

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(1), 40-48(2015)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.1.40>

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

ISAR 영상을 이용한 RF탐색기 측정치 모델링

하현종*, 박우성*, 정기환**, 박상섭*, 고일석**, 유창경***

RF Seeker Measurement modeling using ISAR Image

Hyun-Jong Ha*, Woosung Park*, Ki-Hwan Jung**, Sang-Sup Park*,

Il-Suek Koh** and Chang-Kyung Ryoo***

Department of Aerospace Engineering, Inha University*,***

Department of Electrical Engineering, Inha University**

ABSTRACT

In this paper, we suggest a measurement modeling of the RF seeker using the ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) image. Reference scattering points are extracted first from ISAR images which are changed according to target attitude. And then uncertainties included in RF seeker measurement such as noise strength, blink, and boresight error are added to the reference scattering points. The proposed measurement model of the RF seeker can be used to develop various kinds of target tracking algorithms.

초 록

본 논문에서는 RF탐색기 측정치인 산란점 모델링 기법에 대해 제안한다. 우선 상대자세 각 따라 변화하는 ISAR 영상(Inverse Synthetic Aperture Radar Image)로부터 기준 산란점을 생성하였다. 다음으로 RF탐색기 측정치의 주요 불확실성 요소인 잡음세기(noise strength), 깜박임(blink), boresight 오차를 기준 산란점에 부가한다. 본 연구에서 제안된 RF 탐색기 모델은 다양한 표적추적 필터 알고리즘 개발에 사용할 수 있다.

Key Words : Scattering point(산란점), ISAR image(역 합성개구면 레이더 영상), RF seeker(라디오 주파수 탐색기)

1. 서 론

유도탄에 탑재된 RF탐색기는 레이더의 기본원리와 동일하다. 레이더는 송신기에서 보낸 신호가 표적에 반사되어 수신기로 돌아오는 시간을 이용하여 표적의 위치정보를 결정한다[1]. 기본적으로 레이더는 표적의 거리정보만 얻을 수 있으

나 FOV(Field of View)가 작은 경우 레이더의 지향하는 방위각과 고각을 통해 표적의 방향을 추정할 수 있으며, 도플러 효과를 이용하여 표적의 속도 역시 추정이 가능하다. RF탐색기는 주파수 변조 신호를 표적에 송신한다. 표적에 반사되어 수신기로 돌아온 신호를 FT(Fourier Transform)와 같은 방법을 사용하여 표적에 대한

† Received : June 30, 2014 Revised : December 11, 2014 Accepted : December 16, 2014

*** Corresponding author, E-mail : ckryoo@inha.ac.kr

거리 모델로 표현한다. 그 거리 모델에서 신호가 강하게 나타나는 부분을 산란점(scattering point)이라고 정의하고 있다[2, 3]. 미사일의 경우 산란점의 위치는 콘(cone)과 미익부에서 찾을 수 있다. 그 이유는 콘 부분과 미익부는 표면의 불연속한 부분이 있는 반면, 미사일의 동체부는 매끈하기 때문이다. 만일 동체부에도 불연속한 부분이 존재한다면 산란점이 나타날 수 있다. 즉, 표면의 불연속 여부에 따라 산란점의 위치가 결정된다. 또한, 미익부에서 많은 불연속한 부분이 존재하기 때문에 산란점은 미익부에서 콘 부분보다 많이 생길 수 있다.

기존의 RF탐색기 측정치에 대한 연구는 신호 처리기법을 기반으로 한 range profile과 같은 특성벡터를 추출하거나 ISAR 영상(Inverse Synthetic Aperture Radar Image)을 이용한 산란점 예측에 관한 연구가 많았다[3-6]. 이러한 연구는 측정불확실성을 고려하여 실제적인 현상을 위한 모델링은 수행되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 RF탐색기 측정치인 산란점을 모델링 하는 기법에 대해 연구하고자 한다. ISAR 영상에서 mask방법을 이용하여 기준모델이 되는 산란점을 추출한다. 다음으로 RF탐색기의 측정치 모델에 영향을 끼치는 주요 원인인 잡음세기, 깜박임, boresight오차를 선택하여 각 불확실성 요소에 대한 모델링을 수행하고 이를 기준 산란점에 적용하였다.

II. 본 론

2.1 기준 산란점 추출

기준 산란점은 측정 오차 및 잡음이 없는 이상적인 상태의 모델이다. 이는 RF탐색기의 측정치를 모델링하는데 있어 기준이 되는 정보이다. 기준 산란점 추출과정은 Fig. 1에 나타나 있다. 미리 구성된 ISAR영상 database에서 보간을 통해 ISAR영상을 생성한다. 이때 사용하는 입력값은 표적과 유도탄의 상대자세각이다. 생성한 ISAR 영상에 mask방법을 적용하여 기준 산란점을 찾아낸다. 탐색기 시선과 표적 동체좌표계의 상대자세각에 대한 정의는 Fig. 2에 나타나 있다. 표적 동체좌표계에 대해 탐색기 시선벡터가 위치한 각도를 통해 정의하였다.

2.1.1 상대자세각에 대한 ISAR영상 생성

고정된 안테나로 움직이는 표적의 레이더 영상 이미지를 생성 할 수 있는 방법으로 ISAR영상을 이용한다.

