

## 技術論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.9.889>

## 관심영역 스캐닝기법을 이용한 레이더 펄스 발생원 위치 추정기법

최경식\*, 김종필\*, 원현권\*, 박재현\*, 김인규\*

Source Localization Technique for Radar Pulse Emission  
by Using Scanning Method of Interest Area

Kyong-Sik Choi\*, Jong-Pil Kim\*, Hyeon-Kwon Won\*, Jae-Hyun Park\* and In-Gyu Kim\*

## ABSTRACT

In recent days, some techniques to prevent from radar detection have been applied on aircraft system. RWR(Radar Warning Receiver) can be used for estimating the source location of the aircraft which emits radar pulse. Current existing method of localizing radar pulse emission source is using AOA(Angle Of Arrival) and most techniques are focused on finding exact AOA to find exact location. In this case, however, the exact AOA does not always result in finding exact source location while target aircraft is moving fast. In this paper, a localization method using the phase delay of the radar pulse's low frequency applies and so a scanning method for the interest area does in order to estimate exact source location by using phase delay.

## 초 록

최신의 항공기는 상대 항공기의 레이더에 검출되지 않기 위해 다양한 방법을 적용하고 있다. 레이더를 통해 감지가 어려운 적기의 존재 유무를 파악하고 적기와의 상대적인 거리 차이와 방위를 추정하기 위해 레이더 경고 수신기(RWR, Radar Warning Receiver)가 이용될 수 있다. 기존의 레이더 경고 수신기는 도달 각(AOA, Angle Of Arrival)을 구하고, 도달 각의 방향성으로 레이더 펄스가 발산된 위치를 추정하였다. 따라서 보다 정확한 위치를 추정하기 위해서 보다 정확한 도달 각을 구하는데 초점을 두었다. 반면 도달 각을 정확하게 구하더라도 레이더 펄스를 발산한 상대 항공기가 빠른 속도로 이동하는 경우 정확한 위치 추정은 어렵다. 본 논문에서는 레이더 펄스가 발산된 정확한 위치를 추정하기 위하여, 초고주파의 레이더 펄스 신호에서 저주파수 신호의 위상지연차를 이용하여, 관심 영역에 대한 스캐닝 기법으로 레이더 펄스가 발산된 위치를 추정하였다.

**Key Words** : RWR(레이더경보수신기), Radar Pulse Width(레이더 펄스폭), Source Localization(위치추정), Phase Delay(위상지연), Cross Spectrum(상호스펙트럼)

## I. 서 론

본 논문은 항공기에 장착되는 항공전자 장비(LRUs, Line Replaceable Unit) 중에서 레이더 경고 수신기(RWR, Radar Warning Receiver)의 레이더 펄스 발생원 위치 추정에 관한 것이다.

† 2011년 6월 3일 접수 ~ 2011년 8월 3일 심사완료

\* 정회원, 한국항공우주산업(주) 항공ES팀  
교신저자, E-mail : cks@koreaero.com  
경남 사천시 사남면 유천리 802번지

레이더 정보 수신기는 기본적으로 레이더와 비슷하지만, 레이더가 능동적으로 전파를 발산하여 그 반사파를 받아들이는 반면, 레이더 정보 수신기는 모든 주파수의 레이더 전파를 수신하지만 능동적으로 레이더 전파를 발산하지는 않으며, 적의 레이더에서 나오는 레이더 전파를 받아들여 피아식별(IFF, Identification Friend or Foe)을 수행하고 적기의 거리와 방위 등을 알려주는 장치이다.<sup>(1)</sup> 최신의 항공기는 스텔스(Stealth) 기능을 보유하고 있으며, 이러한 스텔스기는 레이더를 통한 존재 유무 검출이 어렵고, 적기의 위치를 추정할 수 없다. 이런 이유로 레이더 정보 수신기의 역할이 점차 증대되고 있다. 기존의 레이더 정보 수신기가 상대 항공기의 위치를 추정하는 방법은 레이더 펄스 수신강도 세기 차이를 거리에 따른 감쇄율을 고려하여 대략적인 거리와 위치를 추정하거나 방위각(Azimuth Angle)과 상하각(Elevation Angle)이 지시하는 방향성으로 대략적인 위치를 추정하였다.<sup>(1,2)</sup> 하지만 최신의 스텔스 항공기는 상대 레이더 정보 수신기에 노출되지 않기 위해 다양한 기법들을 적용하고 있으며, 기존의 방법으로는 상대 항공기의 위치를 추정하기 어렵다. 본 논문은 기존의 레이더 펄스 발생원 위치 추정 기법을 개선하여 보다 정확하게 위치추정을 하기 위한 방법으로 레이더 펄스 폭의 위상지연차를 이용한 위치 추정 기법을 적용하였다.

