

Weibull 분포 레이더 클러터의 근사적 모델링 기법

Approximated Modeling Technique of Weibull Distributed Radar Clutter

남 창 호 · 나 성 웅*

Chang-Ho Nam · Sung-Woong Ra*

요 약

클러터는 레이더로 수신되는 불필요한 신호로 표적 탐지에 영향을 준다. 레이더 클러터는 진폭 분포, 주파수 스펙트럼 등과 같은 특성으로 정의되며, 이러한 특성을 충분히 고려하여 클러터 모델링 및 신호 생성이 되어야 한다. 본 논문에서는 다양한 클러터의 모델링에 광범위하게 사용되는 Weibull 분포 함수를 균일 분포 함수를 이용하여 단순화한 근사적 모델링 기법에 대하여 제안한다. 제안된 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 데이터가 원 Weibull 확률 밀도 함수를 만족하며, 생성 시간은 약 20 % 감소함을 실험 결과를 통하여 입증한다.

Abstract

Clutters are all unwanted radar returns to affect on detection of targets. Radar clutter is characterized by amplitude distributions, spectrum, etc. Clutter is modelled with considering these kinds of characteristics. In this paper, a Weibull distribution function approximated by uniform distribution function is suggested. Weibull distribution function is used to model the various clutters. This paper shows that the data generated by the approximated solution of Weibull distribution function satisfy the Weibull probability density function. This paper shows that the data generation time of approximated Weibull distribution function solution is reduced by 20 % compared with the generation time of original Weibull probability density function.

Key words : Radar Clutter, Amplitude Distributions, Weibull Distributions, False Alarm Rate

I. 서 론

클러터는 레이더로 수신되는 불필요한 신호로 정의된다^{[1],[2]}. 클러터는 반사되는 장소 관점에서 지상에서 반사되는 지면 클러터(산, 나무 등)와 바다에서 반사되는 해면 클러터(파도), 대기에서 반사되는 기상 클러터(강우, 눈 등) 등으로 분류된다. 종래의 레이더에서 클러터 모델은 전력에 대해서는 Chi-square 밀도 함수, 진폭에 대해서는 Rayleigh 밀도 함수로 모델링되었다^{[3],[4]}. Trunk와 George^[5]는 고 분해능을

요구하는 현대 레이더에서는 이러한 모델이 적합하지 않음을 제기하였다. 그 이유는 분해능 셀이 작아짐에 따라 종래의 평균값이 영인 가우시안 클러터(zero mean Gaussian clutter) 모델을 적용하면 클러터 잔존량이 많아지기 때문이었다. 이러한 클러터 잔존 신호는 허위 표적 발생의 원인이 되므로, 허위표적 발생 억제를 위해 새로운 클러터 분포 모델이 필요하게 되었다. 이러한 점을 보완하기 위해 Weibull 분포와 로그-노멀(Log-normal) 분포 등을 갖는 클러터 모델에 대한 연구가 진행되었다^{[6]~[9]}. 로그-노멀 혹

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*충남대학교 전기정보통신공학부(Division of Electrical and Information Technology Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received April 23, 2012 ; Revised June 8, 2012 ; Accepted June 15, 2012. (ID No. 20120423-050)

· Corresponding Author : Sung-Woong Ra (e-mail : nchnam@yahoo.co.kr, swra@cnu.ac.kr)

은 Weibull 분포와 같이 긴 분포 꼬리(tail) 성분을 갖는 클러터에 대하여, Rayleigh 분포 클러터로 가정하여 일정 오경보율 처리기의 임계치를 정할 경우, 오경보율(false alarm rate)이 증가하는 문제가 발생된다. Rayleigh 분포 클러터에서 오 경보율이 10^{-6} 인 임계치를 적용하면, 로그-노멀 분포 클러터에서 오 경보율은 10^{-4} 으로 증가하게 된다^[10].

본 논문에서는 Weibull 분포의 속성 및 적용 범위에 대하여 소개하고, Weibull 분포를 가지는 레이더 클러터의 모델링 방법에 대하여 논한다. 현대 레이더는 고 분해능을 요구하므로, 레이더에서의 샘플 간격인 분해능 셀이 작게 요구된다. 이에 따라, 클러터 생성시 대량의 모델링 데이터 생성이 요구되며, 모델링 및 생성 시간이 과다하게 소요된다. 특정 분포를 갖는 불규칙 수열(random number sequences)의 생성은 특정 누적 분포 함수(cumulative distribution function)와 균일 분포 누적 분포 함수를 함께 이용하여 생성하며, 이러한 생성 방법은 계산 시간이 많이 소요된다. 그러므로 불규칙 수열의 생성 시간을 감소시키기 위하여 근사적인 방법으로, 누적 분포를 이용하는 역 변환 방법(inverse method), 조건부 확률 밀도(conditional density)를 이용하는 ARM(Acceptance-Rejection Methods), 그리고 확률 밀도 함수를 이용하는 합성법(composition) 등이 있다^[11].

