論文92-29B-1-7

# Excision GO-CFAR 검출기

# (Excision GO-CFAR Detectors)

韓 鎔 仁,* 金 泰 正**

(Yong In Han and Taejeong Kim)

## 要 約

본 논문은 EXGO(excision greatest of)-CFAR(constant false alarm rate)라고 명명된 새로운 CFAR 검출기를 제안하고 그 성능을 분석하였다. 이는 간섭에 대해 좋은 성능을 보이는 EXCA(excision cell averaging)-CFAR 검출기와 클러터의 경계에서의 성능 감쇄가 적은 GO(greatest of)-CFAR 검출기가 결합된 형태이다. 성능 분석을 위해 검출확률과 오경보율을 위한 식들을 유도하고 구체적인 수치를 대입하여 계산한 후 다른 CFAR 검출기와 비교하였다. 분석 결과에 의하면 제안된 EXGO-CFAR 검출기는 균질 잡음 배경에서 EXCA-CFAR나 GO-CFAR와 마찬가지로 성능 손실이 적고 간섭이 존재하는 경우에도 EXCA-CFAR와 마찬가지로 성능이 우수하다. 또한 클러터 경계가 존재하는 경우에는 EXCA-CFAR에 비해 오경보율의 성능 감쇄가 비교적 적다.

## Abstract

This paper proposes and analyzes a new CFAR(Constant False Alarm Rate) detector called the EXGO(Excision Greatest Of)-CFAR. This is the combination of the EXCA(Excision Cell Averaging)-CFAR that shows a good performance under the influence of interferences and the GO(Greatest Of)-CFAR that fights well with clutter edges. For the performance analysis, the formulas for the detection probability and the false alarm probability are derived and computed, and the results are compared with other existing CFAR detectors. Our analysis shows that the proposed EXGO-CFAR considerably improves the false-alarm-rate performance of the EXCA-CFAR at clutter edges while maintaining the high detection probability performance of the EXCA-CFAR in the homogeneous and/or interference noise environment.

## I. 서 론

배경 잡음의 크기를 국부적으로 추정하여 검출문턱치를 적응적으로 결정함으로써 정상상태(stationarity)가 유지되지 않는 잡음 배경에서도 오경보율을 일정하게 유지할 수 있도록 하는 CFAR(constant false alarm rate) 검출기들에 대한 연구가 진행되어 왔다.[2]

*準會員, **正會員, 서울大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)
接受日字 : 1991年 10月 15日

최초로 제안된 CA(cell averaging)-CFAR 검출기는 검출 시점 근방의 표본들의 평균으로 잡음의 크기를 추정하며, 배경잡음이 가우시안이고 국부적으로 잡음의 균질성이 유지될 경우 최적의 검출기임이 알려져 있다.[2] 그러나, 클러터(clutter)의 경계나 간섭(interference)이 존재하는 경우 그 근방에서 잡음크기를 제대로 추정하지 못하여 심각한 성능 감쇄를

일으킬 수 있다. 즉, 클러터의 경계부근에서는 잡음 크기가 낮게 추정되어 오경보율이 급격히 증가할 수 있고, 목표물이 한개 이상 밀집되어 서로 간섭으로 작용하는 경우 잡음 크기가 지나치게 높게 추정되어, 검출확률의 큰 감쇄를 일으키게 된다. 이와 같은 문제점들을 극복하기 위해 여러가지 형태의 CFAR 검출기들이 제안되어 왔다. 이에는 GO(greatest of)-CFAR 검출기,[2][3] SO(smallest of)-CFAR 검출기,[2][3] OS(order statistics)-CFAR 검출기,[2][3][4][6] TMOS (trimmed mean order statistics)-CFAR 검출기[3] 와 EXCA(excision cell averaging)-CFAR 검출기[8][9][10] 등이 있다.

이들 중 EXCA-CFAR 검출기는 표본의 평균을 구하기 전에 미리 큰 표본들을 제거하여 간섭의 영향을 줄이려는 시도의 하나로, 표본중의 일부를 버린 나머지의 평균값을 취한다는 점에서 TMOS- CFAR 검출기와 유사하다. 그러나, TMOS-CFAR 검출기가 일정한 갯수의 표본을 버리는데 비해 EXCA-CFAR 검출기는 갯수에 무관히 문턱값 이상의 표본들을 모두 버린다는 점에서 차이가 있다.

Goldman과 Bar-David[7]의 분석에 의하면 EXCA-CFAR 검출기는 균질한 백색 가우시안 잡음 배경에서 절단 문턱치가 잡음의 평균 크기에 비해 대략 3배 이상이면, 절단에 의한 오경보율의 증가가 그리 크지 않고, 7배 이상에서는 절단의 영향을 거의 무시할 수 있다. 즉, 잡음의 평균 크기에 비해 절단 문턱치가 그리 높지 않아도, 균질한 잡음 배경에서 성능 감쇄를 거의 일으키지 않는다고 한다. 또한, Goldman [10]의 분석에 의하면, 간섭 신호의 갯수에 거의 무관하게 이의 영향을 효과적으로 제거한다. 그러나, EXCA-CFAR 검출기는 클러터 경계부분에서 CA-CFAR 검출기와 마찬가지로 좋지 않은 성능을 나타내게 된다.

