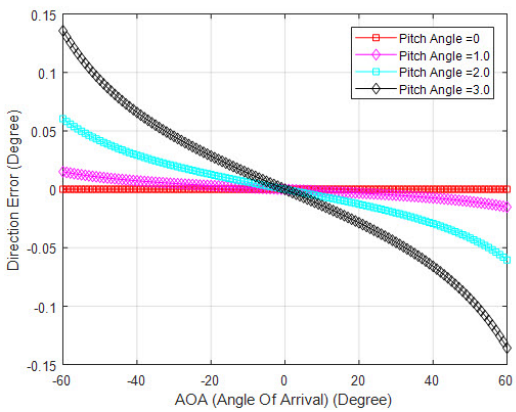


그림 9. 피치에 의한 방향 탐지 오차 (신호원의 고각이 없는 경우)
Fig. 9. Direction finding error by pitch motion (antenna bore-sight : 0 degree)

www.dbpia.co.kr

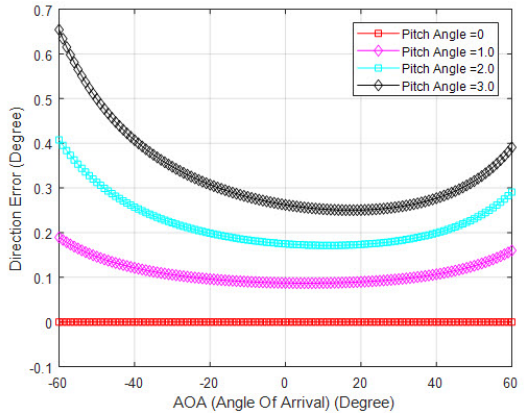


그림 10. 피치에 의한 방향 탐지 오차 (신호원의 고각이 있는 경우)
Fig. 10. Direction finding error by pitch motion (antenna bore-sight : -5 degree)

의 헤딩을 y축 방향, 고각을 -5도로 가정하고 피치 각도를 0도부터 3도까지 1도 간격으로 변화시키면서 신호의 방위각을 -60도에서 60도까지 1도 간격으로 변화시킬 때 발생되는 방위각 방향탐지 오차를 도시한 그림이다. 즉, 여기서는 안테나의 기준방향을 -5도로 가정하여 고각 -5도를 기준으로 방향탐지를 수행하도록 하였다. 그리고 그림 9와 같이 x축 방향을 방위각 0도, 좌측 방향을 음수, 우측 방향을 양수 값으로 표현하였다.

본 논문에서는 보정 테이블을 생성하기 위해 그림 9와 그림 10에서 도시된 방위각 오차 데이터를 이용한다. 보정 테이블 생성 방법으로는 회귀분석을 통해 피치 각도 별로 다항식을 생성하여 활용하는 방법, 피치 각도 별로 측정된 방위각에 관계없이 대표 보상 값을 이용하는 방법, 피치 각도 및 방위각 별로 모든 보상 값을 테이블로 가지고 있는 방법 등이 있을 수 있다. 본 논문에서는 세 가지 방법 중에서 마지막 방법을 이용하였다. 즉, 그림 9와 그림 10에서 도시된 데이터 내용과 같이 피치 각도를 변화시키면서 각 방위각별로 발생하는 오차 값에 '-1'을 곱하여 보정 테이블을 생성하였다.

2.4 모의실험을 통한 성능 검증

MATLAB[12]을 이용한 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 피치 및 방위각 측정 시 잡음에 의한 측정 오차가 없는 것으로 가정한다. 그리고 신호원은 안테나 기준방향에 존재한다고 가정한다. 즉, 신호원의 고각이 없는 경우는 고각 0도 방향, 신호원의 고각이 있는 경우는 고각 -5도 방향에 신호원이 존재한다고 가정한다.

그림 11은 고각이 없는 경우 피치 운동에 의해 발생한 방향탐지 오차를 보정 테이블로 보정한 후의 결과이다. 그림을 통해서 방위각 방향탐지 오차가 완벽하게 제거됨을 확인할 수 있다.

그림 12는 고각이 있는 경우에 피치 운동에 의해 발생한 방위각 방향탐지 오차를 보정 테이블로 보정한 후의 결과이다.

그림 12를 보면 피치 3도, 방위각 -60도 근처에는 오차가 완전히 제거되지 않음을 볼 수 있다. 이러한 이유는 보정 테이블 생성 시 방위각 및 피치를 각 1도 간격으로 만들었고 테이블에서 보정해야할 방위각을 찾을 때 측정한 방위각을 기준으로 최소 오차를 가지는 방위각을 선택하기 때문이다. 즉, 피치 3도, 방위각

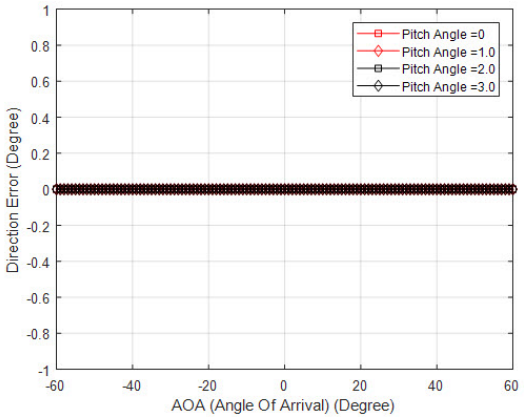


그림 11. 고각이 없는 경우의 피치에 의한 방향 탐지 오차 (보정 후 결과)
Fig. 11. Direction finding error by pitch motion (antenna bore-sight : 0 degree, After compensation)

