

논문 2004-41 TC-2-9

함정용 탐색레이다 전자빔보상 알고리즘

(Electronic Beam Stabilization Algorithm For Ship-borne Surveillance Radar)

이 민 준*, 김 승 각*

(Min joon Lee and Seung Gak Kim)

요 약

함정의 피치 및 롤의 변화에 따라 탑재된 3차원 위상배열 레이다의 빔조향 방향이 변화하게 된다. 이와 같은 환경에서 빔을 원하는 방향으로 조향하기 위해서 기계적인 안정화 장치나 전자빔 보상 방법을 사용할 수 있다. 레이다의 무게나 부피 등의 측면을 고려하면 전자빔 보상 방법이 장점이 있다. 이 논문에서는 전자빔 보상방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 결과를 제시하였다.

Abstract

The beam direction of the 3 D phase array ship-borne radar is changed according to ship motion such as a pitch and roll variation. To align beam direction, under this circumstance, mechanical or electronic stabilization should be adopted. Considering weight and volume of radar, method of electronic stabilization is recommended. In this paper, method of electronic stabilization is proposed and the results are shown by computer simulation.

Keywords: Electronic Stabilization, Phased Array Radar

I. 서 론

함정에 탑재되는 3차원 위상배열 레이다는 함정의 고속 기동과 파도 등의 외부 환경에 의해 함정의 피치 및 롤이 변함으로서 빔의 조향방향이 원하는 방향에서 벗어나게 된다. 이와 같은 상황 하에서 시스템이 요구하는 방향으로 빔을 조향하기 위해서는 유압을 이용하는 기계적인 안정화 장치를 사용하거나, 위상변위기(phase shifter)를 사용하여 빔의 조향방향을 조정하는 전자 빔 보상 방법이 있다. 안테나에 빔 제어명령어에 따라 빔 조향 방향이 조정 가능한 위상변위기가 있다면 전자적인 보상방법을 사용하는 것이 시스템의 무게나 부피 등

을 측면을 고려해 볼때 유리하다.^[1]

일반적으로 소형함정의 경우 고도각 방향으로만 전자 조향이 가능한 일차원 위상배열 안테나를 갖는 레이다가 장착된다. 이 경우 고도 방향으로는 보상이 가능하지만 방위각 방향으로서는 안테나의 제약으로 인하여 보상이 불가능하다. 본 논문에서는 고도방향으로 탐색구간이 작은 탐색레이다의 경우 고도방향으로 위상변위기를 조정하여 빔을 보상함으로써 전자빔 보상이 가능함을 검증하였으며 시뮬레이션을 통한 결과를 제시하였다.

II. 전자빔보상 알고리즘

함정의 요동에 의한 빔 좌표의 변화되는 정도를 알기 위해서는 안테나 좌표계 (x_a, y_a, z_a) 를 시스템

* 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

접수일자: 2003년4월17일, 수정완료일: 2004년2월16일

좌표계 (x_s, y_s, z_s) 로 변환을 해야 한다.^[2]

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = [T^{sv}] \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = [T^{sv}][T^{va}] \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림1에 시스템좌표계와 함정좌표계 (x_v, y_v, z_v) 사이의 관계를 그림으로 나타내었다

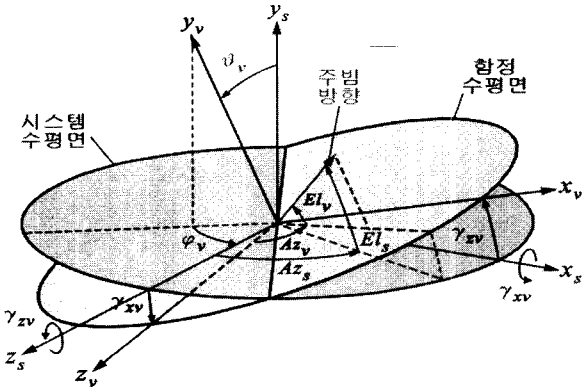


그림 1. 시스템좌표계와 함정좌표계의 관계
Fig. 1. Relationship between System Coordinate System and Vessel Coordinate System.

