

MXTM-CFAR 처리기와 그 성능분석

正會員 金 在 坤* 正會員 金 應 兌* 正會員 宋 翊 鎬* 正會員 金 炯 明*

MXTM-CFAR Processor and Its Performance Analysis

Jae Gon Kim*, Eung Tae Kim*, Ickho Song*, Hyung Myung Kim* *Regular Members*

要 約

본 논문은 레이다 목표물 검파에 유용한 MXTM(maximum trimmed mean)-CFAR(constant false alarm rate) 처리기를 제안하고, 성능분석을 통하여 기존의 CFAR 처리기와 비교하였다. 제안된 MXTM-CFAR 처리기는 클러터경계에서 좋은 성능을 갖는 GO(greatest of)-CFAR 처리기와 균질 또는 비균질상황에서 좋은 성능을 갖는 기존의 순서통계에 근거한 TM-CFAR 처리기를 결합한 형태이다. 균질상황, 간섭표적상황 및 클러터경계에서 구한 검파확률, 오경보율과 임계치를 통하여 성능을 분석하고 기존의 CFAR 처리기와 비교하였다. 제안된 처리기는 균질상황과 간섭표적상황에서 OS(order statistics) 및 TM-CFAR 처리기와 같은 좋은 성능을 유지하면서 클러터경계에서 오경보율을 줄일 수 있었으며 처리시간을 단축 시킬 수 있었다.

ABSTRACT

An improved MXTM(maximum trimmed mean)-CFAR(constant false alarm rate) processor is proposed to reduce false alarm rates in detecting radar targets and its performance characteristics are analyzed to be compared with those of other CFAR processors. The proposed MXTM-CFAR processor is obtained by combining the GO(greatest of)-CFAR processor reducing excessive false alarm rate at clutter edges with the TM-CFAR processor showing good performances in homogeneous /nonhomogeneous background. Performance analyses have been done by computing detection probability, constant false alarm rate and detection thresholds under the homogeneous or multiple target environments and at the clutter edges. Analysis results show that the proposed CFAR processor maintains its performance as good as those of OS(order statistics) and TM-CFAR in homogeneous and multiple target environments and can reduce the false alarm rate at clutter edges. Overall computing time has been also reduced.

I. 서 론

*韓國科學技術院 電氣및 電子工學科
Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute
of Science and Technology.
論文番號 : 92-72(接受1992. 2. 21)

레이다 검파기는 잡음을 동반하는 반사신호로부터
목표물의 존재 여부를 판정하는 것으로, Neyman-
Pearson(N-P) criterion을 검파기준으로 하여 주어

진 오경보확률 내에서 검파확률을 극대화하도록 검파기를 설계한다¹¹. 실제 레이더 상황에서는 반사파의 통계적 특성을 알기 어렵고 또한 잡음의 정상성(stationarity)을 보장할 수 없기 때문에 NP 검파기의 고정된 임계치로써는 일정한 오경보율을 유지할 수 없다. CFAR 처리기는 반사파의 통계적 특성을 추정하여 적응임계치를 사용함으로써 오경보율을 일정하게 유지하는 것으로 자동검파를 수행하는 레이더 시스템에서 널리 사용되고 있다¹². Finn과 Johnson¹²이 CA(cell averaging)-CFAR 처리기를 제안한 이후로 최근까지 많은 연구가 진행되어 왔는데 일반적으로 평균값을 이용한 CFAR 처리기와 순서통계를 이용한 CFAR 처리기로 대별된다.

CA-CFAR 처리기는 균질(homogeneous)상황에서 가장 좋은 성능을 갖지만, 클러터전력(clutter power)이 크게 변하거나 간섭표적(interfering target)이 존재하는 비균질(nonhomogeneous)상황에서는 성능이 크게 떨어진다^{3,4}. 이러한 비균질상황에서의 CA-CFAR 처리기의 문제점을 해결하기 위하여 제안된 GO(greatest of)-CFAR 처리기⁵는 클러터경계에서 성능을 개선시키지만 간섭표적 상황에서는 오히려 성능이 저하되며, Trunk¹⁶가 제안한 SO(smallest of)-CFAR 처리기는 간섭표적 상황에서 CA-CFAR 처리기의 성능을 개선시키지만 클러터경계에서는 오히려 성능이 크게 저하된다⁴. 이와 같이 평균값에 근거하는 mean level CFAR 처리기와는 달리 Rohling⁷에 의하여 제안된 OS(order statistics)-CFAR 처리기는 순서통계(order statistics)에 근거한 CFAR 처리기로서, 어느 한 상황에서 성능이 크게 저하됨이없이 전체적으로 좋은 성능을 갖는다. TM-CFAR 처리기¹⁴는 OS-CFAR 처리기를 일반화시킨 것으로 적절하게 절단(trimming)을 하면 OS-CFAR 처리기의 성능을 조금 개선시킬 수 있다. 그러나 OS-, TM-CFAR 처리기는 기존의 다른 CFAR 처리기에 비해 고른 성능을 가지지만 클러터경계에서 오경보율이 크게 증가하고⁸, ordering에 시간이 많이 소요되는 문제점을 갖고 있다⁹.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선시키기 위하여 TM-CFAR 처리기와 GO-CFAR 처리기를 결합한 MXTM(maximum trimmed mean)-CFAR 처리기를 제안하고 성능을 분석하였다. MXTM-CFAR 처리기는 TM-CFAR 처리기와 클러터경계에서 가장 좋은 성능을 갖는 GO-CFAR 처리기를 결합한 것으로 전체적으로 좋은 성능을 유지하며, 특히 클러터

경계부분에서 GO(greatest of)의 영향으로 OS-, TM-CFAR 처리기의 성능을 개선시킨다. 또한 기준잡음 반으로 나누어 각각 따로 처리하기 때문에 계산량을 OS-, TM-CFAR 처리기보다 30% 정도 줄일 수 있게된다. 이 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 새로운 구조의 MXTM-CFAR 처리기를 제안하고, 제안된 CFAR 처리기의 성능분석 방법을 3장에서 논한다. 제4장에서 성능분석 결과와 CFAR 처리기 모델에 대한 모의실험을 통하여 기존의 CFAR 처리기와 비교검토한 후 5장에서 결론을 맺는다.

