

# Weibull 환경에서의 적응 CFAR 검파기에 대한 연구

정회원 김정태\*, 서덕영\*\*

## Study on the CFAR Detectors under Weibull Clutter Environments

Chong-tae Kim\*, Doug-young Suh\*\* *Regular Member*

### 요 약

레이다시스템에서는 표적이 아닌 물체에서 반사되어 오는 원치않는 신호인 clutter가 오 경보를 일으키는 원인이 된다. 시간과 공간에 따라 변화하는 clutter 환경에서도 오경보율을 일정하게 유지하기 위해서 clutter의 통계적특성 변화에 민감하지 않는 CFAR(Constant False Alarm Rate) 검파기(Detector)를 사용한다. 본 논문에서는 Weibull 분포의 clutter 입력에 대하여 CFAR 기능을 수행하는 Modified CA CFAR 검파기를 제안하였다. 제안된 CFAR 검파기는 clutter 환경에 대응하는 적응 CFAR 검파기로서 Weibull의 unknown 변수에 대한 최적의 CFAR 성능을 제공한다. 또한, look-up table을 이용한 구조로의 구현이 가능함으로서 실시간 계산의 최소화도 가능하다. Simulation을 통하여 homogeneous 환경에서의 성능을 평가하였다.

### ABSTRACT

In radar systems clutter is defined as unwanted reflected signals from the bodies other than target and causes false alarm. For this reason the CFAR detector is used in radar systems to keep a constant false alarm rate under time-varying and space-varying clutter environments, which is insensitive to the statistical changes of clutter. In this paper the Modified CA CFAR detector is proposed for Weibull distributed clutter inputs to perform CAFR detection. The proposed CFAR detector provides an optimum performance against unknown parameters of Weibull distribution as the adaptive CFAR detector. Also, it can minimize the real-time computation by utilizing it in the look-up table implementation structure. Finally, its performance tested under the homogeneous environment through computer simulation.

### I. 서론

레이다 clutter는 표적이 아닌 물체로부터 반사되어 오는 원치않는 신호로 정의된다. 이러한 clutter는 표적의 탐지를 어렵게하는 요인이되므로 레이다신호의 처리에서는 이러한 clutter를 확률적 분포함수로 정의하고 모르는(unknown) 변수들인 clutter 분포함수의 변수들을 추정하게 된다. 그러나, 이같은 분포변

수들은 시간과 공간에 따라 변화하므로 항상 일정한 고정된 오경보율을 갖는 CFAR 검파기의 채용이 요구된다. 지금까지 Rayleigh clutter 모델에 대한 CFAR 검파기가 분석되고 있으나 최근 실지 수집된 clutter 데이터(data)의 분석결과 Log-Normal, Weibull, K-분포와 같은 non-Rayleigh 확률분포를 가진다는것이 발표되고있다. 특히 경작지나 풀숲, 바다표면과 기상 clutter는 Weibull 분포를 가진다는

\* 삼성전자 통신연구소(ctkim@telecom.samsung.ca.kr)

\*\* 경희대 전자정보학부

논문번호 : 97442-1204, 접수일자 : 1997년 12월 4일

관찰 결과를 여러논문에서 제시하고 있다.<sup>[1-5]</sup> Rayleigh 분포와는 달리 Weibull 분포는 두개의 변수에 의해 특성이 결정되므로 두 변수 Weibull clutter 환경에 대응하는 CFAR 방법이 요구된다.

본 논문에서는 Weibull 분포의 clutter에 대한 CFAR 알고리즘으로 Modified CA CFAR 검파기를 제안하고 공식(closed-form solution)을 유도하며<sup>[2]</sup>에서 제안한 Log-t CFAR 검파기와 비교분석하고자 한다. 일반적으로, 레이더의 수신신호는 clutter 신호, 수신기의 열(thermal) 잡음과 표적신호로 구성되나 열 잡음은 clutter 신호에 비해 현저히 작으므로 무시한다.

