

논문 2017-12-04

복잡한 목표물의 Glint와 RCS 모델링 및 시뮬레이션

(Modelling and Simulation of Glint and RCS of Complex Target)

송승언, 신한섭, 김대오, 강철웅*, 고석준*

(Seungeon Song, Han-Seop Shin, Dae-Oh Kim, Chul-Ung Kang, Seokjun Ko)

Abstract : The signal transmitted from radar is not reflected from a single point when the signal reflected by complex target. Resultantly, the amplitude and phase of the received signal can be changed because the target has lots of scatterers. The changes of the amplitude and the phase mean Glint and RCS, respectively. Although the Glint and RCS that caused by the same scatterers are uncorrelated, however, they are not independent completely. Therefore, this paper proposes a method for generating the Glint and RCS by using same random number generator. And the time correlations of the Glint and RCS are respectively implemented in frequency domain by using each power spectral density of them.

Keywords : Glint, RCS, Modelling, Radar, Distribution

1. 서 론

추적레이더에서 잡음은 정확한 추적을 방해하는 요소이다. 잡음으로는 열잡음이 대표적이지만, 이를 제외하고도 다수 존재한다 [1].

레이더의 송신 신호는 목표물에서 반사될 때 단일 지점에서만 반사되지 않는다. 단일 목표물이라도 송신 신호가 반사되는 산란체는 무수히 많이 존재한다. 이와 같이 여러 산란체에서 반사되는 신호는 수신 신호의 진폭과 위상 변화를 야기시킨다 [2].

목표물의 각 산란체에서 반사되는 비율을 Target Cross Section이라 한다. 이러한 Target Cross Section이 수신 신호에 미치는 총 영향을 RCS (Radar Cross Section)라고 한다. 일반적으로, 산란체들에 의한 수신 신호의 진폭 변화를 RCS

로 표현한다. 또한 다수의 산란체로부터 수신되는 신호는 위상 변화를 일으키고, 결과적으로 수신 신호의 동위상면 (Phase front)이 변하게 된다. 이러한 현상은 추적 레이더의 성능을 저하시키는 요인으로 글린트 (Glint)라 일컫는다 [3].

본 논문에서는 수신신호의 위상변화에 해당하는 글린트와 진폭변화인 RCS의 원인을 분석하고, 확률적으로 글린트와 RCS를 생성한다. 글린트와 RCS의 개별적인 상관값은 전력스펙트럼밀도 (PSD: Power Spectral Density)를 이용하여 주파수축에서 필터링하여 생성하였다. 본 논문에서 사용된 평균 RCS는 KSLV-II 위성 발사체가 L-경로를 지나는 경우의 모노스테틱 (monostatic) 평균값을 사용하였다 [4]. 글린트와 RCS간 상관성은 존재하지 않지만, 동일한 산란체에 의해 발생하므로 완벽히 독립이라고 보기는 어렵다. 따라서 본 논문에서는 동일한 랜덤 신호 생성기를 사용하여 글린트와 RCS를 동시에 생성하는 방법을 제시한다. 또한 위성 발사체를 목표물로 가정하여 생성된 본 논문의 수신 신호 모델은 진폭과 위상의 변화를 고려한 추적기의 성능을 평가하는데 사용된다. 추적기로 사용되고 있는 칼만 필터는 잡음에 의한 성능에 간격을 두고 있으나, 본 논문에서 제시된 수신 신호의 모델을 통해 현실적인 상황에서 칼만 필터의 성능과 문제점들을 파악하는데 도움이 될 수 있다.

*Corresponding Author

(cukang@jejunu.ac.kr, sjko@jejunu.ac.kr)

Received: Aug. 4 2016, Revised: Dec. 14 2016,

Accepted: Dec. 17 2016.

S.E. Song, C.U. Kang, S.J. Ko: Jeju National University

H.S. Shin, D.O. Kim: Korea Aerospace Research Institute

* 이 논문은 2016학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

본 논문의 2장에서는 우선 글린트 및 RCS에 대한 내용을 기술하고, 두 가지를 동시에 모델링하는 방법과 생성된 결과에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. 본론

1. 글린트

일반적으로 목표물은 다수의 산란체를 갖고 있다. 글린트는 목표물의 여러 산란체들로부터 반사되는 간섭들 때문에 발생하는 위상 변화이다. 이러한 위상 변화로 인하여 추적 레이더가 목표물의 위치를 측정할 때, 목표물의 중심이 이동되어 측정된다.