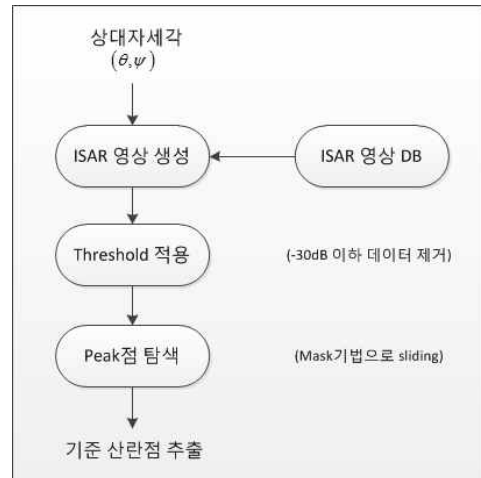


Fig. 1. Extracted processing of reference scattering point

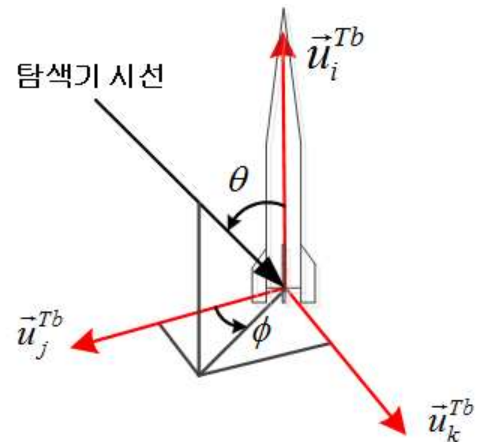


Fig. 2. Definition of relative attitude

점 표적(point target)에 대해 입사하는 필드와 산란하는 필드는 아래와 같이 표현한다.

$$\vec{E}^i = \vec{a} e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad (1)$$

$$\vec{E}^s = \vec{b} e^{-2j\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad (2)$$

여기서 \vec{E}^i 와 \vec{E}^s 는 각각 입사파와 반사파이다. \vec{a} 와 \vec{b} 는 임의의 벡터이고 \vec{k} 는 웨이브벡터(wave vector)이다. 2D ISAR 영상은 아래와 같이 FT로 표현된다.

$$\int \int \vec{E}^s \cdot \vec{l} e^{2j\vec{k} \cdot \vec{r}} d\vec{k} = IFFT[\vec{E}^s \cdot \vec{l}] \quad (3)$$

여기서 \vec{l} 은 레이더 안테나의 방향벡터이다. 식 (3)에서 지수함수 부분은 정합필터 역할을 한다. $\vec{E}^s \cdot \vec{l}$ 는 계산된 RCS(Radar Cross Section)의

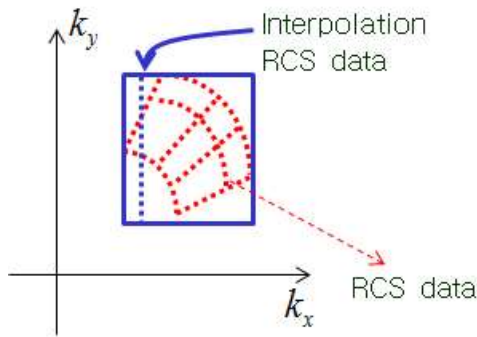


Fig. 3. Sampling points

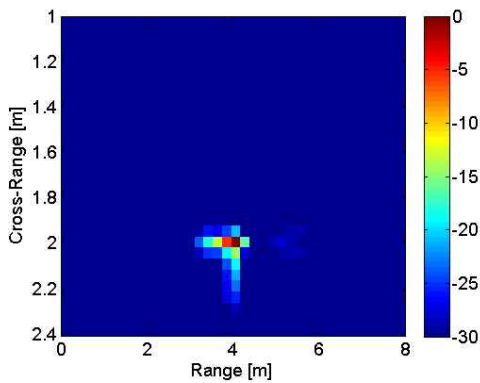


Fig. 4. ISAR image of point target

co-pol이고, $\vec{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y}$, $k_x = k_0 \sin\theta \cos\phi$, $k_y = k_0 \sin\theta \sin\phi$, $k_0 = 2\pi f/c$ 이다. f 는 주파수이고, c 는 빛의 속도이다. $IFFT[\cdot]$ 는 Inverse Fast Fourier Transform이다[7].

ISAR 영상을 추출하는 방법들은 일반적으로 3가지 방법이 있다. Pulse를 이용하여 range compression과 FFT를 사용하는 range-doppler 방법, 보간법을 사용하여 좌표계를 바꾸는 polar reformatting 방법, ray 기반으로 projection-slice theorem을 사용하는 back-projection 방법이 있다. 본 논문에서는 polar reformatting을 이용한다[8].