## II. 기본이론

### 2.1 기존 위치추정 기법

기존의 레이더 정보 수신기는 레이더 펄스 발산 위치를 추정하기 위하여, 안테나에 수신된 레이더 펄스의 수신강도 세기 차이를 거리에 따른 감쇄율을 고려하여 대략적인 거리와 방위를 추정하거나, 두 센서 유닛에 도달한 위상지연차에서 방위각(Azimuth Angle)과 상하각(Elevation Angle)의 도달 각(AOA, Angle Of Arrival)을 구하여, 두 각이 지시하는 방향성으로 대략적인 위치를 추정하였다.<sup>(2,3)</sup> 수신강도 세기 차이를 이용하여 위치추정을 하는 경우, 레이더 펄스가 발산된 강도를 알지 못하거나, 발산 강도가 수시로 바뀌는 경우 감쇄율을 고려한 상대적인 거리 차이를 추정할 수 없다. 실제 최신의 항공기는 상대 항공기의 레이더 정보 수신기에 노출되지 않기 위해 레이더 전파의 발산 강도와 단위 시간당 펄스(PRF, Pulse Repetition Frequency)를 불규칙

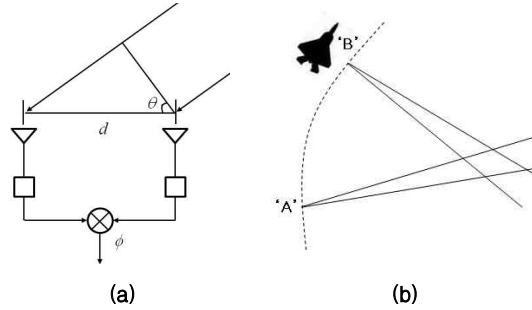


Fig. 1. Estimating source location by using a directivity of azimuth and elevation angles. (a) is finding phase delay, (b) is estimating source location

하게 바꾸어 주는 방법을 이용하고 있다. 그러므로 수신강도 세기 차이로 위치추정을 하기는 어렵다. 또한, 방위각과 상하각의 도달 각(AOA, Angle Of Arrival)의 방향성으로 레이더 펄스 발생원 위치를 추정하는 경우 Fig. 1 (a)에서와 같이 위상배열 안테나를 통해 입사된 레이더 펄스 신호에서 방위각과 상하각을 구하여, Fig 1 (b)에서와 같이 'A' 지점에서 'B' 지점으로 항공기가 일정 거리를 이동하는 동안 지시하는 하나의 지점을 역으로 추적하여 레이더 펄스 발생원 위치를 추정하게 된다. 이 경우 항공기의 이동경로가 직선이거나 이동 거리가 짧은 경우, 혹은 상대 항공기가 빠른 속도로 이동하거나 이동 경로를 예측할 수 없는 경우 한 지점을 잡기 어렵다.

### 2.2 펄스폭 위상지연차를 이용한 위치추정 기법

기존에 레이더 정보 수신기는 레이더 펄스 발산 위치를 추정하기 위해 방위각과 상하각을 먼저 구한 후에 항공기가 이동하는 동안 지시하는 방향성으로 역으로 추정 하였다. 본 논문에서는 초고주파의 레이더 펄스 신호에서 저주파수 성분을 뽑아내어 위상지연차를 구하고, 이 위상지연차를 이용하여 관심 영역에 대한 스캐닝기법으로, 레이더 펄스 발생원 위치를 추정하였다. Fig. 2는 레이더 펄스 신호가 두 센서에 수신되는 것을 도식화 하였다.