Weibull 클러터 데이터도 Weibull 분포를 갖는 불규칙 수열로 표현할 수 있으므로, Weibull 누적 분포 함수(cumulative distribution function)와 균일 분포 누적 분포 함수를 함께 이용하여 생성하며, 이러한 생성 방법은 계산 시간이 많이 소요된다. 본 논문에서는 Weibull 분포 레이더 클러터 생성을 위해 역 변환 방법에 따라 균일 분포 함수를 이용하여 단순화한 Weibull 클러터 데이터의 근사적 모델링 기법에 대하여 제안한다. 이 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 생성된 신호 분포는 원 Weibull 확률 밀도 함수와 거의 유사하고, 원 Weibull 분포 함수에 비해 클러터 신호 생성 시간이 약 20 % 감소됨을 실험결과를 통하여 입증한다.

II. 레이더 클러터 모델링

레이더 클러터는 진폭 분포, 주파수 스펙트럼 등

과 같은 특성으로 정의되며, 이러한 특성을 충분히 고려하여 클러터 모델링 및 신호 생성을 하여야 한다. 클러터 모델링 및 신호 생성을 위해서는 여러 가지 이론과 물리적 모델 및 측정에 의한 경험적 모델 등이 고려된다. 클러터 신호는 반사체(지면, 해면, 강우 등)와 레이더 변수(분해능, 주파수 등)에 의해 결정된다.

레이더 분해 셀 내의 클러터 면적 A_c 는 식 (1)과 같이 주어진다^[12].

$$A_c = \frac{R_c \theta_a}{L_p} \cdot \frac{c\tau}{2} \cdot \sec\psi \quad (1)$$

여기서, R_c 는 클러터 거리, θ_a 는 방위각 빔폭, L_p 는 빔 모양 손실, c 는 광속, τ 는 펄스 폭, ψ 는 grazing angle이다(그림 1^[12] 참조).

클러터 반사 단면적(clutter cross section) σ_c 은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\sigma_c = \sigma \cdot A_c \quad (2)$$

여기서, σ 는 클러터 진폭으로 통계적 확률 밀도 함수로 표현된다.

레이더로 수신되는 클러터 전력 P_c 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$P_c = \frac{P_T \cdot \tau \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_c}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot R_c^4 \cdot L} \quad (3)$$

여기서, P_T 는 레이더 송신 전력, τ 는 펄스 폭, G 는 안테나 이득, λ 는 송신 파장, L 은 시스템 손실이다.

클러터는 정적 특성이 아닌 동적 특성을 가지므로, 레이더 펄스마다 수신되는 신호가 계속 변화된다. 이러한 지속적 변화는 레이더 수신 신호의 진폭과 스펙트럼에 지속적 요동을 일으키므로 통계적으로 모델링된다. 주파수 스펙트럼은 클러터의 동적 운동에 의해 발생되므로 주파수 변이로 표현되며, 대부분의 클러터 스펙트럼 $W(f)$ 는 식 (4)와 같은 가우시안(Gaussian) 함수로 표현할 수 있다^[13].

$$W(f) = W_0 \exp\left(-\frac{(f - f_s)^2}{2\sigma_f^2}\right) \quad (4)$$

여기서, W_0 는 클러터 전력, σ_f 는 클러터 스펙트럼

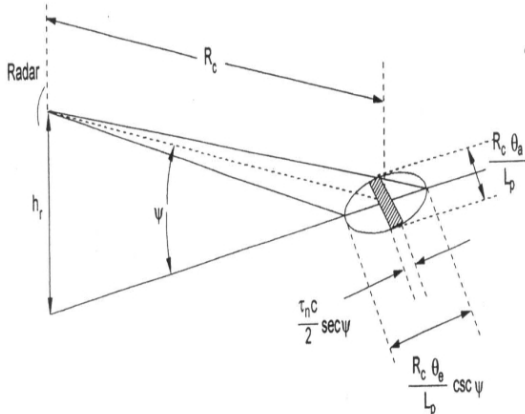


그림 1. 표면 클러터의 레이더 분해능 셀^[12]
 Fig. 1. Radar resolution cell on surface clutter^[12].

의 표준편차, f_s 는 주파수이다.

f_s 는 평균 도플러 변이로 지면 클러터인 경우는 영(0)이고, 해면 클러터인 경우는 다음 식과 같이 주어진다^[14].

$$f_s = \frac{0.2v_{wind} \cos \varphi}{\lambda} \quad (5)$$

여기서, v_{wind} 는 바람의 속도, φ 는 바람의 방향, λ 는 파장이다.

