STK를 이용한 고해상도 위성 SAR 운용 및 표적물 추출 기법

High Resolution Spaceborne SAR Operation and Target Recognition Simulator Using STK

이 보 윤 · 이 슬 기 · 이 우 경

Bo-Yun Lee · Seul-Ki Lee · Woo-Kyung Lee

요 약

고해상도 위성 SAR 영상은 주파수 특성, 안테나 설계 변수, 시스템 내부 잡음 및 간섭 신호에 영향을 많이 받으며, 특히 표적의 RCS(Radar Cross Section)에 따라 표적 특성의 품질이 달라지기 때문에 영상 예측을 위한 시뮬레이션이 복잡해진다. 본 논문에서는 STK(Systems Tool Kit)과 매트랩을 결합하여 작성한 SAR 운용 시뮬레이터를 구축하고, 추출된 데이터를 적용하여 SAR 시뮬레이션을 수행한다. 점 표적의 품질을 판별할 수 있는 중요 변수 특성을 분석하며, 향후 위성 SAR 영상의 검보정에 활용할 수 있음을 보인다. 또한, 위성의 궤도 위치에 따라 변화하는 표적의 RCS를 적용하고, 발생 가능한 RF 간섭 신호를 반영하여 SAR 영상에서의 표적물 품질 변화 예측을 수행할 수 있는 방안을 제시한다.

Abstract

A comprehensive SAR(Synthetic Aperture Radar) simulation is considered to be a complicated task since a full knowledge of the signal propagation characteristics, antenna pattern, system internal errors and interference noises should be taken into account. In high resolution target application modes, the time varying nature of target RCS(Radar Cross Section) strongly affects the generated SAR images. In this paper, in-depth SAR simulations are performed and analyzed incorporating the STK tools and MATLAB software. STK provides realistic orbit parameters while its radar module helps to extract accurate radiometric parameters of ground targets. SAR raw data corresponding to a given target is generated and processed using MATLAB simulator. The performance is measured by PSLR(Peak Sidelobe Ratio) and ISLR(Integrated Sidelobe Ratio) for a point target, which can be used as reference parameters for accurate radiometric calibration. Finally, high resolution target simulations are performed by adopting time varying target RCS characteristics.

Key words : SAR Simulation, STK, RCS, Target Recognition

I. 서 론

SAR는 전자파를 이용하여 영상을 구성하므로, 가

시광선 영역이나 적외선 영역의 광학 센서와는 달리 안개나 구름, 강우 등과 같은 기상조건의 제약을 받지 않아 영상 수집이 가능하다. 스스로 전자파를 생

「이 연구는 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.」

한국항공대학교 항공전자공학과(Department of Avionics, Korea Aerospace University)

• Manuscript received October 19, 2012 ; Revised January 10, 2013 ; Accepted January 29, 2013. (ID No. 20121019-02S)

• Corresponding Author : Bo-Yun Lee (e-mail : beaton50@naver.com)

성하여 방출하고, 반사된 신호를 분석하는 능동 센서이기 때문에, 야간에도 영상 획득이 용이하다^[1]. 이러한 영상 데이터를 획득하기 위해서는 SAR 시뮬레이션이 필수적이다. 하지만 SAR 시뮬레이션은 신호 전파 특성, 안테나 설계 변수, 시스템 내부 잡음 및 간섭 신호에 영향을 많이 받으며, 특히 표적의 RCS에 따라 영상의 품질이 달라진다^[2]. 이러한 변화는 고해상도의 SAR 영상에서 더욱 큰 편차가 심해지게 되는데, 향후 발사되는 위성 SAR는 1 m 이하의 고해상도 영상을 획득함에 따라 품질 예측을 위한 시뮬레이터의 개발 환경도 더욱 복잡해지게 된다.

기존의 영상 검보정은 아마존 유역과 같은 넓은 분산 표적을 대상으로 수행하는 것이 일반적이었으나, 최근에는 고해상도 영상 적용을 위해 기준 능동점 표적을 설정하여 정밀한 보정을 하는 연구가 수행되고 있다^[2].

