

# 레이더 시스템에서 목표물 탐지 거리 추정을 위한 코히런트 집적과 비 코히런트 집적의 SNR 성능 비교

가 관 우\*, 함 성 민\*, 이 관 형\*\*

## A Comparison with SNR Performance of Coherent Integration and Non-coherent Integration to Estimate Target Detection Range in Radar System

Gwan-U Ga\*, Sung-Min Ham\*, Kwan-Hyeong Lee\*\*

**요 약** 논문에서는 레이더 시스템에서 코히런트 집적과 비 코히런트 집적의 SNR 성능에 대해서 비교한다. 본 논문에서는 레이더 시스템에서 반사파와 전송파의 왜곡을 방지하기 위해 펄스파를 송신 파형으로 사용하였다. 본 논문에서는 포락선 검파기 앞에서 처리하는 코히런트 집적과 포락선 검파기 뒤에서 처리하는 비 코히런트 집적을 사용하여 목표물 탐지 거리를 추정하고 집적 방식에 따른 SNR 성능을 비교한다. 모의실험을 통해서 코히런트 집적과 비 코히런트 집적의 SNR 성능을 비교 분석하였다. 코히런트 집적이 비 코히런트 집적보다 SNR 성능이 우수함을 입증하였다.

**Abstract** This paper compare with SNR performance of coherent integration and non-coherent integration in radar system. This paper to prevent distortion of transmit signal and radar return in radar system is used to pulsed waveform. This paper to estimate target detection range and to compare with SNR performance used to coherent integration performed before the envelope detector and non-coherent integration processed after the envelope detector. Through simulation, SNR performance of coherent integration and non-coherent integration were comparatively analyzed. SNR performance of coherent integration is good proof higher than non-coherent integration.

**Key Words** : Coherent Integration, Non-coherent Integration, Radar Equation, Radar system, Target Detection Range

### 1. 서론

레이더(Radar)란 Radio Detecting And Ranging의 약어로서 전파를 물체에 발사시켜 반사되어 돌아온 전파를 수신하여 물체와의 거리, 방향, 고도 등을 알아내는 무선 감시 장치이

다. 안테나에서 발사된 전파는 희망하는 목표물 까지 공간상으로 전파된 후 반사되어 돌아온다. 반사파의 시간을 측정하여 목표물의 거리, 방향, 고도를 알아낼 수 있으며, 이러한 정보를 통해 항공기의 위치, 지형, 구름의 형성 등을 알아낸

\* Dept, electrical, electronic and communication engineering, Daejin University (ggw-forever2@hanmail.net)

\*\* Corresponding Author: electronic and communication engineering Professor of Daejin University (khlee@daejin.ac.kr)

Received : April 01, 2014

Revised : May 01, 2014

Accepted : June 02, 2014

다. 전파의 반사를 이용한 물체의 존재 확인 방법은 1925년 영국의 R.애플턴에 의해 시작되었다.[3] 미국의 G.브레이크와 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.[4] 레이더는 제 2차 세계 대전의 계기로 발전 하였으며 민간용으로는 선박용 항해 보조기구로 널리 사용되었다. 군사용으로 발달된 레이더 기술이 민간에 공개 되어 이용이 시작된 이후로 현재 거의 모든 선박에 다양한 형식으로 설치되어 사용되고 있다.

레이더의 작동 원리는 전파가 목표물에 부딪쳐서 반사하는 것을 이용하여 그 반사파를 포착하여 목표물의 존재를 알아내는 것이다. 송신된 파형이 물체에 맞고 돌아온(retruned) 반사파가 수신기에 도착했을 시 전송파와 겹쳐서 구별이 되지 않는 현상이 발생하는데 이를 방지하기 위하여 여러 방법이 사용되고 있으며 크게 세 가지 방법이 사용된다.

첫째, 전파의 도플러 효과를 이용하는 방법, 둘째, 송신 파형의 주파수를 시간에 따라 변경하는 방법, 셋째, 송신 파형으로 매우 짧은 시간 계속되는 전파(펄스파)를 사용하는 방법 등이다.

본 논문에서는 송신기에서 펄스파를 집적(integration)하여 전송한 뒤 돌아온 반사파를 포락선 검파기(envelope detector) 앞에서 처리하는 코히런트 집적(coherent integration)과 포락선 검파기 뒤에서 처리하는 비 코히런트 집적(non-coherent integration)방식을 비교 분석하고자 한다. 시뮬레이션으로 동일한 조건하에 각각의 방식을 통해 구한 목표물까지의 최소 탐지거리의 차이를 알아본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 펄스 집적에 대해 설명한다. 3장에서는 레이더 시스템에서 최소 탐지 거리 추정 방법에 대해 설

명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 두 방식의 차이점을 비교 분석한다.