$$\vec{d}_{i,j} \cdot \hat{u} = \|\vec{d}_{i,j}\| \cos\delta \tag{1}$$

$$= (x_j - x_i)u + (y_j - y_i)v + (z_j - z_i)w = c\Delta t_{i,j}$$

Fig. 2와 (1) 식에서 레이더 펄스 발생원에서 두 센서에 전달된 최대 시간지연 차이는 레이더 펄스 발생원과 센서들이 나란히 일직선상에 놓인

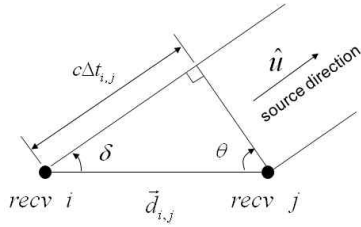


Fig. 2. Computing source direction from TDOA(Time Difference Of Arrival)

경우이며, 이때 레이더 펄스 주파수의 반 파장이 두 센서간 거리 차이보다 커야 한다.<sup>(4)</sup> 즉, 레이더 펄스 발생원에서 전달된 두 센서 신호의 최대 시간지연차이가 선택된 주파수의 반주기 보다 짧아야 한다. 그렇지 않은 경우, 반복된 횡수만큼 보상을 해 주어야 하는데, 수회 반복하는 경우 반복횟수를 구하는데 어려움이 있다. 선택된 주파수의 파장을  $\lambda$ , 두 센서간 거리를  $d$ 라면,  $d < \frac{\lambda}{2}$  이고 아래 관계식을 만족해야 한다.

$$d_{i,j} < \frac{c}{2 \times f} = \frac{c \times T}{2} \quad (2)$$

(2) 식에서 위상지연차이를 이용한 위치추정기법은 저주파수 영역에 한정된다. 통상적으로 초고주파의 반송파에서 기저밴드의 저 주파수 성분을 얻기 위해 하향 변환 혼합기(down conversion mixer)를 이용한다.<sup>(5)</sup> 이 경우, 레이더와 같이 능동적으로 레이더 전파를 발산하는 경우 반송파의 주파수 크기를 이미 알고 있으므로, 하향 변환 혼합기를 이용하여 손쉽게 기저밴드 주파수 혹은 원하는 저주파수 신호를 얻을 수 있다. 반면 레이더 경보 수신기는 수동적으로 전파를 받기 때문에 원하는 저주파수 신호를 얻기 위해서는 하향변환 혼합기로 입력되는 발진기 주파수를 능동적으로 실시간 제어 해야만 한다. 특히 근래에는 레이더 펄스의 반송파 주파수 크기는 균일하지 않은 것이 특징이며, 상대 레이더 경보 수신기에 노출되지 않기 위해 수시로 변경된다. 그러므로 수신기 모듈은 원하는 기저밴드 주파수 혹은 원하는 저주파수 신호를 얻기 위해 반송파의 주파수 크기에 따라 능동적으로 발진기 주파수를 조절하여 원하는 저 주파수를 얻어야 한다. 발진기 주파수를 조절하기 위한 방법으로 전압제어발진기(VCO, Voltage Controlled Oscillator) 등이 있지만,<sup>(6)</sup> 본 논문에서는 발진기 주파수를 능동적으로 제어하지 않고 손쉽게 저주파수 신호를 얻을 수 있는, 전파정류회로(full

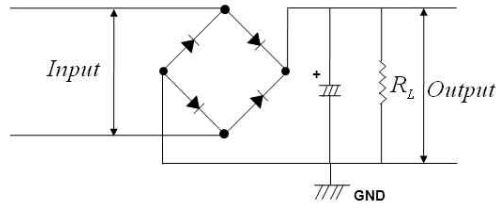


Fig. 3. Full-wave rectification and smoothing circuit

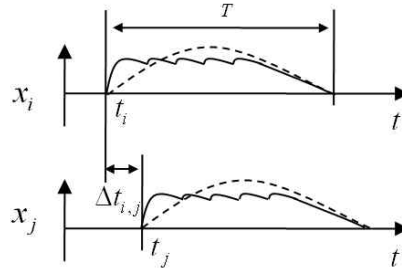


Fig. 4. The result signal of full-wave rectification and smoothing

wave rectification circuit)와 평활회로(smoothing circuit) 이용하였다. 전파정류회로의 간단한 구조는 Fig. 3에서와 같이 다이오드 브리지 회로와 콘덴서로 연결되어 있다. 4개의 다이오드 브리지에 의해 입력된 정현파 신호는 전파정류(full-wave rectification)되며, 콘덴서는 정류된 신호가 직류에 가까운 신호로 변환되도록 한다.<sup>(7,8)</sup> 콘덴서에서 방전되는 신호를  $v_c$ 라고 하면, 정류기회로와 평활회로를 통과한 신호는 부하저항이  $R_L$ , 커패시터를  $C$ , 최대 피크 값을  $V_p$ 라하면 아래와 같다.