논문은 먼저 CFAR 검파기의 개념에 대하여 설명하고 Weibull clutter에 대한 Log-t CFAR의 원리를 서술한 다음 제안한 Modified CA CFAR 검파기에 대한 개념과 이 검파기의 Weibull 환경에 대한 통계적 특성을 유도분석하며 변수의 추정방법에 대하여 설명한다. 이어서 모의시험(simulation)을 통하여 제안된 CFAR 검파기와 Log-t CFAR 검파기의 성능을 비교분석 한 다음 결론을 맺는 순서로 되어있다.

## II. 본 론

### 1. CFAR 검파기의 개념

CFAR 검파기란 특정 셀에서의 신호의 존재 유무를 주변 셀들의 통계적 특성과 비교함으로써 결정하는 방법이라 하겠다. 이 특정 셀을 시험 셀(test cell)이라 정의한다. 주변 셀들은 참고(reference)셀이라 정의하며 시험 셀 주변환경의 통계적 특성을 산출하기 위하여 포함되는 셀들의 개수를 참고 창 의 크기(reference window size)라 일컫는다. CFAR의 개념은 아래 그림 1에 표현되어 있다.

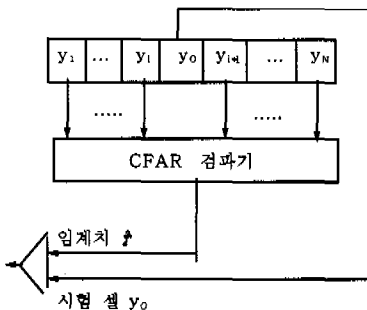


그림 1. CFAR 검파기의 개념  
Fig 1. CFAR detector concept

셀  $y_1, y_2, \dots, y_N$  을 참고 창 의 크기  $N$  안에 있는 서로 독립적인 clutter 셀이라 하고  $y_0$ 를 참고 셀과 독립적이면서 참고 창 의 중앙에 위치하는 시험 셀이라 한다면  $y_0$ 는 clutter 신호이거나 표적신호 둘 중 하나일 것이다. 만일 시험 셀  $y_0$ 의 값이 임계치  $\tau$ 보다 크다면 표적이 존재한다는 가설이 성립된다. 여기에서 임계치란 표적으로 분류되는 신호의 최소값으로 정의되며 그 값은 시험 셀 주변에 존재하는 참고 셀  $N$ 의 함수로서 결정된다. 만일 임계치의 값이 고정되어 있지 않고 주위환경에 따라 변화 한다면 주변 clutter 환경의 변화에 관계없이 항상 고정된 오경보율을 유지하는 적응 CFAR 검파기가 될 것이다. 오경보율이란 표적이 없는 특정 시험 셀이 주어진 임계치를 넘을 확률로 정의된다.

### 2. Log-t CFAR

Log-t CFAR 검파기는 통계학의 t-statistic을 이용하는 방법이다. 참고 셀의 크기  $N$  안에 있는 Weibull clutter 입력이  $x_1, x_2, \dots, x_N$  이라면 시험 셀  $x_0$ 의 t-statistic은 다음과 같이 표현된다<sup>[2]</sup>

$$T = \frac{y_0 - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad (1)$$

where  $y_0 = \ln(x_0)$ ,  $y_i = \ln(x_i)$

$$\hat{\mu} : \text{평균} \left( = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right)$$

$$\hat{\sigma} : \text{표준편차} \left( = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{\mu})^2} \right)$$

시험 셀  $y_0$ 의 표적신호의 존재유무는 어떤 고정된 임계값  $\tau$ 와 비교함으로써 결정된다. 즉, 시험 셀  $y_0$ 를 Weibull 입력에 따라 변화하는  $\tau\hat{\sigma} + \hat{\mu}$ 와 비교함을 나타낸다.

Weibull 분포 입력  $x$ , 데이터는  $x_i = bE^{1/c}$  변환을 이용해서 생성될 수 있다. 변수  $b$ 와  $c$ 는 Weibull 분포의 scale 과 형태(shape) 변수이며  $E$ 는  $f_E(x) = e^{-x}$ ,  $x \geq 0$ 의 분포함수를 갖는 지수확률변수이다.