그림 1은 TerraSAR-X SAR 위성의 시스템 변수를 사용하여 SAR 검보정에 활용하는 연구 사례를 보여준다^[3]. 이상적인 표적과 실제 표적의 임펄스 응답을 비교하여 계산된 오차를 이용한 TCC(Target Correction Coefficient)의 개념을 사용하여 정밀한 표적 보정 요소로서 사용하였다. 실제 상황에서 발생하는 SAR 임펄스 응답 신호는 안테나 빔과 위성 궤도의 영향으로 인하여 이상적인 가정에서 산출되는 임펄스와는 다른 형태를 갖는다. 이처럼 고해상도 위성 SAR의 실제 성능을 예측하기 위해서는 위성이 운용되는 환경을 종합적으로 분석하여 그 특성을 반영할 필요가 있다.

그림 1. SAR 영상 시스템 운영 궤도
Fig. 1. SAR image system operation orbit.

그림 2. SAR 영상 시스템 운영 궤도
Fig. 2. SAR image system operation orbit.

본 논문에서는 위성 궤도에서 운용되는 SAR 탑재체에서 획득되는 원시 데이터를 정밀하게 확보하기 위해 안테나 빔 패턴 설정, 곡선 궤도 설정, 간섭 신호의 영향 및 표적의 RCS가 고려된 시나리오를 구성하여 SAR 시뮬레이션을 수행한다.

위성 SAR의 궤도는 일반적으로 일직선으로 가정할 수 있지만, 고해상도 SAR의 경우 위성의 곡선 궤도 형태와 지표면과의 상대 거리 오차 등이 표적물 영상에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 정밀한 위성 궤도 모델을 확보하는 것이 중요한데, 본 논문에서는 STK(Systems Tool Kit)를 이용하여 위성 궤도를 묘사하고, 그 데이터를 시뮬레이터에 입력하는 인터페이스를 구축하였다. 그림 2는 STK에서 구성하는 SAR 영상 시스템 운영도를 보여준다. 궤도 시뮬레이션을 통해 하루 동안의 대한민국에 접근하는 SAR 임무 시나리오를 구성하여, 위성 궤도에서의 직거리(slant range) 및 안테나 패턴을 추출할 수 있다. 추출된 변수를 활용할 수 있도록 STK와 연동된 인터페이스를 갖춘 SAR 표적 시뮬레이터를 구축하여 안테나 빔 패턴 설정, 곡선 궤도 설정, 지구 자전에 의한 특성 및 지구 대기 환경의 특성과 같은 요소를 고려한 표적 특성을 추출한다. 또한, 근접 대역의 잡음 또는 간섭 신호는 SAR 탑재체에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에 그 영향을 측정할 수 있는 시뮬레이션을 수행하여 영상의 품질 변화를 측정한다. 마지막으로 위성과 지상 표적물의 상호 위치에 따른 표적물 SAR 영상의 변화를 묘사하여, 고해상도 SAR 영상에서의 표적물 RCS에 대한 데이터베이스

그림 3. SAR 기하 구조

Fig. 3. SAR geometry.

를 확보하는 방안을 제시한다.

II. STK를 이용한 SAR 시나리오 모델링 과정

2-1 위성 SAR 시나리오 모델링

위성 SAR의 운용 변수를 추출하기 위해 STK를 이용하여 위성의 궤도 및 시스템 변수를 고려한 시나리오를 모델링한다.

SAR 위성체는 우주 궤도를 이동함에 따라 표적에 대하여 거리가 변하는데, 이는 직거리 방정식 $R(\eta)$ 으로 표현된다. 그런데 그림 3에서 보는 바와 같이 실제로는 곡선 궤도를 운용하는 위성체 경로를 편의상 평평하게 가정하면 지구 곡률에 의한 오차를 포함하게 된다. 일반적으로는 이러한 곡률을 무시하고 직선 궤도를 가정하게 되는데, 이때 위성체와 표적이 이루는 직삼각형을 가정하면 그림 1에서의 직거리는 식 (1)로 표현된다.

