한국통신학회 1985년도 추계학술발표회 논문집(1985. 11. 9) 85359

이항 소거기를 이용한 레이다 신호 검출 특성

°김 철 호, 이 형 재
한국항공대학 항공전자공학과

A Study on the Performance of Signal Detection in Radar Using Binomial Canceller

Cheol Ho Kim, Hyung Jae Lee
Dept. of Avionic Eng., Hankuk Aviation College

ABSTRACT

A radar system that consists of a nonrecursive 2-pulse and 3-pulse canceller followed by a square-law integrator is discused.

The probability density and false alarm probability of integrator output, S for the no signal condition are given according to threshold, T the number, N of pulses integrated, the number, L of pulses processed by MTI and its weight, W .

Also, detection probability is computed using numerical integration by the trapezoidal rule.

I. 서 론

이동 물체를 검출하는데 사용되는 레이다의 특성은 내부 잡음 보다는 오히려 외부 클래타로 부터의 에코에 의하여 영향을 받는다. 이 때 신호대 클래타 비(signal-to-clutter ratio)를 증가 시키기위하여 검출 처리 과정인 MTI가 사용된다. 클래타의 주파수가 좁을 때는 2- 또는 3-펄스 MTI로서 충분 하지만, 클래타의 스펙트럼이 넓으면 많은 펄스들이 필요 하게된다. 한편, 보통의 MTI와 달리 목표물과 클래타를 구별할 수 없는 blind speed를 피하기 위하여 PRF를 변화 시키는 경우가 있다.

본 논문에서는 동일한 PRF를 갖는 2- 및 3-펄스 소거기에 대해 스레쉬홀드와 false alarm 확률의 관계 및 검출 확률을 다루었다.

II. 해 석 모 델

L개의 연속된 펄스로 부터 입력을 선형 결합하고 N개의 연속된 펄스를 비동기적으로 적분하는 레이다 시스템은 그림. 1과 같다.

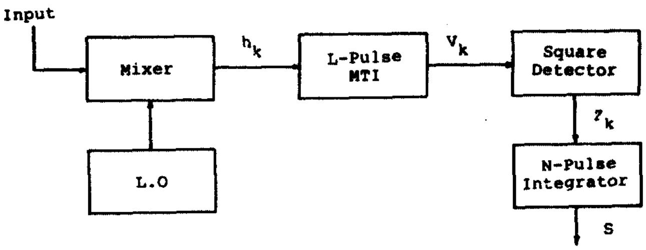
MTI의 각 출력은 L개의 연속적인 복소 입력 h_K의 선형 결합이므로 MTI의 출력은

$$v_K = \sum_{l=1}^{L} w_l \cdot h_{K-l+1} = x_K + j y_K \qquad (1)$$

단, w_l 은 실수

N개의 연속적인 MTI의 출력을 성분으로하는 벡터를 $V = [V_1, \cdots, V_N]^T$로 놓으면 적분기의 출력 S는

$$S = \sum_{K=1}^{N} |v_K|^2 = V^H I V \qquad (2)$$



[그 림 1] MTI 레이다 시스템의 블럭도

단, I 는 단위 행렬

가 되며, u=it 일 때 S의 특성 함수는

$$\begin{aligned} G(it) &= E\{e^{itS}\} = G(u) \\ &= \exp\{\sum_{k=1}^{N} u g_k^2 (1-2u\lambda_k)^{-1}\} \\ &\cdot \prod_{k=1}^{N} (1-2u\lambda_k)^{-1} \end{aligned} \qquad (3)$$

단,

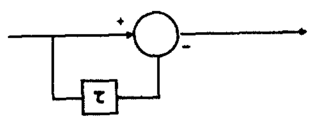
$$g_k^2 = \sum_{l=1}^{N} \sum_{n=1}^{l} (\mu_l \mu_n + \gamma_l \gamma_n) e_{kl} e_{kn} \qquad (4)$$

$$\left.\begin{aligned} E\{X_k\} &= \mu_k \\ E\{Y_k\} &= \gamma_k \end{aligned}\right] \qquad (5)$$

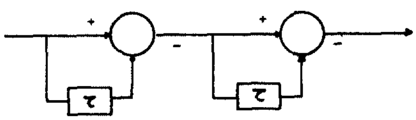
III. False Alarm 및 검출 확률

이항 소거기에 대한 단위 고유 벡터 e_{kj} 는

$$e_{kj} = \sqrt{\frac{2}{N+2}}\ \sin\left(\frac{kj\pi}{N+1}\right) \quad ; j,k = 1,2,\cdots,N \qquad (6)$$