이를 시험 셀  $x_0$ 의 함수로 다시 쓰면,

$$E = (x_0/b)^c \quad (2)$$

그러나 Weibull 변수  $b$ 와  $c$ 의 maximum like-

likelihood(ML) 추정기는 계산하기가 매우 어려우므로 [6] 아래에 주어진 Menon의 변수 추정법[7]을 사용하면  $\hat{\delta}$ 와  $\hat{c}$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$\hat{\delta} = \exp \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) + \frac{r}{\hat{c}} \right]$$

$$\hat{c} = \left[ \frac{6N}{\pi^2(N-1)} \left\{ \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln^2(x_i) \right) - \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \right)^2 \right\} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

where  $r$  : Euler 상수(=0.57721256)

결국 Log-t CFAR는 입력  $x_i$ 에 대한 고정임계치  $\tau$ 와 식(2)의 E의 값을 비교하여 신호를 검출하는 검파기이다. 이를 수식으로 표현하면

$$(x_0 / \hat{\delta})^{\hat{c}} > \tau'$$

$$\ln(x_0) > \frac{\ln(\tau')}{\hat{c}} + \ln(\hat{\delta})$$

$$y_0 > \frac{\tau}{\hat{c}} + \ln(\hat{\delta}) \quad (4)$$

where  $\tau = \ln(\tau')$

Log-t CFAR 검파기는 Log-Normal 분포의 clutter 환경에서는 가 정규분포가 됨으로서 고정 임계치에 대한 최적의 CFAR 검파 역할을 수행하지만 Weibull clutter환경에서는 고정 임계치를 사용함으로써 검파의 역할은 수행하나 최적(optimum)의 CFAR는 될 수 없다 왜냐하면 Weibull 분포는 c의 값에 따라 분포의 형태가 변화하지만 이 검파기는 c의 변화에도 관계없이 고정된 임계치  $\tau$ 를 사용하기 때문이다. Weibull 환경에서는 c변화에 따른 적응 임계치를 적용하지 않으면 CFAR의 조건을 만족하기 어렵다.

또한, Log-t CFAR 검파기는 입력을 로그리즘으로 변환한후 이의 평균  $\bar{y}$ 와 표준편차  $\hat{\sigma}$ 의 직접 계산을 수행하는 구조로 구현됨으로써 많은 양의 데이터의 실시간 계산이 요구된다.

### 3. Modified CA CFAR

#### 3.1 Modified CA CFAR의 개념

Modified CA CFAR 검파기의 구조는 아래 그림과 같다.

입력  $x_i$ 에 log를 취하는 로그리즘(logarithmic) 변환기, 시험 셀  $y_0$ 로부터 참고 셀의 평균값  $\bar{y}$ 을

감산하는 Cell Average (CA) CFAR와 log 신호  $y_0$

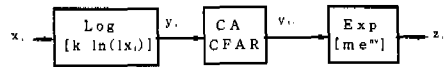


그림 2. Modified CA CFAR의 구조  
Fig 2. Modified CA CFAR structure

를 다시 linear 신호  $z_0$ 로 변환하는 지수변환기로 구성되어 있으며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y_i = k \ln(lx_i) \quad (5)$$

$$v_0 = y_0 - \bar{y} \quad (6)$$

$$z_0 = m e^{m v_0} \quad (7)$$

여기에서 k, l, m과 n은 알고리즘의 설계과정에서 발생할수 있는 overflow등의 방지를 위한 계산상의 편리함을 위하여 정해지는 상수로서 경우에 따라 각각 1로 정의할수도 있다.

#### 3.2 Modified CA CFAR의 분석

먼저, CA CFAR는 log 변환된 신호로 부터 참고 셀들의 산술적 평균값(Mean)  $\bar{y}$ 을 계산하여 시험 셀  $y_0$ 로부터 감산하는 역할을 수행하며 이의 구조는 아래에서 보여주고 있다.