RCS 데이터는 주파수(f)와 방위각(ϕ)을 변화하여 생성한다. 그러나 식 (3)을 효율적으로 계산하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용한다. FFT를 사용하기 위해서는 k_x 와 k_y 에 대해 균일한 데이터가 필요하다. 그러나 Fig. 4에서 보듯이 생성된 RCS 데이터는 k_x 와 k_y 에 대해 균일하게 분포되지 않아, 보간법을 이용하여 균일한 k_x 와 k_y 점에서 RCS를 계산한다. 주파수 해상도 및 방위각 해상도는 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\Delta f = \frac{c}{2X_{\max}}, \quad \Delta\phi = \frac{c}{2f_c \cdot Y_{\max}} \quad (4)$$

여기서 X_{\max} 는 영상 추출 시 range(x-axis)방향 표적의 길이이고, Y_{\max} 는 cross-range(y-axis)방향 표적의 길이이다. 주파수 및 방위각 해상도가 정해지면, RCS 데이터의 주파수 및 방위각 샘플링 수가 정해진다. 그 데이터를 보간법을 통해 균일한 k_x , k_y 에 대하여 새로운 데이터를 생성한다. 마지막으로 IFFT를 수행하면 ISAR 데이터를 얻을 수 있다. Fig. 3은 θ (theta)가 90° , 중심주파수는 16GHz, 중심방위각은 0° 이고, $x=4$, $y=2$ 인 위치에 존재하는 점표적에 대한 ISAR 영상이다. Fig. 4에서 최대값의 위치는 $x=4.066$, $y=1.994$ 이다. 원 점 표적 위치와 잘 일치한다. 위 영상에서 주파수 해상도는 0.125GHz, 방위각 해상도는 0.0019rad이며, 주파수 샘플링은 51개, 방위각 샘플링은 101개이다. 따라서 주파수 범위는 15.6875~16.3125GHz가 되고, 방위각 범위는 $-0.0938 \sim 0.0938$ rad가 된다. 이를 통해 추출된 영상의 range 해상도는 0.214m, cross-range 해상도는 0.0486m이다.

일반적으로 2D ISAR 영상은 삼차원 형상을 이차원 영상으로 복원 하므로 정확하게 점 표적의 3차원 좌표를 예측할 수 없다. 보통 2D ISAR 영상은 앞서 설명한대로 주파수와 방위각을 변화시켜 얻어 고각에 대한 정보를 추출 할 수 없다. 그러므로 고각의 효과를 예측하기 위해 고각을 변화하여 여러 2D ISAR영상을 생성하여 데이터 베이스화 한다. Fig. 5-7은 고각에 따른 ISAR영상 변화이다. 고각을 제외한 다른 조건은 Fig. 4과 같다.

Figure 5에서 최대값은 $x=0.642$, $y=0.3404$ 이고, Fig. 6에서는 $x=1.926$, $y=1.021$ 이며, Fig. 7에서는 $x=3.424$, $y=1.75$ 이다. 고각의 변화에 따라 ISAR 영상은 식 (3)에서 \vec{k} 에 포함된 $\sin\theta$ 효과로 인해 다르게 출력된다.

$$x = x' \times \sin\theta \quad (5)$$

식 (5)에서 x 는 ISAR 영상에서 추출된 점 표적 위치이고, x' 은 실제 점표적의 위치이다. 각 θ 값은 Fig. 5에서 10도, Fig. 6에서 30도, Fig. 7에서 60도이다. 즉, 실제 점표적 위치를 ISAR 영상을 통해 고각을 고려하면 실제 위치인 $x=4$, $y=2$ 를 보다 정확하게 예측한다. 이에 대한 결과는 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Position of point target according to elevation angle

Position of point target	
Real position	$x = 4$ $y = 2$
Fig. 5 ($\theta = 10^\circ$)	$x' = 0.642/\sin 10^\circ = 3.6971$ $y' = 0.3404/\sin 10^\circ = 1.9603$
Fig. 6 ($\theta = 30^\circ$)	$x = 3.852$ $y = 2.042$
Fig. 7 ($\theta = 60^\circ$)	$x = 3.9537$ $y = 2.0207$