## 2. 레이더 펄스 집적

본 장에서는 레이더 펄스 집적에 대해 설명한다. 레이더에서 목표물을 향해 많은 양의 펄스파를 발사하고 목표물이 레이더의 한 번의 탐지 동작 동안 레이더 빔 안에 위치하고 있을 때, 반사된 전파의 집적은 레이더 신호 대 잡음비의 향상 효과를 얻을 수 있다. 반사된 전파의 수는 레이더 탐지 비와 레이더 최대 펄스 반복 주기 PRF에 영향을 받으며 목표물로부터 반사된 전파의 수는 다음과 같다.

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

위 식에서,  $\theta_a$ 는 방위각 안테나 빔 폭이고,  $T_{sc}$ 는 탐지 시간,  $f_r$ 은 레이더 최대 펄스 반복 주기(PRF)이다. 다 수의 펄스로부터 레이더 리턴을 더하는 과정을 레이더 펄스 집적이라고 하며, 포락선 검파기 앞에서 집적을 수행 하는 것을 코히런트 집적, 포락선 검파기 뒤에서 수행 하는 것을 비 코히런트 집적이라고 부른다. 코히런트 집적의  $SNR$ 은 다음과 같다.

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

위 식에서  $SNR_1$ 은 단일 펄스의  $SNR$ ,  $n_p$ 는 집적하는 펄스의 수를 의미한다. 코히런트 집적은  $n_p$ 가 클 경우 그 이상의 처리는 불가능하다. 만약 목표물의 속도를 알 수 있고 가속이 없다고 가정할 경우 최대 코히런트 집적 시간은 다음과 같다.

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

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

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

$n_p$ 가 매우 클 경우 집적 손실은  $\sqrt{n_p}$ 에 가까워진다. 레이더 방정식에 적용하기 위한 집적 손실은 다음과 같다.

$$L_{NCI} = \frac{1 + SNR_1}{SNR_1} \quad (5)$$

비 코히런트 집적의  $SNR$ 은 다음과 같다.

$$SNR_{NCI} = \frac{n_p SNR_1}{L_{NCI}} = n_p SNR_1 \times \frac{SNR_1}{1 + SNR_1} \quad (6)$$

펄스 집적이 사용 될 때 레이더  $SNR$  값과 최대 탐지 거리를 동등하게 정하기 위해선 아래와 같은 과정을 수행한다.

첫째, 집적 방식을 결정한다.

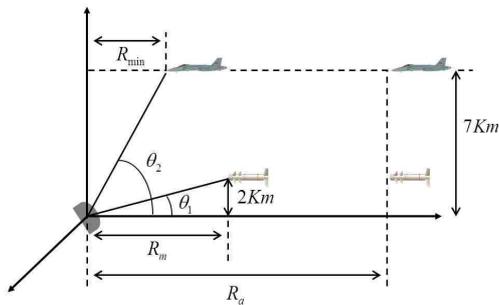
둘째, 결정한 집적 방식에 따라 요구되는  $SNR$  값을 결정한다.

셋째, 집적 되는 펄스의 수를 결정한다. 이 펄스의 수는 레이더의 탐지 비, 레이더 PRF, 안테나 방위 빔 폭에 영향을 받는다.

마지막으로, 레이더 방정식에서 레이더 탐지 거리를 계산하기 위하여  $SNR_1$ 을 적용한다. 코히런트 집적의 경우 수식(2)를 적용하고, 비 코히런트 집적의 경우 Curry가 제안한 최적의  $SNR_1$  식은 다음과 같다.

$$SNR_1 = \frac{SNR_{NCI}}{2n_p} + \sqrt{\frac{SNR_{NCI}^2}{4n_p^2} + \frac{SNR_{NCI}}{n_p}} \quad (7)$$

### 3. 목표물 탐지 거리 추정



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

레이더 방정식은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e BFLR^4} \quad (8)$$

여기서,  $P_t = E/\tau$ 로 peak power이고,  $E$ 는 탐지하기 위해 필요한 최소 단일 펄스의 에너지,  $\tau$ 는 펄스폭이다.  $G$ 는 안테나 이득,  $\lambda$ 는 파장,  $\sigma$ 는 목표물의 RCS,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $T_e$ 는 유효 잡음 온도,  $B$ 는 대역폭,  $F$ 는 잡음 지수,  $L$ 은 손실,  $R$ 은 탐지 거리이다.  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = \frac{(4\pi)^3 k T_e BFLR^4 SNR_1}{G^2 \lambda^2 \sigma} \quad (9)$$

