

## 오 경보 확률 감소를 위한 효율적인 임계치에 대한 연구

이관형\*

### A Study on Efficient Threshold Level for False Alarm Probability Decrease

Kwan-Hyeong Lee\*

**요약** 본 논문에서는 레이더 시스템에서 원하는 목표물 추정을 위한 효율적인 임계치 방법을 연구했다. 관심있는 목표물 탐지 검출 방법은 오 경보 확률을 변화 시켜 가면서 원하는 목표물을 추정한다. 이때 오 경보의 확률은 임계치와 밀접한 관계가 있다. 임계치를 낮게 하면 원하는 목표물의 정확도를 향상시킬 수 있지만 잡음까지 추정하여 효율적인 신호처리 방법이 되지 못한다. 효율적인 임계치 방법을 제안하여 원하는 목표물을 추정하는 연구 방법을 제안한다. 모의실험을 통해서 기존의 방법과 본 연구에서 제안한 방법을 비교 분석하였다.

**Abstract** We have studied an efficient threshold level for desired target detection in radar system in the paper. A desired target searching detection method detects desired target according to changing for false alarm probability. This time, false alarm probability is close relation to threshold level. Low threshold level can improve detection for desired target, but detect noise signal. Therefore, This method is not good one. In this paper, we propose efficient threshold level method in order to estimation for desired target. Through simulation, we are analysis and performance to compare general method with proposal method. We show that proposed method is more good proof than general method.

**Key Words** : False alarm, Detection, Range, Threshold level, Radar, Target detection

#### 1. 서론

레이더(Radar)란 전파를 공간상에 방사시켜 물체에 반사되어 수신된 신호를 이용하여 물체와의 거리, 방향, 고도, 속도 등의 정보를 획득하는 시스템이다. 전파는 송신 안테나를 이용하여 공간상으로 신호를 전송한다. 안테나에 수신된 신호를 이용하여 원하는 목표물의 위치와 정보를 추정할 수 있고 이동 목표물과 고정 목표물을 구분할 수 있다[1]. 전파의 반사를 이용한 물체의 존재 확인 방법은 1925년 영국의 R.애플턴에 의해 시작되었다.[2] 미국의 G.브레이크와

M.A.튜브는 펄스 파를 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.[3,4] 레이더의 원하는 목표물 추정은 지금까지 많이 발전하였으며 기상, 탐색, 추정 등의 레이더 분야에 적용하고 있다. 레이더의 동작 원리는 전파가 목표물에 부딪쳐서 반사하는 신호를 이용하여 수신 안테나에 입사된 신호를 이용하여 목표물의 존재

\* Corresponding Author :Department of Electrical, Electronic and Communication Professor of Daejin University (khlee@daejin.ac.kr)

Received march 6, 2015

Revised april 8, 2015

Accepted april 11, 2015

를 추정한다.

원하는 목표물을 추정하기 위해서 많은 연구방법이 제시되고 있다. 일반적으로 목표물의 위치를 정확히 구분 할 수 있는 능력이 레이더의 분해능이다[5]. 레이더 분해능은 거리 분해능, 각도 분해능으로 구분 되어 진다. 각도 분해능의 레이더가 원하는 목표물을 정확히 추정시 거리에 대한 오차의 성능 지표를 나타내고, 각도 분해능의 목표물의 고각과 방위각의 정확성을 나타낸다. 목표물의 고정체와 이동체의 움직임은 일반적으로 도플러 효과를 이용하여 구분 할 수 있다. 또한 레이더에서 전파를 송신할 때 롱 펄스(long pulse)이 이용하면 거리 분해능을 향상 시킬 수 있다. 그러나 현실적으로 롱 펄스 송신은 비현실적으로 펄스압축 방법을 이용하여 거리 분해능을 향상 시킬 수 있다. 또한 레이더에서 원하는 물체를 추정할 때 잘못 추정하는 경우가 있는데 이를 오 경보(False Alarm) 확률이라 한다[6].