그림 1은 다수의 산란체를 갖는 목표물과 기준이 되는 단일 구조의 목표물에 의한 위상 변화율들 사이의 관계를 나타낸다. 기준이 되는 단일 구조의 목표물에 의한 동위상면은 실선 (Point source phase front)으로 나타냈으며, 점선은 다수의 산란체를 갖는 목표물에 의한 동위상면 (Phase front with Glint)을 나타낸다. θ 는 목표의 실제 각 (aspect angle)이고, θ_a 는 글린트 오류를 포함한 각이다. 따라서 글린트에 의한 각 오류는 $(\theta_a - \theta)$ 와 같이 나타낼 수 있다.

각 오류는 글린트 때문에 발생한다. 글린트는 목표물의 동위상면의 위상에 대한 기울기로 표현되며, 다수의 산란체를 갖는 목표물에 의한 동위상면의 위상 Φ 의 기울기를 원형 좌표계에서는 다음과 같이 표현 할 수 있다 [5].

$$\nabla\Phi = \frac{\partial\phi}{\partial R}e_r + \frac{1}{R}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}e_\theta \quad (1)$$

여기서 $\nabla\Phi$ 는 동위상면의 기울기이고, R 은 목표물까지의 거리를 나타내며, e_r , e_θ 는 원형 좌표계에서 거리와 각도에 대한 단위 벡터를 나타낸다.

동위상면의 위상 기울기 변화로 발생하는 각 오류는 식 (1)에 있는 단위 벡터와 그림 1의 기하학적 해석을 통해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan(\theta_a - \theta) = \frac{\frac{1}{R}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}}{\frac{\partial\phi}{\partial R}} = \frac{\frac{1}{R}\frac{\partial\delta}{\partial\theta}}{\frac{4\pi}{\lambda} + \frac{\partial\delta}{\partial R}} = \frac{\lambda}{4\pi R}\frac{\partial\delta}{\partial\theta} \quad (2)$$

여기서 식 (2)의 각각의 미분분분은 다음과 같다.
 $\partial\delta/\partial R$: aspect angle에 의한 위상 오류
 $\partial\delta/\partial\theta$: 산란체에 의해 발생한 위상 기울기

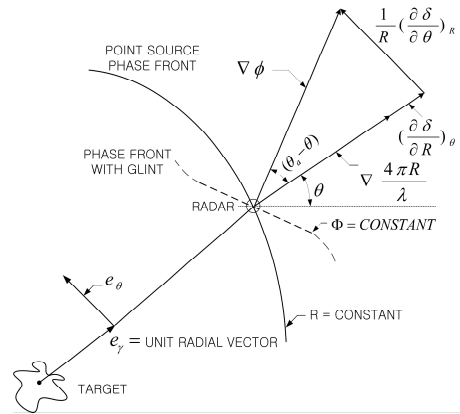


그림 1. 하나의 산란체와 목표물에 의한 동위상면

Fig. 1 Phase front for a point source and a complex target

기울기 $\nabla(4\pi R/\lambda)$ 은 그림 1에서 실선으로 표현된 단일 구조의 목표물에 의한 동위상면의 외향 법선 (outward normal)이다. 따라서 단일 구조의 목표물에 의한 동위상면의 위상은 $(4\pi R/\lambda)$ 이며, 다수의 산란체를 갖는 목표물에 의한 동위상면의 위상 Φ 는 $(4\pi R/\lambda) + \delta$ 와 같다. 결과적으로, 글린트에 의해 발생하는 각 오류는 δ 가 된다. 각 오류를 거리의 오차 단위로 표현하면, 글린트 ∇W 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla W = R \cdot \tan(\theta_a - \theta) = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{\partial\delta}{\partial\theta} \quad (3)$$

결국, 산란체의 수가 증가하여도 글린트는 목표물의 동위상면의 기울기와 기준이 되는 aspect angle에 의해서만 변화하게 된다.