함정의 피치(γ_{zs}) 및 롤(γ_{xs}) 만이 변화한다면 T^{sv} 는 다음과 같다.

$$[T^{sv}] = \begin{bmatrix} \cos \gamma_{zs} & -\sin \gamma_{zs} & 0 \\ \cos \gamma_{xs} \sin \gamma_{zs} & \cos \gamma_{xs} \cos \gamma_{zs} & -\sin \gamma_{xs} \\ \sin \gamma_{xs} \sin \gamma_{zs} & \sin \gamma_{xs} \cos \gamma_{zs} & \cos \gamma_{xs} \end{bmatrix} \quad (2)$$

그림2와 같이 안테나가 θ_t 의 기음각을 가지고 회전하는 경우 함정좌표계와 안테나 좌표계의 변환행렬 T^{va} 는 다음과 같다.

$$[T^{va}] = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ -\sin \theta_t \sin \phi & -\cos \theta_t & \sin \theta_t \cos \phi \\ -\cos \theta_t \sin \phi & -\sin \theta_t & \cos \theta_t \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

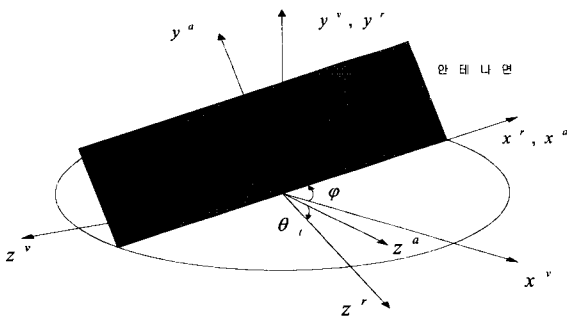


그림 2. 함정좌표계와 함정좌표계의 관계
Fig. 2. Relationship between Antenna Coordinate System and Vessel Coordinate System.

함정의 피치 및 롤의 변화에 의해서 실제공간에 조향되는 빔은 공간상에서 다른 위치가 된다. 하지만 함정의 자이로 데이터에 의해서 피치 및 롤의 값을 알고 있으므로 빔을 시스템이 요구하는 위치가 되도록 위상변위기의 변위치를 조정한다면 빔의 보상이 전자적으로 가능하다.

일반적인 2차원 위상배열 안테나인 경우에는 안테나 좌표계인 k -영역(k_x, k_y)상에서 조향이 가능하다. 이와 같은 안테나에서 전자적으로 빔의 방향을 보상하려면 다음과 같은 관계식을 이용하여 배열소자의 변위치를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} = [T^{av}] \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = [T^{av}][T^{vs}] \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

안테나의 고도각(y 축)으로만 빔 조향이 가능한 1차원 위상배열 안테나인 경우는 방위각(x 축)으로 빔조향을 할 수 없으므로 시스템에서 x_s 값을 임의로 정할 수 없다. 그런데 구하고자 하는 y_a 는 x_s 와 y_s 의 함수이므로 위식으로 구할 수 없다. 따라서 다음과 같은 관계식으로부터 x_s 항이 배제된 y_a 값을 구할 수 있다.

(1)식에서 $[T^{sv}][T^{va}] = T$ 라고 표현하면 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_s &= \sin Az_s \cos El_s = T_{11}x_a + T_{12}y_a + T_{13}z_a \\ y_s &= \sin El_s = T_{21}x_a + T_{22}y_a + T_{23}z_a \\ z_s &= \cos Az_s \cos El_s = \sqrt{1 - x_s^2 - y_s^2} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} x_a &= \sin \theta_a \cos \phi_a = k_x/k_0 \\ y_a &= \sin \theta_a \sin \phi_a = k_y/k_0 \\ z_a &= \cos \theta_a = \sqrt{1 - x_a^2 - y_a^2} = k_z/k_0 \end{aligned} \quad (6)$$

(6)의 z_a 를 (5)에 대입하면 다음과 같은 관계를 얻는다.

$$T_{22}y_a + T_{21}x_a + T_{23}\sqrt{1 - x_a^2 - y_a^2} = y_s \quad (7)$$

(7)을 y_a 에 대해서 정리하여 근을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} y_a = \frac{-b - \sqrt{b^2 - ac}}{a} & , \text{ if } T_{23} \leq 0 \\ y_a = \frac{-b + \sqrt{b^2 - ac}}{a} & , \text{ if } T_{23} > 0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서

$$\begin{aligned} a &= T_{22}^2 + T_{23}^2 \\ b &= (T_{21}x_a - y_s)T_{22} \\ c &= (T_{21}x_a - y_s)^2 - T_{23}^2(1 - x_a^2) \end{aligned}$$

x_a 및 y_s 는 알고 있는 값이므로 위상변위기를 제어할 수 있도록 y_a 값을 구할 수 있다. 만약 송신주파수로 중심주파수를 사용한다면 $x_a=0$ 이다.