클러터 스펙트럼의 표준편차 σ_f 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\sigma_f = \frac{2b_s v_{wind} \cos \varphi}{\lambda} \quad (6)$$

여기서, b_s 는 지면 클러터의 경우 0.01, 해면 클러터의 경우 0.125이다^[14].

위에서 논의된 바와 같이 레이더 클러터는 진폭 분포, 주파수 스펙트럼 등과 같은 특성을 고려하여 모델링되어야 하며, 본 논문에서는 진폭 분포중 Weibull 분포를 갖는 클러터 신호 모델링 방법에 대하여 논의한다.

III. Weibull 클러터

표면으로부터 반사되어 수신되는 레이더 반사 신호는 여러 가지 확률 밀도 함수로 표현될 수 있다. 그 중에서 Weibull 확률 밀도 함수는 실제 레이더 클

러터 상황에 적합한 분포임이 여러 연구를 통해 이루어졌다^[6]. Weibull 확률 밀도 함수는 지면 클러터 (land clutter), 해면 클러터(sea clutter) 및 기상 클러터 (weather clutter) 모델링에 적합하다.

레이더 신호 처리의 최종 탐지 과정인 일정 오경보율(Constant False Alarm Rate: CFAR) 탐지 과정에서는 레이더 클러터의 평균 전력을 계산하여 탐지 문턱치를 설정하게 된다. 이 때 클러터는 Rayleigh 클러터, Weibull 클러터 등의 분포 특성을 갖는 클러터로 모델링되며, 이 클러터 분포에 따라 일정 오경보율 탐지기의 성능도 영향을 받게 되므로, 클러터 모델링은 표적 탐지성능의 중요한 요소중 하나이다.

Weibull 분포를 갖는 레이더 클러터의 진폭 분포 (σ) 확률 밀도 함수는 다음 식과 같이 주어지며^[15],

$$p(\sigma) = \begin{cases} \frac{s}{b} \cdot \left(\frac{\sigma}{b}\right)^{s-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{b}\right)^s\right], & \sigma > 0, b > 0, s > 0 \\ 0, & \text{그 외} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, s 는 형상 변수(shape parameter)이고, b 는 축척 변수(scale parameter)이다.

식 (7)을 클러터 전력 확률 밀도 함수로 표현하면 식 (8)과 같다.

$$p(x) = \begin{cases} \rho^{-s/2} \cdot \left(\frac{s}{2} x^{(s/2)-1}\right) \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{\rho}\right)^{s/2}\right], & x > 0, s > 0 \\ 0, & \text{그 외} \end{cases} \quad (8)$$

여기서, 클러터의 전력 분포 $x = \sigma^2$ 이고, 전력 축척 변수 $\rho = b^2$ 이다.

Weibull 확률 밀도 함수는 형상 변수 S 에 따라 여러 가지 분포 특성을 나타내므로 매우 유용하게 사용된다, 예를 들어, $s = 1$ 이면 지수 분포(exponential distribution), $s = 2$ 이면 Rayleigh 분포를 나타낸다. 그림 2는 형상 변수에 따른 Weibull 확률 밀도 함수를 나타내고 있다. 그림 2에서 x-축은 클러터 진폭, y-축은 Weibull 확률 밀도이다. Weibull 확률 밀도 함수는 변화하는 기상 조건이나 해상 조건에 따른 클러터 분포 변화 모델링에 적합하다. 또한, 여러 가지 주파수와 고 분해능 레이더에 대한 지면 클러터 모델링에도 유용하게 사용된다. 표 1은 다양한 클러

표 1. 클러터 종류에 따른 Weibull 분포 함수 형상 변수

Table 1. Weibull distribution function shape parameters on clutter types.

클러터 종류	형상 변수
바위산	0.5
야산	0.65
농경지	2
파도-얼음	0.65~1.65
기상 클러터	1.65~2

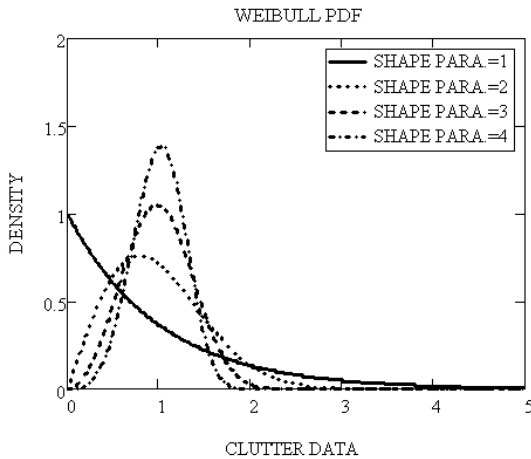


그림 2. Weibull 확률 밀도 함수
Fig. 2. Weibull probability density function.