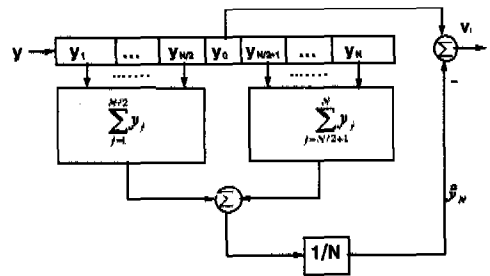


그림 3. CA CFAR의 구조  
Fig 3. CA CFAR structure

만일 참고 셀 N이 충분히 크다면 추정 평균값  $\bar{y}$ 은 N이 무한한 이상적(ideal) 평균값에 접근하나, N이 너무 크면 알고리즘의 실시간처리가 불가능하게 된다.

입력  $x_i$ 가 식(8)로 주어지는 확률밀도 함수  $f_x(x)$ 를 가지는 Weibull 분포의 clutter[1,9]라 한다면 log 변환후의 데이터  $y_i$ 도 역시 Weibull 분포를 가진다.

$$f_x(x) = \begin{cases} \left(\frac{c}{b}\right)\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right\}, & x > 0, b > 0, c > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Weibull 분포는 변수 b와 c에 의해 분포의 통계적 특성이 결정되는 두 변수 분포이며 평균(mean)과 분산(variance)은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} m_x &= b\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right) \\ \sigma_x^2 &= E[x^2] - m_x^2 \\ &= b^2\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right] \end{aligned} \quad (9)$$

where  $\Gamma(\cdot)$ : 감마함수

두 변수 b와 c의 변화에 대한 Weibull 밀도함수  $f_x(x)$ 의 그림이 그림 4와 5에 주어졌다. 그림에서 형태 변수 c의 값이 작을수록 분포의 뒀 정도가 커짐을 볼 수 있다. 이는 즉, 작은 c에서는 큰 분산 값으로 인하여 clutter 신호의 변화폭이 심하다는 것을 말해주고 있다.

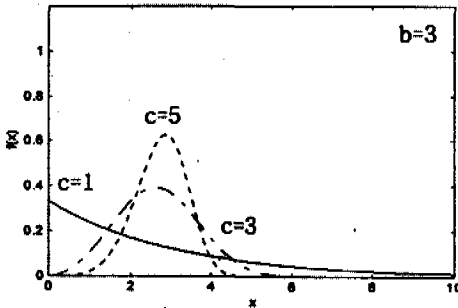


그림 4. c' 값에 따른 Weibull 분포의 형태  
Fig 4. Shape of Weibull distribution for different c values

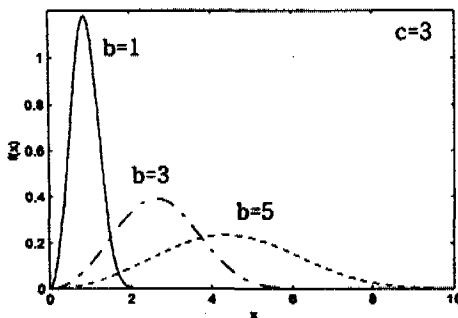


그림 5. b' 값에 따른 Weibull 분포의 형태  
Fig 5. Shape of Weibull distribution for different b values

그럼 Weibull 입력  $x_i$ 에 대한 Modified CA CFAR의 출력  $z_i$ 의 통계적 특성을 살펴보자

먼저 CA-CFAR는 참고 셀 N으로부터 주변 clutter 환경의 평균값을 계산하여 시험 셀로부터 제거하는 평균 감산기(mean subtractor)이다. 만일 N이 무한하다면 clutter 분포의 이상적 평균값  $\bar{y}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \int_0^{\infty} k \ln(x) f_x(x) dx \\ &= \int_0^{\infty} k \ln(x) \left(\frac{c}{b}\right)\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right\} dx \\ &= k \ln(b) - \frac{k\gamma}{c} \end{aligned} \quad (10)$$

where  $\gamma$ : Euler 상수

(= 0.57721256)