2차원 위상배열 안테나인 경우 통제기에서 안테나에 주게되는 위상변위기 제어명령은 다음과 같이 상대적인 위상차가 나도록 정해주면 된다.[3]

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_x &= -2\pi/\lambda \cdot d_x \cdot x_a \\ \Delta\Phi_y &= -2\pi/\lambda \cdot d_y \cdot y_a \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 d_x, d_y 는 각각 x축 및 y축으로의 안테나 배열소자간의 거리이다. 따라서 위상변위기 변위치 $\phi_x(m), \phi_y(n)$ 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_x(m) &= m \cdot \Delta\Phi \text{ modula } 2\pi \\ \Phi_y(n) &= n \cdot \Delta\Phi \text{ modula } 2\pi \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 m, n 은 각각 x축 및 y축으로의 위상변위기 위치를 나타낸다.

1차원 위상배열 안테나인 경우는 (10)식에서 $\phi_y(n)$ 만이 의미를 갖는다. 이 경우 x축으로 빔보상이 불가능하므로 시스템 좌표계와 안테나 좌표계 사이에 방위각 방향으로 각도의 차이가 발생하게 된다. 이 문제는 자이로의 롤 및 피치 정보를 이용하여 실제 표적의 방위각을 정확히 계산할 수 있으므로 통제기에서 보상할 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위하여 고도방향으로 5개의 빔을 사용하는 레이다 시스템을 가정하였으며 롤과 피치에 따른 함정의 운동특성은 표1과 같다. 이 값은 Sea state 5에서의 300톤급 함정의 운동특성이다.

표 1. 함정의 운동특성
Table. 1. The characteristics of ship motion.

피치(도)	롤(도)	피치가변율(도/초)	롤가변율(도/초)
± 8	± 18	6	12

그림 3은 피치 및 롤의 변화에 따라 고각빔이 최대값을 나타내는 부분을 보여준다. 빔중심의 최대값이 약 42도 정도의 값을 갖는 것을 살펴볼수 있다. 그림 4는 요동보상을 적용한 경우의 조사범위를 보여준다. 그림 5는 피치 및 롤의 변화에 따라 고각빔이 최소값을 갖는 경우를 보여주며 그림 6은 요동보상을 적용한 경우이다. 일반적으로 피치 및 롤이 모두 최대 또는 최소가 되는 경우 가장 큰 고각빔의 변화가 일어나게 된다. 이 부분의 요동보상 결과를 잘 살펴보면 고각빔의 변화가 큰 경우 방위각 방향으로의 빔 간격이 상대적으로 약간씩 넓어지거나 좁아지는 경향이 있으나 그 효과가 크지 않다. 빈 공간 없이 탐지공간이 채워져서 전자적으로 요동보상이 가능함을 알 수 있다.

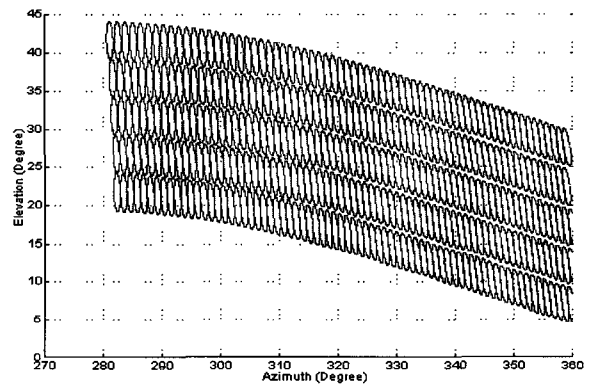


그림 3. 고각빔이 최대값을 가지는 경우
Fig. 3. In the case of Maximum Elevation Angle.