(a) 2-Pulse



(b) 3-Pulse

[그 림 2] MTI 의 블럭도

이고, 그림.2(a)의 2-펄스 소거기의 경우

$$\mu_k = -2A\sin(\pi F)\sin[2\pi F(k+\tfrac{1}{2})] \qquad (7)$$

$$\gamma_k = 2A\sin(\pi F)\cos[2\pi F(k+\tfrac{1}{2})] \qquad (8)$$

$$\lambda_k = \alpha^2(\omega_1^2+\omega_2^2)\left[1 - \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1^2+\omega_2^2}\cos\left(\frac{k\pi}{N+1}\right)\right]$$

$$k = 1,2,\cdots,N \qquad (9)$$

그림.2(b)의 3-펄스 소거기의 경우

$$\mu_k = -4A\sin^2(\pi F)\sin[2\pi F(k+1)] \qquad (10)$$

$$\gamma_k = 4A\sin^2(\pi F)\cos[2\pi F(k+1)] \qquad (11)$$

$$\begin{aligned} \lambda_k = \alpha^2(\omega_1^2+\omega_2^2+\omega_3^2)\Big[1 &- \frac{2(\omega_1\omega_2+\omega_2\omega_3+\omega_3\omega_1)}{\omega_1^2+\omega_2^2+\omega_3^2} \\ &\cdot \cos\left(\frac{k\pi}{N+1}\right)\Big] \end{aligned} \qquad (12)$$

$$k = 1,2,\cdots,N$$

단, F= 도플러 주파수/PRF

가 된다.

신호가 없을 때, 모든 g_k^2 은 0 이므로, 확률 밀도 함수는

$$f_0(u) = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N} \lambda_k^{-1} C_k \exp(-u/2\lambda_k) \qquad (13)$$

$$\text{단,} \quad C_k \triangleq \prod_{\substack{l=1 \\ l\neq k}}^{N}\left(1 - \frac{\lambda_l}{\lambda_k}\right)^{-1} \qquad (14)$$

이므로, 주어진 스레쉬홀드 T에 대한 false alarm 확률은

$$P_{FA} = \int_T^{\infty} f_0(u)\,du = \sum_{k=1}^{N} C_k \exp(-T/2\lambda_k) \qquad (15)$$

가 된다.

$g_k^2 \neq 0$, 즉 신호가 존재할 때 식 (3)을 직접 변환하기 어려우므로 사다리꼴 공식을 이용하여 수치 적분하여야 한다. S의확률 밀도 함수 $f_1(y)$ 와 스레-시홀드 T 에 따른 검출 확률 $Q(y)$ 는

$$f_1(y) = \frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{\infty} \exp[-uy+\varphi(u)]\,du \qquad (16)$$

$$Q(y) = \int_y^{\infty} f_1(u)\,du = \frac{1}{2\pi i}\int_{-i\infty}^{i\infty} \exp[-uy+\varphi(u)]\frac{du}{u} \qquad (17)$$

$$\varphi(u) = \ln G(u) \qquad (18)$$

이다. 적당히 변수를 변환하고 사다리꼴 공식을 적용하면

$$Q(y) = \mathrm{Real}\,\frac{S}{\pi i}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1+e^{-x}}{u}\exp[-uy+\varphi(u)+x-e^{-x}]\,dx$$

$$u_1 > 0 \qquad (19)$$

$$\cong \mathrm{Real}\,\frac{S}{\pi i}\,h\sum_{m=-K}^{K} I(mh)\,, \quad u_1>0 \qquad (20)$$

단, h 샘플간의 간격

$$\left.\begin{aligned} S &= \frac{1+i\sqrt{3}}{y} \\ u &= u_1 + S\exp(x-e^{-x}) \\ I(x) &= \frac{1+e^{-x}}{u}\exp[-uy+\varphi(u)+x-e^{-x}] \end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