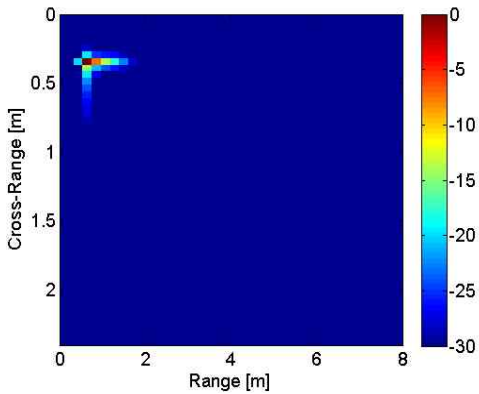


Fig. 5. ISAR image at theta 10°

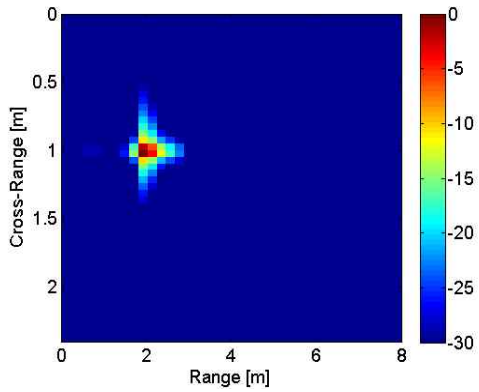


Fig. 6. ISAR image at theta 30°

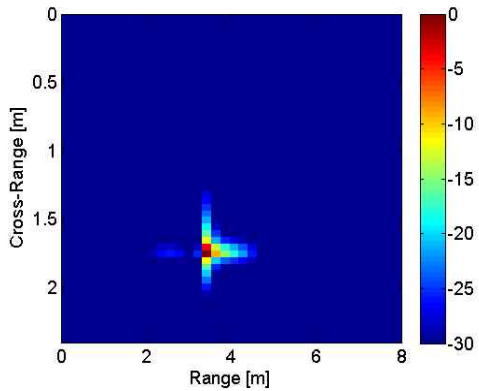


Fig. 7. ISAR image at theta 60°

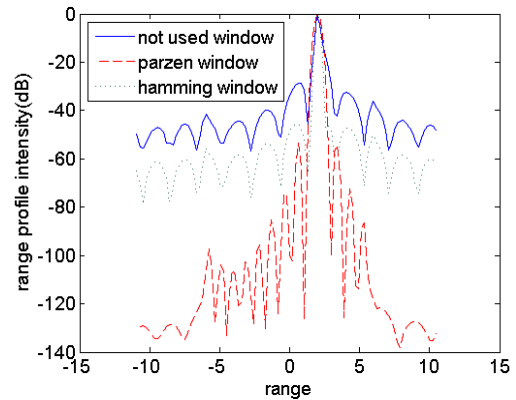


Fig. 8. ISAR profile with window function(range profile)

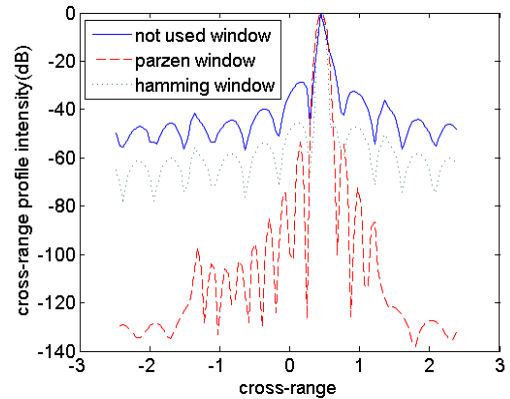


Fig. 9. ISAR profile with window function(cross-range profile)

ISAR 영상을 추출할 때 윈도우(window) 함수를 사용하면 사이드로브(side-lobe)을 줄일 수 있어, 산란점을 보다 명확하게 추출할 수 있다. 그러나 윈도우함수를 사용하면 영상의 해상도가 떨어지는 단점이 있다. 대표적인 윈도우로는 hann, hamming, blackman, parzen 등이 있다. Fig. 8-9는 하나의 점표적에 대하여 hamming, parzen window를 사용한 ISAR 영상과 window를 사용하지 않은 ISAR 영상을 비교한 결과이다. 그림에서 보듯이 윈도우를 사용하면 점표적의 영상이 보다 명확하다.

Figure 8-9에서 θ 는 30도이고, 그 외의 조건은 Fig. 4과 같고, range 혹은 cross-range profile intensity는 ISAR 영상에서 정규화 된 dB 스케일이다. 윈도우를 사용하지 않은 경우, 전반적으로 높은 dB 값을 가지며, 윈도우 함수를 사용할 경우, 사이드로브를 줄여 intensity가 강한 부분을 확연히 추출할 수 있다. 상황에 따라 적당한 윈도우를 사용하면 ISAR 영상을 통해 산란점을

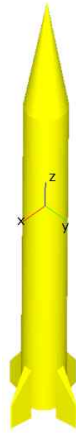


Fig. 10. Missile geometry

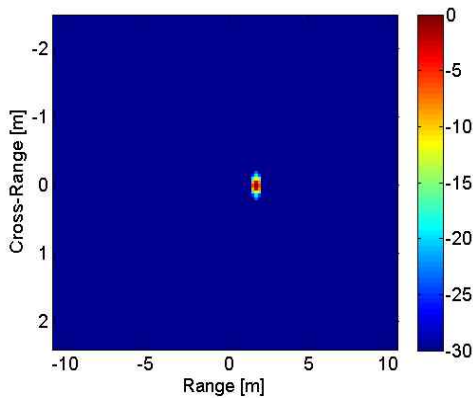


Fig. 11. ISAR image at theta 50°

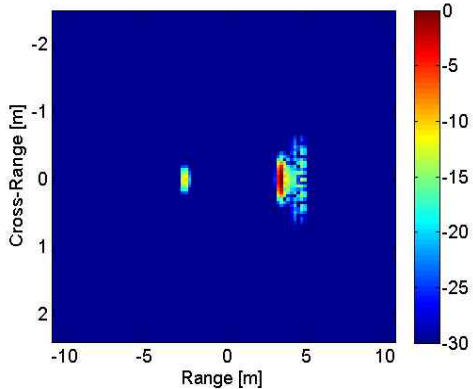


Fig. 12. ISAR image at theta 30°

더욱 명확하게 추출할 수 있다. 개발된 ISAR 영상 생성 알고리즘을 이용하여 Fig. 10과 같은 미사일의 ISAR 영상을 계산하였다. Fig. 11-13은 monostatic RCS를 이용한 ISAR 영상이며, RCS 데이터는 PO(Physical Optics)방법을 사용하여 계산하였다[9]. 영상은 주파수와 방위각을 sweep 시켜 얻은 RCS 데이터를 이용하였고, 주파수 내역은 x-band이다. 윈도우 함수는 hamming