2. Radar Cross Section

RCS (Radar Cross Section)는 목표물이 레이더 신호를 반사하는 정도를 말한다. 레이더와 목표물간의 거리가 R 일 때, 레이더에 수신된 신호를 P_{di} 라고 하면 목표물에서 반사되는 전력의 양은 다음과 같다 [2].

$$P_r = \sigma P_{DI} \quad (4)$$

여기서 σ 는 Target cross section이다. P_{Dr} 은 안테나에서 수신되는 전력밀도 (power density)로 다음과 같다.

$$P_{Dr} = P_r / (4\pi R^2) \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 이용하면 σ 는 다음과 같다.

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{P_{Dr}}{P_{Di}} \right) \quad (6)$$

레이더에서 목표물이 충분히 멀리 떨어졌다고 가정하면, 식 (6)은 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$\sigma = 4\pi R^2 \lim_{R \rightarrow \infty} \left(\frac{P_{Dr}}{P_{Di}} \right) \quad (7)$$

위 식 (7)은 단일 산란체에 대한 RCS이다. 모든 산란체를 고려하면, RCS는 다음과 같다 [2].

$$\sigma_i = \frac{1}{4\pi} \int_{\phi_s=0}^{2\pi} \int_{\theta_s=0}^{\pi} \sigma(\theta_s, \phi_s) \sin\theta_s d\theta d\phi_s \quad (8)$$

3. 글린트와 RCS 모델링

만일 1 개의 원형 모양 산란체로 이루어진 목표물이 거리 R에 존재한다고 가정하면, RCS는 시간에 따라 변화가 없고 글린트도 존재하지 않는다. 이와 같이 진폭과 위상이 변하지 않는 경우를 기준(reference)으로 가정한다면 수신신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_{ref}(t) = A_r \exp(j\omega t) \exp(j \frac{2\pi 2R}{\lambda}) \quad (9)$$

여기서 A_r 는 거리 R에 위치한 단일 목표물로부터 수신된 신호의 진폭이며, 위상은 $\phi_r = 4\pi R/\lambda$ 이다. 그러나 N개의 산란체로 구성된 목표물로부터 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{i=1}^N a_i(t) \exp[j(\omega t - kr_i)] \\ &= A(t) \exp(j\omega t) \exp(j\phi(t)) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 a_j 는 j-번째 산란체로부터 수신된 신호의 진폭, r_j 는 j-번째 산란체에 대한 신호의 왕복 거리이며, $k = 2\pi/\lambda$ 는 파수이다. 식 (10)은 진폭과 위상이 서로 독립이라고 가정한 경우의 결과식이다 [4, 6]. 따라서 진폭은 식 (8)에서의 평균값에 해당하는 RCS에 대한 시간 변화로 나타나며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A(t) = \sum_{i=1}^N a_i(t) = A_r + A_c(t) \quad (11)$$

여기서 평균 RCS는 $\sigma_i = E[A(t)] = A_r$ 와 같으며, $A_c(t)$ 는 여러 산란체들로 인해 발생하는 진폭의 변화를 나타낸다.

복잡한 구조를 갖는 목표물에 대한 RCS의 시간 변화는 확률적 표현을 사용하며, 보통 Swerling 모델을 활용한다. Swerling 모델은 총 5가지가 있다. I, II는 산란체가 고르게 분포한 형태로 레일레이(Rayleigh)분포를 따른다. III, IV는 중심 산란체가 있고, 그 주위에 부 산란체가 존재하는 형태로 제4 자유도를 갖는 카이제곱 분포를 따른다. 이때 I, III은 저주파적 특성을 갖고, II, IV는 고주파적 특성을 갖게 된다 [7].

또한, 진폭 변화의 시간 상관성을 고려하기 위하여 수신 신호의 진폭에 대한 자기 상관함수 $\langle A(t)A(t+\tau) \rangle$ 를 사용한다. 본 논문에서 사용한 자기 상관함수의 푸리에 변환식인 전력스펙트럼밀도(Power Spectrum Density)는 다음과 같이 표현할 수 있다 [8].

$$A^2(f) = \frac{0.12B}{B^2 + f^2} [(\text{fractional modulation})^2 / \text{Hz}] \quad (12)$$

여기서 B [Hz]는 반값전력 대역폭이다.