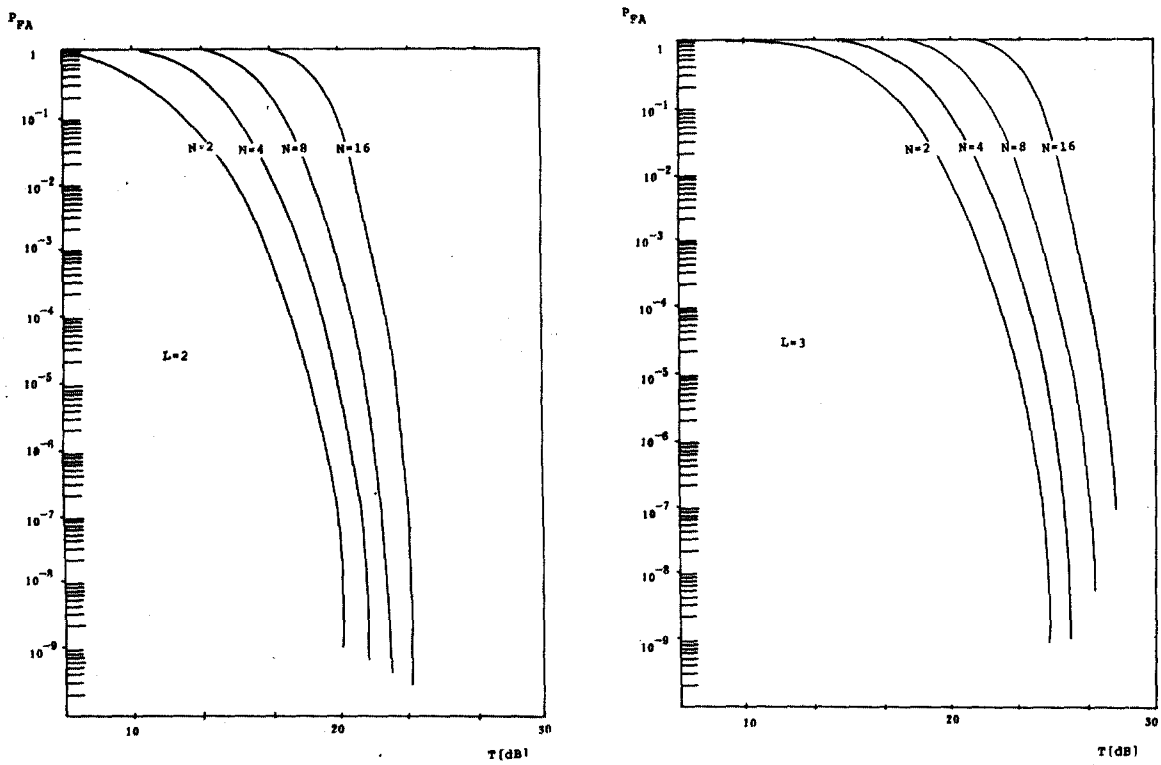
가 된다.

IV. 결 론

신호가 없을 때, 스레시홀드 T, 적분 펄스의 수 N, MTI로 처리되는 펄스의 수 L 및 weight W_K 에 따른 확률 밀도와 false alarm 확률이 계산된다.

$\sigma^2=1$ 로 가정하고 2-pulse의 경우 $W_1=1$, $W_2=-1$, 3-pulse의 경우 $W_1=1, W_2=-2, W_3=1$ 로 놓았다. 그림.3 에서와 같이 동일한 T에 대하여 적분 펄스의 수 N, 혹은 MTI에 의하여 처리되는 pulse의 수 L이 증가 함에 따라 false alarm 확률이 상당히 커진다.

따라서 레이다의 검출 특성을 개선하기 위하여 L 이나 혹은 N의 수를 증가시킬 경우 상당히 큰 스레시홀드 값를 택해야 된다.



(a) 2-Pulse

(b) 3-Pulse

[그 림 3] False-Alarm 확률

참 고 문 헌

[1] S.O.Rice,"Efficient evaluation of integrals of analytic functions by trapezoidal rule,"Bell Syst.Tech.J.vol. 52, pp.707-722,May-June 1973.

[2] A.K.Jain,"A fast Karhunen-Loeve transform for a class of random process," IEEE Trans.Comm., pp.1023-1029, Sept. 1976.

[3] F.F.Kretschmer,Jr,"Correlation effects of MTI filters,"IEEE Trans.Aeros. Electron.Syst., vol.AES-13, pp.321-322, May.1977.

[4] J.Pachares,"A table of bias levels useful in radar detection problems, "IRE Trans.Inform.Thery, vol.IT-4, pp. 38-45, Mar.1958.

[5] George M.Dillard,"Performance of an MTI followed by incoherent intergration for nonfluctuating signals,"IEEE International Radar Conference,1980.

[6] A.D.Whalen,Detection of signals in noise,New York:Academic Press,1971.