

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.6.107>

IIBC 2014-6-16

# 레이더 단일 펄스를 이용한 목표물 방향과 거리 추정에 대한 연구

## A Study on Target Direction and Range Estimation using Radar Single Pulse

이관형\*

Kwan-Hyeong Lee\*

**요약** 본 논문에서는 레이더 시스템에서 단일 펄스 방식, 집적 상관 방식, 비 집적 상관 방식의 신호대 잡음비 성능에 대해서 비교 분석하였다. 그리고, 공간상에 두 목표물에 대한 방향을 추정하여 기존의 방법과 비교 분석하였다. 레이더 시스템에서 일반적으로 반사파와 전송파의 왜곡을 방지하고 감소시키기 위해서 펄스파를 이용하여 신호를 전송한다. 본 논문에서는 수신신호를 처리하는 방식으로 포락선 검파기 앞에서 처리하는 집적 상관방식과 포락선 검파기 뒤에서 처리하는 비 집적 상관 방식의 성능을 비교 분석하였다. 모의실험을 통하여 목표물 방향을 추정하였고, 두 목표물의 탐지 거리를 추정하여 신호대 잡음비 성능을 비교 분석하였다. 집적 상관방식의 성능이 우수함을 입증하였다.

**Abstract** In this paper, we analysed a performance signal to noise ratio about pulse, integration coherent, and integration non coherent system in radar system. It compared existing with proposal method in order to estimation two target direction of arrival. Generally, radar system radiate pulse wave in order to decreasing distortion of return wave and transmission wave. We analysed the performance integration coherent and integration non coherent. Integration coherent is processing system before doing envelop detection, and integration non coherent is processing system after doing envelop detection. Through simulation, we analysed a performance signal to noise ratio to estimation two target range detection and estimated target direction of arrival. We showed that integration coherent system is the most good performance.

**Key Words :** Radar, Estimation, Range detection, Integration coherent, Integration non Coherent

### 1. 서 론

목표물의 위치를 추정하는 방법은 GPS, 이동통신망과 전파를 이용하여 적응배열 안테나를 이용한 도래 방향 추정 방법등이 있다. 본 연구에서는 목표물 위치 추적을 위한 방법으로 적응배열 안테나의 도래방향을 적용한

다. 적응배열 추정 방법은 여러 소자로 구성된 배열 안테나에 수신된 신호들의 입사 방향을 분석하여 원하는 목표물의 방향을 추정하는 방법이다. 지금까지 연구된 도래방향 추정 방법은 레이더, 소나, 통신 시스템 등에 적용되었다<sup>[1,2]</sup>. 본 연구에서는 레이더에 적용시켜 목표물 탐지거리추정과 목표물의 방향을 추정하고자 한다.

\*정회원, 대전대학교 공과대학 전기전자통신공학부  
접수일자 : 2014년 8월 18일, 수정완료 : 2014년 10월 2일  
게재확정일자 : 2014년 12월 12일

Received: 18 August, 2014 / Revised: 2 October, 2014 /  
Accepted: 12 December, 2014

\*Corresponding Author: khlee@daejin.ac.kr

Dept. of Communication Engineering, Daejin University, Korea

레이더(Radar)란 전파를 공간상에 방사시켜 반사된 수신신호를 이용하여 목표물의 거리, 방향, 고도를 추정하는 시스템이다. 전파의 반사를 이용한 목표물의 존재 확인 방법은 1925년 영국의 R.에플턴에 의해 시작되었다<sup>[3]</sup>. 미국의 G.브레이트와 M.A.튜브는 펄스파를 이용하여 전리층에서의 반사파를 포착하였으며 이후 영국에서 이 방법을 응용하여 전리층에서 반사하지 않고 목표물을 검출할 수 있는 연구를 진행하였고, 1935년 약 30마일(약 48km) 거리에 있는 비행기를 추적하는데 성공하였다. 이것이 처음으로 목표물 추적에 성공한 펄스 레이더이다<sup>[4]</sup>. 레이더는 제 2차 세계 대전을 계기로 발전 하였으며 민간 용으로는 선박용 항해 보조기구로 널리 사용되었다. 군 사용으로 발달된 레이더 기술이 민간에 공개 되어 이용이 시작된 이후로 현재 거의 모든 선박에 다양한 형식으로 설치되어 사용되고 있다. 레이더는 전파가 목표물의 반산신호를 이용하여 수신신호를 포착하여 목표물의 정보를 찾는 것이다. 목표물의 거리를 탐지하는 일반적인 두 가지 방법으로, 수신신호를 포락선 검파기(envelope detector) 앞에서 처리하는 집적 상관 방식(coherent integration)과 포락선 검파기 뒤에서 처리하는 비 집적 상관(non-coherent integration)방식이 있다.