식 (10)에서 수신신호의 위상은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi(t) = \tan^{-1} \frac{\sum_j \sin(kr_j)}{\sum_j \cos(kr_j)} = \phi_r + \delta(t) \quad (13)$$

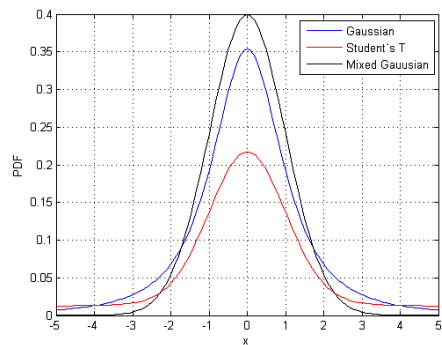
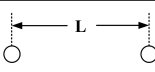
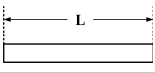
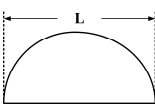
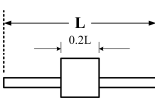


그림 2. 글린트의 확률밀도함수
Fig. 2 PDF of Glint

표 1. 물체의 모양에 따른 글린트의 rms
Table 1. Glint rms for target shape

Geometrical Approximation	Radius of Gyration (R)	Angle Scintillation (rms) $\sigma = R/\sqrt{2}$
	0.5L	0.35L
	0.29L	0.2L
	0.25L	0.18L
	0.14L	0.1L

여기서 $\delta(t)$ 는 복잡한 구조의 목표물에 의해 발생하는 위상 변화를 가리킨다. 이러한 위상의 변화율을 글린트라고 하며, 식 (2)에 정의되어 있다.

1980년대 Borden과 Mumford는 글린트의 시간 변화율을 제2 자유도를 갖는 Student's t 확률 분포로 모델링하였다 [9]. 하지만 Martin과 Zeh는 글린트 기록의 Q-Q Plot을 분석한 결과로부터 가우시안 (Gaussian)과 라플라시안 (Laplacian)을 혼합한 분포를 제시하였다 [10]. 그림 2는 글린트의 모델로 사용되고 있는 가우시안, Student's t, 혼합 가우시안 (Mixed Gaussian)의 확률밀도함수를 나타낸다. 아래의 식은 혼합 가우시안 분포를 갖는 $f(\nabla W)$ 를 나타낸다.

$$f(\nabla W) = (1-i)f_g(\nabla W) + \epsilon f_l(\nabla W) \quad (14)$$

여기서 $f_g(\nabla W)$ 는 가우시안 분포이며, $f_l(\nabla W)$ 는 라플라시안 분포를 나타낸다. 그리고 i 는 0과 1 사이의 상수이다.

위상 변화의 시간 상관성을 고려하기 위하여 식 (3)에서 주어진 것처럼 거리로 환산된 글린트의 자기 상관함수 $\langle \nabla W(t) \nabla W(t+\tau) \rangle$ 를 사용한다. 자기 상관함수의 푸리에 변환식인 글린트 전력스펙트럼 밀도는 레이더 주파수와 물체의 움직임 때문에 발생하는데 다음과 같다 [8].

$$N(f) = \sigma_{ang}^2 \frac{2B}{\pi(B^2 + f^2)} [\text{power/Hz}] \quad (15)$$

여기서 B [Hz]는 글린트 잡음의 대역폭을 나타내며, σ_{ang} 는 각에 대한 글린트 오차 (angular glint error)의 rms이다.

표 1은 물체 모양에 따른 글린트의 rms값을 보여준다. 또한 글린트는 거리에 따라 rms값이 변하게 되는데 그 관계는 다음과 같다.

$$\sigma_{ang} (\text{angular mils}) = \sigma_{ang} (m)/r (km) \quad (16)$$

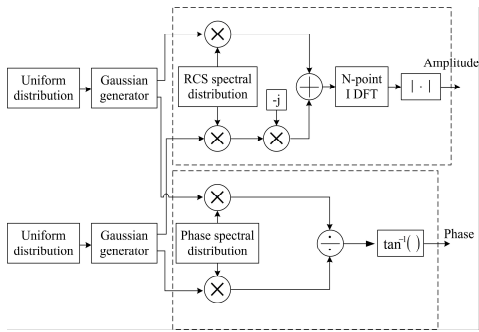
이와 같이 글린트는 거리가 멀어질수록 그 크기가 줄어들게 된다 [8].