터 종류에 따른 형상변수를 나타낸다^[6].

Weibull 분포를 갖는 클러터 진폭 σ 는 식 (9)와 같은 Weibull 확률 밀도 함수로부터^[12] 구할 수 있다.

$$p(\sigma) = \frac{1}{s} \cdot \left(\frac{\Gamma(1+s)}{\sigma_0} \right)^{\frac{1}{s}} \cdot \sigma^{\frac{1}{s}-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\Gamma(1+s)}{\sigma_0} \cdot \sigma \right)^{\frac{1}{s}} \right] \quad (9)$$

여기서 $\Gamma(x)$ 는 감마 함수(gamma function)이고, σ_0 은 평균 클러터 진폭이다.

일반적으로, 식 (9)의 Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 클러터 데이터를 구하기 위한 과정은 다음과 같다^[11].

- ① 식 (9)의 Weibull 확률 밀도 함수를 적분하여 식 (10)의 Weibull 누적 분포 함수(cumulative distribution function)를 구한다.

- ② 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 발생시키기 위해 균일 분포 확률 밀도 함수(식 (11))와 균일 분포 누적 분포 함수(식 (12))를 구한다.
- ③ 과정 ②에서와 같이 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 발생시켜 Weibull 누적 분포 함수로부터 Weibull 확률 밀도 함수(식 (9))를 만족하는 클러터 데이터를 구한다.

위에서 언급한 과정에서와 같이 Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 데이터 발생 시간은, 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 발생시키는 시간과 식 (10)의 누적 분포 함수를 계산하는 시간이 함께 소요된다.

Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 클러터 데이터를 구하기 위한 과정을 상세히 설명하면 다음과 같다. 먼저, Weibull 누적 분포 함수를 구하는 과정에 대해서 소개한다. Weibull 누적 분포 함수는 식 (10)과 같이 식 (9)를 적분하여 구할 수 있다.

$$P = \int_0^\sigma p(\sigma) d\sigma = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\Gamma(1+s)\sigma}{\sigma_0} \right)^{1/s} \right] \quad (10)$$

식 (10)에서 형상 변수 s 가 1인 경우의 누적 분포 함수는 그림 4와 같으며, 이 식으로부터 그림 3과 같은 Weibull 확률 밀도 함수(형상 변수 s 가 1인 경우)를 만족하는 클러터 데이터를 구할 수 있다. 그림 3에서 x-축은 클러터 진폭, y-축은 Weibull 확률 밀도

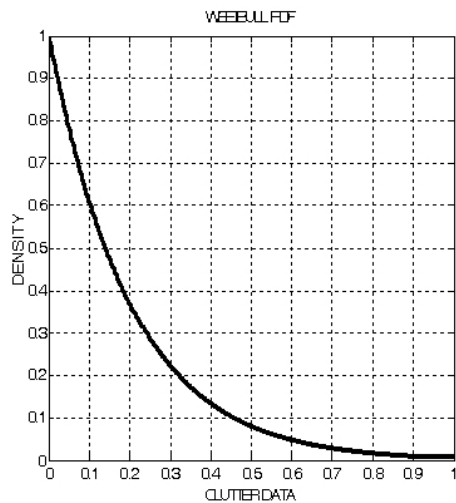


그림 3. Weibull 확률 밀도 함수(형상 변수=1)
Fig. 3. Weibull probability density function(s=1).

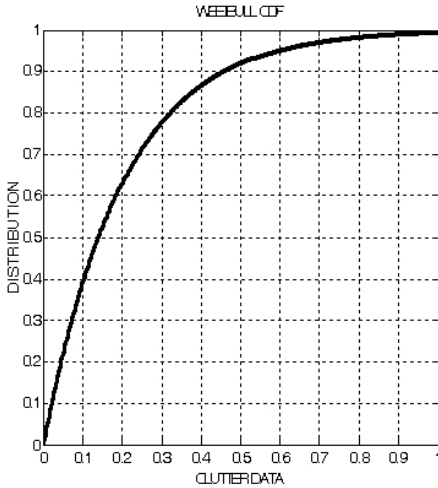


그림 4. Weibull 누적 분포 함수(형상 변수=1)
Fig. 4. Weibull cumulative distribution function(s=1).

이며, 그림 4에서 x-축은 클러터 진폭, y-축은 Weibull 확률 밀도 함수를 적분한 확률로서 누적 분포를 나타낸다.

다음은 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 발생시키는 과정에 대해서 설명한다.