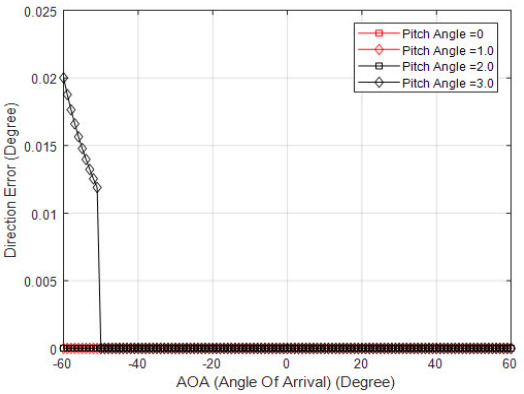


그림 12. 고각이 있는 경우의 피치에 의한 방향 탐지 오차 (보정 후 결과)
Fig. 12. Direction finding error by pitch motion (antenna bore-sight : -5 degree, After compensation)

www.dbpia.co.kr

-60도 근처일 때는 오차가 0.5도 보다 크기 때문에 정확한 방위각을 찾지 못하고 오히려 1도 작은 방위각을 선택하여 해당 방위각의 테이블 값을 보정 값으로 사용하기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보정 테이블을 생성 시 방위각 및 고각의 간격을 좀 더 세밀하게 나누면 된다.

Ⅲ. 결 론

본 논문은 플랫폼의 종축방향으로 배열된 선형배열 안테나를 가진 전자전 시스템이 공중 플랫폼에서 운용되는 경우를 가정하고 방위각 방향탐지 수식을 모델링하였으며, 모델링 된 수식을 이용하여 플랫폼 피치 운동에 의해 방위각 방향탐지 오차가 발생함을 보였다. 그리고 플랫폼 피치 운동에 의한 방향탐지 오차를 최소화하기 위해 방위각 및 피치 각도 별로 보정테이블을 생성하여 오차를 보정하는 방법을 제안하였다. 또한 모의실험을 통해서 제안한 방법으로 방위각 방향탐지 오차를 감소시킬 수 있음을 보였고 본 논문에서 제안한 방법을 통해 플랫폼 피치 운동에 따른 방위각 방향탐지 오차를 감소시켜 신호원에 대한 위치추정 정확도를 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

끝으로 공중 플랫폼에서 안테나의 기준방향과 다른 방향에 신호원이 존재하는 경우(본 논문의 경우 0도(고각이 없는 경우) 또는 -5도(고각이 있는 경우)에 신호원이 존재하지 않는 경우), 신호원과 선형배열안테나간의 기하학적 구조의 변형에 의해서 본 논문에서 제안한 방법을 이용하더라도 방향탐지 오차가 완벽하게 제거되지 않는다. 그러므로 플랫폼의 피치 각도 및 안테나 기준방향과 신호원의 고각의 차이를 복합적으로 고려하는 보상방법에 대한 연구가 필요하다.

References

[1] Richard A. Poisel, *Electronic Warfare Target Location Methods*, Artech House, 2005.

[2] R. G. Wiley, *ELINT: The Interception and Analysis of Radar Signals,* Artech House, 2006.

[3] W. H. Foy, "Position-location solution by taylor-series estimation," *IEEE Trans. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. AES-12, no. 2, pp. 187-193, 1976.

[4] K. Spingarn, "Passive position location estimation using the extended kalman filter," *IEEE Trans. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. AES-23, no. 4, pp. 558-567, Jul. 1987.

[5] M. T. Grabbe and B. M. Hamschin, "Geo-location using direction finding angles," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 31 no. 3, pp. 254-262, 2013.

[6] B. Park, S. Kim, J. Ahn, and Y. Kim, "Stationary emitter geolocation based on NLSE using LOBs considering the earth's curvature," *J. KICS*, vol. 42, no. 03, pp. 661-672, Mar. 2017.

[7] B. Park and J. Ahn, "Stationary emitter position location using extended kalman filter based on LOBs considering the earth's curvature," *J. KICS*, vol. 42, no. 08, pp. 1611-1620, Aug. 2017.

[8] B. Park, S. Kim, Y. Kim, D. Lee, *Apparatus and method for detecting direction of arrival signal in warfare support system*, Korea Patent, 10-2017-0005396, 2015.

[9] J. Joo, G. Kim, J. Lee, and J. Park, *System and method for determining arrangement and combination of direction finding antenna*, Korea Patent, 10-1499634, 2015.

[10] J. Lee and J. Joo, *Method for obtaining the multiple element array spacing for phase interferometer direction finder,* Korea Patent, 10-1603142, 2016.

[11] N. Kalamani, N. Anand, P. Gowtam, and M. Priyadharshini, "Geo-location of radar," *IJRTER, CELICS' 17*, pp. 182-187, Mar. 2017.

[12] *MathWorks Korea*, Retrieved Jan. 01, 2018, from http://kr.mathworks.com/help/index.html

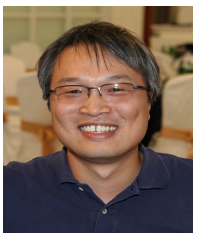
[13] *Rotation Matrix*, Retrieved Jan. 26, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation_m atrix

www.dbpia.co.kr

박 병 구 (Byungkoo Park)

2000년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
2005년 2월~현재 : 국방과학연구소
2016년 3월~현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 박사과정
<관심분야> 전자전, 신호처리

김 상 원 (Sangwon Kim)



1995년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
1997년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
2003년 3월~2007년 2월 : 한국과학기술원 전산학 박사
1997년 2월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
<관심분야> 전자전, 신호처리

안 재 민 (Jaemin Ahn)

1987년 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1994년~1999년 : 삼성전자
1999년~현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 교수
<관심분야> 차세대 이동통신 물리계층 및 Radio resource management

www.dbpia.co.kr