본 논문에서는 레이더 시스템을 이용하여 원하는 목표물을 검출하고자 한다. 검출 방법은 오 경보 확률을 변화 시켜 가면서 원하는 목표물을 추정한다. 이때 오 경보의 확률은 임계치와 밀접한 관계가 있다. 임계치를 낮게 하면 원하는 목표물의 정확도를 향상시킬 수 있지만 잡음 까지 추정하여 효율적인 신호처리 방법이 되지 못한다. 효율적인 임계치 방법을 제안하여 원하는 목표물을 추정하는 연구를 제안한다. 실험결과를 모의실험을 통하여 레이더의 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 간섭과 재밍하에서 레이더 시스템의 신호대 잡음비에 대해서 서술하고, 3장에서는 레이더 시스템에서 목표물 검출 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 시스템의 성능을 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 목표물 검출

레이더 에너지는 동작 주파수 대역폭에서 캐리어 펄스를 이용하여 전파를 송신한다. 각 펄스

의 순시 대역은 협대역에서는 수 메가 헤르츠, 광대역에서는 수 기가 헤르츠를 사용하며 레이더에 반사된 신호는 신호의 유무를 판단한다. 일반적으로 이러한 기능은 관심 있는 모든 대역에서 자동적으로 목표물을 추정하는 것이 검출 레이더의 역할이다. 레이더의 최소거리는 펄스폭에 따라서 비례하여 다음과 같이 나타낼 수 있다 [7].

$$R_{\min} = \frac{c\tau}{2} \tag{1}$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도이고,  $\tau$ 는 펄스폭이다. 레이더의 최대 탐지거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{\max} = c\left(\frac{T-\tau}{2}\right) \tag{2}$$

여기서  $T$ 는 펄스 반복 구간(PRI:pulse repetition interval)이다. 레이더 방정식은 레이더의 성능을 결정 혹은 기본 요구 사항을 만족시키기 위해서 설계하는 방정식이다. 레이더의 송신 전력 밀도는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_{Tr} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2 L_t} \tag{3}$$

레이더의 수신전력 밀도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{Tr} = \frac{P_t G_t \sigma A_r}{(4\pi R^2)^2 L_t L_r} \tag{4}$$

레이더 방정식의 신호 대 잡음비는 다음과 같이 나타 낼 수 있다[8].

$$SNR = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi R^2)^2 k T_s B L_t L_r} \quad (5)$$

여기서  $P_t$  송신전력,  $G_t$  송신이득,  $A_r$  안테나 개구면,  $\sigma$  레이더 유효면적,  $R$  목표물 거리,  $k$  켈빈상수,  $T_s$  절대온도,  $B$  대역폭,  $L_t$  송신기 손실,  $L_r$  수신기 손실이다. 수신 안테나 이득은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$G_r = \frac{4\pi A_r}{\lambda^2} \quad (6)$$

여기서  $\lambda$ 는 파장이다. 식(6)를 식(5)에 대입하면 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r A_r \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k T_s B L_t L_r} \quad (7)$$

식(7)은 잡음이 존재하는 환경에서 레이더 방정식이다. 의도적인 간섭 혹은 원하지 않는 간섭이 존재하면 식(7)의 레이더 방정식은 정확하지 않은 결과를 초래한다. 즉 재밍(jamming)이 존재할때의 레이더 방정식의 신호대 잡음 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SIR = \frac{S}{N+I} = \frac{1}{(SNR)^{-1} + (SIR)^{-1}} \quad (8)$$

식(8)로부터 잡음 펄스 간섭에 의해서 잡음이 초과된다면 목표물 검출 능력이 감소되어 시스템의 성능이 열화된다. 잡음의 기준치보다 초과된다면 절대온도와 대역폭은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$k T_s B = \frac{P_J G_J}{4\pi R_J^2} \quad (9)$$