$$v_c = V_p e^{-t/R_L C} \quad (3)$$

Fig. 4는 정현파 입력신호가 전파정류회로와 평활회로를 거쳐 출력된 신호를 도식화 하였다. (3) 식에서  $R_L C$ 는 시정수 값으로, 시정수 값을 적절히 조절하여 리플 값을 제어할 수 있다.  $R_L C$  값을 크게 가져 갈수록 리플은 작아지게 되고, 보다 직류에 가까운 신호가 된다. Fig. 4에서와 같이 전파정류회로와 평활회로에 의해, 초고주파의 레이더 펄스신호에서 레이더 펄스폭이 주기  $T$ 가 되는 저주파 신호를 얻게 된다.

레이더 펄스 발생원 위치를 추정하기 위해서는, Fig. 4의 신호에서 시간지연차를 먼저 구해야 한다. 두 센서신호의 시간지연차를 구하기 위해서는 상호상관함수법과 상호스펙트럼 분석기법

등이 이용될 수 있다. 그러나 상호상관함수법의 경우 채널 잡음이 많이 포함되는 경우 두 센서 신호의 상관관계가 줄어들게 되어 오차가 커지게 된다. 따라서 본 논문에서는 상호스펙트럼 분석 기법으로 위상지연차를 먼저 구한 후, 펄스폭의 주기를 곱하여 시간지연차를 구하는 방법을 적용하였다. 모든 신호는 사인(sine)과 코사인(cosine) 함수의 조합으로 이루어져 있다.<sup>(9)</sup> 안테나에 수신된 레이더 펄스 신호는 동일한 주파수 성분과 펄스폭을 가진다. Fig. 4에서와 같이 정류기와 평활회로를 거친 레이더 펄스 신호의 주파수 성분 중에서 레이더 펄스폭  $T$ 에 대한 주파수를  $f_{duration-time}$  ( $=1/T$ )라하고, 먼저 도달한 신호를  $x_1$ , 시간지연  $\tau_0$ 를 가지고 도달한 신호를  $x_2$ 이라고 하면 두 신호는 아래와 같이 표현할 수 있다. ( $V_p$ : 최대치,  $\alpha < 1$ )

$$x_1(t) = V_p \sin(2\pi f_{duration-time} t + \theta) \quad (4)$$

$$x_2(t) = \alpha x_1(t - \tau_0) = \alpha V_p \sin(2\pi f_{duration-time} (t - \tau_0) + \theta) \quad (5)$$

(4) 식과 (5)식 신호의 상관함수를 구하면 아래와 같다.

$$R_{x_1 x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t + \tau)] = \alpha E[x_1(t)x_1(t + \tau - \tau_0)] = \alpha R_{x_1 x_1}(\tau - \tau_0) \quad (6)$$

(6) 식에서 시간지연  $\tau_0$ 을 가지는 두 신호의 상호상관함수는 시간지연  $\tau_0$ 에서 최대치를 갖는 자기상관함수의 형태로 나타난다.<sup>(10)</sup> 이 관계를 주파수 도메인으로 변환하면, 두 신호에서 특정 주파수의 시간지연은 주파수 도메인에서 위상지연차로 구할 수 있다.  $x_1$ 에 대한 푸리에 변환 결과를  $X_1(f)$ ,  $x_2$ 에 대한 푸리에 변환 결과를  $X_2(f)$ , 그리고 상호스펙트럼 함수를  $S_{X_1 X_2}(f)$ 라고 하면,

$$S_{X_1 X_2}(f) = X_1^*(f) \times X_2(f) = |X_1(f)||X_2(f)|e^{j\{\theta_{X_2}(f) - \theta_{X_1}(f)\}} \quad (7)$$