그러므로, N이 무한한 이상적인 CA CFAR인 경우 출력  $v_i$ 는 아래식으로 표현된다.

$$v_i = y_i - \bar{y} \quad (11)$$

지수변환기는 log 신호  $v_i$ 로부터 linear 신호  $z_i$ 를 복원하는 기능을 수행한다.

$$\begin{aligned} z_i &= m \exp\left\{y_i - \hat{y}\right\} \\ &= m \exp\left\{n\left[k \ln(x_i) - \hat{y}\right]\right\} \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)에 식 (10)을 대입하면 이상적인 Modified CA CFAR의 출력  $z_i$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$z_i = m \left(\frac{x_i}{b}\right)^{nk} \exp\left\{\frac{nk\gamma}{c}\right\} \quad (13)$$

위 식에서 k와 n은 계산상의 overflow, underflow 또는 bipolar 수치의 생성을 방지하기 위한 상수이지만  $nk \equiv 1$ 이 되어야만 로그신호로부터 선형신호의 복원이 가능하므로 식 (13)을 다시 쓰면,

$$z_i = m \left(\frac{x_i}{b}\right) \exp\left\{\frac{\gamma}{c}\right\} \quad (13a)$$

식 (13a)는 Weibull 분포의 clutter 환경에서 참고

셀의 크기  $N$ 이 무한한 이상적인 Modified CA CFAR 검파기의 입력과 출력의 관계를 표현하고 있다. 이로부터 출력  $z_i$ 는 Weibull 입력  $x_i$ 의  $b$ 와  $c$ 의 두 매개변수 값에 좌우된다는 것을 알 수 있다. 또한,  $x_i$ 와 출력  $z_i$ 는 선형적인 관계를 가진다는 것도 알 수 있다. 이는 즉, 입력  $x_i$ 가 Weibull 분포이면 출력  $z_i$ 도 Weibull 분포라는 것을 말해주고 있다. Weibull 분포  $z_i$ 의 평균과 분산은 아래식으로 주어진다.

평균 :

$$E\{z_i\} = \int_0^{\infty} m \left( \frac{x_i}{b} \right) \exp\left\{ -\frac{y}{c} \right\} f_x(x_i) dx_i$$

$$= m e^{\frac{1}{c}} \left[ \int_0^{\infty} \xi^{\frac{1}{c}} e^{-\xi} d\xi \right]$$

$$= m e^{\frac{1}{c}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right) \quad (14)$$

: where  $f_x(x_i)$  : Weibull 확률밀도함수

$\Gamma(\cdot)$  : Gamma 함수

분산 :

$$\sigma_i^2 = E\{z_i^2\} - (E\{z_i\})^2$$

$$= m^2 e^{\frac{2}{c}} \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right) \right] \quad (15)$$

### 3.3 변수의 추정식

앞에서 Weibull 분포의 clutter 입력에 대하여 참고 셀의 크기가 무한한 이상적인 Modified CA CFAR 검파기의 출력 특성을 살펴보았다. 식 (14)과 (15)에서 출력  $z_i$ 의 통계적 특성은 오직 변수  $c$ 에 의해 변화됨을 볼 수 있다. 그러므로 Weibull 환경에서 신호의 검파를 위한 CFAR 검파기는 CFAR의 성능을 만족하기 위하여 입력 clutter의 unknown 변수  $c$ 의 정확한 추정이 필요하다. 그러나 CFAR 검파기는 유한한 크기의 참고 셀을 이용하여  $c$ 의 추정값  $\hat{c}$ 을 산출하는 구조를 가진다. 결과적으로, 추정값  $\hat{c}$ 은 시험 셀의 신호 존재유무를 위해 비교되는 적절한 값의 임계치를 결정하기 때문에 정확한  $\hat{c}$ 값의 예측은 필수라고 하겠다.