간섭에 대한 EXCA-CFAR 검출기의 좋은 성능을 잃지 않으면서 클러터 경계에서의 성능을 개선하기 위한 방법으로, 절단장치와 GO-CFAR 검출기를 결합하는 것을 생각할 수 있다. GO-CFAR 검출기는 균질한 잡음 배경에서 CA-CFAR 검출기와 비슷한 성능을 보이므로, GO-CFAR 검출기 전단에서 미리 큰 표본을 제거하는 경우에도 EXCA-CFAR 검출기와 유사하게 좋은 성능을 보일 것이다. 또한, 절단문턱치가 적절히 정해진다면 클러터 경계에서의 GO-CFAR 검출기의 좋은 성능을 유지하면서, 간섭에 의한 영향도 배제할 수 있을 것이다. 이와 같은 검출기를 EXGO(excision greatest of)-CFAR 검출기로 부르기로 한다.

본 논문에서는 제안된 EXGO-CFAR 검출기의 성능을 균질 잡음과 클러터 경계와 간섭이 존재하는 등의 불균질 잡음 배경에서 수학적으로 분석한다.

## Ⅱ. Excision GO-CFAR 검출기

그림1에 일반적인 CFAR 검출기의 구조를 나타내었다. 수신된 신호는 자승검출기를 통과한 뒤 표본화되어 자리이동 레지스터(shift register)에 순차적으로 입력된다. 자리이동 레지스터의 각 요소들을 셀(cell)이라고 부른다. 그리고 표본화율이 적절히 선정되어 각 셀에 저장된 하나하나의 표본으로부터 목표물 검출이 가능하고, 각 표본들은 서로 독립이 된다고 가정한다. 각 셀의 표본들은 순차적으로 검출문턱치와 비교되어 목표물의 유무가 판정된다. 이때, 검출문턱치는 검사하는 셀(test cell) 전후의 셀의 표본들을 이용하여 셀마다 가변적으로 정해진다. 즉, 그림1에서 현재 검사하려는 셀의 표본 U에 대한 검출문턱치는 다음과 같은 과정을 거쳐 결정된다. 먼저 검사하는 셀 전후의 N개의 셀들을 포함하는 창에 대해 이 창내의 표본 $X_i$들이 CFAR 처리기에 입력된다. CFAR 처리기는 창내의 잡음의 평균 크기를 추정하여 출력한다. 이 추정치 Z에 미리정한 상수인 검출계수 T가 곱하여져 검출문턱치(TZ)가 결정된다. 요구되는 오경보확률은 검출계수를 변화시켜 조정되고, 검출확률은 검출계수와 신호대 잡음비의 함수로 나타난다.

잡음의 크기를 추정하는 방법에 따라 CFAR 처리기의 구조가 바뀌게 되고, 이에 따라 CFAR 검출기의 종류가 나눈다.[2,3] 주어진 환경에 적합한 CFAR 검출기를 설계하기 위해서는 요구되는 오경보확률의 상한과 반향 신호, 잡음이나 clutter의 특성, 간섭 신호의 수나 크기 등을 고려하여, 적절한 잡음 추정 방법을 갖는 CFAR 검출기를 선택해야 한다. 선택된 CFAR 검출기에 대해 오경보확률, 검출확률, 창의 크기와 신호대 잡음비등의 관계가 유도되면, 이러한 관계로부터 검출 계수나 창의 크기, 필요한 신호대 잡음비와 같은 파라미터들을 결정할 수 있다.

Excision CFAR 검출기의 CFAR 처리기에는 잡음을 추정할 때 지나치게 큰 표본이 포함되는 것을 막기 위해, 미리 정한 문턱치보다 큰 표본을 제거하는 절단기(excisor)가 사용된다.

그림2에 기존의 EXCA-CFAR 처리기를 도시하였고, 그림3에는 본 논문에서 제안된 EXGO-CFAR 처리기를 도시하였다. 이들은 절단기(excisor)를 제외하면 CA-CFAR와 GO-CFAR 검출기의 CFAR 처

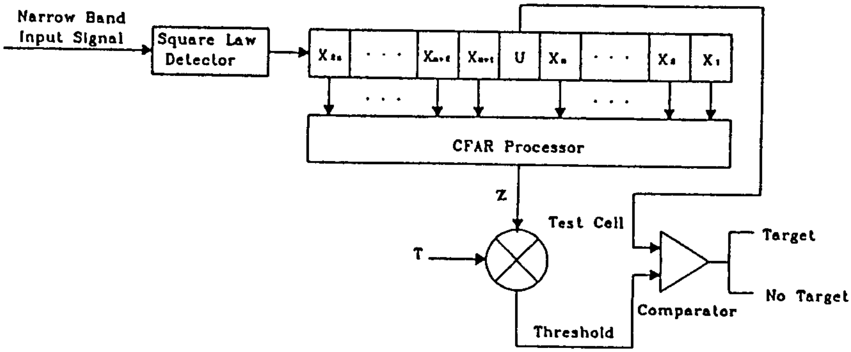



그림 1. CFAR 검출기의 구조
Fig. 1. The structure of a CFAR detector.