균일 분포 확률 밀도 함수는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$p_u(\sigma) = \begin{cases} \frac{1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq \sigma \leq a_2 \\ 0, & \text{그 외} \end{cases} \quad (11)$$

식 (11)과 같은 균일 분포 확률 밀도 함수의 누적 분포 함수는 식 (12)와 같다.

$$P_u(\sigma) = \begin{cases} 0, & \sigma < a_1 \\ \frac{\sigma - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq \sigma < a_2 \\ 1, & \sigma \geq a_2 \end{cases} \quad (12)$$

여기서, (a_1, a_2) 는 균일 분포 불규칙 변수 발생 구간을 나타낸다. 식 (12)의 균일 분포 누적 분포 함수로부터 식 (11)과 같은 균일 분포 확률 밀도 함수를 만족하는 불규칙 변수를 구할 수 있다.

위에서 언급한 바와 같이 Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 데이터 발생 시간은, 식 (10)의 Weibull 누적 분포 함수를 계산하는 시간과 식 (12)의 균일 분포 누적 분포 함수를 계산하는 시간이 함께 소요

되어 많은 시간이 소요된다. Weibull 누적 분포 함수와 균일 분포 누적 분포 함수를 함께 사용하지 않고, 균일 분포 누적 분포 함수만을 사용하여 클러터 데이터를 발생시킬 수 있으면 클러터 데이터 발생 시간이 감소하게 되며, 또한 균일 분포를 갖는 불규칙 변수는 생성 시간이 매우 빠르므로 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 사용하여 클러터 데이터를 발생시 발생 시간이 감소하게 된다. 이러한 관점에서, 균일 분포를 갖는 불규칙 변수를 이용하여 Weibull 분포를 갖는 클러터 데이터의 근사해를 구하였다.

현대의 고 분해능 레이더의 전산 모의를 위해서는 대량의 클러터 데이터가 필요하므로, 클러터 생성 시간 감소를 위해 식 (9)를 만족하는 클러터 진폭을 직접 구할 필요가 있다. 본 논문에서는, Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 데이터 발생 시간 감소를 위해 Weibull 누적 분포 함수를 이용하지 않고 식 (10)으로부터 역변환 방법에 의해 클러터 진폭 σ 의 근사해를 구한다. 식 (9)를 만족하는 클러터 진폭을 구하기 위해, 균일 불규칙 분포 함수를 이용하여 다음과 같이 직접 해를 구하였다.

먼저, Weibull 누적 분포 함수를 구하기 위하여 식 (9)를 적분하면 위에서 나타낸 바와 같이 식 (13)으로 표현된다.

$$P = \int_0^\sigma p(\sigma) d\sigma = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Gamma(1+s)\sigma}{\sigma_0}\right)^{1/s}\right] \quad (13)$$

식 (13)으로부터 클러터 진폭 σ 를 구하면 식 (14)와 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma = \left\{ \left(\frac{\sigma_0}{\Gamma(1+s)} \right)^{1/s} \cdot \ln\left(\frac{1}{1-P} \right) \right\}^s \quad (14)$$

Weibull 누적 분포 함수의 역함수는 (0, 1) 사이의 균일 분포를 갖는 불규칙 변수로 표현할 수 있으므로, 식 (14)의 두 번째 항은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\ln\left(\frac{1}{1-P}\right) = -\ln(rand) \quad (15)$$

여기서, *rand*는 균일 분포를 갖는 불규칙 변수이다. 위에서 논의된 관계로부터, 식 (15)를 식 (14)

에 대입하면 식 (16)과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\Gamma(1+s)} \cdot (-\ln(rand))^s \quad (16)$$

식 (16)을 이용하면, 식 (13)의 Weibull 누적 분포 함수와 식 (12)의 균일 분포 누적 분포 함수를 함께 사용하지 않고, 균일 분포 누적 분포 함수만을 사용하여 클러터 데이터를 발생시킬 수 있으므로 클러터 데이터 발생 시간이 감소하게 된다. 현대의 고 분해능을 요구하는 레이더 시스템 및 신호 처리 분야에서는 표적 탐지 성능, 허위 표적 제거 및 클러터 제거 성능 등의 모의시험을 위해 대량의 클러터 신호가 필수적으로 요구된다. 이러한 대량의 클러터 신호 발생시 많은 시간이 소요되나, 식 (16)을 이용하면 클러터 발생 시간을 약 20 % 감소시켜 현대의 고 분해능 레이더 모의시험시 효과적으로 이용될 수 있다.