여기서  $P_J$  재밍전력,  $G_J$  재밍이득,  $R_J$  레이더에서 재머까지의 거리이다. 재밍이 존재할때의 레이더 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma R_J^2}{(4\pi)^2 R^4 P_J G_J L_t L_r} \quad (10)$$

### 3. 목표물 검출

변동이 없는 목표물에 대한 확률 분포는 신호대 잡음비로 다음과 같이 나타 낼 수 있다 [8,9].

$$SNR = \left(\frac{A^2}{2}\right)(k T_s B)^{-1} = \left(\frac{A^2 T}{2}\right)/N_o \quad (11)$$

여기서  $T_s$  시스템 잡음 온도,  $N_o$  잡음 전력,  $B$  대역폭이다. 목표물 검출전 전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_t(t) = A_I(t) \cos(wt) + A_Q(t) \sin(wt) \quad (12)$$

여기서  $A_I$  동위상 진폭,  $A_Q$  직각 위상 진폭,  $w$  캐리어 주파수이다. 직교 검출에서 잡음 전압은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$V_n(t) = X_i(t) \cos(w_c t) + Y_o(t) \sin(w_c t) \quad (13)$$

신호 펄스 잡음 진폭은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)} \quad (14)$$

가우시안 잡음 환경에서 신호 펄스 잡음 진폭

과 방향의 결합 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(r, \theta) = r \exp(A_p^2) * \exp[-(r^2 - 2r(A_x \cos\theta + A_y \sin\theta))/2\sigma^2] \quad (15)$$

여기서  $A_p^2 = A_x^2 + A_y^2$ ,  $2\sigma^2$ 은 전체 잡음 전력이다. 식(15)는 거리의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(r) = r \exp(-A_p^2/2\sigma^2) * \exp(-r^2/2\sigma^2) I_0(rA_p/\sigma^2) r/\sigma^2 \quad (16)$$

여기서  $I_0$ 는 1차 베셀함수(Bessel function)이다. 임계전압으로부터 확률 분포함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_D = \int_{-V_T}^{\infty} f_r(r) dr = Q(A_p/\sigma, V_T/\sigma) \quad (17)$$

여기서  $Q$ 는 마컴 큐함수(Marcum Q-function)이다. 레일리 잡음 분포에서 오 정보 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{fa} = \exp\left(\frac{V_T^2}{2\sigma^2}\right) \quad (18)$$

$$V_T^2 = (-\ln P_{fa}) 2\sigma^2 \quad (19)$$

스웰링 유효 단면적 경우 1에서 결합 확밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r(\gamma) = 1/SNR_{age} \exp\left(-\frac{\gamma}{SNR_{age}}\right) \quad (20)$$

여기서  $SNR_{age}$  평균 신호대 잡음비 이다. 그러므로 목표물 검출 확률 분포 함수는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_D = (P_{fa})^{\frac{1}{1+SNR_{age}}} \quad (21)$$