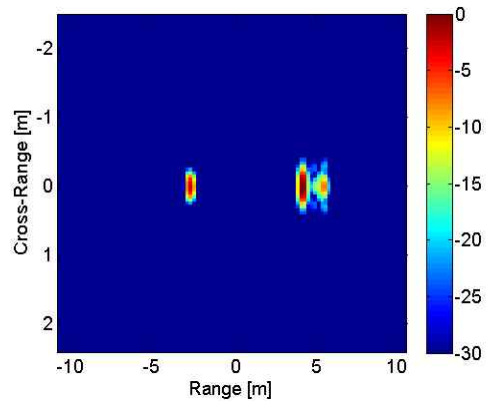


Fig. 13. ISAR image at theta 5°

window를 사용하였으며, theta가 50도 일 때 Fig. 11과 theta가 30도일 때 Fig. 12, theta가 5도 일 때 Fig. 13의 결과를 나타내었다. 표면이 매우 부드럽기 때문에 산란점은 주로 미사일 콘 부분과 미익부에서 나타나게 된다. 그리고 미사일 콘에서는 고각이 높아질수록 산란점이 강하게 추출됨을 확인할 수 있다.

2.1.2 Mask법을 적용한 기준 산란점 추출

보간을 통해 상대자세각에 대한 ISAR 영상의 획득 후 mask 방법을 이용하여 신호가 강한 부분을 점으로 추출한다. 추출한 점이 각 상대자세각에서의 기준 산란점이 된다. 본 논문에서는 문턱 값을 정하고 ISAR 영상에서 문턱 값 이하의 정보는 모두 문턱 값으로 단순화하였다. 문턱 값 이하의 정보는 ISAR 영상 처리 과정에서 발생하는 잡음과 같은 불필요한 정보를 의미하므로 제거한다. 이 때 사용한 문턱 값의 기준은 ISAR 영상 해석 시 일반적으로 사용되는 값을 참고하였다. 다음으로 일정한 크기의 N-by-N 행렬을 가진 mask를 구성하여 Fig. 15와 같이 ISAR 영상 평면 위를 미끄러지듯이 탐색한다. 이 때, mask 셀의 값 중에서 가장 큰 값을 가지는 곳이 mask의 중앙의 값과 일치할 때에 그 점의 정보를 획득한다. 이러한 점의 집합을 기준 산란점으로 추출하였다.

문턱 값 이하 정보제거는 Fig. 14, mask법을 이용한 기준 산란점 추출은 Fig. 15에 순서대로 나타내었다. Mask법을 이용한 결과는 Fig. 16-18에 나타내었다. Mask를 구성하는 N의 크기에 따라 다른 기준 산란점을 생성해 낼 수 있다.

2.2 측정 불확실성 모델링

RF 탐색기의 측정치 모델에 영향을 끼치는 가장 주요 원인으로 총 세 가지를 선택하였다. 그

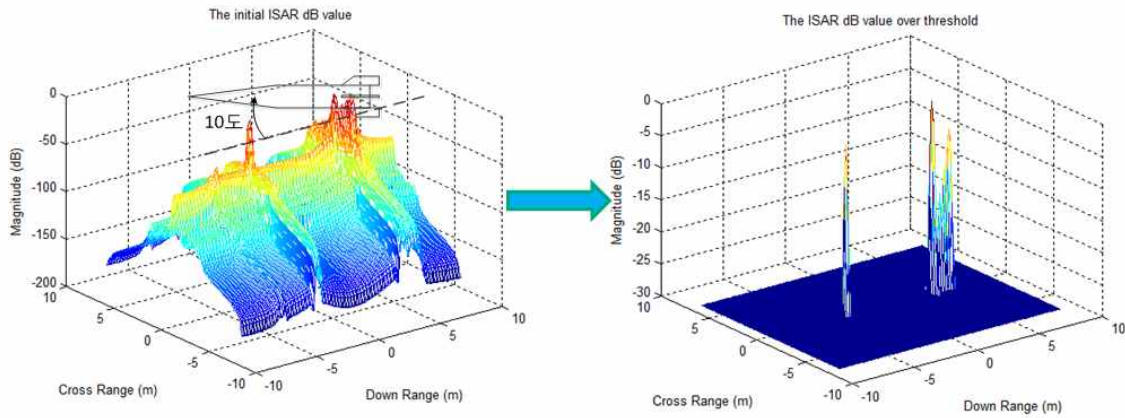


Fig. 14. Elimination of value under the threshold($\phi = 0\text{deg}, \theta = 10\text{deg}$)

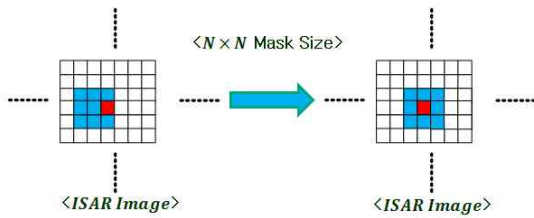


Fig. 15. Detection of peak point using mask method

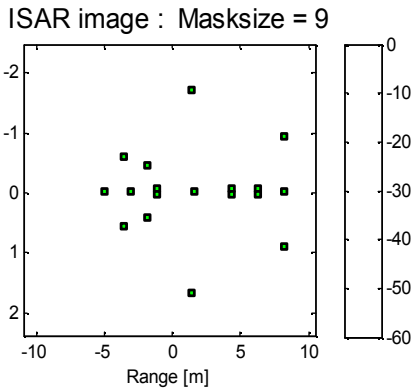


Fig. 16. Extraction of reference scattering point by Mask(mask size : 9)