(7) 식에서 주파수 도메인에서 상호 스펙트럼 함수의 크기는 두 신호 진폭의 곱으로 나타나고 위상은 두 신호의 위상차로 나타난다. 흥미로운 것은 곱으로 인하여 두 신호에 공통으로 존재하는 주파수 성분만 남고 한 신호에만 존재하는 주파수 성분은 감쇄되어 잡음성분은 제거 된다. 정류기 회로와 평활회로를 거친 신호는 Fig. 4에서 직사각파 형태의 신호를 띄게 되며, 이 신호에 대해 주파수 분석을 수행하면, Sinc 함수 형태로 나타난다. 여기에서 관심 있는 주파수 성분은 직류성분( $f=0$ )을 제외한 첫 번째 최대치를 형성하

는 주파수이며, 이 값은 Fig. 4에서 펄스 폭  $T$ 에 대한 주파수로써, (4) 식의  $f_{duration-time}$  이 된다.

주기  $T$ 와 주파수  $f$  사이에는  $T = \frac{1}{f}$ 인 관계가 있으므로, 두 신호사이 위상차를 이용하여 시간지연차를 구하기 위해서는 주기에 위상 지연비를 곱한다. 즉, 시간 지연을  $\Delta t_{i,j}$ 라고 하면

$$\Delta t_{i,j}(f) = \frac{1}{f} \times \frac{\theta_{X_i}(f) - \theta_{X_j}(f)}{2\pi} \quad (8)$$

이다. (8) 식에 얻은 시간지연차에 레이더 펄스의 속도를 곱하여 레이더 펄스 발생원에서 두 센서에 전달된 거리지연차를 구할 수 있다. 레이더 펄스의 속도를  $c$ 라고 하면 레이더 펄스 발생원에서 두 센서에 도달한 거리 차이는 다음과 같다.

$$\Delta l_{i,j} = l_i - l_j = c \times \Delta t_{i,j}(f) \quad (9)$$

(9) 식에서와 같이 두 센서로부터 거리 차가 일정한 지점은 쌍곡선을 이룬다. 본 논문에서 적용된 레이더 펄스 발생원 위치추정 기법은, 다수개의 센서  $N$ 개 존재하는 경우  ${}_N C_2$ 개의 쌍곡선을 얻을 수 있고, 쌍곡선이 교차되는 지점을 레이더 펄스 발생원 위치로 잡았다. 또한 쌍곡선이 교차되는 지점을 찾기 위해 본 논문에서는 관심 영역에 대한 스캐닝 기법을 적용하였다. Fig. 5는 스캐닝 방법에 대해 묘사하였다. 스캐닝 지점에서 각 각의 센서까지 거리를  $l_{s,i}$ ,  $l_{s,j}$ 라 하면, 거리 차이인  $l_{s,i} - l_{s,j}$  값에서 센서로부터 측정된 거리지연차  $c\Delta t_{i,j}$ 를 감산한 값이 최소가 되는 지점이 레이더 펄스 발생원 지점이 된다.<sup>(3)</sup> 즉, 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\min \{(l_{s,j} - l_{s,i}) - c\Delta t_{i,j}\} \quad (10)$$

$N$ 개의 센서가 연결된 경우,

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j>i}^N [(l_{s,i} - l_{s,j}) - c\Delta t_{i,j}] \right\} \quad (11)$$

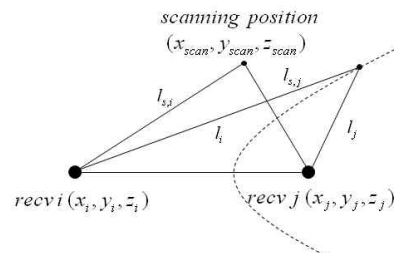


Fig. 5. Scanning for the interest area for 2 sensors

### 2.3 컴퓨터 모사

Fig. 6은 스캐닝 기법을 이용하여, 세 개의 센서에 도달시간지연차를 이용하여 위치 추정한 결과를 보여준다. 세 개의 센서는 각각 변의 길이가 20m인 정삼각형의 꼭짓점에 위치하도록 하였다. 첫 번째 센서는 상부 중앙에 위치하며, 두 번째 센서와 세 번째 센서는 첫 번째 센서를 기준으로 정삼각형 구도로 각각 좌측과 우측 하단에 위치한다. 스캐닝 범위는 150m까지 하였으며, (a), (b), (c) 세 가지 경우는 아래와 같다.