II. MXTM-CFAR 처리기

그림 1은 일반적인 CFAR 처리기의 구조이다. 입력신호는 제곱검파기를 통과한 다음 표본화되어 R(=2N)개의 기준셀(reference cell)에 직렬로 들어가게 된다. 그림 1에서 처럼 인접한 R개의 거리셀(range cell)들의 표본자료를 이용하여 시험셀(test cell)의 잡음을 추정하고, 그 잡음추정치 z를 검파계수 T와 곱하여 임계치 Tz를 구한다. 검파계수 T는 균질상황에서 원하는 오경보확률을 갖도록 결정하는데 기준셀의 갯수 R과 오경보확률로부터 구한다¹¹.

CA-CFAR 처리기는 기준셀의 합을 잡음추정치로 정하고 GO-, SO-CFAR 처리기는 기준셀의 반만으로 잡음을 추정하기 때문에 균질상황에서 CA-CFAR 처리기보다 더 많은 CFAR 손실을 갖는다³. GO-CFAR 처리기는 시험셀이 강한 클러터경계에 위치할 경우 앞, 뒤창의 합중 큰 것을 취하므로 약한 클러터의 영향이 배제되어 오경보율을 제어할 수 있고, SO-CFAR 처리기는 간섭표적이 존재하는 상황에서 앞, 뒤창의 합중에서 간섭표적으로 인한 큰값을 버리고 작은 값을 취함으로써, 임계치를 낮추어 성능을 개선시킨다. 그러나 반대의 상황에서는 오히려 역효과가 나타나게 되어 모든 레이더 환경에서 고른 성능을 유지할 수 없는 단점이 있다.

간섭표적 상황에서 좋은 분해능을 갖는 OS-CFAR 처리기는 먼저 기준창(reference window)내의 셀들을 크기에 따라 오름차순으로 배열한 다음 그 중 임의의 k번째로 작은 값을 잡음추정치 z로 정하는데, 이 OS-CFAR 처리기를 OS(k)로 나타내기로 한다. 이 OS(k)는 클러터경계에서 k가 클수록 원하는 오경보율에 접근하지만 간섭표적의 상황에서의 성능을 고려하면 GO-CFAR 처리기보다 성능이 떨어진다.

TM-CFAR 처리기는 기준셀들을 오름차순으로 배

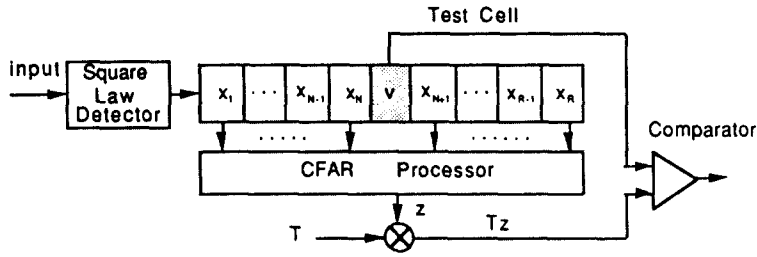


그림 1. 일반적인 CFAR 처리기의 구조
Fig. 1. Block diagram of typical CFAR processor.

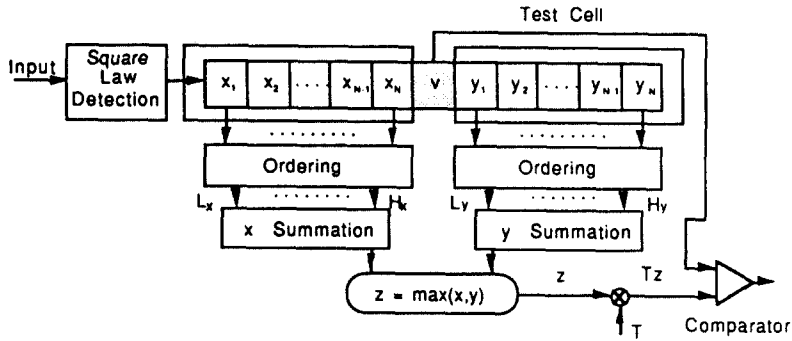


그림 2. MXTM-CFAR 처리기
Fig. 2 MXTM-CFAR processor.

열한 다음 임의의 summing window를 잡아서 summing window안의 셀들을 합하는 구조를 가진다. 즉 $L \leq H$ 인 경우 L번째 값보다 작고 H번째 값보다 큰 값을 갖는 셀은 제거하고, L번째 작은 값부터 H번째 값까지의 합을 잡음추정치로 하는데 이 TM-CFAR 처리기를 $TM(L, H)$ 로 표시하기로 한다. L, H의 선정에 따라 성능이 변하게 되는데 클러터경계에서 일반적으로 OS-CFAR 보다 높은 오경보율을 갖게 되어, OS-CFAR나 TM-CFAR가 모두 클러터경계에서 높은 오경보율을 갖고, ordering에 많은 시간이 소요 되는 문제점을 안고 있다. 이러한 클러터경계에서의 OS-, TM-CFAR 처리기의 문제점을 개선시키기 위하여 클러터경계에서 가장 좋은 성능을 갖는 GO-CFAR 처리기를 TM-CFAR 처리기와 결합한 MXTM-CFAR 처리기를 제안하였다. 그 구조는 그림 2와 같다.