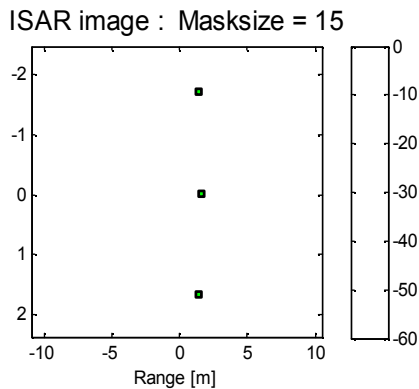


Fig. 17. Extraction of reference scattering point by Mask(mask size : 9)

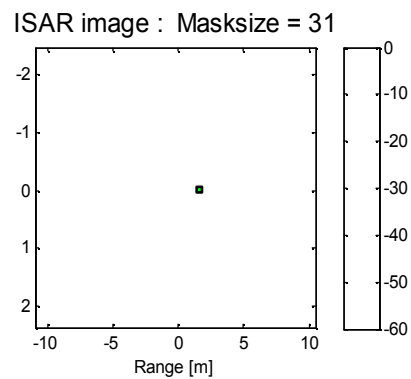


Fig. 18. Extraction of reference scattering point by Mask(mask size : 9)

원인으로는 잡음세기와 깜박임, 그리고 boresight 오차가 있다. 잡음세기는 각 측정값에 포함되는 잡음을 나타내며 깜박임은 불확실하게 정보가 사라지는 현상을 나타낸다. 또한 boresight 오차는 탐색기 지향에 대한 오차를 나타낸다. 본 절에서는 각 불확실성 요소에 대한 모델링을 수행하였다.

2.2.1 잡음세기 모델링

산란점의 잡음세기 모델링은 Table 2와 Fig. 19에서와 같이 간단한 그림으로 표현하였다. 잡음이 포함된 산란점 세기(S_i)는 기준 산란점이 가지는 세기(\bar{S}_i)에 가우시안 분포를 가지는 잡음세기($w \sim N(0, \sigma_s^2)$) 모델을 더해줌으로써 이루어진다. 잡음 세기의 불확실성 편차는 설계요소로 두었다. 따라서 동일한 상대자세가 일지라도 잡음에 의하여 다른 세기를 가진 산란점이 모델링 된다.

2.2.2 깜박임 모델링

깜박임 모델은 동일한 세기를 가진 산란점이

Table 2. Scattering point noise strength model

Scattering point noise strength model	
Strength model(S_i)	$S_i = \bar{S}_i + w, w \sim N(0, \sigma_s^2)$
S_i	i-th scattering point strength
\bar{S}_i	i-th reference scattering point strength
σ_s	STD of scattering point strength uncertainty
$S_{i_{min}}$	Minimum scattering Point strength
$S_{i_{max}}$	Maximum scattering Point strength

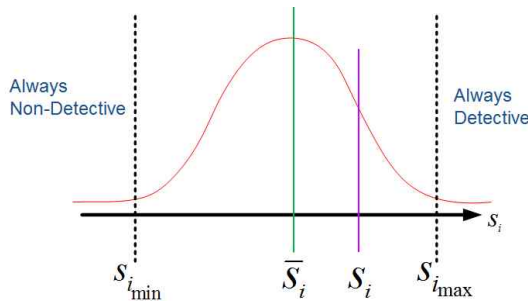


Fig. 19. Noise strength modeling

Table 3. Scattering point blink model

Scattering point blink model	
Detection probability(u)	$u \sim U(S_{i_{min}}, S_{i_{max}})$
$S_i \geq u$	Scattering point detection
$S_i < u$	Scattering point non-detection
$S_{i_{min}}$	Minimum scattering point strength
$S_{i_{max}}$	Maximum scattering point strength

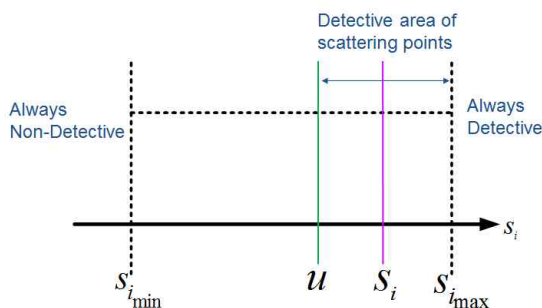


Fig. 20. Blink modeling

나타나는 경우와 나타나지 않는 경우를 모사한다. 이를 Table 3과 Fig. 20에서 간단하게 나타내었다. 먼저, 산란점 세기의 영역을 최소값, 최대값의 경계를 두어 세 부분으로 나누었다. 만일, 잡음을 적용한 산란점의 세기(S_i)가 최소값($S_{i_{min}}$)보다 작다면 산란점은 항상 나타나고 반대로 최대값($S_{i_{max}}$)보다 크다면 항상 나타나지 않게 하였다. 최소값, 최대값 사이 부분은 균등분포(Uniform distribution)를 적용한 난수 u 를 생성하여 산란점 세기(S_i)가 u 보다 큰 경우에만 보이도록 하였다. 즉, 특정시점에서 산란점 출현가능 세기 u 를 균등분포로 생성하여 동일한 산란점 세기를 가지더라도 산란점이 나타날 수도 혹은 나타나지 않을 수도 있다.