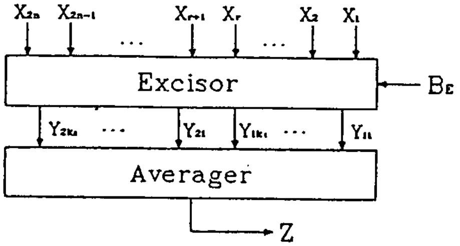



그림 2. Excision CA(EXCA)-CFAR 처리기
Fig. 2. Excision CA(EXCA)-CFAR processor.

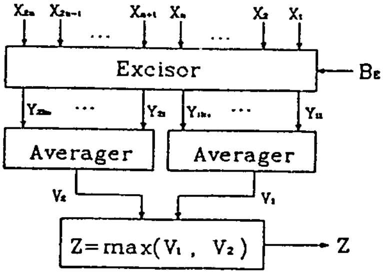



그림 3. Excision GO(EXGO)-CFAR 처리기
Fig. 3. Excision GO(EXGO)-CFAR processor.

리기와 동일한 형태가 된다. 그림2, 3에서 절단기는 입력 표본들 $\{X_i\}$중에서 미리 결정된 절단 문턱치 $B_E$를 넘는 표본들은 제거하고, 나머지 표본들을 출력한다. 그림2의 EXCA-CFAR 처리기는 절단기를 통과한 표본들 $\{Y_i\}$의 평균치를 출력 Z로 정한다.[7] 그림3의 EXGO-CFAR 처리기는 절단기를 통과한 테스트 셀 앞부분의 표본들 $\{Y_{1i}\}$와 뒷부분의 표본들 $\{Y_{2i}\}$의 각각의 평균 $V_1$과 $V_2$의 둘 중에서 최대치를 출력 Z로 정한다. 이와같이 결정된 CFAR 처리기의 출력 Z는 요구되는 오경보율에 맞도록 정해진 검출 계수와 곱하여져 검출문턱치로 사용된다.

## Ⅲ. 성능 분석

### 1. 기본적인 가정 및 모델

열잡음과 클러터를 포함하는 전체 잡음의 통계적 특성은 자승 포락선 검출기의 전단에서 협대역 가우시안 프로세스라고 가정한다. 자승 포락선 검출기를 거쳐 셀에 저장된 잡음 표본 $\{x_i\}$들은

$$f_{X_1}(x_1)=\frac{1}{2\sigma^2}\,exp\left[-\frac{x_1}{2\sigma^2}\right],\ x_1\geq 0. \qquad (1)$$

와 같이 지수분포를 갖는 확률 변수(random variable)가 된다.[8] 여기서, $\sigma^2$은 잡음전력을 나타낸다. 반향신호에 대해서 Swerling Case I모델[1][2]을 채택한다. 반향 신호에 대하여는 보다 현실적인 모델이 존재하지만 해석의 필요성 때문에 간단한 모델을 채택하기로 한다. 이 경우, 반향신호의 표본도 지수분포를 갖게 되고, 신호대 잡음비가 S이면 이의 확률 밀도함수는 (1)에서 $\sigma^2$대신에 $\sigma^2(1+S)$를 대입한 것과 같다.[8] 또한, 표본화율이 적절히 선정되어 각 셀의 잡음 표본들은 서로 독립으로 가정한다.

(1)의 분포를 갖는 표본이 절단기에 입력되었을 때, 통과한 표본들 $\{y_i\}$의 확률 밀도 함수는 아래와 같다.[7]

$$f_{Y_1}(y)=f_{X_1}(y\,|\,X_1\leq B_E)$$
$$=\frac{\alpha}{B_E[1-e^{-\alpha}]}\,exp\left[-\frac{\alpha y}{B_E}\right],\ 0\leq y\leq B_E \qquad (2)$$

여기서 $B_E$는 절단 문턱치이고, 절단 계수(excision coefficient) $\alpha$는 절단 문턱치와 평균 잡음 크기의 비로 $\alpha \equiv B_E/2\sigma^2$와 같이 정의된다. 또한, 하나의 표본 $x_i$가 절단기를 통과할 확률은 표본이 절단 문턱치보다 작을 확률과 같고, 아래와 같이 $\alpha$를 써서 표시할 수 있다.

$$P_E = 1 - e^{-\alpha} \quad (3)$$

각 표본들이 서로 독립이라는 가정으로 부터, K개의 표본 중에 k개가 절단기를 통과할 확률 $q(K, k; P_E)$를 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$q(K, k;\ P_E) = \begin{bmatrix} K \\ k \end{bmatrix} P_E^K (1-P_E)^{K-k} \quad (4)$$