먼저 기준창을 시험셀 v를 중심으로 앞, 뒤창으로 나누어 앞창의 각 셀값을 각각 x_1, x_2, \dots, x_N 으로 뒤창의 각 셀값을 y_1, y_2, \dots, y_N 으로 나타내며, 이들 각 창내의 셀들의 값을 각각 독립적으로 오름차순으로 배열하여 앞, 뒤창의 셀값을 $x(1), x(2), \dots, x(N)$ 과 $y(1), y(2), \dots, y(N)$ 으로 표기한다. 순서 배열된 셀값중 앞창의 경우 L_x 번째 셀값부터 H_x 번째 값까지, 뒤창의 경우 L_y 번째 셀값부터 H_y 번째 값까지 summing window의 범위로 하여, 셀들의 합 x, y를

$$x = \sum_{i=L_x}^{H_x} x(i) \quad y = \sum_{i=L_y}^{H_y} y(i) \quad (1)$$

와 같이 구한 후 x, y중 큰 값을 잡음추정치 z로 정한다.

$$z = \max(x, y) \quad (2)$$

위와 같이 각 시험셀마다 잡음추정치 z 와 검파계수 T 를 곱한 적응임계치 Tz 를 갖는 검파기를 구현하는데 시험셀의 표본자료가 임계치보다 클 경우 목표물이 있다고 판정하는 대립가설(alternative hypothesis)의 경우를 H_1 으로 표기하고, 임계치보다 작을 경우 목표물이 없다고 판정하는 귀무가설(null hypothesis)의 경우를 H_0 로 표기하면 위의 검파기를 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$v \begin{matrix} H_1 \\ \gg Tz \\ H_0 \end{matrix} \quad (3)$$

여기서 v 는 시험셀의 표본자료를 나타내는 확률변수이며 z 는 이 시험셀에 대한 잡음추정치를 나타내는 확률변수이다. 결과적으로 이것은 균질상황에서 가장 좋은 성능을 갖는 CA-CFAR와 여러개의 목표물이 인접하여 존재할 때 좋은 분해능을 갖는 OS-CFAR, 그리고 클러터경계에서의 오경보율을 제어할 수 있는 GO-CFAR를 결합한 것이 된다. 따라서 중요한 3 가지의 레이더 상황에서 좋은 성능을 기대할 수 있다. 앞, 뒤창의 summing window의 범위는 서로 다르게 제한되었지만 본 논문에서는 두 창이 같은 summing window를 갖는 경우 즉 $L=L_1=L_2$, $H=H_1=H_2$ 인 경우로 국한시키고, 이 경우의 MXTM-CFAR를 MXTM(L,H)로 나타내기로 한다. MXTM(L,H)는 여러 CFAR 처리기들의 일반화된 형태로 생각할 수 있는데 실제로 MXTM(1,N)은 GO-CFAR 처리기가 되고 $L=H$ 이면 OSGO-CFAR 처리기가 된다.

III. 성능분석

기본가정 및 레이더 환경 모델

상존하는 열잡음과 클러터를 포함하는 총 배경잡음이 가우시안 프로세스이고 목표물은 매 스캔마다 변동하며 Rayleigh분포를 이루는 Swerling 1 모델^[1]로 가정하면 모든 거리셀들의 표본자료들은 다음 식의 지수분포를 갖는다.

$$p_v(v) = \exp[-v/(1+X)] / (1+X), \quad v \geq 0 \quad (4)$$

여기서 v 는 자승검파기를 통과한 시험셀의 전압신호이고 X 는 그 셀의 평균 신호대잡음비(SNR)를 나타낸다. 위의 가정을 바탕으로 본 논문에서는 균질상

황, 간섭표적 상황, 클러터경계 상황의 3 가지 중요한 레이더 환경모델에 대하여 성능분석을 하도록 한다. 균질상황은 기준셀들이 통계적으로 서로 독립이고 동계적 특성이 같은 경우를 말한다. 균질상황에서 CFAR 처리기들의 성능을 분석하기 위한 성능지수로 CFAR 손실(loss)과 평균임계치(average detection threshold, ADT)를 많이 사용하는데, CFAR 손실은 CFAR 처리기가 최적검파기와 같은 검파확률을 얻기 위하여 증가시켜야 하는 SNR 증가분을 말하고, ADT는 주어진 오경보율을 유지하면서 얻어지는 임계치에 대한 기대값, 즉

$$ADT = E[Tz] \quad (5)$$

으로 두 성능지수가 모두 낮을수록 좋은 CFAR 처리기라고 할 수 있다. 간섭표적 상황은 기준창내에 2개 이상의 목표물이 존재하는 경우를 말한다. 일반적으로 임계치를 추정할 때 인접한 목표물의 간섭으로 인하여 임계치가 지나치게 높아져 검파확률이 떨어지게 되는데, 이러한 현상을 목표물 마스킹현상이라고 한다. 클러터경계 상황은 기준창내에 클러터전력의 심한 변화로 한쪽 부분에는 강한 클러터가 존재하고, 다른부분에서는 상대적으로 약한 클러터가 존재하는 경우이다.

2. 성능분석

CFAR 처리기의 성능은 검파확률 P_d 와 오경보확률 P_a 로 결정되는데, 이들은 잡음추정치 z 의 모멘트 발생함수(moment generating function, m.g.f) $M_z(u)$ 와 검파계수 T 로부터 구할 수 있다. 랜덤변수 z 의 확률밀도함수를 $p_z(z)$ 라 두면

$$M_z(u) = \int_0^{\infty} e^{-uz} p_z(z) dz \quad (6)$$

와 같이 정의되는데, P_d 와 P_a 는 식(7)과 (8)로 표현된다^[10].