Fig. 6에서 위치추정 결과를 나타내기 위해 명암 비로 나타내었다. Fig. 6에서 어두운 부분은 스캐닝 기법을 통해 레이더 펄스가 발산된 가능성이 낮은 지점을 의미하며, 밝은 부분은 가능성이 높은 지점을 의미한다. Fig. 6에서 세 개 이상의 수신기 센서를 이용하여, 정확히 한 지점 얻을 수 있다. 다음은 실제 항공기 형상을 고려하여 센서를 배치하고 관심영역을 좀 더 넓게 하여 모사하였다. Fig. 7 (a)는 센서가 배치된 위치를 보여주며, Fig. 7 (b)는 스캐닝하기 위한 관심영역을 보여준다.

- (a)  $t_1 = 61.5ns, t_2 = 61.5ns, t_3 = 0.0ns$
- (b)  $t_1 = 61.5ns, t_2 = 0.0ns, t_3 = 61.5ns$
- (c)  $t_1 = 0.0ns, t_2 = 61.5ns, t_3 = 61.5ns$

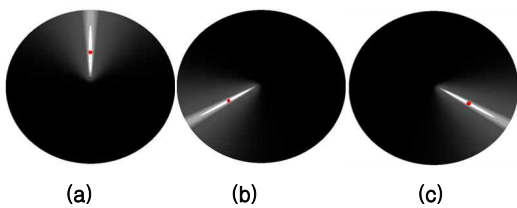


Fig. 6. The result of source localization for 3 sensors. red circle denotes the source locations

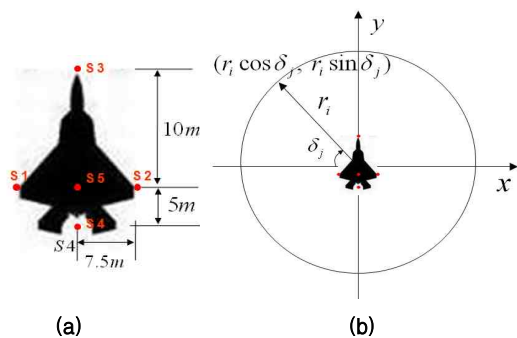


Fig. 7. (a) is the sensor locations, (b) is scanning area

컴퓨터 모사를 위해 사용된 테스트 신호의 최대치  $V_p$ 는 1, 레이더 펄스 주파수  $f$ 는 2GHz, 샘플링 주파수는 20GHz으로 하였다. 레이더 펄스 신호 생성을 위해 초고주파로 샘플링 되었지만, 실 구현에서는 레이더 펄스 폭  $T (=1/f_{duration-time})$ 를 고려한, Nyquist 샘플링 이론을 만족하는 범위에서 적절히 조절될 수 있다. 평활회로 출력신호는 시정수  $R_L C$ 를  $10^{-9}$ 로 하였으며, 입력신호  $v_i$ 는 아래와 같다.

$$v_i = \sin(2\pi \times 2.0e+9 \times t) \quad (f = 2.0e+9Hz) \quad (12)$$

Fig. 8은 (12)식의 정현파 신호에 대해 전과정류회로와 평활회로를 통과한 신호에 대해 백색잡음  $N_0/2 = 0.15$ 을 합산하여, 얻은 신호이다. Fig. 8에서 정류회로와 평활회로를 거친 레이더 펄스 신호는 펄스폭  $T$ 가 주기인 직사각에 가까운 신호가 된다.