주어진 모델의 경우 CFAR 검출기의 오경보확률($P_{fa}$)과 검출확률($P_d$)은 평균 잡음 크기의 추정치 Z의 moment generating function(mgf) $M_z(u)$와 검출 계수 T를 써서 아래와 같이 표시된다[3]

$$P_{fa} = M_z(T/2\sigma^2) \quad (5)$$

$$P_d = M_z\left[\frac{T}{2\sigma^2(1+S)}\right] \quad (6)$$

본 논문에서 다루고 있는 Excision CFAR 검출기의 경우 각 환경에 대해 절단기를 통과한 표본수에 대한 조건부 mgf를 구한 후 이 조건을 제거하여 $M_z(u)$를 얻을 수 있다. 예를 들어, 균질 잡음 환경에서의 EXCA-CFAR 검출기의 $M_z(u)$는

$$M_z(u) = \sum_{k=1}^{N} q(N, k) M_{z_k}(u) \quad (7)$$

와 같이 표시할 수 있다. 이 때 $M_{z_k}(u)$는 N개의 입력 표본 중 k개가 절단기를 통과했을 때의 Z의 조건부 mgf이다. 만약 통과되는 부분이 하나도 없을 경우, 검출기가 동작하지 않게 되는데 이렇게 될 확률은 대개의 경우 매우 작으므로 위의 식(7)에서 k=0인 경우는 제외된다[7] 계산의 편의를 위해 $Z_k$를 잡음의 평균 크기로 정규화한 $W_k(=Z_k/2\sigma^2)$를 도입한다. Goldman[7]의 결과를 이용하면, $W_k$의 mgf는

$$M_{W_k}(u;\ \alpha) = \left[\frac{k}{1-e^{-\alpha}} \frac{1-exp(u/k+1)]}{u+k}\right]^k \quad (8)$$

와 같이 나타낼 수 있다. $M_{z_k}(u)$는 식(8)을 이용하여,

$$M_{z_k}(u) = M_{W_k}(2\sigma^2 u | \alpha) \quad (9)$$

와 같이 표시됨을 쉽게 알 수 있다. 식(9)를 식(7)에 대입하면, $M_z(u)$를 얻을 수 있다.

2. 균질 잡음에서의 성능 분석

그림3에서 절단 장치를 통과한 표본들의 창의 전후 양편의 평균치 $V_1$과 $V_2$는 양편 각각에서 적어도 하나의 표본이 통과하였을 때,

$$V_{1k_1} = \frac{1}{k_1}\sum_{i=1}^{k_1} Y_{1i},\ V_{2k_2} = \frac{1}{k_2}\sum_{i=1}^{k_2} Y_{2i},\ k_1 \geq 1,\ k_2 \geq 1 \quad (10)$$

와 같이 표시된다. 이때, $k_1$과 $k_2$는 창 양편에서 절단기를 통과한 표본들의 갯수이고, $V_{1k_1} V_{2k_2}$는 그때의 조건부 평균치들이다. 어느 한편에서 통과한 표본이 하나도 없을 경우에는 다른 편의 평균치를 Z로 출력한다. 양편 모두 통과한 표본이 하나도 없을 경우 검출기는 판정을 보류하게 되나, 이러한 경우는 거의 발생하지 않는다고 보고 고려하지 않는다.

이때의 CFAR 처리기 출력 Z를 $Z_{k_1k_2}$와 같이 표시하면,

$$Z_{k_1k_2} = max(V_{1k_1}, V_{2k_2}) \quad (11)$$

와 같다. $Z_{k_1k_2}$의 확률 분포 함수 $F_{Z_{k_1k_2}}(z)$는 $V_{1k_1}$과 $V_{2k_2}$가 서로 통계적으로 독립이라는 사실과 (11)의 관계로 부터 이들의 확률 분포 함수 $F_{V_{1k_1}}(z)$와 $F_{V_{2k_2}}(z)$의 곱으로 표시된다. 따라서, $Z_{k_1k_2}$의 확률 밀도함수는

$$f_{Z_{k_1k_2}}(z) = f_{V_{1k_1}}(z) F_{V_{2k_2}}(z) + F_{V_{1k_1}}(z) f_{V_{2k_2}}(z) \quad (12)$$

와 같다. 여기서, $f_{V_{1k_1}}(z)$, $f_{V_{2k_2}}(z)$는 $V_{1k_1}$, $V_{2k_2}$의 확률밀도 함수이다. 여기서, $V_{1k_1}$, $V_{2k_2}$의 확률밀도 및 분포함수는 앞에서 정의한 $W_k$의 그것으로 나타낼 수 있다. $W_k$의 확률 밀도 함수는 Goldman등[7]이 식(8)의 mgf를 이용하여 구하였고, 확률 분포 함수도 이로부터 쉽게 유도할 수 있으므로, $f_{Z_{k_1k_2}}(z)$를 이들을 이용하여 나타낼 수 있다.