$$P_d = M_z[T/(1+X)] \quad (7)$$

$$P_a = M_z(T) \quad (8)$$

x, y 의 확률밀도함수를 각각 $p_x(x)$, $p_y(y)$ 라고 두고 확률분포함수를 $P_x(x)$, $P_y(y)$ 라고 하면, 식 (2)로부터 $p_z(z) = p_x(z)p_y(z) + p_y(z)p_x(z)$ 이므로^[11]

$$M_z(u) = \int_0^\infty e^{-uz} p(z) dz = M_1(u) + M_2(u) \quad (9)$$

로 쓸 수 있는데, 여기서

$$M_1(u) = \int_0^\infty e^{-uz} p_x(z) P_y(z) dz \quad (10)$$

$$M_2(u) = \int_0^\infty e^{-uz} p_y(z) P_x(z) dz \quad (11)$$

이다. $M_x(u)$ 와 $M_y(u)$ 를 각각 x 와 y 의 m.g.f.라고 하고 식 (10)과 (11)에 역라플라스 변환을 대입하여 정리하면 $M_1(u)$ 과 $M_2(u)$ 는 다음의 복소적분식으로 나타낼 수 있다.

$$M_1(u) = \int_{C_+} \frac{ds}{2\pi j} s^{-1} M_y(s) M_x(u-s) \quad (12)$$

$$M_2(u) = \int_{C_+} \frac{ds}{2\pi j} s^{-1} M_x(s) M_y(u-s) \quad (13)$$

여기서 C_+ 는 원점과 실수축상의 양의 가장 작은 특이점 사이를 지나는 s 복소평면상의 contour이다. $M_x(u)$ 와 $M_y(u)$ 를 구하면 식 (12), (13) 그리고 식 (9)와 식 (7), (8)에 차례로 대입하여 검파확률과 오경보확률을 구할 수 있다. $M_x(u)$ 와 $M_y(u)$ 는 같은 형태로 얻어지는데 $M_x(u)$ 를 구하면 다음 식과 같다^[12].

$$M_x(u) = \sum \{ [1+X_1] \cdots [1+X_N] \}^{-1} \\ \{ 1/[1+X(1)] + \cdots + 1/[1+X(L-1)] + 1/[1+X(L)] + u \\ + \cdots + 1/[1+X(m)] + u + 1/[1+X(H+1)] \\ + \cdots + 1/[1+X(N)] \}^{-1} \\ \cdots \{ 1/[1+X(H-1)] + 1/[1+X(H)] \}^{-1} \\ \cdots \{ 1/[1+X(N)] \}^{-1} \quad (14)$$

여기서 $X(i)$ 는 오름차순으로 배열된 i 번째 셀의 평균 신호대잡음비이며 σ 표기는 앞창의 크기 N 의 순열에 따른 나열방법이고 \sum 는 이 모든 나열의 경우에 대하여 더한 것이다. 즉 N 개의 기준셀이 모두 서로 다른 경우 $N!$ 의 서로 다른 나열방법이 생기고 만약 N 개의 기준셀에서 M 개의 같은 SNR을 갖는 간섭표적이 존재한다면 이 M 개의 셀이 위치하는 방법은 $N C_M$ 개의 경우가 존재하고, 각 경우에 대하여 $M!(N-M)!$ 개의 같은 확률을 갖는 경우가 발생한다. 따라서 $N C_M$ 개의 나열방법을 구한 다음 각 경우에 $M!(N-M)!$ 을 곱

해서 더해주면 된다. $M_y(u)$ 도 식 (14)와 같은 모양을 갖는 u 의 유리함수로 주어 진다.

균질상황에서는 $X(1)=X(2)=\cdots=X(N)=0$ 이므로 $M_x(u)$ 는 다음 식으로 간략화 된다.

$$M_x(u) = N! \prod_{j=0}^{L-1} \{N-j+(H-j)u\}^{-1} \prod_{j=L}^H \{N-j+(H-L+1)u\}^{-1} \\ \prod_{j=H+1}^N \{N-j\}^{-1} \quad (15)$$

$M_x(u)=M_y(u)$ 이므로 $M_z(u)=2M_x(u)=2M_y(u)$ 가 되고 식(7)과 식(8)에 이 $M_z(u)$ 를 대입하여 검파확률과 오경보확률을 구할 수 있다. 간섭표적상황에서는 위의 계산방법을 그대로 사용할 수 있는데 이때 검파계수 T 는 균질상황에서 구한 것과 같은 방법으로 구한다. 클러터경계 상황에서는 식 (14)의 $X(i)$ 를 CNR(clutter to noise ratio)로 생각하고, 시험셀이 클러터가 없는 지역에 있다면 목표물의 SNR을 0으로 하고, 강한 클러터지역에 시험셀이 존재하면 X 를 CNR로 하여 오경보확률을 구할 수 있다.

IV. 모의실험을 통한 비교

1. 성능분석을 통한 비교

그림 3은 균질상황에서 summing window의 위치 및 크기 변화에 따른 MXTM-CFAR에 대한 식 (5)의 ADT 변화를 보인 것이다. 모든 성능분석에서 기준창의 크기 R 은 20으로, 오경보확율은 10^{-6} 으로 정하였다. MXTM($L, L+i$)에서 H 는 $i+L$ 이 되고 창크기는 $i+1$ 이다. 그림 3에 따르면 MXTM(L, H)의 ADT는 창크기가 커질수록 그리고 L 이 클수록 작아짐을 알 수 있다. MXTM(L, H)의 구조에 따르면 균질상황에서 뿐아니라 클러터경계에서도 H 가 클수록 성능이 좋아지며, 간섭표적 상황에서는 H 가 커지면 제거할 수 있는 간섭표적의 수, $R-H$ 가 줄어들게 된다. 고정된 H 에 대하여 L 이 작을수록 summing window의 크기가 커지기 때문에 균질상황과 간섭표적 상황에서는 좋은 성능을 갖지만 클러터경계에서는 오경보율을 제어하는 특성이 나빠진다. 이러한 상황을 고려하여 전체적으로 좋은 성능을 갖는 MXTM(7,9)를 성능분석을 위한 MXTM-CFAR 처리기로 선정하였다.