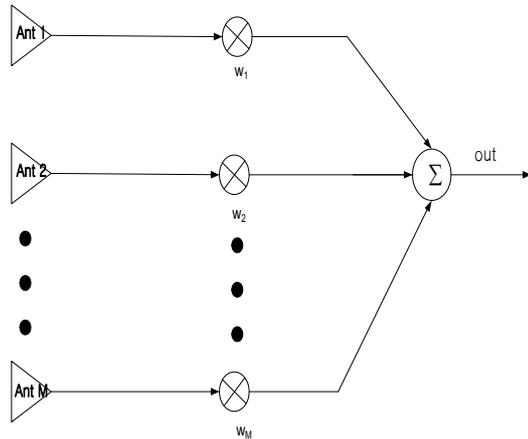


그림 1. 레이더 시스템  
Fig. 1. Radar System

#### 4. 모의실험

본 장에서는 레이더 시스템에서 목표물의 거리를 추정하기 위해서 기존 방식과 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 성능을 비교 분석한다. 본 연구에서 제안한 방법의 임계치를 효율적으로 제어하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 조건은 표1에 나타내었다. 그림2 는 기존의 연구방법으로 목표물 거리 추정한 그래프이다. 추정거리는 80km인데 약 17km정도의 오차를 나타내고 있다. 그림 3은 본 연구에서 제안한 방법으로 목표물의 추정거리를 측정한 그래프이다. 80km에서 정확히 목표물 추정하였다. 그림 4는 100km에서 목표물의 추정 거리를 나타내었다. 목표물 거리오차 약 8km정도 발생하였다. 그림 5는 100km에서 목표물을 정확히 추정한 그래프이다. 본 연구에서 제안한 방법이 목표물의 추정

거리 오차를 최소한으로 감소하였고 또한 목표물을 정확히 추정하였다.

표 1. 레이더 방정식 변수

Table 1. Radar Equation variable

| 함수      | 규격                      |
|---------|-------------------------|
| 송신전력    | 100kw                   |
| 주파수     | 6GHz                    |
| 안테나 이득  | 20dB                    |
| 유효단면적   | $0.5m^2$                |
| 듀티사이클   | 0.3                     |
| 켈빈      | 400                     |
| 잡음      | 5dB                     |
| 손실      | 8dB                     |
| 스캔율     | 2 sec                   |
| 펄스폭     | $\tau = 1\mu\text{sec}$ |
| 펄스반복주파수 | $f_r = 1 \text{ KHz}$   |

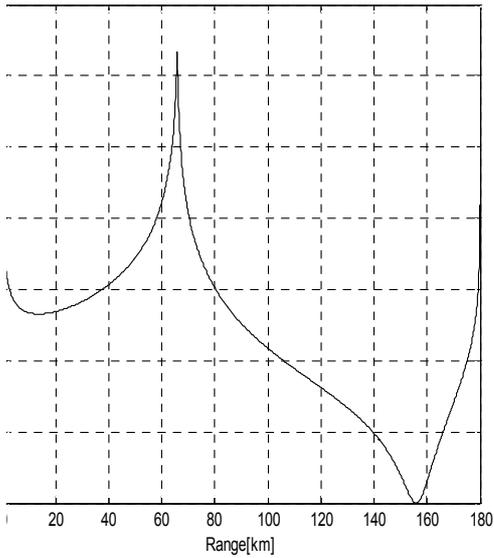


그림 2. 목표물 검출 거리 [80km]

Fig. 2. Target detection range for 80km

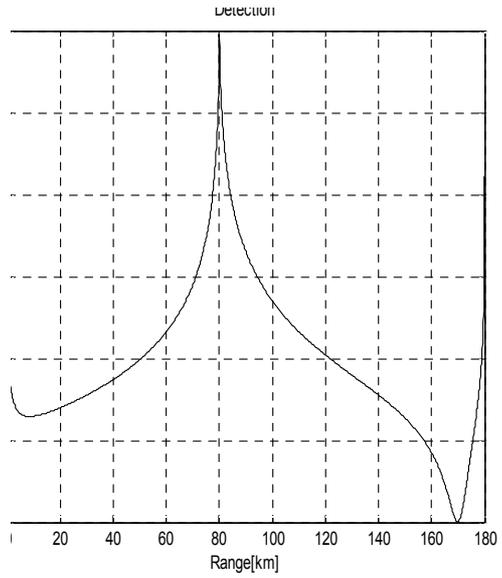


그림 3. 목표물 검출 거리 [80km]