Z의 mgf $M_z$를 Ⅲ.1에서와 같이 조건부 mgf로 나타내면,

$$M_z(u) = \sum_{\substack{0 \leq k_1 \leq n \\ 0 \leq k_2 \leq n \\ k_1 \neq 0 \text{ or } k_2 \neq 0}} P(k_1, k_2) M_{Z_{k_1k_2}}(u) \quad (13)$$

와 같다. 이때, $p(k_1, k_2)$는 창의 전반부에서 $k_1$, 후반부에서 $k_2$개의 표본이 절단기를 통과할 확률로 식(4)를 이용하여

$$p(k_1, k_2) = q(n, k_1;\ P_E) q(n, k_2;\ P_E) \quad (14)$$

와 같이 표시할 수 있다. $M_{Z_{k_1k_2}}(u)$를 (12)의 확률밀도 함수를 푸리에 적분하여 구하면 아래와 같이 표시된다.

$$M_{z_{k_1k_2}}(u)=I(k_1, k_2)+I(k_2, k_1) \qquad (15)$$

여기서, $I(k_1, k_2)$는

$$I(k_1, k_2)=\frac{k_1^{k_1}}{(k_1-1)!}\sum_{n_1=0}^{k_1}\sum_{n_2=0}^{k_2}\left[\begin{matrix}k_1\\n_1\end{matrix}\right]\left[\begin{matrix}k_2\\n_2\end{matrix}\right](-1)^{n_1+n_2}$$
$$\times\left[\frac{e^{\alpha}}{e^{\alpha}-1}\right]^{k_1+k_2} e^{-\alpha n_2}exp[-(k_1+2\sigma^2u)M]$$
$$\times\left\{J_1(n_1, n_2)-\sum_{j=0}^{k_2-1}\frac{k_2^j}{j!}\ exp(\alpha n_2)J_2(n_1, n_2, j)\right\} \qquad (16)$$

이다. 여기서, $M=max\left[\frac{\alpha n_1}{k_1}, \frac{\alpha n_2}{k_2}\right]$이고,

$$J_1(n_1, n_2)=\sum_{l=0}^{k_1-1}\left[\begin{matrix}k_1-1\\l\end{matrix}\right]l!\left[M-\frac{n_1}{k_1}\alpha\right]^{k_1-l-1}$$
$$\times(k_1+2\sigma^2u)^{-(l+1)}, \qquad (17)$$

$$J_2(n_1, n_2, j)=exp(-k_2M)\sum_{l_1=0}^{k_1-1}\sum_{l_2=0}^{j}\left[\begin{matrix}k_1-1\\l_1\end{matrix}\right]\left[\begin{matrix}j\\l_2\end{matrix}\right]$$
$$\times\ (l_1+l_2)!\left[M-\frac{n^1}{k_1}\alpha\right]^{k_1-l_1-1}$$
$$\times\left[M-\frac{n_2}{k_2}\alpha\right]^{j-l_2}(k_1+k_2+2\sigma^2u)^{-(l_1+l_2+1)} \qquad (18)$$

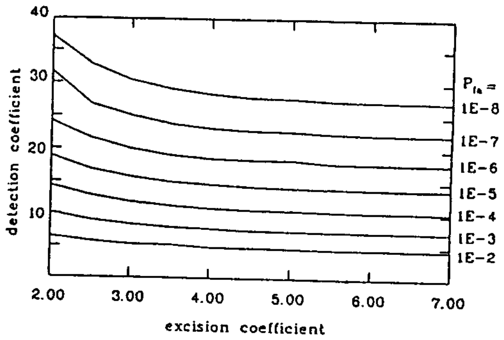
이다.

위에서 구한 $M_z$를 식(5)와 식(6)에 대입하여, 오경확보율과 검출확률을 구할 수 있다.

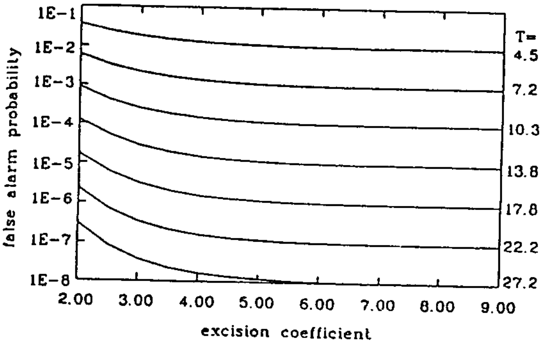
아래에서는 위에서 유도한 분석식에 구체적인 수치를 대입하여 성능을 평가하고, 기존의 검출기들의 성능과 비교한다.

그림4에 절단 계수의 변화에 따른 EXGO- CFAR 검출기의 특성 변화를 도시하였다. 그림4(a)는 오경확보율을 고정시키고, 전달 계수 $\alpha$를 변화시켰을 때의 검출 계수의 변화를 나타낸다. 이는 [7]의 EXCA-CFAR 검출기의 경우와 비슷한 모양을 가지며, EX-CA-CFAR 검출기와 마찬가지로 검출계수가 대략 3 이상이면, 같은 오경보확률을 갖는 GO-CFAR 검출기의 검출계수에 수렴하는 것을 알 수 있다. 그림 4(b)는 검출 문턱치를 고정하고, 절단 상수를 변화시켰을 때의 검출 계수의 변화를 나타낸다. 이 또한 [7]의 EXCA-CFAR 검출기와 유사한 형태를 갖는다. 즉, 절단 문턱치를 잡음 크기에 비해 대략 3배 이상으로만 하면, 절단에 의한 오경보확률의 증가가 매우 작게 된다.