그림 4는 균질상황에서 기존의 CFAR 처리기들의 ADT를 보인 것이다. ADT에 대한 성능을 비교하면

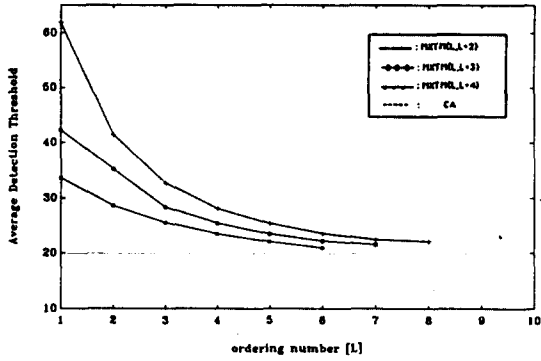


그림 3. MXTM-CFAR 처리기의 ADT
Fig. 3. ADT of MXTM-CFAR processors.

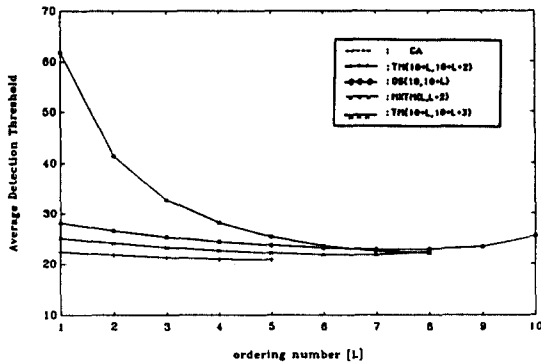


그림 4. CFAR 처리기들의 ADT
Fig. 4. ADT of CFAR processors.

적절한 L에서 MXTM-CFAR는 OS와 TM의 중간 정도의 성능을 갖는다. 창 크기의 변화에 따른 모든 CFAR 처리기들의 성능을 비교할 수는 없고 전체적으로 좋은 성능을 유지하는 창을 갖는 OS(18), TM(13,18), MX-TM(7,9)를 중심으로 CFAR 처리기들에 대해서 성능을 비교하기로 한다.

표 1은 균질상황에서 이들 CFAR 처리기들에 대한

CFAR 손실과 ADT를 나타냈다. CFAR 손실과 ADT 모두 CA-CFAR가 균질상황에서 가장 좋은 성능을 가짐을 나타내고 있다.

균질상황에서 SNR에 따른 CFAR 처리기들의 검파확률을 식 (7)에 따라 구하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 optimum은 N-P 검파기의 검파확률을 나타낸 것이다.

그림 6은 기준창내에 하나의 간섭표적이 존재하는 상황의 검파확률을 나타냈다. 간섭표적의 INR (interference to noise ratio)은 목표물의 SNR과 같다고 가정하였다. CA-CFAR의 경우 앞에서 살펴 보았듯이 목표물 마스크현상으로 인하여 검파확률이 크게 떨어지고, 나머지 CFAR 처리기들은 좋은 성능을 유지한다. 그림 5와 6의 두 경우 모두 TM-, MXTM-, OS-CFAR의 순서로 비슷한 성능을 보이고 있다.

그림 7은 클러스터경계 상황에서 오경보확률을 식 (8)에 따라 구한 것이다. 그림의 x축은 기준셀 x_i , $1 \leq i \leq 20$ 중 x_1 부터 x_k 까지의 셀이 상대적으로 강한 클러스터지역에 존재하는 경우의 k값을 나타내고 y축은 오경보확률을 나타낸다. 그림 7에서 $k \leq 10$ 인 경우 시험셀은 약한 클러스터 지역에 위치하나 강한 클러스터의 영향으로 시험셀의 잡음추정치가 실제보다 크게 추정되어 오경보율은 낮아지지만 검파확률이 떨어지며, 시험셀이 강한 클러스터지역에 위치하는 경우인 $k \geq 10$ 인 때는 반대로 잡음추정치가 낮게 추정되어 오경보율이 크게 증가한다.

그림 8과 9는 L과 H의 변화에 따른 MXTM-CFAR 처리기들의 오경보확률을 나타낸 것으로 그림 8은 H를 고정시키고 summing window의 크기를 변화시킨 경우이고, 그림 9는 summing window의 크기를 3으로 고정시키고 H를 변화시킨 경우이다.

그림 10은 20개의 기준셀 중 x_1 부터 x_9 까지의 셀이 CNR 10dB인 강한 클러스터지역에 존재하는 경우의 SNR에 대한 CFAR 처리기들의 검파확률을 나타낸 것이다. 그림 11은 같은 상황에서 x_1 부터 x_{11} 까지 클

표 1. CFAR 처리기들에 대한 CFAR 손실과 ADT
Table. 1 CFAR loss and ADT of CFAR processors.

	CA	OS(18)	TM(13,18)	TM(17,19)	MXTM(7,9)	MXTM(5,9)
T	0.995	10.903	2.404	3.369	4.233	3.128
ADT	19.905	22.872	21.259	21.767	22.481	22.094
CFAR loss(dB)	1.579	2.160	1.859	1.955	2.086	2.015

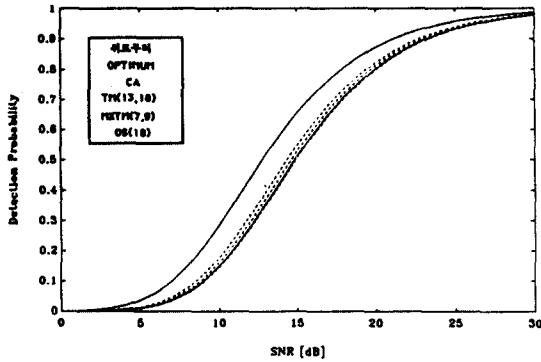


그림 5. 균질 상황에서의 CFAR 처리기들의 검파확률
Fig. 5. Detection probability of CFAR processors in homogeneous environments.