IV. 실험 결과

Weibull 확률 밀도 함수는 변화하는 기상 조건이나 해상 조건에 따른 클러터 분포 변화 모델링에 적합하다. 여러 가지 주파수와 고 분해능 레이더에 대한 지면 클러터 모델링에도 유용하게 사용된다. 본 논문에서는 Weibull 분포 레이더 클러터 생성시 사용되고 있는 Weibull 분포 함수의 근사 해를 제안하였다. 실험 결과에서는 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 불규칙 신호와 Weibull 분포 함수의 근사 해에 의해 발생된 불규칙 신호의 히스토그램(Histogram)을 비교하여 그 분포가 거의 유사함을 입증한다. 또한, Weibull 분포 함수의 근사 해를 이용하여 발생된 신호가 원 Weibull 분포 함수 신호에 비해 클러터 신호 생성 시간이 약 20 % 감소되며, 확률 밀도 함수는 거의 오차가 없음을 실험 결과를 통하여 입증한다.

그림 5는 식 (9)를 만족하는 원 Weibull 분포 함수를 이용하여 발생된 불규칙 신호이고, 그림 6은 식 (16)에 의해 제시된 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 불규칙 신호이다. 이 때 형상 변수는 1로, 지수 분포를 갖는다. 그림 5와 그림 6에서 x-축은 Weibull 분포 클러터의 배열 샘플 번호이며, y-축은

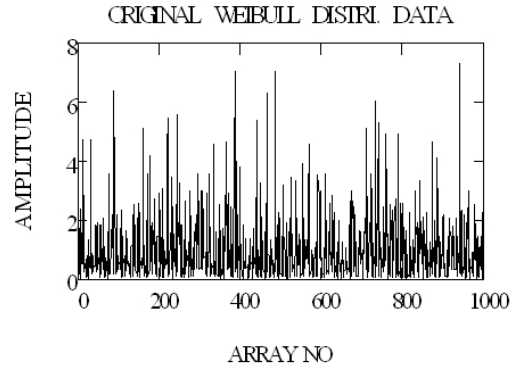


그림 5. 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 데이터
Fig. 5. Data generated by the original weibull distribution function.

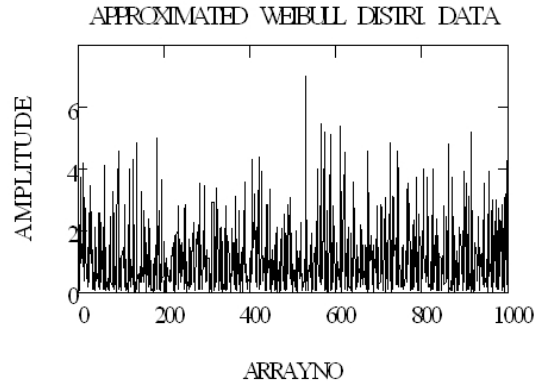


그림 6. Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 데이터
Fig. 6. Data generated by the approximated solution of Weibull distribution function.

Weibull 클러터 진폭이다. 그림 7은 그림 5와 그림 6에 의해 발생된 신호의 히스토그램과 Weibull 확률 밀도 함수를 나타낸 그림으로 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호가 원 Weibull 확률 밀도 함수와 거의 유사함을 알 수 있다. 그림 7에서 x-축은 클러터 진폭, y-축은 Weibull 확률 밀도이다. 그림 8은 원 Weibull 확률 밀도 함수와의 오차를 나타낸 그림으로, (a)는 원 Weibull 확률 밀도 함수와 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 데이터와의 오차이고, (b)는 원 Weibull 확률 밀도 함수와 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 데이터와의 오차이다. 그림 8의 (a)와 (b) 모두 원 Weibull 확률 밀도 함수와의 오차가 대부분 약 0.005(0.5 %) 이내로 원 Weibull 확률 밀도 함수를 거의 만족하고, 식 (16)에

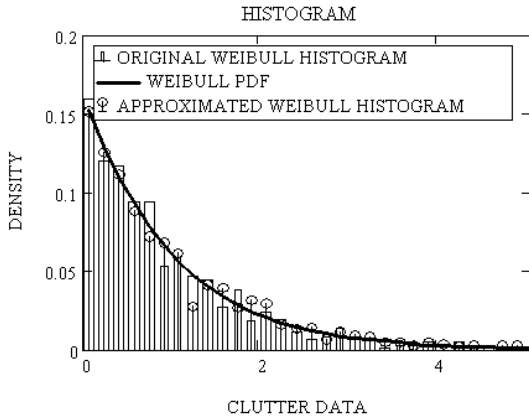


그림 7. Weibull 분포 데이터 히스토그램
Fig. 7. Histogram of Weibull distribution data.