RCS와 글린트 모두 목표물의 산란체에 의하여 영향을 받는다 [9]. 하지만 RCS는 수신 신호의 진폭 변화를 의미하고, 글린트는 위상 변화를 의미한다.

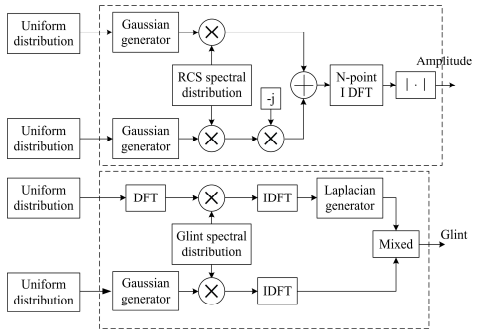
일반적인 레일레이 분포와 그에 따른 위상 생성 과정은 그림 3의 (a)와 같다. 상관성을 갖는 가우시안 분포 2개를 각각 I채널과 Q채널로 이용하여 생성하게 된다. 그리고 이 때, 두 채널을 이용하여 위상 성분 또한 구할 수 있는데, 이때 생성된 위상 성분은 균일 분포를 나타내게 된다.

하지만 글린트는 균일 분포를 갖지 않기 때문에 그림 3의 (b)와 같이 별도의 생성 알고리즘이 필요하다. 글린트는 혼합 가우시안 분포를 따르기 때문에 상관성이 있는 가우시안 분포와 라플라시안 분포를 혼합하여 생성 하였다.

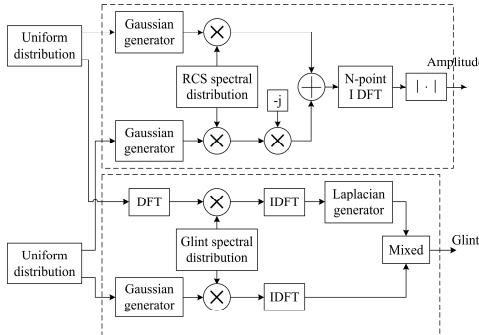
그렇지만 RCS와 글린트의 원인이 되는 산란체는 동일하기 때문에 두 성분은 상관성이 존재하지 않으나, 완전히 독립이라고는 할 수 없다. 그렇기 때문에 산란체가 균일하게 분포한다고 가정하면, RCS와 글린트는 그림 3의 (c)와 같이 독립된 2개의 균일 분포로부터 생성된다. (c)의 윗 부분인 RCS는 2개의 균일 분포로부터 가우시안 분포를 생성한 후 RCS 스펙트럼을 적용 시킨다. 이 후 RCS 스펙트럼이 적용된 가우시안은 I, Q 채널이 되어 더해진다. IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) 과정 후에 절대값을 사용하여 레일레이 분포인 RCS가 생성된다. 아랫 부분인 글린트는 가우시안과 라플라시안 분포가 혼합된 형태이기 때문에 균일 분포를 각각 글린트의 스펙트럼을 적용시킨 가우시안과 라플라시안 분포로 생성한 후 혼합하였다. 또한, 라플라시안 분포에 글린트의 스펙트럼을 적용시키기 위하여 균일분포에서 글린트의 스펙트럼을 적용시키고 라플라시안 분포를 생성하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. RCS와 글린트 생성 알고리즘
Fig. 3 Generation algorithm of RCS and glint

III. 시뮬레이션 결과

그림 4와 5는 본 논문에서 제시된 구조인 그림 3 (c)를 기반으로 생성된 RCS와 글린트의 형태를 나타낸다. RCS의 크기는 고층 레이더에서 측정된 것으로 L-경로를 지나서 KSLV-II에 대한 모노스태틱 (monostatic) RCS의 평균값인 5.6dBm을 이용하였다 [4]. 글린트는 위성 발사체를 간략화된 구조인 표1에서 직사각형으로 모델링하였을 때의 평균