2.2.3 Boresight오차 적용

탐색기와 표적과의 상대거리 R 과 boresight오차에(BSE) 따라 산란점의 측정위치(r)가 달라진다. Fig. 21은 이를 나타낸다. Boresight 오차(ϵ_θ)는 탐색기 성능으로 정해진 최대 boresight 오차(ϵ_{max})의 $1/3$ 가량을 1σ 로 하는 가우시안 분포를 생성하여 만들어 낸다. 또한, boresight 오차는 2차원 평면에서 동일하게 분포할 수 있으므로 회전각도(ϕ)를 균등분포($U(-\pi, +\pi)$)를 통해 만들어 낸다. 이를 적용하여 boresight 오차를 모사하였고 Table 4에 적용한 모델을 정리하였다.

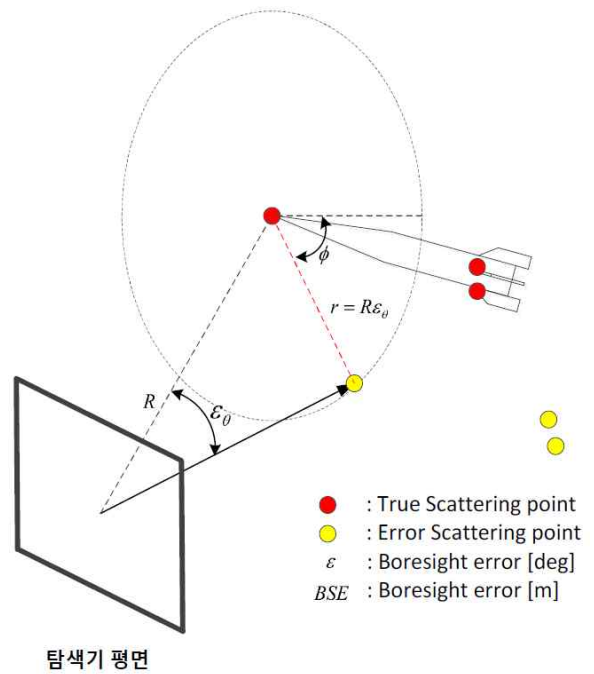


Fig. 21. Application of boresight error

Table 4. Scattering point BSE model

Scattering point BSE model	
Error distance(r)	$r = R\epsilon_\theta \quad \epsilon_\theta \sim N(0, \frac{\epsilon_{\max}}{3})$
ϵ_{\max}	Max. boresight error
R	Relative distance
Angle(ϕ)	$\phi \sim U(-\pi, +\pi)$

2.3 산란점 모델링 시뮬레이션 결과

잡음세기, 깜박임, boresight 오차 모델의 측정 불확실성을 모두 적용한 산란점 모델링 시뮬레이션 결과를 Fig. 22-23에 나타내었다. Table 5는 잡음세기 및 깜박임 모델을 살펴보기 위한 초기 조건이다. 상대각도는 5deg, 상대거리는 300m로 고정시킨 상태에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 22에서 확인할 수 있다. 상대각도 5deg에서는 표적 미사일의 미익부와 콘 부분에서 산란점이 생긴다. 3개의 산란점이 생기지만 모두 세기가 약하다. 따라서 산란점은 확률적으로 최대 3개에서 0개까지 존재 할 수 있다. 동일한 각도에서도 산란점이 임의의 조건에 대해 다르게 보이는 잡음세기 및 깜박임 모델링이 잘 반영되어 있다.

Table 6은 boresight 오차 모델을 살펴보기 위한 초기 조건이다. 상대각도를 15deg로 고정하고 상대거리를 8000m에서 300m로 줄이면서 산란점의 위치를 살펴보았다. 그 결과는 Fig. 23에서와

Table 5. Initial condition 1

Parameter	
Mask size	N=15
Relative attitude	$\theta = 5\text{deg}$ $\phi = 0\text{deg}$
Relative range	$R = 300\text{m}$

Table 6. Initial condition 2

Parameter	
Mask size	N=15
Relative attitude	$\theta = 15\text{deg}$ $\phi = 0\text{deg}$
Relative range	$R = 8000\text{m} \rightarrow 300\text{m}$