최소 탐지 거리에서 목표물을 요격하는 데에 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$T_i = \frac{R_{min}}{v_i} \quad (10)$$

여기서,  $R_{min}$ 은 레이더의 최소 탐지 거리,  $v_i$ 는 요격기 평균 속도이다. 그림 1에서, 특정한 속도를 가지고 레이더에 접근하는 목표물의 최소 탐지 거리는 다음과 같다.

$$R_a = R_{min} + (T_i \times v_a) \quad (11)$$

$$R_m = R_{min} + (T_i \times v_m) \quad (12)$$

여기서,  $v_a, v_m$ 은 목표물의 속도이다. 그러나 위 식에서 구해진 값은 요격하기 위한 최소 거리이므로 레이더의 수월한 방어를 위해 조금 더 높은 값으로 가정하여야 한다. 최대 펄스 반복 주기(PRF)는 다음과 같다.

$$f_r \leq \frac{c}{2R_u} \quad (13)$$

여기서,  $c$ 는 빛의 속도,  $R_u$ 는 unambiguous range로써 목표물을 정확하게 탐지 가능한 거리를 의미한다. 그림 1에서, 최소 고각과 최대 고각은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{Altitude_m}{R_m} \right) \quad (14)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{Altitude_a}{R_{min}} \right) \quad (15)$$

여기서,  $Altitude_m$ ,  $Altitude_a$ 은 각각 목표물의 고도를 의미한다. 안테나 3dB Elevation 빔 폭은 다음과 같다.

$$\theta_e = \theta_2 - \theta_1 \quad (16)$$

안테나 3dB Azimuth 빔 폭은 다음과 같다.

$$\theta_a = \frac{4\pi}{G\theta_e} \quad (17)$$

위 식에서  $\theta_e, \theta_a$ 는 라디안 값이고,  $G$ 는 안테나 이득으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (18)$$

여기서,  $\lambda$ 는 파장이다. 한 번 스캔하는 동안 목표물을 타격하는 펄스의 개수는 다음과 같다.

$$n_p \leq \frac{\theta_a f_r}{\theta_{scan}} \quad (19)$$

여기서,  $\theta_{scan}$ 은 초당 스캔 범위이고,  $n_p$ 는 결과 값에서 가장 큰 정수이다. 코히런트 집적을 하는 경우, 목표물의 최소 탐지 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_a = R_{a_{single\ pulse}} \times n_p^{1/4} \quad (20)$$

$$R_m = R_{m_{single\ pulse}} \times n_p^{1/4} \quad (21)$$

코히런트 집적 방식의  $SNR_{CI}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

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

비 코히런트 집적을 하는 경우, 단일 펄스에 대한  $SNR$ 을  $SNR_1$ 이라 할 때,  $SNR_1$ 은 다음과 같다.

$$SNR_1 = \frac{SNR_{NCI}}{2n_p} + \sqrt{\frac{SNR_{NCI}^2}{4n_p^2} + \frac{SNR_{NCI}}{n_p}} \quad (23)$$

여기서,  $SNR_{NCI}$ 는  $n_p$ 개의 펄스를 집적할 때의  $SNR$ 이다. 비 코히런트 집적 손실을  $L_{NCI}$ 라 할 때, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_{NCI} = \frac{1 + SNR_1}{SNR_1} \quad (24)$$

비 코히런트 집적 이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NCI_{gain} = 10\log(n_p) - L_{NCI} \quad (25)$$

따라서 비 코히런트 집적 방식의 목표물의 최소 탐지 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_a = R_{a_{single\ pulse}} \times NCI_{gain}^{1/4} \quad (26)$$