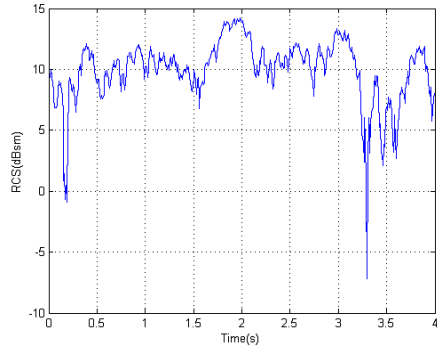


그림 4. 생성된 RCS
Fig. 4 The Generated RCS

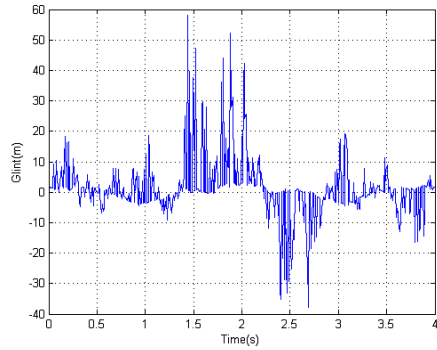


그림 5. 생성된 글린트
Fig. 5 The Generated Glint

값인 47.5m를 사용하였다 [8].

그림 6와 7은 RCS와 글린트의 자기상관을 나타낸다. 그림 6에서 보여주고 있는 RCS의 자기상관은 레일레이 함수의 평균 때문에 위로 drift된 형태를 나타낸다. 그림 7에서 보여주고 있는 글린트의 자기상관은 라플라시안 분포와 가우시안 분포의 혼합 과정에서 랜덤적인 영향으로 인하여 델타 함수 형태가 나타난다. 결과적으로, 위에서 보여주고 있는 자기상관을 주파수 영역으로 푸리에 변환하면, 각각 식 (12)과 (15)에 주어진 결과와 동일하게 된다.

그림 8과 9는 RCS와 글린트의 확률밀도함수를 나타낸다. RCS는 산란체가 고른 Swelling II 모델인 레일레이 분포를 사용하였다. KSLV-II의 평균값 5.6dBsm을 사용하였기 때문에 평균이 5.6인 레일레이 분포가 나타난다. 글린트는 Case1과 Case2로 분류하여 결과를 나타냈다. Case 1은 47.5m인 우주발사체를 직사각형으로 모델링하였으며, σ_s 는 9.5m

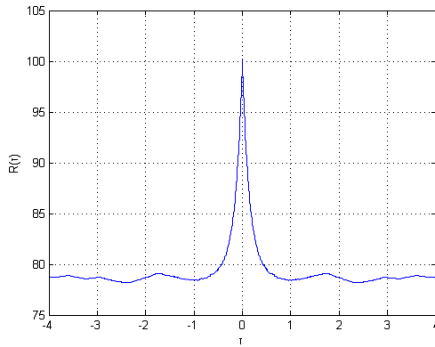


그림 6 생성된 RCS의 자기상관
Fig. 6 Autocorrelation of the generated RCS

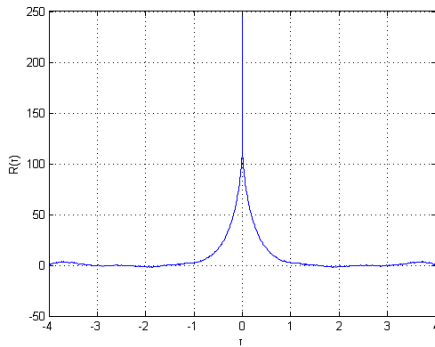


그림 7 생성된 글린트의 자기상관
Fig. 7 Autocorrelation of the generated Glint

로 두었다. Case 2는 전체길이가 47.5m인 표1의 4번째 형태의 물체로 모델링하였다. 라플라시안 분산이 가우시안 분산보다 커야하므로 라플라시안 분산을 가우시안 분산의 100배로 두었다 [10]. 그림 9에서 혼합 가우시안의 Case1의 라플라시안 분산은 178.7, 가우시안 분산은 1.787이고, Case 2의 라플라시안 분산은 44.68, 가우시안 분산은 0.4468이다.