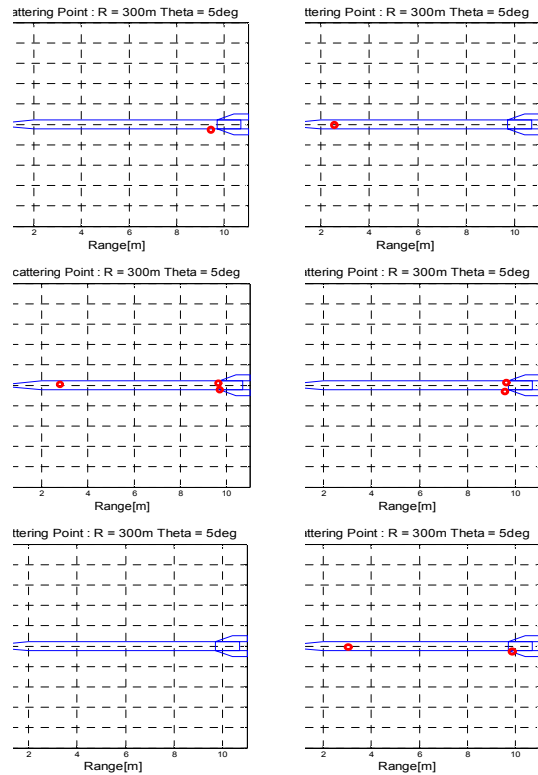


Fig. 22. Application of scattering point by noise strength, blink model

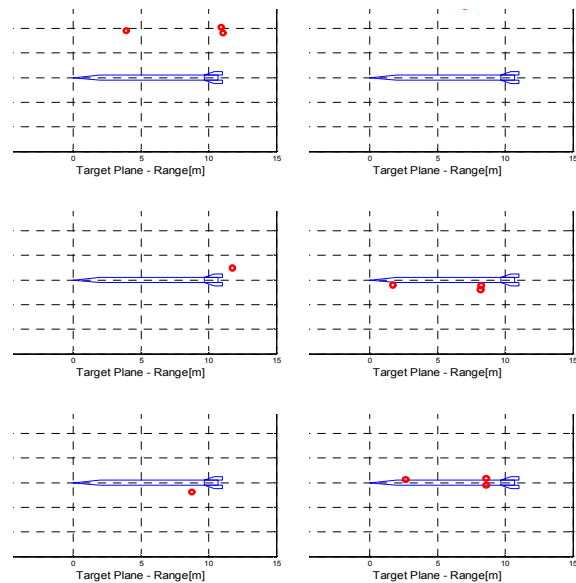


Fig. 23. Variation of scattering point position by relative distance

같이 표적과의 상대거리가 가까워짐에 따라 산란점이 정확한 위치를 찾아감을 알 수 있다. 또한, 잡음세기와 깜박임 모델링으로 인해 산란점 개수의 변화가 있는 것을 확인해 볼 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 RF탐색기 측정치인 산란점 모델링 하는 기법에 대해 연구하였다. RF탐색기와 표적의 상대자세각에 따라 변화하는 ISAR 영상을 생성하고, 생성한 ISAR 영상에서 mask방법을 이용하여 기준모델이 되는 기준 산란점을 추출하였다. 또한, RF탐색기의 측정치 모델에 영향을 끼치는 주요 원인인 잡음세기, 깜박임, boresight오차를 선택하고 각 불확실성 요소에 대한 모델링을 제안하였다. 제안한 측정불확실성 모델링 기법을 기준 산란점에 적용하여 RF탐색기 측정치인 산란점 모델링을 수행하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 기존의 신호처리 기법을 이용한 방법과는 다르게 RF탐색기 측정치의 가시적인 모델링을 하였다. 이는 RF탐색기 측정치를 이용하여 표적형상의 특성을 알 수 있는 방법을 제시하였다. 표적의 정보가 담겨져 있는 ISAR영상 기반의 모델링 이므로 실험을 통해 ISAR영상을 획득하여 제안한 모델링을 적용하면 실제의 산란점과 매우 유사한 산란점 모델이 가능해진다. 또한, RF탐색기 모델은 교전모의를 위한 탐색기 모델링의 기반이 되며 다양한 표적 추적필터 알고리즘 개발에 사용이 가능하다

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 : UD130001CD).

References

- 1) Pozar, D. M., *Microwave Engineering*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2012.
- 2) Stimson, G. W., *Introduction to Airborne radar*, SciTECH PUBLISHING, INC., 1998.
- 3) Kim, K. T., Seo, D. K., and Kim, H. T., "Radar target identification using one - dimensional scattering centres," *Radar, Sonar and Navigation, IEE Proceedings-*, Vol. 148, No. 5, 2001, pp. 285~296.
- 4) Shin, S. Y., *A Study on Estimation Scattering Centers & ISAR Image of a Target Using High Resolution Techniques Radar Target Recognition*, Ph.D. Dissertation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2009.
- 5) Liao, K., Gui, G., Chen, Z., and Yang, W., "High resolution range profile based extraction of radar target length," *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 6, No. 23, 2011, pp. 5503~5510.
- 6) Choi, G. G., Han, S. K., Jo, H. J., Kim, H. T., Kim, K. T., Song, S. C., and Na, Y. J., "A Study on Signal Processing of Ballistic Missile Warhead Discrimination Using ESPRIT in Millimeter-Wave(Ka-Band) Seeker," *The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 23, No. 2, 2012, pp. 266~269.
- 7) Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. *Introduction to Algorithms*, 3rd. ed. MIT Press and McGraw-Hill, 2009.
- 8) Chang, K., *Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging With MATLAB Algorithms*, Wiley, 2012.
- 9) Balanis, C. A., *Advanced Engineer-ing Electromagnetics*, Wiley, 2010.