식(9)로부터 Weibull 형태변수  $c$ 는 clutter 입력  $x_i$ 와 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$\frac{E\{x_i\}}{[E\{x_i^2\}]^{1/2}} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right)\right]^{1/2}} \quad (16)$$

즉, 입력 clutter의 평균값과 2차 모멘트의 제곱근의 비율로 Weibull 형태변수  $c$ 를 계산할 수 있다는 사실을 보여준다. 이를 유한한 참고 셀의 크기  $N$ 으로 근사화하면 다음과 같다.

$$E\{x_i\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$[E\{x_i^2\}]^{1/2} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

식(16)와 (17)의 결과로부터 clutter의 형태 변수의 추정값  $\hat{c}$ 은 참고 셀의 크기  $N$ 에 따라 변화됨을 볼 수 있다.

$$\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i}{\left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right]^{1/2}} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{c}}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\hat{c}}\right)\right]^{1/2}} \quad (18)$$

그러므로, CFAR 검파기의 성능과 실시간 계산을 만족하는 적절한 크기  $N$ 의 선택이 요구된다.

CFAR 검파기의 오경보율 (PFA)이란 신호가 존재하지 않는 시험셀이 주어진 임계치  $\gamma$ 을 넘을 확률로 정의된다.

$$P_{FA} = \int_{\gamma}^{\infty} f_z(z) dz$$

$$= 1 - \int_0^{\gamma} f_z(z) dz \quad (19)$$

Modified CA CFAR 검파기의 출력  $z_i$ 는 Weibull 입력  $x_i$ 의 선형함수 이므로,  $z_i$ 의 확률밀도함수  $f_z(z)$ 는  $f_x(x)$ 의 선형함수로 주어진다.[8].

$$f_z(z) = \frac{b}{m} e^{-\frac{z}{m}} f_x(x)$$

$$= \frac{c}{m} e^{-\frac{z}{m}} \left( \frac{ze^{-\frac{z}{m}}}{m} \right)^{c-1} \exp\left\{ -\left( \frac{ze^{-\frac{z}{m}}}{m} \right)^c \right\} \quad (20)$$

식 (19)와 (20)로부터 PFA와  $\gamma$ 의 관계는 다음

과 같이 정리된다.

$$P_{FA} = \exp \left\{ - \left( \frac{\hat{T} e^{-1/c}}{m} \right)^c \right\} \quad (21)$$

따라서, CFAR 검파기가 요구하는 오경보율 PFA를 만족하기 위하여 임계치  $\hat{T}$ 의 값은 입력 clutter의 변수  $c$  값에 따라 변동되어야 한다. 변수  $c$ 의 추정값  $\hat{c}$ 은 식 (18)에서 계산되므로 이를 식 (21)에  $c$  대신 대입하면 어떤 환경에서도 고정된 PFA를 만족하는 임계치  $\hat{T}$ 의 추정값을 얻을 수 있다.

결과적으로, Modified CA CFAR 검파기는 주변 Weibull clutter 환경에 따라 임계치를 변화하는 적응 CFAR 검파기로서 참고 셀의 크기  $N$ 의 선택에 따라 최적의 CFAR를 제공한다. 또한, 검파기의 구현은 식 (16)과 (21)을 먼저 계산 look-up table에 저장하여 입력되는 Weibull clutter에 대하여 식 (18)을 이용하여 추정값  $\hat{c}$ 를 읽은 다음  $\hat{c}$ 에 대하여 주어진 오경보율을 만족하는  $\hat{T}$ 를 읽는 구조로 구현할 수 있으므로 실시간 계산의 최소화가 가능하다.

### III. 모의 시험

Homogeneous Weibull clutter 환경에서 제안된 modified CA CFAR 검파기의 성능을 모의 시험하였다.