그림 10은 RCS와 글린트를 본 논문에서 제시한 동일한 균일 분포를 사용하여 생성하였을 때, 식 (10)에서 반송파를 고려하지 않은 수신 신호 $r(t) = A(t) \exp(j\phi(t))$ 의 확률밀도함수를 나타냈다. 그림 11은 RCS와 글린트를 독립적인 균일 분포를 사용하여 생성하였을 때, 수신 신호의 확률밀도함수를 나타낸다. RCS와 글린트의 확률밀도함수는 서로 상관성이 없다고 가정하였으므로, 식 (10)에 주어진 것처럼 진폭 $A(t)$ 와 위상 $\phi(t)$ 의 생성결과를 극좌

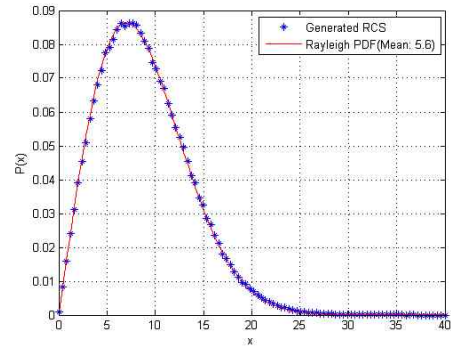


그림 8. 생성된 RCS의 확률밀도함수
Fig. 8 PDF of the generated RCS

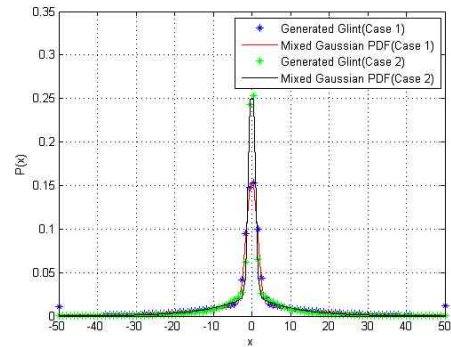


그림 9. 생성된 글린트의 확률밀도함수
Fig. 9 PDF of the generated Glint

표계로 나타내었다. 결과적으로 균일 분포를 독립적으로 생성하면, 반송파를 제외한 수신 신호는 진폭이 최대로 증가하는 방향이 기울어져 나타나는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다수의 산란체에서 주파수 특성이 있는 확률적인 글린트와 RCS를 생성하는 방법을 제시했다. RCS는 대상의 형태를 구체적으로 만든 것이 아닌 Swerling 모델을 사용하였기 때문에 정확한 정보가 없는 다양한 목표물에 적용이 가능하다. 그리고 그에 따른 글린트 또한 생성이 되기 때문에 별도의 글린트 모델링 과정이 생략된다. 하지만 RCS는 물체의 특성과 형태, 글린트는 물체의 크기와 형태에 따라 rms값이 변한다. 정확한 RCS와 글린트를 계산하기 위해서는 레이더에서 보이는

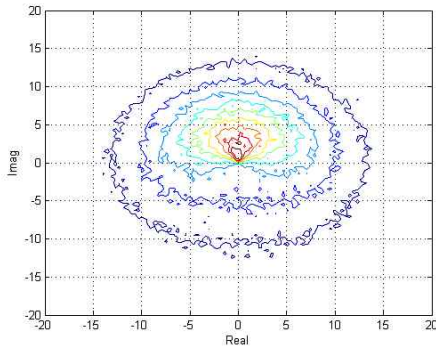


그림 10. 비독립적 방식으로 생성된 수신신호의 확률밀도함수

Fig. 10 PDF of received signal for the dependently generated Glint and RCS

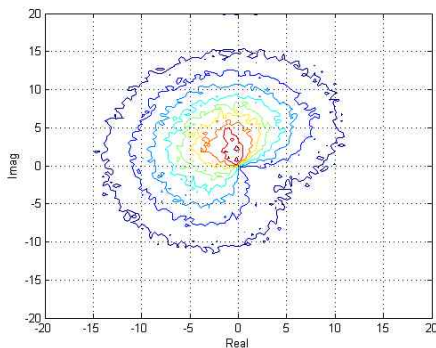


그림 11. 독립적 방식으로 생성된 수신신호의 확률밀도함수

Fig. 11 PDF of received signal for the independently generated Glint and RCS

물체의 형태와 aspect angle을 위치에 따라서 모델링해야 하지만, 본 논문에서 제시하는 방법은 물체에 대한 기본적인 RCS와 글린트 rms를 계산할 수 있다면 쉽게 모델링 할 수 있기 때문에, 추적레이더 성능 분석에 있어서 물체를 모델링하는데 효과적일 것으로 보인다. 또한 위성 발사체를 목표물로 가정하여 생성된 본 논문의 수신 신호 모델은 진폭과 위상의 변화를 고려한 추적기의 성능을 평가하는데 사용된다. 추적기로 사용되고 있는 칼만 필터는 잡음에 의한 성능에 근간을 두고 있으나, 본 논문에서 제시된 수신 신호의 모델을 통해 현실적인 상황에서 칼만 필터의 성능과 문제점들을 파악하는데 도움이 될 수 있다.