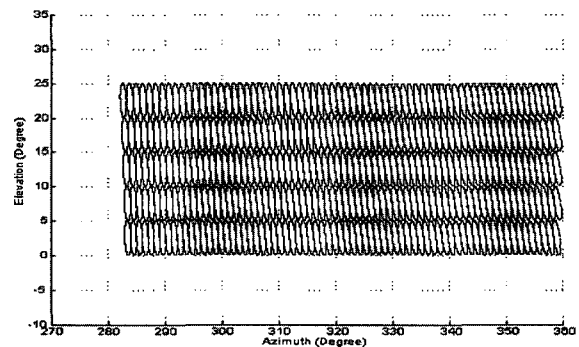


그림 4. 전자빔 보상된 경우
Fig. 4. In the case of Electronic stabilization.

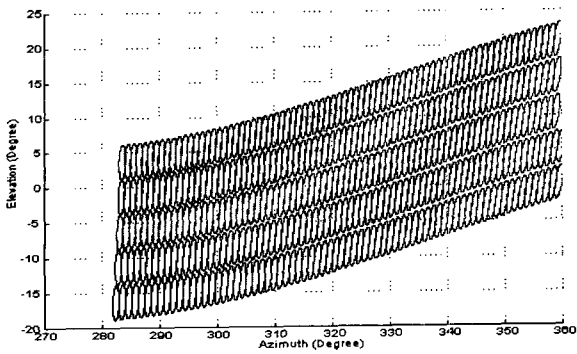


그림 5. 고각빔이 최소값을 가지는 경우
Fig. 5. In the case of Minimum Elevation Angle.

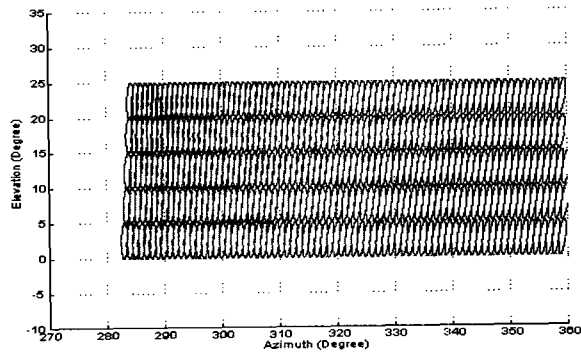


그림 6. 전자빔 보상된 경우
Fig. 6. In the case of Electronic stabilization.

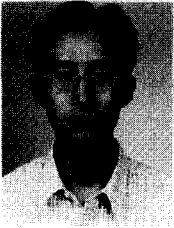
VI. 결론

이 논문에서는 함정용 레이다에 적용가능한 전자빔 보상 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해서 그 결과를 검증하였다. 제안한 시스템과 같이 한 스캔에 전체 공간을 탐색할수 있으며 고각방향으로 25도 내외의 탐색공간을 갖는다면 전자빔 보상방법을 적용할수 있음을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과 요동 보상된 빔을 보내기 위한 안테나 조향범위는 -32~27도였다. 따라서 전자적으로 요동보상이 가능하기 위해서는 빔 조향범위가 더 커지도록 안테나가 설계되어야 한다.

참고 문헌

[1] Peter J. Kahrilas, *Electronic Scanning Radar Systems(ESRS) Design Handbook*, Artech House, 1976.
 [2] William T. Thomson, *Introduction to Space Dynamics*, John Wiley & Sons, 1961.
 [3] Robert S. Elliot, *Antenna Theory and Design*, Prentice-Hall Inc., 1981,

저 자 소 개



이 민 준(정회원)

1986년 서강대학교 전자공학과 졸업
(공학사)

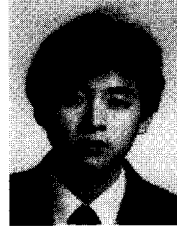
1988년 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 한국과학기술원 전기 및 전

자공학과 졸업(공학박사)

1988년~현재 국방과학연구소

<주관심분야: 레이더 신호처리, 통제기 등임>



김 승 각(정회원)

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업
(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년~현재 국방과학연구소

<주관심분야: 레이더 안테나, 안테나 측정 등임>