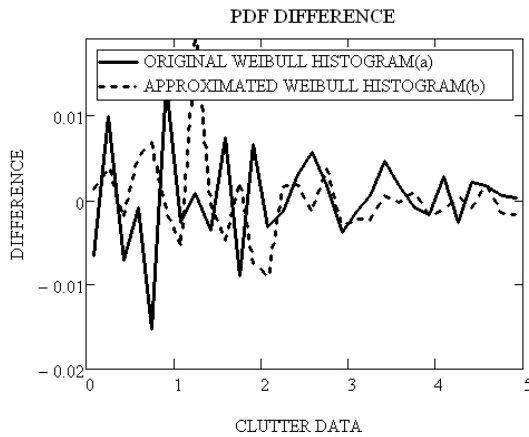


그림 8. 원 Weibull 확률 밀도 함수와의 오차
Fig. 8. Difference from original Weibull probability density function.

의해 제시된 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 클러터 데이터(그림 8의 (b))도 원 Weibull 확률 밀도와 거의 오차가 없음을 알 수 있다. 그림 8에서 x-축은 클러터 진폭, y-축은 원 Weibull 확률 밀도와 오차이다.

다음은 클러터 생성 시간에 대해 논의한다. 현대 레이더는 고 분해능을 요구하므로, 레이더에서의 샘플 간격인 분해능 셀이 작게 요구된다. 이에 따라, 클러터 생성시 대량의 모델링 데이터 생성이 요구되며, 모델링 및 생성 시간이 과다하게 소요된다. 그림 9는 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 신호의 생성 시간(그림 9의 (a)), 제시된 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간(그림 9의

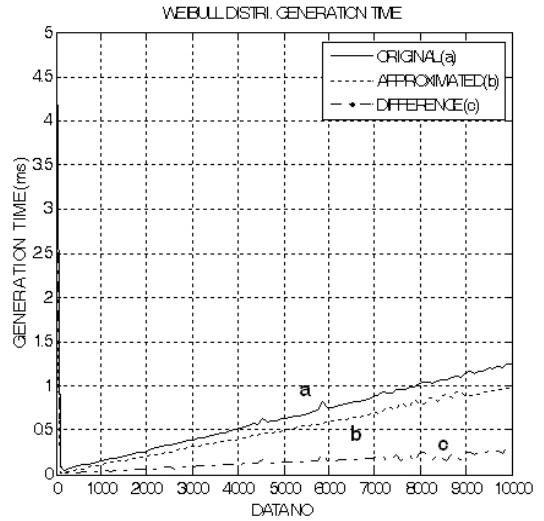


그림 9. Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간
Fig. 9. Data generation time on approximated solution of Weibull distribution function.

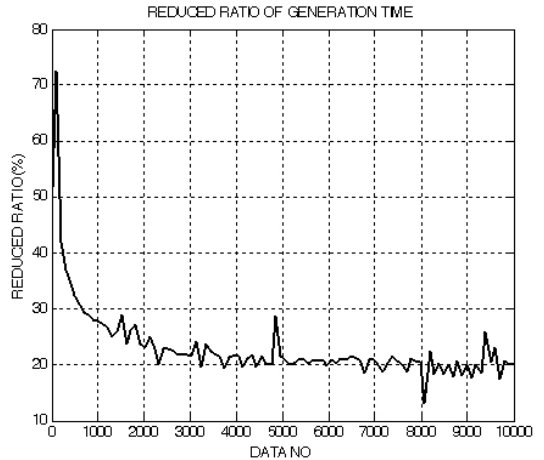


그림 10. Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간 감소율
Fig. 10. Reduced ratio of data generation time on approximated solution of Weibull distribution function.

(b)), 그리고 두 신호의 차(그림 9의 (c))를 나타낸 것이다. 그림 9와 같이 생성 데이터 개수(data no.)가 많아질수록 두 신호의 생성 시간 차가 증가됨을 알 수 있다. 그림 9에서 데이터 개수가 매우 작은 경우에 생성 시간이 임펄스 모양으로 많이 소요되는데, 그것은 프로그램에서 반복 순환 루프 계산시 초기 과정에서 많은 계산 시간이 소요되는 것으로 생각되

며, 이러한 현상은 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 신호의 생성 시간(그림 9의 (a))과 제시된 Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간(그림 9의 (b))에 동일하게 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 그림 10의 두 신호의 생성 시간에 대한 감소율에서도 보여지듯이, 데이터 개수가 매우 작은 경우에 생성 시간의 감소율은 약 30~70 %로서 감소율이 더 크며, 초기 반복 순환 루프 계산 과정에서 나타나는 현상임을 알 수 있다. 그림 10은 두 신호의 생성 시간에 대한 감소율을 나타낸 것이다. Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간이 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 신호의 생성 시간에 비해 약 20 % 감소함을 알 수 있다.