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2} \approx R_0 + \frac{V_r^2 \eta^2}{2R_0} \quad (1)$$

R_0 는 위성과 지상 표적 간의 가장 가까운 거리를 나타내며, η 는 방위 시간, 그리고 V_r 은 위성체의 이동속도를 나타낸다. 이 식에서 이차항 이상은 값이 작아 ERS 위성과 RADARSAT 위성과 같은 경우 두 식을 근사화를 할 수 있다^[4].

SAR 점 표적 시뮬레이션을 위해 RADARSAT 위성 변수를 채택할 경우, R_0 는 850 km, V_r 은 7,100 m/s, 또한, η 는 SAR 센서 노출 시간(exposure time)

을 1/PRF로 나누어 $-0.3191 \sim 0.3191$ 로 계산된다.

SAR 영상 데이터를 획득하기 위해서는 원시 데이터를 생성한 후 점 표적 시뮬레이션이 필수적이다. SAR 원시 데이터 생성은 식 (2)와 같다^[4].

$$s_o(\tau, \eta) = A_o \omega_a [\tau - 2R(\eta)/c] \omega_a (\eta - \eta_c) \times \exp[-j4\pi f_o R(\eta)/c] \times \exp[j\pi K_r (\tau - 2R(\eta)/c)^2] \quad (2)$$

여기서, ω_a 는 방위 방향 포락선(Envelope) 즉, 안테나 패턴을 나타내며, $R(\eta)$ 는 위성과 지상 표적과의 거리, 직거리를 나타낸다. 이와 같이 SAR 영상을 생성하기 위해서는 ω_a 와 $R(\eta)$ 는 중요한 변수로 적용되는데, 이상적인 SAR 시뮬레이션의 안테나 패턴의 경우 Sinc 함수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하며, 직거리는 상위 수식과 같이 실제 위성의 곡선 궤도를 고려하지 않은 직선 거리를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 이는 실제 데이터와 다른 오차가 발생하는데, 이러한 오차를 없애기 위하여 STK를 이용하여 직거리($R(\eta)$) 및 안테나 패턴(ω_a)을 추출한다.

고해상도 SAR에서 일반적인 표적물은 단순 점 표적이 아니며, 상대위치에 따라 변하는 복잡한 RCS 모델을 갖는다. 레이다 반사체가 되는 표적물의 RCS는 주로 각면판 반사기 특성에 의해 결정되므로 본 논문에서는 표적물을 수동 각면판 반사기의 조합으로 모델링한다^[2]. 수동 각면판 반사기는 삼면판 반사기와 양면판 반사기로 나뉘는데, 특히, 삼면판 반사기는 SAR 영상 검보정을 위한 지상 표적의 표준 모델로 주로 사용한다^[2]. 삼면판 반사기는 전반적으로 높은 RCS를 가지며, 실제 검보정을 위한 환경조건에 적합한 구조를 가진다.

삼면판 반사기의 RCS는 아래의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\sigma_T = \frac{4\pi}{3} \frac{a^4}{\lambda^2} \quad (3)$$

여기서, a 는 내면 길이이며, λ 는 파장이다. 이와 같이 삼면판 반사기의 RCS는 주파수에 따라 변하는 것을 알 수 있다^{[2],[5],[6]}.

2-2 STK를 이용한 SAR 운용 시뮬레이션

STK는 위성 시스템 모의실험을 위한 소프트웨어

그림 4. STK와 매트랩 모의 실험 구성 요소

Fig. 4. Mission scenario implementation using STK and MATLAB softwares.

로서 위성의 궤도 변수 추출 및 운용 환경에 따른 임무 시나리오를 작성하기에 유용한 틀이다. 위성과 표적물의 기하학적 구조 특성을 분석하여 실제 위성의 궤도 특성에 따른 직거리를 추출할 수 있으며, SAR 위성체의 시스템 파라미터 및 안테나 변수를 설정하여 안테나 패턴 데이터를 획득할 수 있다.