식(16)에 주어진 Weibull 분포의 형태변수  $c$ 값의 변화에 대한 입력 clutter 신호의 비율을 계산한 결과가 아래 그림에 나타나 있다. 보는 바와 같이 입력 샘플(sample)  $x_i$ 의 평균값과 2차 모멘트의 제곱근의 비율은  $c$ 값이 커질수록 증가폭이 둔화되어 그 비율이 1에 접근하는 완만한 곡선의 형태를 보여준다.

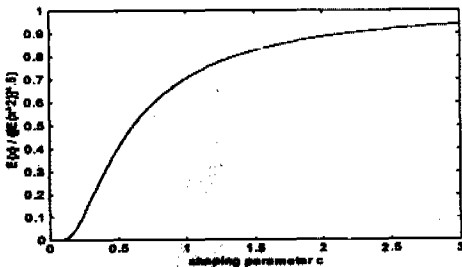


그림 6. 입력 샘플 비율에 의한  $c$  값의 변화표  
Fig 6. C-value variation by input sample ratio

실제 레이더에 사용하는  $c$ 값의 범위를  $c$  값이 급격히 변화하는 0.3~2.0정도로 가정하므로[9] 정확한  $c$ 값의 추정은 CFAR의 성능, 즉 변화하는 외부 환경에 대해서도 고정된 오경보율을 제공하는 임계치의 산출에 필수적이라 하겠다. 그림 6의 값을 이용하여 참고 셀의 크기  $N$  변화에 대하여 추정되는  $\hat{c}$ 의 값을 산출하였다. 그 결과가 그림 7의 그래프로 주어졌다.  $c$ 의 값이 0.8, 2.0, 2.4인 Weibull clutter 샘플을 입력하면서  $N$ 의 크기를 5~150으로 변화하였다.  $N$ 이 아주 작으면  $c$ 의 추정에 비교적 큰 오차를 초래하지만  $N=10$ 이상에서는 실제값에 가깝게 접근하고 있음을 보여주고 있다.

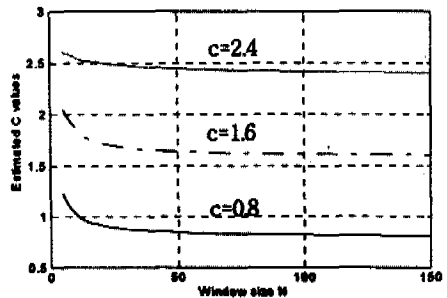


그림 7.  $N$  변화에 대한  $c$  추정값의 변화  
Fig 7. Estimated C vs. window size N

다음, 식 (21)에 주어진 변수  $c$ 의 변화에 대하여 고정 오경보율을 제공하는 임계치의 변화를 시험하였다. 그림 4에서 Weibull 분포의  $c$ 값이 증가할수록 분포형태는 언덕형태에서 산봉우리형태로 변화하는 것을 보았다. 그러므로, 일정한 오경보율을 만족하기 위하여  $c$ 값이 커질수록 임계치의 값은 작아져야 하고 또한 같은  $c$ 값에 대해서도 더 작은 오경보율을 제공하기 위하여 임계치의 값은 커져야 한다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 그림 8에 표시되어 있다.

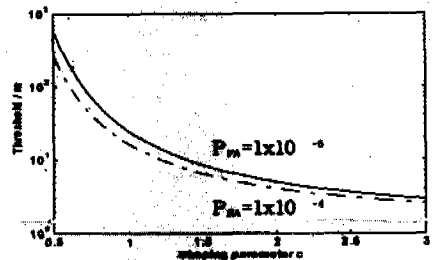


그림 8. 고정 PFA에서  $c$ 값의 변화에 대한 임계치  $\hat{T}$  값의 변화  
Fig 8. Threshold vs. C at fixed PFA

c의 값이 0.8 과 2.4인 Weibull clutter 환경에서 PFA= $1 \times 10^{-4}$  을 만족하기 위한 참고 셀의 크기 N 을 비교하기 위하여 N의 크기에 따라 계산된 Modified CA CFAR와 Log-t CFAR의 오경보율이 그림 9와 10에 주어져 있다. 참고 셀의 크기 N이 증가할수록 Modified CA CFAR는 작거나 큰 c값에서도 Log-t CFAR에 비해 비교적 빠르게 원하는 오경보율에 접근함을 볼 수 있다. 즉, Log-t CFAR에 비해 작은 N에서도 원하는 CFAR 성능을 제공하는 것을 볼 수 있다.