$$R_m = R_{m_{single\ pulse}} \times NCI_{gain}^{1/4} \quad (27)$$

비 코히런트 집적 방식의  $SNR_{NCI}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

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

#### 4. 모의실험

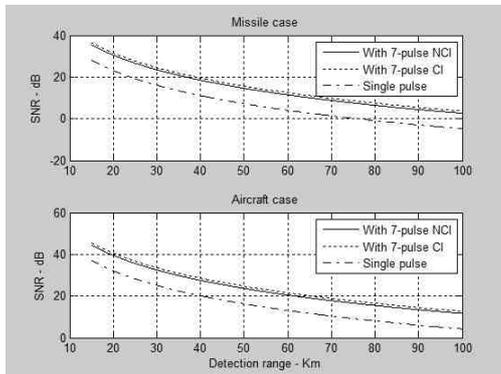
본 장에서는 레이더 시스템에서 목표물의 최소 탐지 거리를 추정하기 위해서 코히런트 집적 방식과 비 코히런트 집적 방식을 비교 분석한다. 코히런트 집적 방식은 포락선 검파기 앞에서 처리하는 방법이고 비 코히런트 집적 방식은 포락선 검파기 뒤에서 처리하는 방법이다. 모의실험에서 레이더 시스템의 최소 탐지 거리를 추정하기 위하여 레이더 방정식을 적용하였으며 방정식에 들어가는 변수들은 표1에 나타내었다.

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



[그림 2] 목표물 타입 별 SNR 대 탐지 거리  
Fig. 2. SNR versus detection range for target types

그림 2에서 Missile의 경우, 탐지 거리가 40Km일 때, 7개의 펄스를 집적한 코히런트 집적 방식의  $SNR$ 은 약 20dB, 7개의 펄스를 집적한 비 코히런트 집적 방식의  $SNR$ 은 약 18dB, 단일 펄스의  $SNR$ 은 약 10dB이다. Aircraft의 경우, 탐지 거리가 40Km일 때, 7개의 펄스를 집적한 코히런트 집적 방식의  $SNR$ 은 약 30dB, 7개의 펄스를 집적한 비 코히런트 집적 방식의  $SNR$ 은 약 28dB, 단일 펄스의  $SNR$ 은 약 20dB이다. 동일한 탐지 거리에서 코히런트 집적

방식과 비 코히런트 집적 방식이 단일 펄스를 사용하여 탐지한 것 보다  $SNR$ 값이 높은 것을 확인하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 레이더 시스템에서 단일 펄스, 코히런트 집적 방식과 비 코히런트 집적 방식을 사용하여 목표물의 탐지 거리를 추정하고 그에 따른  $SNR$  값을 비교하여 성능 분석을 하였다.

본 논문에서는 서로 다른 고도와 속도, 평균 RCS 값을 갖는 두 개의 목표물을 가정하여 각 집적 방식에 따라 탐지 거리를 추정하였다. 모의 실험에서, 같은 탐지 거리일 때 코히런트 집적 방식이 비 코히런트 집적 방식보다 약 2dB 정도 높음을 확인하였고, 단일 펄스보다 약 10dB 정도 높음을 확인하였다. 비 코히런트 집적 방식은 단일 펄스보다 약 8dB 정도 높음을 확인하였다. 따라서 코히런트 집적 방식이 비 코히런트 집적 방식보다  $SNR$  성능이 더 높음을 확인하였으며, 집적 방식을 사용하는 것이 단일 펄스를 사용하여 목표물을 탐지하는 것보다 더 높은 성능을 보임을 확인하였다.

### References

- [1] Bassem R. Mahafza, PH.D., Atef Z. Elsherbeni, "MATLAB Simulations for Radar Systems Design", Chapman & Hall/CRC Co, 2004.
- [2] Bassem R. Mahafza, PH.D., "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB", Chapman & Hall/CRC Co, 2000.
- [3] Peebles Jr., P.Z., "Radar Principles", John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [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.
- [5] DiFranco, J.V. and Rubin, W.L., "Radar Detection", Artech House, 1980.
- [6] Rihaczek, A. W., "Principles of High Resolution Radar", Artech House, 1994.

---

저자약력

---

가 관 우(Kwan-U Ga)

학생회원



2013년 2월 : 대진대학교 전기전  
자통신공학부 졸업  
2014년 현재 : 대진대학교 전기전  
자통신공학부  
석사과정

<관심분야> 무선통신, 위치추적

함 성 민(Sung-Min Ham)

학생회원

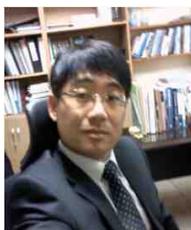


2013년 2월 : 대진대학교  
전기전자통신공학부 졸업  
2014년 현재 : 대진대학교  
전기전자통신공학부  
석사과정

<관심분야> 무선통신, 통신 시스템, 위치추적

이 관 형(Kwan-Hyeong Lee)

정회원



1998년 3월~2004년 8월 :  
강릉 영동대학 교수  
2005년 3월~2007년 2월 :  
청주대학교 전자정보공학부  
전임강사  
2007년 3월~2010년 2월 :  
국방과학연구소 근무  
2010년 2월~현재 :  
대진대학교 교수

<관심분야> 무선통신, 위치추적