그림4의 결과를 종합하면 잡음의 평균 크기에 비해 3내지 4배 이상되는 표본들을 절단하도록 절단 문턱치를 설정하면, 균질 잡음에서 절단을 하지 않을 경우에 비해 성능 변화가 그리 크지 않다고 할 수 있다. 이와 같이, 절단 문턱치를 적절히 설정하면 EXGO-CFAR 검출기도 EXCA-CFAR 검출기와 마찬가지로 균질 잡음에서 거의 성능 감쇄를 가져오지 않음을 알 수 있다.




(a)




(b)

그림 4. 절단 계수의 변화에 대한 균질 잡음에서의 EXGO-CFAR 검출기의 검출 계수 및 오경보율

Fig. 4. Detection coefficient and false alarm probability in a EXGO-CFAR detector as a function of excision coefficient.

3. 불균질 잡음에서의 성능 분석

그림5에 분석에 사용된 잡음 모델을 도시하였다.[3] 잡음 크기에 따라 셀을 3개의 class로 나누어, $X_1$에서 $X_{n-r}$의 class 1은 전력이 $\sigma_1^2$, $X_{n-r+1}$에서 $X_n$의 class 2는 $\sigma_2^2$, $X_{n+1}$에서 $X_N$의 class 3는 $\sigma_3^2$로 가정한다. class 1에서 $k_1$, class 2에서 $k_2$, class 3에서 $k_3$개의 표본들이 절단기를 통과하였다고 가정하고, 통과한 표본들을 각각 $\{Y_{1i}\}$, $\{Y_{2i}\}$와 $\{Y_{3i}\}$로 표시하면, 전후 양편의 평균치 $V_1$과 $V_2$는 아래와 같이 표시된다.

$$V_{1k_1k_2}=\frac{1}{k_1+k_2}\sum_{i=1}^{k_1}Y_{1i}+\frac{1}{k_1+k_2}\sum_{i=1}^{k_2}Y_{2i} \qquad (19)$$

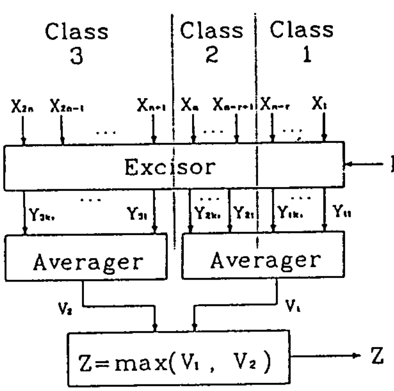



그림 5. EXGO-CFAR 검출기의 불균질 잡음 모델
Fig. 5. Model of nonhomogeneous background noise in the EXGO-CFAR detector.

여기서 첫째항과 둘째항을 각각 $B_{1k_1k_2}$과 $B_{2k_2k_2}$로 표시하기로 하자.

$$V_{2k_3}=\frac{1}{k_3}\sum_{i=1}^{k_3} Y_{3i} \tag{20}$$

각 표본이 독립이라고 가정하므로, $B_{1k_1k_2}$와 $B_{2k_1k_2}$ 도 서로 독립이고,따라서,$V_{1k_1k_2}$의 확률밀도함수는 $B_{1k_1k_2}$와 $B_{2k_1k_2}$의 확률밀도함수의 길쌈(convolution) 형태로 표시되어, 앞에서 언급한 $W_k$의 확률밀도 함수로부터 유도된다. 이를 다시 적분하여 $V_{1k_1k_2}$의 확률분포 함수를 구할 수 있다. $Z_{k_1k_2k_3}$의 확률밀도함수는

$$f_{Z_{k_1k_2k_3}}(z)=f_{V_{K_1K_2}}(z)\,F_{V_{K_3}}(z)+F_{V_{K_1K_2}}(z)\,f_{V_{K_3}}(z) \tag{21}$$

의 관계로부터 유도된다. $M_Z(u)$는

$$M_Z(u)=\sum_{\substack{0\le k_1\le n-r\\ 0\le k_2\le r\\ 0\le k_3\le n\\ k_1\ne 0 \text{ or } k_2\ne 0 \text{ or } k_3\ne 0}} p(k_1,k_2,k_3)\,M_{Z_{k_1k_2k_3}}(u) \tag{22}$$

와 같이 표시된다. 여기서,

$$p(k_1,k_2,k_3)=q(n-r,k_1;\,P_{E1})\,q(r,k_2;\,P_{E2})\,q(n,k_3;\,P_{E3}) \tag{23}$$

이고, $M_{Z_{k_1k_2k_3}}(u)$는 (21)의 확률 분포 함수를 푸리에 적분하여 유도된다. 최종 결과식은 매우 복잡한 형태이나 닫힌 형태(closed form)로 표시되어, 컴퓨터를 이용하여 실제 값을 계산할 수 있다. 최종 결과식은 위의 수식들을 사용하여 비교적 손쉽게 구할 수 있으며, 논문의 분량을 고려하여 제시하지 않았다.

## Ⅳ. 모의실험 및 검토

이 장에서는 위에서 유도한 분석식에 구체적인 수치를 대입하여 성능을 평가하고, 기존의 검출기들의 성능과 비교한다.