본 논문에서는 두 목표물의 방향을 탐지하고, 탐지거리를 집적 상관방식, 집적 비 상관방식 과 단일펄스에 대해서 비교분석 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신호분석 모델, 3장에서는 목표물 방향추정과 거리탐지 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 목표물 방향 추정과 거리탐지 성능에 대해서 비교분석 하였고, 5장에서는 결론을 맺었다.

## II. 신호 분석 모델

레이더에서 목표물에 반사된 전파의 수는 레이더 탐지 비와 레이더 최대 펄스 반복 주기에 영향을 받으며 목표물로부터 반사된 전파의 수는 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$n_p \leq \frac{\theta_a T_{sc} f_r}{2\pi} \quad (1)$$

식(1)에서,  $\theta_a$ 는 안테나 빔 폭,  $T_{sc}$ 는 탐지 시간,  $f_r$

은 펄스 반복 주기이다. 집적 상관성의 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$SNR_{CI} = n_p SNR_1 \quad (2)$$

위 식에서  $SNR_1$ 은 단일 펄스의 신호대 잡음비,  $n_p$ 는 집적 펄스 수를 나타낸다. 최대 집적 상관성 시간은 다음과 같다.

$$t_{CI} = \sqrt{\lambda/2a_r} \quad (3)$$

$\lambda$ 는 레이더 파장,  $a_r$ 은 목표물 가속도이다. 비 집적 상관성의 이득은 수행되는 펄스 수 보다 작으며 이러한 손실을 근사화한 것은 다음과 같다.

$$L_{NCI} = 10\log(\sqrt{n_p}) - 5.5 \text{ dB} \quad (4)$$

그림 1에서 레이더에 접근하는 목표물의 최소 탐지 거리는 다음과 같다.

$$R_a = R_{\min} + (T_i \times v_a) \quad (5)$$

$$R_m = R_{\min} + (T_i \times v_m) \quad (6)$$

여기서,  $R_{\min}$ 은 최소 탐지 거리  $v_a, v_m$ 은 목표물의 속도이다. 그림 1에서, 최소 방향각과 최대 방향각은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\theta}{R_m}\right) \quad (7)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{\theta}{R_{\min}}\right) \quad (8)$$

여기서,  $\theta$ 은 각각 목표물의 방향을 나타낸다.

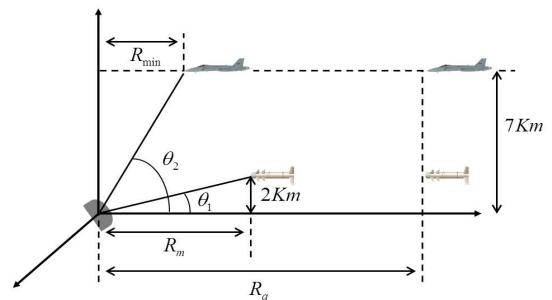


그림 1. 레이더 시스템의 목표물 탐지 구조  
Fig. 1. Target Detection Geometry of Radar System

### III. 도래방향 과 탐지거리 추정

$$\theta = \alpha I \quad (16)$$

다중의 신호가 수신시스템에 입사할 때 최대 우도 방법의 도래방향 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[6-8]</sup>.

$$\theta_{ML} = \arg \min_{\theta} Tr[P_A R_{XX}] \quad (9)$$

여기서,  $\theta$ 는 도래방향,  $A$ 는 배열 응답,  $\ddot{A}$ 는 의사 역 배열 응답벡터,  $P_A = I - A\ddot{A}$ ,  $R_{XX} = E[X(t)X^H(t)]$ ,  $X(t)$ 는 배열 응답 신호,  $I$ 는 단위행렬이다. 배열 출력의 상관행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{XX} = A(\theta, \gamma) R_s A^H(\theta, \gamma) + \sigma^2 I \quad (10)$$

여기서  $R_s$ 는 신호상관행렬,  $\gamma$ 는 위상 에러 변수이다. 최대 우도 방법은 우도함수 최대를 찾는 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[9-10]</sup>.