V. 결 론

레이더 클러터는 표적으로부터 반사되는 신호 이외의 불필요한 반사 신호이다. 자연적인 클러터로는 지면 클러터, 해면 클러터, 기상 클러터 등이 있으며, 인공적인 클러터는 반사 신호가 강한 건물 등이 있다. 지면 클러터는 산, 나무 등에 의해 발생하는 반사 신호로 레이더 표적 탐지시 많은 오 경보 및 허위 표적을 발생시킨다. 해면 클러터는 파도에 의해 반사되는 신호로 해상 상태 및 파도 속도에 따라 다양하게 분류된다. 기상 클러터는 비, 눈, 구름 등에 의해 반사되는 신호이다. 이러한 클러터의 특성은 다양한 진폭 확률분포 및 주파수 스펙트럼으로 모델링된다. Weibull 확률 밀도 함수는 지면 클러터, 해면 클러터, 기상 클러터 등의 진폭 분포 묘사에 광범위하게 사용된다.

본 논문에서는 Weibull 확률 밀도 함수를 만족하는 Weibull 분포 함수 근사 해와 그 생성 시간에 대해 논의하였다. Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 불규칙 신호가 Weibull 확률 밀도 함수를 충족하며, 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 신호와의 일치함을 히스토그램을 통하여 입증하였다. 또한, Weibull 분포 함수 근사 해에 의해 발생된 신호의 생성 시간이 원 Weibull 분포 함수에 의해 발생된 신호의 생성 시간에 비해 약 20 % 감소함을 실험 결과를 통해 확인하였다. 현대의 고 분해능을 요구하는 레이더 시스템 및 신호 처리 분야에서는 표적 탐

지 성능, 허위 표적 제거 및 클러터 제거 성능 등의 모의시험을 위해 대량의 클러터 신호가 필수적으로 요구된다. 클러터 분포 함수를 고려하여 일정 오 경보율 처리기의 탐지 임계치가 설정되므로, 클러터의 진폭 분포 모델링은 오 경보율 설정에 핵심적인 레이더 설계 기술 중의 하나이다. 이 Weibull 분포 함수 근사 해는 이러한 현대 레이더 설계 및 성능 분석에 효과적으로 사용될 수 있다.

향후 연구 과제로는 레이더 클러터의 중요한 특성중의 하나인 스펙트럼 모델링에 대한 연구 및 다양한 진폭 분포와 스펙트럼 분포를 고려한 클러터 모델링에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] D. K. Barton, *Modern Radar System Analysis*, Boston, MA, Artech House, 1988.
- [2] F. E. Nathanson, J. P. Reilly, and M. N. Cohen, *Radar Design Principles*, 2nd Edition, New York, McGraw-Hill, 1991.
- [3] J. I. Marcum, "A statistical theory of target detection by pulsed radar", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 6, no. 2, pp. 259-267, Apr. 1960.
- [4] P. Swerling, "Probability of detection for fluctuating targets", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 6, no. 2, pp. 269-308, Apr. 1960.
- [5] G. V. Trunk, S. F. George, "Detection of targets in non-Gaussian sea clutter", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 6, no. 5, pp. 620-628, Sep. 1970.
- [6] M. Sekine, Y. Mao, *Weibull Radar Clutter*, London, Peter Peregrinus Ltd., 1990.
- [7] D. C. Schleher, "Radar detection in Weibull clutter", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 12, no. 6, pp. 736-743, Nov. 1976.
- [8] D. A. Shnidman, "Comparison of low angle radar clutter models", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 41, no. 2, pp. 736-746, Apr. 2005.
- [9] D. A. Shnidman, "Generalized radar clutter model", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Sys-*

tems, vol. 35, no. 3, pp. 857-865, Jul. 1999.

[10] G. B. Goldstein, "False alarm regulation in log-normal and Weibull clutter", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 9, pp. 84-92, Jan. 1973.

[11] M. Abramowitz, I. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, New York, Dover Publications, Inc., 1965.

[12] D. K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Norwood, MA, Artech House, 2005.

[13] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3rd Edition, New York, McGraw-Hill, 2001.

[14] F. E. Nathanson, *Radar Design Principles*, New York, McGraw-Hill, 1969.

[15] V. Anastassopoulos, G. A. Lampropoulos, "Optimal CFAR detection in Weibull clutter", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 52-64, Jan. 1995.

남 창 호



전자-광학 신호 처리

1984년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 8월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원
 [주 관심분야] 레이더, 신호 처리,

나 성 응



보통신공학부 교수
[주 관심분야] 통신, 디지털 신호 처리, 영상처리

1976년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1978년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1988년~현재: 충남대학교 전기정