Fig. 3. Target detection range for 80km

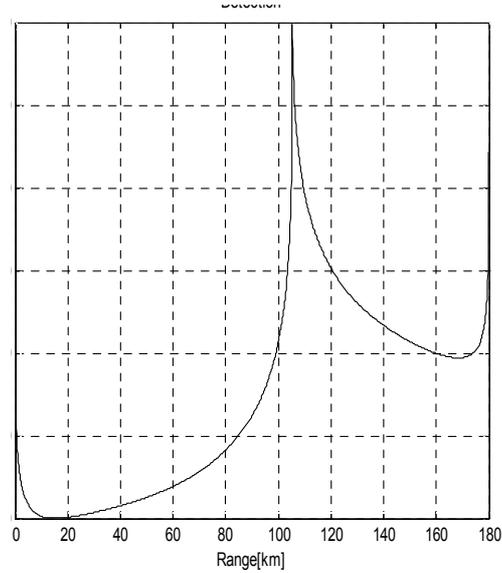


그림 4. 목표물 검출 거리 [1000km]

Fig. 4. Target detection range for 1000km

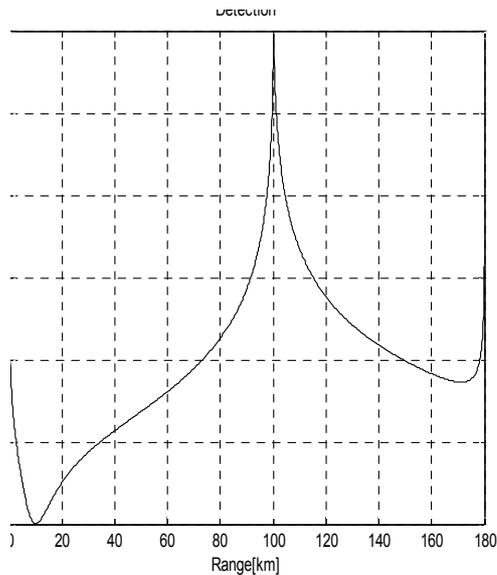


그림 5. 목표물 검출 거리 [100km]  
Fig. 5. Target detection range for 100km

### 5. 결론

본 논문에서는 레이더 시스템에서 스웰링 케이스 1인 경우에 효율적인 임계치를 이용하여 원하는 목표물의 탐지 거리를 추정하였다. 탐지 거리를 추정하기 위해서 신호대 잡음비를 개선하여 시스템의 성능을 향상 시켰다.

본 논문에서는 임계치를 조정하면서 목표물에 대한 정보를 추정하였다. 모의실험을 통하여 동일한 거리를 추정 하고자 할 때 기존의 방식과 본 연구에서 제안된 방식으로 같은 임계치를 이용하여 목표물을 추정하였다. 동일한 목표물을 추정할 때 본 연구에서 제안한 방식이 기존의 방식보다 약 10에서 20km 정도의 정확성을 나타내었다. 그러므로 본 연구에서 제안 방법이 기존의 방법보다 신호대 잡음비 성능이 더 높음을 확인하였고 목표물 탐지에서 본 연구에서 제안된 방법이 기존의 방법 보다 더 효율적인 성능이 나타냄을 입증하였다.

### 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] Gwan U Ga, Sung Min Ham and Kwan Hyeong Lee, "A Comparison with SNR Performance of Coherent Integration and Non-Coherent Integration to Estimate Target Detection Range in Radar System", The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.7, No. 2, 2014.
- [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.
- [7] frank Gross, "Smart Antennas for Wireless Communications", McGrawHill, 2005
- [8] Nadav Levanon, " Radar Principles", Wiley Inter Science,1999
- [9] Gwan U Ga, Sung Min Ham and Kwan Hyeong Lee, "A Comparison on Coherent Integration and Non-Coherent Integration to Estimate Detection Range about Radar Cross Section in Radar System", The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.7, No. 2, 2014.

---

저자약력

---

이 관 형(Kwan-Hyeong Lee) [정회원]



- 2005년 3월 ~ 2007년 2월 : 청주대학교 전자정보공학부 전임강사
- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소 근무
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전기전자통신공학부 통신공학전공 교수

<관심분야>

무선통신, 위치추적