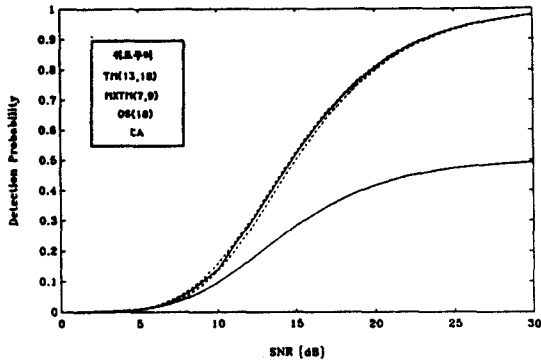


그림 6. 간섭표적 상황에서의 CFAR 처리기들의 검파확률
Fig. 6. Detection probability of CFAR processors in interfering target environments.

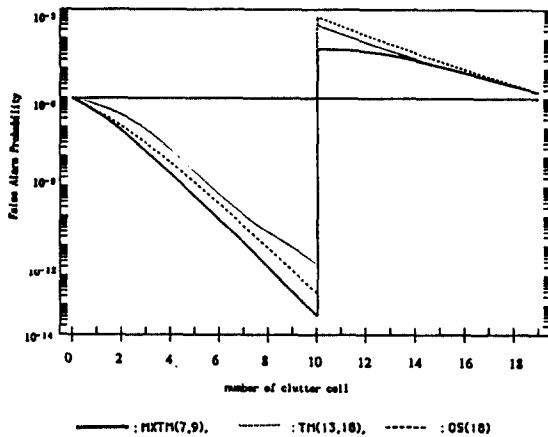


그림 7. 클러터경계에서 CFAR 처리기들의 오경보확률
Fig. 7. False alarm probability of CFAR processors at clutter edge.

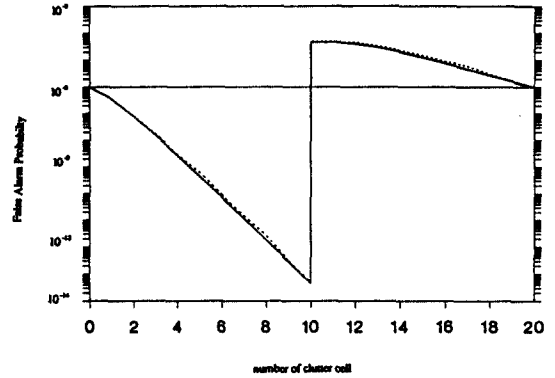


그림 8. 클러터 경계에서 MXTM-CFAR 처리기들의 오경보 확률(H고정, 창크기변화)
Fig. 8. False alarm probability of MXTM-CFAR processors at clutter edge. (fixed H, variable window size)

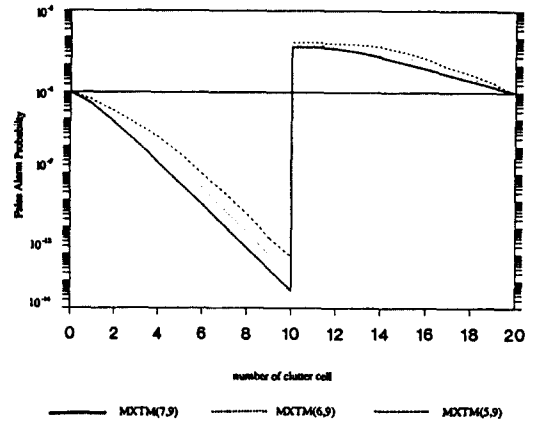


그림 9. 클러터 경계에서 MXTM-CFAR 처리기들의 오경보 확률(H변화, 창크기=3)
Fig. 9. False alarm probability of MXTM-CFAR processors at clutter edge. (variable H, window size=3)

러터지역에 존재하는 경우의 여러가지 CFAR 처리기들의 검파확률을 보인것이다.

CFAR 처리기는 오경보율을 일정하게 유지하는 것이 무엇보다 중요하기 때문에 우선적으로 오경보율을 제어할 수 있도록 설계하여야 한다. 본 논문에서 제안한 MXTM-CFAR는 GO-CFAR의 영향으로 다른 CFAR 처리기에 비하여 어느 정도 오경보율을 제어할 수 있음을 그림 7,8,9에서 보여주고 있다. 즉 클러터경계에서 오경보율이 크게 증가하는 것을 막아준다.

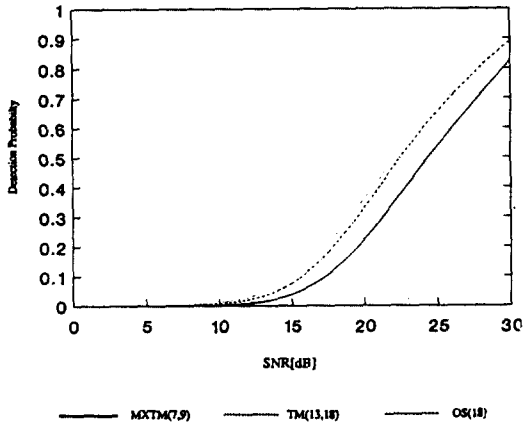


그림 10. 클러터경계 상황에서의 CFAR 처리기들의 검파 확률 (9개의 클러터 신호 존재)
 Fig. 10. Detection probability of CFAR processors at clutter edge. (number of clutter cell=9)