Fig. 8의 두 신호에 대해 상호 스펙트럼을 구하면, Fig. 9를 얻게 된다. Fig. 9에서와 같이 직사각 신호의 스펙트럼을 구하면, Sinc 함수 형태로 나타난다. 여기서 관심 주파수 성분은 직류성분

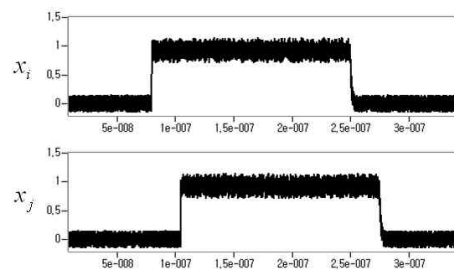


Fig. 8. Simulated Radar pulse signal due to full-wave rectification and smoothing

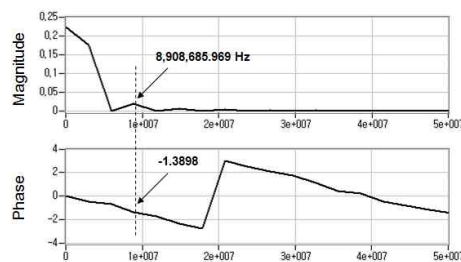


Fig. 9. Cross Spectrum for  $x_i$ , and  $x_j$  signals (peak frequency is 8,908,685.969Hz, phase delay is -1.3898)

( $f=0$ )을 제외한 주파수 성분 중에서 저주파 영역에서 가장 큰 값으로 이는 레이더 펄스폭의 주파수가 된다. Fig. 9에서와 같이  $f=0$ 인 지점을 제외한 최대치를 가지는 주파수  $f$ 는 8,908,685.969Hz이고 이때의 위상차는 -1.3898이다. 이 값을 (8) 식에 대입하여, 두 센서 신호에 도달한 시간지연차를 구할 수 있다.

$$\Delta t_{i,j} = \frac{1}{8908685.97 \text{ Hz}} \times \frac{-1.3898}{3.14 \times 2} = -25.000 \text{ ns}$$

즉, 위의 식에서 레이더 펄스 발생원으로부터 두 센서 유닛  $i, j$ 의 시간 지연차 25.000ns를 얻을 수 있다. 동일한 방법으로 센서 유닛 5개에 대하여  ${}^5C_2 = \frac{5!}{2!(5-2)!} = 10$  개의 시간지연차를 얻을 수 있다. Fig. 10은 5개의 센서 유닛에 도달 시간이 각각  $t_1=0.000 \text{ ns}$ ,  $t_2=50.000 \text{ ns}$ ,  $t_3=25.011 \text{ ns}$ ,  $t_4=25.003 \text{ ns}$ ,  $t_5=25.000 \text{ ns}$ 인 경우의 시간지연차에 대하여, 관심영역 30Km 까지 스캐닝 한 결과이다. 수신기 센서를 중심으로 스캐닝 지점까지의 반지름을  $r$ , 레이더 펄스의 입사각을  $\delta$ 이라하면 원주방향의 스캐닝 간격  $l$ 은  $l=r\Delta\delta$ 이므로  $r$ 이 클수록 동일한 스캐닝 간격  $l$ 에 대한 입사각  $\delta$ 의 변화량은 작게 된다.  $\delta$ 의 변화량이 적으면 (1) 식에서 수신기 센서 사이 도달하는 시간지연차  $\Delta t_{i,j}$  또한 작아지게 된다. 따라서 반지름  $r$ 이 커짐에 따라 정확한 위치추정을 위해서는 스캐닝 간격을 조밀하게 할 필요가 있다. 반면 스캐닝 간격을 조밀하게 하는 경우 계산해야 하는 데이터 량이 증가하므로, 본 논문에서는 처리 부하를 줄이기 위해, 적은 포인터로 스캐닝 하여 대략적

인 방향성을 구하고, 그 방향성에 대해서 좀 더 조밀하게 스캐닝 하는 방법을 적용하였다. Fig 10에서 흰색 선은 스캐닝 지점들을 연결한 선으로, 스캐닝 지점들이 인접할수록 흰색 라인은 조밀하게 나타난다. Fig 10 (a)는 관심영역에 대해 스캐닝하여 방향성을 먼저 구한 결과이며, Fig. 10 (b)는 구해진 방향성에 대해 보다 높은 분해능으로 집중 스캐닝 하여 레이더 펄스가 발산된 한 지점을 추정한 결과이다.