$$L(\theta) = tr(P_{A(\theta, \gamma_0)} R_{xx}(\gamma)) \quad (11)$$

최대값을 얻기위해서 식(11)에 편미분을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_1(\theta, \gamma) \cong \frac{\partial L(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \quad (12)$$

도래방향 추정 오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta - \theta_0 = - \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-1} \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} (\gamma - \gamma_0) \quad (13)$$

$$\| \theta - \theta_0 \|^2 = (\gamma - \gamma_0) B (\gamma - \gamma_0) \quad (14)$$

$$B = \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \gamma} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^T \cdot \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-T} \cdot \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \gamma} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right) \quad (15)$$

여기서,  $\theta_0$ 는 기준 위상 이다. 최대 방향 추정방법에서 오차가 증가하고 최대 추정 함수의 최대값이 실패 한계 점 기준에서 오차가 발생할 경우에는 도래방향 추정확률이 감소한다. 도래방향을 다음과같이 나타낸다.

여기서  $\alpha$ 는 스칼라,  $I$ 는 단위행렬이다. 식(13)에 식(16)을 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha I - \theta_0 = - \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-1} \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} (\gamma - \gamma_0) \quad (17)$$

식(19)의 우측 항에 특이 값 분해를 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \gamma} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} = U_1 \Sigma V_1^H \quad (18)$$

$\delta = V_1^H(\theta - \theta_0)$ 로 정의하면, 식(18)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha I - \theta_0 = - \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-1} U_1 \Sigma \delta \quad (19)$$

$$\theta_0 = \left[ - \left( \frac{\partial L_1(\theta, \gamma)}{\partial \theta} \Big|_{\theta_0, \gamma_0} \right)^{-1} U_1 \Sigma I \right] \left[ \frac{\delta}{\alpha} \right] \quad (20)$$

한 번 스캔하는 동안 목표물을 타격하는 펄스의 개수는 다음과 같다.

$$n_p \leq \frac{\theta_0 f_r}{\theta_{scan}} \quad (21)$$

여기서,  $\theta_{scan}$ 은 초당 스캔 범위이고,  $f_r$ 는 펄스 반복주파수이다. 집적 상관 방식( $SNR_{CI}$ ) 과 집적 비 상관방식( $SNR_{NCI}$ )의 신호대 잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR_{CI} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e BFLR^4} n_p \quad (22)$$

$$SNR_{NCI} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e BFLR^4} \frac{n_p}{L_{NCI}} \quad (28)$$

$P_t$ 로 최대전력,  $G$ 는 안테나 이득,  $\lambda$ 는 파장,  $\sigma$ 는 목표물의 유효단면적,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $T_e$ 는 유효 잡음 온도,  $B$ 는 대역폭,  $F$ 는 잡음 지수,  $L$ 은 손실,  $R$ 은 탐지 거리이다.

#### IV. 모 의 실험

본 장에서는 모의 실험을 통하여 목표물 방향을 추정하였고, 집적 상관방식과 집적 비 상관방식에 대한 탐지 거리를 분석하였다. 모의실험에서 레이더 시스템의 최소 탐지 거리를 추정하기 위하여 변수들을 표1에 나타내었다. 그림1 과 그림2는 신호의 도래방향[0°, 10°]에서 목표물을 추정한 그래프이다. 모의실험 조건은 입력 신호대 잡음비는 13dB, 배열 안테나 개수 6개, 안테나 간격은 반파장으로 하였다. 그림1은 목표물 신호 도래방향[0°, 10°]에서 기존의 방법인 최대비 합성법으로 신호 도래방향[0°]에서만 1개의 목표물을 추정하고 있다. 그림2는 본 논문에서 제안한 방법으로 목표물 도래방향[0°, 10°]을 추정한 그래프이다. 2개의 목표물을 정확히 추정하였다. 그림3은 목표물이 미사일이고 탐지 거리가 40Km일 때, 집적 상관 방식의 신호대 잡음비는 약 20dB, 비 상관 방식의 신호대 잡음비는 약 18dB, 단일 펄스의 신호대 잡음비는 약 10dB이다. 그림4 비행기의 경우, 탐지 거리가 40Km일 때, 집적 상관 방식의 신호대 잡음비는 약 30dB, 비 집적 상관 방식의 신호대 잡음비는 약 28dB, 단일 펄스의 신호대 잡음비는 약 20dB이다. 동일한 탐지 거리에서 집적 상관 방식과 비 코히런트 집적 방식이 단일 펄스를 사용하여 탐지한 것 보다 신호대 잡음비가 향상된 것을 입증하였다.