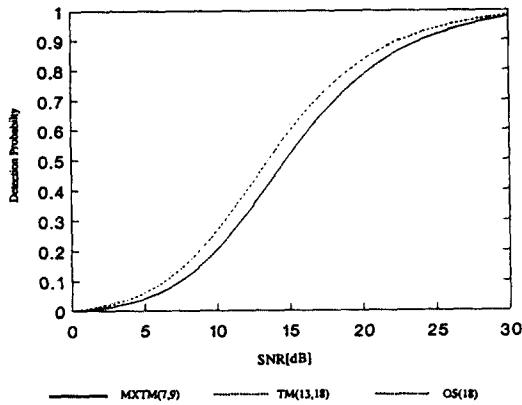


그림 11. 클러터경계 상황에서의 CFAR 처리기들의 검파 확률 (11개의 클러터신호 존재)
 Fig. 11. Detection probability of CFAR processors at clutter edge. (number of clutter cell=11)

2. 임계치 추정을 통한 비교

본 논문에서 제안한 MXTM-CFAR 처리기는 클러터경계에서 기존의 CFAR 처리기 보다 특히 우수한 성능을 나타내므로 본 절에서는 모의실험을 통한 클러터경계에서의 임계치 변화를 보이도록 한다. 모의 실험에서는 컴퓨터에 의하여 생성된 랜덤신호를 제곱검파기에 통과시킨 후 이 신호를 입력신호로 하여 산출된 임계치를 보였다. 이때 신호의 기준크기(0 dB)는 1로 정하였다. 그림 12는 배경잡음의 크기가

10dB이고 35번째 거리셀부터 70번째 셀까지에 30dB의 CNR을 갖는 클러터가 존재하는 경우에 대한 모의 실험을 통하여 여러가지 CFAR 처리기의 임계치를 그래프로 나타낸 것이다. 네개의 곡선 중 맨 아래 실선은 입력신호의 크기를 나타내며 나머지 곡선은 MXTM(7,9), TM(13,18) 및 OS(18)의 임계치를 나타낸다. 클러터경계부분에서 MXTM-CFAR 처리기는 OS-, TM-CFAR 처리기보다 더 높은 임계치를 갖는다. 임계치가 높다는 것은 오경보확률이 낮다는 것을 나타낸다. 물론 임계치가 낮아지면 검파확률은 높아지겠지만 과도한 오경보가 발생하므로 무의미하게 된다.

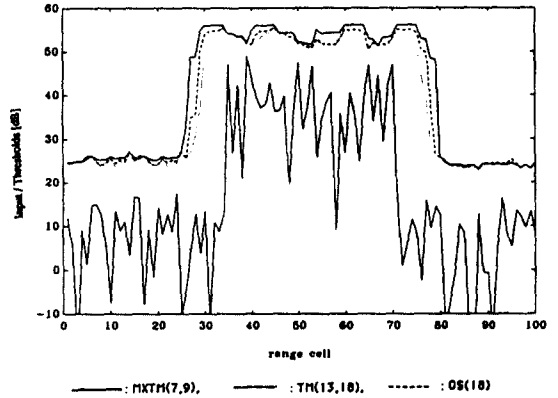


그림 12. 클러터경계에서 CFAR 처리기들의 임계치
 Fig. 12. Thresholds of CFAR processors at clutter edge.

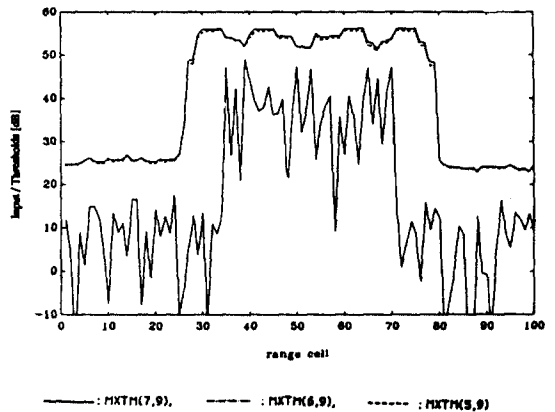


그림 13. 클러터 경계에서 MXTM-CFAR 처리기들의 임계치(H고정, 창크기변화)
 Fig. 13. Thresholds of MXTM CFAR processors at clutter edge. (fixed H, variable window size)

L, H의 변화에 따른 클러터경계에서의 MXTM-CFAR의 특성이 변화하게 되는데 그림 13와 14에 이 경우의 임계치를 보였다. 그림 13에서와 같이 H는 고정하고 summing window의 크기를 증가시키면, 균질상황과 간섭표적 상황에서는 좋은 성능을 갖지만 클러터경계에서는 임계치가 낮아져 오경보율을 제어하는 기능이 떨어짐을 알 수 있다.

그림 14에서는 summing window의 크기는 3으로 고정하고 H를 변화시킨 경우이다. H가 클수록 균질 상황과 클러터경계 상황에서의 오경보를 제어하는 기능은 좋아지지만, 간섭표적 제거에 어려움이 있게 된다. 클러터경계에서 약한 클러터부분은 필요 이상으로 임계치가 높아져 검파확률이 크게 저하되는데, H가 클수록 그 영향이 강하게 나타나고, 이 영향은 약한 클러터지역으로 확대된다. 그림 14에서 보듯이 강한 클러터에 인접하여 77번째 셀에 SNR 30 dB의 목표물이 위치한 경우 MXTM(6,8), MXTM(5,7)은 목표물을 검파하지만 MXTM(7,9)는 그림 8의 $k \leq 10$ 인 경우에 해당되어 높은 임계치 때문에 검파를 못하게 되는 경우이다.