그림6은 클러터 경계에서의 EXGO-CFAR 검출기의 오경보확률의 변화를 EXCA-CFAR 검출기 및 기존의 다른 검출기들과 비교하여 나타내었다. x축은 클러터가 포함된 셀의 갯수이고 y축은 오경확보률을 나타낸다. 여기서 클러터 대 상존잡음의 전력비(CNR)는 10dB, 잡음 추정에 사용되는 셀의 갯수 N=20이고, 각 검출기는 균질 잡음 배경에서 오경보확률이 $10^{-5}$이 되도록 설계되었다. EXCA-CFAR 검출기와 EXGO-CFAR 검출기의 경우 절단문턱치가 클러터의 평균 크기의 4배로 정해졌다고 가정한다. 그림에서 클러터가 포함된 셀의 수가 10 이하인 경우 검사하는 셀은 상존 잡음만을 포함하는 표본이고, 10이상인 경우는 클러터를 포함한 셀로 가정한다. 그림에서 보듯이 클러터 경계가 한 가운데 셀에 오는 경우에 EXCA-CFAR 검출기는 오경보율의 상승이 다른 것들에 비해 더 커지는 것을 알 수 있다. 반면, EXGO-CEAR 검출기는 예상대로 오경보확률의 상승을 다른 검출기들에 비해 비교적 잘 억제하는 것을 알 수 있다.

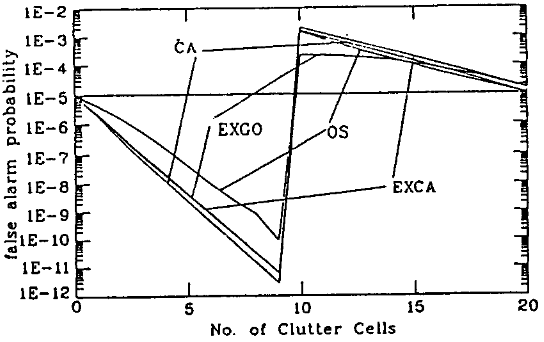
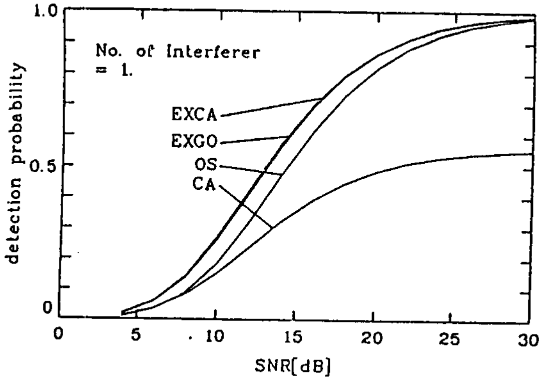
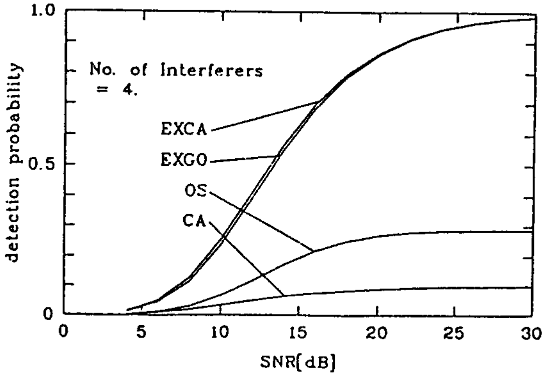



그림 6. 클러터 셀 갯수에 대한 오경보확률
Fig. 6. False alarm probabilities as a function of the number of clutter cells.

그림7은 목표물외의 다른 물체가 존재하여 생기는 간섭 신호에 대한 EXGO-CFAR 검출기의 검출 확률을 기존 검출기들과 비교한 것이다. 앞에서와 마찬가지로 N=20이고, 각 검출기는 균질 잡음 배경에서 오경보확률이 $10^{-5}$이 되도록 설계되었다. OS-CFAR 검출기에서는 제일 작은 크기로부터 17번째




(a)




(b)

그림 7. 목표물외의 물체에 의한 간섭 신호가 있을 때의 검출 확률

Fig. 7. Detection probability when multi-objects interferences exist.

크기의 셀을 사용하여 검출문턱치를 결정하였다[3] x축은 신호대 잡음비, y축은 검출확률이고, 간섭신호의 평균 크기가 반향 신호의 크기와 같은 경우를 고려하였다. 그림에서 보듯이 EXGO-CFAR 검출기는 EXCA-CFAR 검출기와 거의 대등한 성능을 보인다. 또한 EXCA-CFAR 검출기와 마찬가지로 간섭 신호의 수에 거의 무관한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

그림6, 그림7의 결과를 종합하면, 앞에서 예상 했던 바와 같이 EXGO-CFAR 검출기는 클러터 경계부분에서의 GO-CFAR 검출기의 장점과 간섭 신호가 존재하는 경우의 EXCA-CFAR 검출기의 장점을 모두 갖는 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 간섭 신호가 있을 때에 좋은 성능을 보이는 EXCA-CFAR 검출기의 클러터 경계에서의 성능을 향상시키기 위하여 EXCA-CFAR 검출기와 GO-CFAR 검출기를 결합한 EXGO-CFAR 검출기를 제안하고, 일반적인 가정하에서 그 성능을 분석하였다.