표 1. 레이더 방정식 변수  
Table 1. Radar Equation variable

Description	Specification
Aircraft RCS	$4m^2$
Aircraft Altitude	$7Km$
Aircraft velocity	$v_a = 400m/s$
Missile RCS	$0.5m^2$
Missile Altitude	$2Km$
Missile velocity	$v_m = 150m/s$

Peak power	$P_t = 165.8 \times 10^3 W$
Center frequency	$f_0 = 3GHz$
Gain	$G = 34.5139 dB$
Effective Temperature	$T_e = 290.0 Kelvins$
Bandwidth	$B = 1MHz$
Noise Figure	$F = 6.0dB$
Total Loss	$L = 8.0dB$
Number of Pulse	$n_p = 7$
SNR	$SNR_1 = 13dB$
Aperture size	$A_e = 2.25m^2$
Minimum range	$R_{min} = 30Km$
Interceptor average velocity	$v_i = 250m/s$
Scan rate (360° cover)	2sec
Pulsewidth	$\tau = 1\mu sec$
PRF	$f_r = 1 KHz$

#### V. 결론

본 논문에서는 목표물의 방향을 추정하였고 단일 펄스, 코히런트 집적 방식과 비 코히런트 집적 방식을 사용하여 목표물의 탐지 거리를 추정하고 그에 따른 SNR 값을 비교하여 성능 분석을 하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 2개의 목표물 모두 추정하였지만 기존의 방법은 두 개의 목표물을 추정하지 못하고 하나의 목표물만 추정하였다. 즉 본 연구에서 제안한 방법이 분해능이 향상되었음을 입증하였다. 그리고 본 논문에서는 방향, 속도, 평균 RCS 값을 갖는 두 개의 목표물을 가정하여 각 집적 방식에 따라 탐지 거리를 추정하였다. 모의실험에서, 신호대 잡음비가 같은 탐지 거리일 때 집적 상관 방식이 비 집적 상관 방식보다 약 2dB 정도 높음을 확인하였고, 단일 펄스보다 약 10dB 정도 높음을 확인하였다. 비 집적 상관 방식은 단일 펄스보다 약 8dB 정도 높음을 확인하였다. 따라서 집적 상관 방식이 비 집적 상관 방식보다 신호대 잡음비가 더 높음을 확인하였으며, 집적 방식을 사용하는 것이 단일 펄스를 사용하여 목표물을 탐지하는 것보다 더 높은 성능이 나타나는 것을 입증하였다.