### III. 결 론

본 연구의 목적은 기존의 레이더 펄스 발생원 위치 추정 기법을 개선하여, 보다 정확하게 레이더 펄스가 발산된 위치를 추정하는데 있다. 기존의 방법은 방위각(Azimuth Angle)과 상하각(Elevation Angle)의 방향성을 이용하여, 항공기가 이동하는 동안 지시하는 하나의 지점을 역으로 추정하였다. 이 경우 항공기의 이동 경로가 짧거나, 상대항공기가 빠른 속도로 이동하거나 이동 경로를 예측할 수 없는 경우 위치추정 결과를 신뢰하기 어렵다. 본 논문에서는 레이더 펄스 신호에서 저주파수 신호를 이끌어내어 위상지연차를 구한 후 관심영역에 대한 스캐닝 기법으로 위치를 추정 하였다. 본 논문에서는 레이더 펄스 신호에서 저주파수 신호를 얻기 위해 보다 간단한 방법으로 전파 정류회로와 평활회로를 이용하여 저주파수 신호를 이끌어 내었으며, 이 신호에 대해 위상지연차를 구하였다. 실시간으로 한 지점을 찾기 위한 방법으로 스캐닝 기법을 이용하여 레이더 펄스가 발산된 위치를 추정하였으며, 컴퓨터 모사 테스트에서 관심 영역을 좁혀가는 방법으로 수십 Km 범위까지 정확한 위치 추정이 가능함을 보였다.

### 참고문헌

- 1) Andrew Borden., Janet H. Cook., "Incorporation of Alarm States into a Real Time Decision Making Process", AIAA Computers in Aerospace Conference, 7th, Oct. 1989, pp. 12.
- 2) Hyo-Bin Im, Eun-Kyoung Go, Un-Seob Jeong, and Si-Chan Lyu., "Signal Processing Algorithm to Reduce RWR Electro Magnetic Interference with Tail Rotor Blade of Helicopter", Int' J. of Aeronautical & Space Science, Vol. 10, Nov. 2009, No. 2.

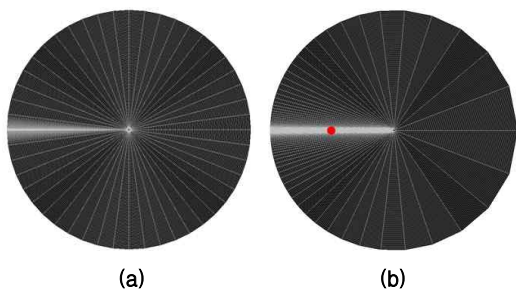


Fig. 10. The result of source localization for  $t_1=0.000 \text{ ns}$ ,  $t_2=50.000 \text{ ns}$ ,  $t_3=25.011 \text{ ns}$ ,  $t_4=25.003 \text{ ns}$ ,  $t_5=25.000 \text{ ns}$ , red circle denotes the source location, (a) is the result of course searching, (b) is the result of fine searching

- 3) M. I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems" 2nd Edition, McGraw-Hill, 1980, pp. 21-57, pp. 356-403.
- 4) Young-Chul Choi, Jin-Ho Park, and Kyoung-Sik Choi, "An impact source localization technique for a nuclear power plant by using sensors of different types", ISA Transactions 50 (2011) 111-118".
- 5) Jae-Hoon Jung, Bo-Hyun Hwang, Shin-Nyoung Kim, Chan-Young Jeong, Mi-Young Lee, and Chang-Sik Yoo, "Cancellation method of Second Order Distortion and DC-Offset in Down-Conversion Mixer", IEEK Journal. 2006-43SD-10-13.
- 6) C. H. Lee, K. D. Kim, M. H. Chung, and H. R. Kim "DPLL System Development using 100GHz Band Gunn VCO", IEEK Journal. 2006-43TC-11-22.
- 7) E. J. Kim, C. Y. Han,, G. H. Choe and S. M. Lee, "Analysis of Input-Output Characteristics for Single-Phase Diode Rectifier", Power Electronics Annual Conference, Jul. 2000, pp. 299~304.
- 8) Sung-Hoon Bae, Shin-Il Lim, "A Design of Full-wave Rectifier for Measurement Instrument", IEEK Journal, 2006-43SC-4-7.
- 9) Randall, R.B, "Frequency Analysis", 3rd edition, 1987, pp. 19-31, pp. 58-62.
- 10) Julius S. Bendat and Allan G. Piersol "RANDOM DATA, Analysis and Measurement Procedures", 2nd Edition, 1986, pp. 109~159.