Reference

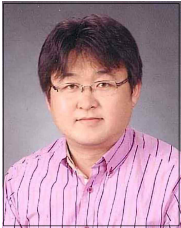
- [1] J. Bae, E. Hyun, J.H. Lee, "An automotive radar target tracking system design using $\alpha\beta$ filter and NNPA algorithm," IEMEK J. Embed. Sys. Appl. Vol. 6, No. 1, pp. 16-24, 2011 (in Korean).
- [2] R. H. Delano, "A theory of target glint or angular scintillation in radar tracking," Proceedings of IEEE the IRE, Vol. 41, No. 12, pp. 1778-1784, 1953.
- [3] B. R. Mahafza, "Radar systems analysis and design using MATLAB," CHAPMAN & HALL/CRC, pp. 71-116, 2000.
- [4] H.S. Lee, E.G. Lee, J.T. Kim, J.H. Choi, C.Y. Kim, "RCS analysis for improving the performance of the skin tracking of KSLV-II," Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers, Vol. 19, No. 4, pp. 566-572, 2015 (in Korean).
- [5] J. E. Lindsay, "Angular glint and the moving, rotating, complex radar target," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. AES-4, No. 2, pp. 164-173, 1968.
- [6] G.S. Sandhu, A.V. Saylor, "A real-time statistical radar target model," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol AES-21, No. 4, pp. 490-507, 1985.
- [7] P. Swerling, "Probability of detection for fluctuating targets," IEEE IRE Transactions on Information Theory, Vol. 6, No. 2, pp. 269-308, 1960.
- [8] M. I. Skolnik, "Radar handbook," McGrawHill, pp. 9.26-9.35, 2008.
- [9] B.H. Borden, M.L. Mumford, "A statistical glint/radar cross section target model," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. AES-19, No. 5, pp. 781-785, 1983.
- [10] W.R. Wu, "Target tracking with glint noise," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. 29, No. 1, pp. 174-185, 1993.

Seungeon Song (송 승 언)

He is received B.E. degree in electronic engineering from Jeju National University in 2014. He is Currently a M.S. student in Jeju National University. His

research interests include embedded software, digital signal processing, and radar system.

Email: tinit@naver.com

Han-Seop Shin (신 한 섭)

He received the Ph.D. degree in electronic engineering from Kyung-pook National University in 2004. he is currently Senior researcher in

Korea Aerospace Research Institute. His research interests include tracking radar and system parameter optimization.

Email: hsshin@kari.re.kr

Dae-Oh Kim (김 대 오)

He received the M.S. degree in information and communication engineering from Kunsan National University in 2000. In 2002, he joined Korea Aerospace Research

Institute where he is currently Senior researcher. His research interests include monopulse tracking, tracking radar, radar antenna and bistatic radar RCS.

Email: daeokim@kari.re.kr

Chul-ung Kang (강 철 웅)

He received the Ph.D. degree in marine production engineering from Nagasaki University, Nagasaki, Japan, in 1999.

From 1999 to 2001, he was a instructor in Nagasaki University. In March 2001, he joined Jeju National University, Jeju, Republic of Korea, where he is currently the Professor. His research interests include embedded hardware, mechatronics, electrical & electronic engineering and biomedical engineering.

Email: cukang@jejunu.ac.kr

Seokjun Ko (고 석 준)

He received the Ph.D. degree in Electrical, Electronic and Computer Science from Sung Kyun Kwan University, Seoul,

Republic of Korea, in 2001. From March 2002 to May 2004, he was a Research Associate in Samsung Ltd. In March 2005, he joined Jeju National University, Jeju, Republic of Korea, where he is currently the Associate Professor. His research interests include embedded software, digital signal processing, radar system, and wireless communication system.

Email: sjko@jejunu.ac.kr