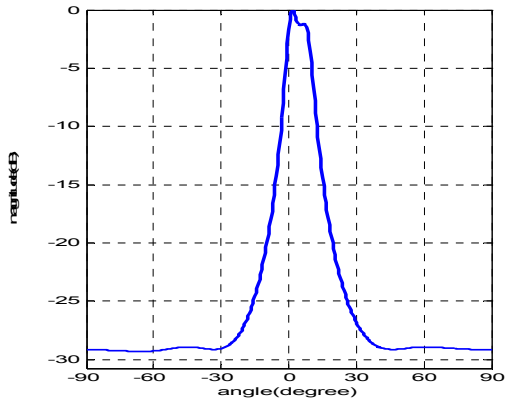


그림 1. 기존 방법 DOA 추정  
 Fig. 1. General method DOA estimation

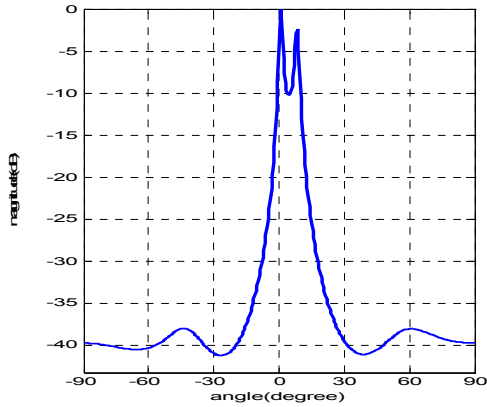


그림 2. 제안 방법 DOA 추정  
 Fig. 2. Proposal method DOA estimation

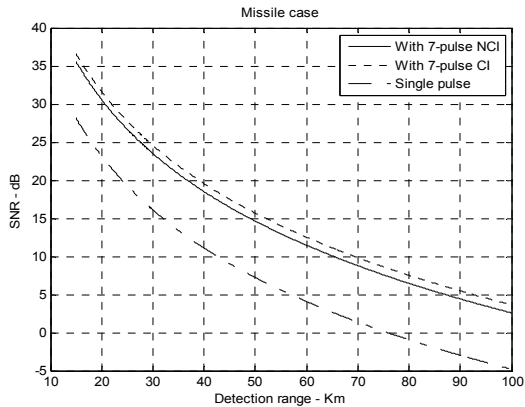


그림 3. 목표물-미사일 경우 탐지 거리  
 Fig. 3. Range detection about Missile case

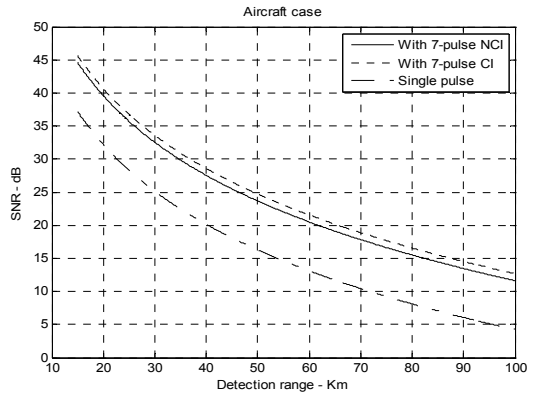


그림 4. 목표물-비행기일 경우 탐지 거리  
 Fig. 4. Range detection about Aircraft case

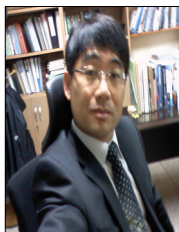
## References

- [1] Kwan Hyeong Lee, "A Study on the Spatial Domain Signal Estimation Technique Using Sub Constraint Matrix of High Order Constraint Condition", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 8, No. 5, pp. 39-44, March, 2010
- [2] Kwan Hyeong Lee, "A Study on the Target Incident Signal Estimation Technique of Spatial Spectrum in Wireless Network System", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 8, No. 4, pp. 64-72, April, 2010
- [3] Peebles Jr., P.Z., "Radar Principles", John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [3] Gismalla, E.H and Alsusa, E, "On the performacne of Energy Detection using Bartlett's Estimate for spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems", IEEE Trans on Signal Processing, Vo.60, No.7, pp.3394-3404, July, 2012.
- [4] Marcum, J.I., "A Statistical Theory of Target Detection by Pulsed Radar", IRE Transactions on Information Theory. Vol IT-6, pp 59-267. April, 1960.
- [4] Hawkes.M and Nehorai.A, "Acoustic vector sensor beamforming and Capon direction estimation", IEEE Trans on Signal Processing, Vo.46, No.7, pp.1954-1966, Sep, 1998.
- [5] Markel,J and Gray.A,"A linear prediction vocoder

- simulation based upon the autocorrelation method”, IEEE Trans on Signal Processing, Vo.22, No.2, pp.124-134, Mar,1974.
- [6] Bialer,O, Raphaeli,D and Weiss,A.J, “Efficient time of arrival estimation algorithm achieving maximum likelihood performance in dense multipath”, IEEE Trans on Signal Processing, Vo.60, No.3, pp.1241-1252, Mar, 2012.
- [7] Tao Li and Nehoral,A, “ Maximum Likelihood direction of arrival estimation of underwater acoustic signals containing sinusoidal and random components”, IEEE Trans on Signal Processing, Vo.59, No.11, pp.5302-5314, Nov, 2011.
- [8] Vorobyov,S.A, Gershman,A.B, and Wong,K.M, “Maximum likelihood direction of arrival estimation in unknown noise fields using sparse sensor arrays”, IEEE Trans on Signal Processing, Vo.53, No.1, pp.34-43, Jan, 2005.
- [9] Min Soo Lee,“A Study on Maximum Likelihood Method for multi Target Estimation,” The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol.12, No.3, pp.165-170 , 2013.
- [10] Jongtaek Oh, “A study on Multipath Effect Mitigation using Trigger Signal in the 3D TDOA Positioning System,” The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol.13. No.4, pp.149-155, 2014.

## 저자 소개

### 이 관 형(정회원)



- 2010년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 전  
기전자통신공학부 조교수

<관심분야 : 무선통신, 레이더>