Ⅲ장에서 분석한 결과에 의하면, EXGO-CFAR 검출기는 EXCA-CFAR 검출기와 마찬가지로 균질 잡음 배경에서 성능 저하가 매우 작고, 간섭에 대한 성능도 EXCA-CFAR 검출기와 거의 같았다. 또한, EXCA-CFAR 검출기의 단점으로 드러난 클러터 경계에서의 오경보확률의 큰 상승이 GO-CFAR 검출기와의 결합으로 인해 $\frac{1}{10}$ 정도로 억압되는 것을 알 수 있었다.

EXCA-CFAR 검출기와 마찬가지로 EXGO-CFAR 검출기 또한 절단 문턱치와 검출 계수를 결정하는 방법을 정하는 것이 중요한 문제이다. 본 논문의 분석에서는 절단 문턱치와 평균 잡음 크기의 비, 즉, 절단 계수가 주어졌다고 가정하였다. 실제의 경우 절단 계수를 알기 위해서는 잡음의 평균 크기를 추정하는 장치가 필요하다. 정확한 추정치를 얻기 위해서는 복잡한 하드웨어가 필요하게 되고, 하드웨어의 복잡도를 줄이려고 하면, 정확한 추정이 힘들게 된다. 그러나, Ⅲ.2에서 분석한 바와 같이 절단 계수가 3내지 4이상 유지되기만 하면, 이의 변화에 의한 성능 변화가 그리 크지 않음을 보였으므로, 대개의 경우 간단한 하드웨어로도 좋은 성능을 유지할 수 있을 것으로 예상된다. 참고문헌[7]에서는 응용 분야에서 요구되는 정확도와 하드웨어의 복잡도에 따라 EXCA-CFAR 검출기에 적용될 수 있는 3가지 잡음 추정 방법을 제안하였다. 이러한 방법들은 EXGO-CFAR 검출기에도 그대로 적용될 수 있으므로 구체적인 응용 예에 따라, [7]에서 제안한 방법들 중 하나를 선택하여 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 參 考 文 獻


[1] H.L Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory Part I, III,* John Wiley and Sons, Inc., NY, 1968.

[2] G. Minkler, J. Minkler, *CFAR,* Magellan Book Company, FL, 1990.

[3] P.P. Gandhi, S.A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background," *IEEE Trans. on AES,* vol. 24, no. 4, July 1988, pp. 427-445.

[4] M. Barkat, S.D. Himonas, P.K. Varshney,

"CFAR detection for multiple target situation," *IEE Proc.* F, 1989, 136, (5), pp. 193-209.

[5] M. Weiss, "Analysis of Some Modified Cell-Averaging CFAR Processors in Multiple-Target Situation," *IEEE Trans. on AES*, vol. AES-18, no. 1 Jan. 1982, pp. 102-114.

[6] S. Blake, "OS-CFAR Theory for Multiple Taegets and Nonuniform Clutter," *IEEE Trans. on AES*, vol. 24, no. 6 Nov. 1988, pp. 785-790.

[7] H. Goldman, I. Bar-David, "Analysis and application of the excision CFAR detector," *IEE Proc. F*, 1988, 135, (6), pp. 563-575.

[8] E. Conte, M. Longo, M. Lops, "Analysis of the excision CFAR detector in the presence of fluctuating targets," *IEE Proc. F.* 1989, 136, (6), pp. 290-292.

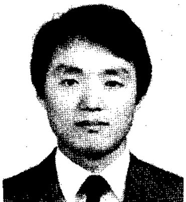
[9] A.R. Elias-Fuste, M.G. Mercado, E. Reyes Davo, "Analysis of Some Modified Ordered Statistic CFAR:OSGO and OSSO CFAR" *IEEE Trans. on AES*, vol. 26, no. 1 Jan. 1990, pp. 197-202.

[10] H. Goldman, "Performance of the excision CFAR detector in the presence of interferers," *IEE Proc. F*, 1990, 137, (3), pp. 163-171.

## 著 者 紹 介

**韓 鎔 仁**(準會員)

1967年 1月 2日生. 1989年 2月 서울대학교 전자공학과 공학사학위 취득. 1991年 2月 서울대학교 전자공학과 공학석사학위 취득. 1991年 3月～현재 서울대학교 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 영상처리, 검출 및 추정 등임.



**金 泰 正**(正會員)

1953年 12月 9日生. 1976年 2月 서울대학교 전자공학과 공학사학위 취득. 1978年 2月 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사학위 취득. 1986年 8月 The Univ. of Michigan 전기공학과 공학박사학위 취득. 1978年 3月～1981年 2月 한국통신 기술연구소 전임 연구원. 1986年 9月～1988年 7月 미국 AT & T Bell 연구소 연구원. 1988年 9年～현재 서울대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 영상통신, 신호처리, 정보이론 등임.