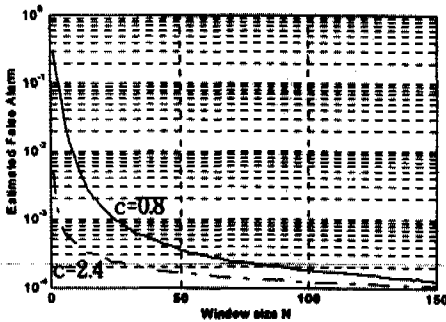


그림 9. 추정된 c 값에 의한 오경보율의 변화  
Fig. 9 False alarm vs. estimated C

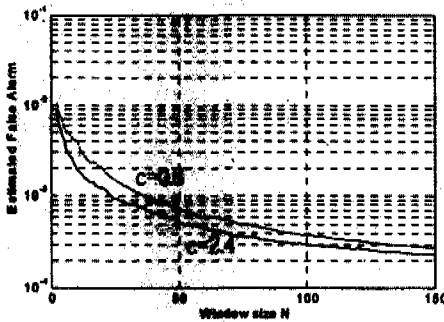


그림 10. Log-t CFAR의 오경보율  
Fig 10. Probability of False Alarm of Log-t CFAR

#### IV. 결 론

Modified CA CFAR 검파기에 대하여 수식적으로 전개하면서 설명하였다. 이 검파기는 시간과 공간에 따라 변화하는 Weibull clutter 환경에서도 항상 고정 오경보율을 제공하는 적응 CFAR 검파기로서 homogeneous 환경에서는 Log-t CFAR에 비해 작은 참고 셀의 크기에서도 최적의 CFAR 결과를 제공하였다. 또한, look-up table 구조로 구현될 수

있으므로 많은 양의 데이터를 처리하는 레이다 시스템에서 실시간 계산의 최소화가 가능한 장점도 가지고 있다.

끝으로, 제안된 Modified CA CFAR 검파기에 대한 연구가 계속 진행되고 있으며 연구 결과가 정리되는 대로 발표하도록 하겠다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Sekine, T. Musha, Y. Tomita, T. Hagsawa, E. Kiuchi, "Weibull-Distributed Ground Clutter in the Frequency Domain," Transactions of IECE of Japan, Vol. E 68, No. 6. pp.365-370, Jun. 1985.
- [2] P.P. Gandhi, E. Cardona, L. Baker, "CFAR Signal Detection in Nonhomogeneous Weibull Clutter and Interference," IEEE International RadV. References ar Conference Proceedings, pp.583-588, May 1995.
- [3] R. Rifkin, "Analysis of CFAR Performane in Weibull Clutter," IEEE Transactions on Aerospace and Electronis Systems, Vol. 30, No. 2, pp.315-329, Apr. 1994.
- [4] Y. Tomita, T. Hagsawa, T. Irabu, E. Kiuchi, "Weibull Distributed Sea Clutter" IEE Proceedings, 130, Pt. F, p.146, Aug.. 1983.
- [5] V. Anastassopoulos, G. Lampropoulos, "Optimal CFAR Detection in Weibull clutter," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, Vol. 31, No. 1, pp.52~64, Jan. 1995
- [6] N. L. Johnston, S. Kotz, "Continuous Univariate Distributions-1," Wiley , 1970
- [7] M. V. Menon, "Estimation of the shape and scale parameters of the Weibull Distribution," Technometrics, Vol.5, No.2, pp. 175-182, May, 1963
- [8] A. Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic Processes," McGraw Hill, 1965
- [9] D.A shnidman, "Radar Detection Probabilities and Their Calculation," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 31, No. 3, pp.928~950, Jul. 1995.