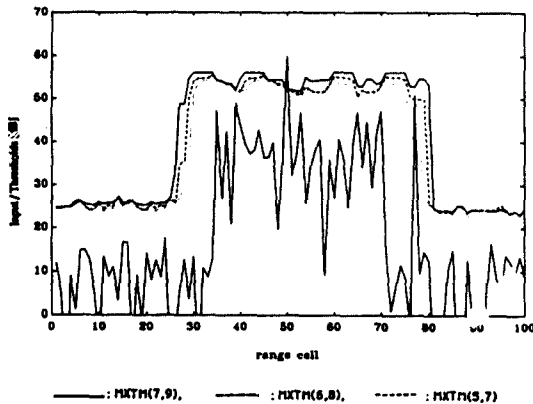


그림 14. 클러터 경계에서 MXTM-CFAR 처리기들의 임계치(H변화, 창크기=3)

Fig. 14. Thresholds of MXTM-CFAR processors at clutter edge. (variable H, window size=3)

3. 계산량의 비교

OS-, TM-CFAR 처리기는 ordering하는데 많은 계산시간을 요하기 때문에 사용에 제약이 따른다^[4]. 하지만 새로운 자료가 들어오고 이미 ordering이 되어 있는 자료중 하나가 나가는 경우에 슬라이딩 윈도우

의 개념을 사용하여 계산량을 고려한다. 이때의 OS-, TM-CFAR 처리기의 경우 계산량이 $\log R$ 에 비례한다^[13]. MXTM-CFAR 처리기는 기준창을 반으로 나누어 ordering을 하므로 하나의 창 의 계산량은 $\log(R/2)$ 에 비례한다. 앞, 뒤창에 대하여 각각 독립적으로 처리하므로 30% 정도의 시간이 단축된다.

V. 결 론

기존의 순서통계를 이용한 OS-, TM-CFAR 처리기는 대체적으로 고른 성능을 갖지만 클러터경계 상황에서 오경보율을 제어하는데 문제가 있고, ordering을 하는데 많은 처리시간을 요하기 때문에 사용에 제약이 따른다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 TM-CFAR와 GO-CFAR를 결합한 MXTM-CFAR 처리기를 제안하고, 중요한 레이다 상황에서의 MXTM-CFAR 처리기의 성능을 분석하고 기존의 다른 CFAR 처리기와 비교 하였다. MXTM-CFAR 처리기는 균질상황과 간섭표적이 존재하는 상황에서 OS-CFAR 처리기보다 좋은 성능을 갖고, TM-CFAR 처리기와는 거의 대등한 가운데 약간 성능이 뒤졌으나, 클러터경계 상황에서 OS-, TM-CFAR 처리기의 오경보율이 크게 증가하는 문제점을 개선시킴으로써 전체적으로 좋은 성능을 보였다. 또한 처리시간의 측면에서도 OS-, TM-CFAR 처리기보다 유리함을 보였다.

참 고 문 헌

1. N. Levanon, *Radar Principles*, John Wiley & Sons, 1988.
2. H. M. Finn and R. S. Johnson, "Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter-level estimates," *RCA Review*, vol.29, pp.414-464, Sept. 1968.
3. M. Weiss, "Analysis of some modified cell-averaging CFAR processors in multiple target situations," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-18, pp.108-113, Jan. 1982.
4. P. P. Gandhi and S. A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in nonhomogeneous back-

- ground," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-24, pp.427-445, July 1988.
5. V.G.Hansen, "Constant False Alarm Rate Processing in Search Radar," *Proceedings of IEE International Radar Conference. London*, pp. 325-332, 1973.
 6. G. V. Trunk, "Range resolution of targets using automatic detectors," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-14, pp.750-775, Sept. 1978.
 7. H. Rohling, "Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situation," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol. AES-19, pp.608-621, July 1983.
 8. J. A. Ritcey and J. L. Hines, "Performance of MAX family of order-statistics CFAR detectors," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-27, pp.48-57, Jan. 1991.
 9. A. R. Elias-Fuste, "Analysis of some modified ordered statistics CFAR:OSGO and OSSO CFAR," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-26, pp.197-202, June 1990.
 10. J. A. Ritcey and J. L. Hines, "Performance of max mean level detector with and without censoring," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-25, pp.213-222, Mar. 1989.
 11. V. K. Rohatgi, *An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics.*, Wiley, 1976.
 12. S. Blake, "OS-CFAR theory multiple targets and nonuniform clutter," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol.AES-24, pp.785-790, Nov. 1988.
 13. J. W. Hwang, *Analysis of TM-CFAR Processor in Radar Detection*, M. S. Thesis, Dep. E. E., KAIST, 1991.



金在埽(Jae Gon Kim) 정회원
1967년 7월 26일생
1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)
1992년 3월~현재 : 한국전자통신연구소(ETRI) 재직중



金應兌(Eung Tae Kim) 정회원
1969년 3월 15일생
1991년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
현재 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사과정 재학중



宋翊鎭(Lickho Song) 정회원
1960년 2월 20일생
1982년 2월 : 공학사(magna cum laude), 서울대학교 전자공학과
1984년 2월 : 공학석사, 서울대학교 대학원 전자공학과
1985년 8월 : M. S. E., Dept. of EE, Univ. of Pennsylvania

1987년 5월 : Ph. D., Dept. of EE, Univ. of Pennsylvania
1987년 3월~1988년 2월 : Bell Communications Research (Morristown) 연구원
1988년 3월~1991년 8월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 조교수
1989년 : IEEE 한국지회 재무
1990년, 1992년 : 한국 음향학회 편집위원
1991년 9월~현재 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 부교수
1989년 9월, 1990년 8월 : URSI 신진과학자상
1991년 11월 : 한국통신학회 학술상

※주관심분야 : 검파와 추정, 통계학적 신호(화상)처리, 배열신호처리, 스펙트럼분석, 통신이론.



金炯明(Hyung Myung Kim)정회원
1952년 10월 24일생
1974년 2월 : 서울대학교 공학사
1982년 4월 : Pittsburgh대학 전기공학과 석사
1985년 12월 : Pittsburgh대학 전기공학과 공학박사
1986년 4월~현재 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 조교수

※주관심분야 : 디지털신호와 영상처리, 다차원시스템 이론, 비디오신호 전송, 통신이론