이러한 과정을 통하여 SAR 임무 모의실험을 수행하는데 필요한 궤도 변수 특성을 추출할 수 있고 이를 매트랩으로 구성된 SAR 시뮬레이터에 입력하여 정밀한 모의실험을 구현할 수 있다. 그림 4는 STK와 매트랩이 연동되어 구현되는 SAR 시뮬레이터 구성 요소를 보여준다.

그림 5는 그림 4의 방식을 따라 작성되는 상세한 SAR 운용 시뮬레이션 과정이다. STK에서 제공되는 궤도, 고도 데이터와 반시계 방향으로 춘분점으로부터 적도면과 궤도면의 중심점까지의 사이각인 RAAN (Right Ascension of Ascending Node)를 설정하였으며, 위성 궤도와 적도면 사이의 경사각을 설정하였다. 또한, 위성 SAR 시스템 변수를 설정하여 SAR 시나리오를 구성하고, 표적변수 및 SAR 시스템 변수를 적용한다. 표적 변수에서는 궤도 위치에 따른 RCS 적용 및 지상 RF 신호를 설정하며, SAR 시스템 변수에서는 주파수, 안테나 빔폭 및 SAR 센서의 위치 구간을 설정한다. 다음 단계로는 STK 시나리오를 통해 추출된 직거리 및 안테나 패턴을 추출하여 분석한 후, 원시 데이터 생성 및 SAR 처리를 통한 SAR 시뮬레이션을 수행한다.

그림 5. STK를 이용한 SAR 운용 모의실험

Fig. 5. SAR operation simulation using STK.

위성 SAR 시스템 변수는 편의상 RADARSAT-1을 기준으로 설정하였으며, 표 1과 같다^{[7],[8]}. 위성의 궤도 변수는 태양 동기 궤도로 설정하였으며, 지상 표적의 위치는 서울을 기반으로 위도와 경도를 설정하였다. 시스템 파라미터인 주파수는 5.3 GHz(C-대역), 최대 파워 5 kW 그리고 안테나 이득은 45 dB로 설정하였다. 위성체에 영향을 주는 지상 RF 신호를 1 kW로 설정하였으며, 대기 환경 특성을 고려하기 위해 글로벌 감쇠 모델인 Crane1983 모델과 지구 표면 온도를 273.15K로 설정하였다. 이와 같은 SAR 위성 변수를 적용하여 STK를 이용한 운용 시뮬레이션을 수행한다^[9].

2-2-1 위성 궤도에 의한 SAR 영상 변화 분석

SAR 위성체는 영상을 획득하는 과정에서 인접 대역의 타 전자기기 및 통신 시스템에 의한 전파 간섭의 의해 영상의 품질 및 해상도를 저하시킨다. 본 과정에서는 위성체 SAR 간섭 신호의 검증 시나리오를 구성하여 간섭 신호에 의한 SAR 영상의 영향을

표 1. STK 모의실험 변수

Table 1. STK simulation parameter.

기하학적 구조 변수	
궤도	태양 동기
고도	798 km
경사각	98.6 °
표적 위치	
위도	37.59 °
경도	126.97 °
시스템 변수	
주파수	5.3 GHz(C-대역)
최대 전력	5 kW
안테나 이득	45 dB
안테나 크기	15 m×1.5 m
지상 RF	
주파수	5.3 GHz(C-대역)
최대 전력	1 kW
감쇠 모델	
강우 모델	Crane1983 (Global attenuation model)
표면 온도	273.15 K

그림 6. 외부잡음에 의한 간섭 시나리오
Fig. 6. Interference scenario by external noise.

분석한다.

그림 6은 외부잡음에 의한 시나리오를 보여준다. 본 논문에서는 외부잡음에 의한 간섭 변수를 추가하였으며, 이를 위해 궤도 구간에 따라 들어오는 지상 RF 신호에 의한 영향을 분석하였다^[10].

그림 7은 위성체 궤도 구간을 보여준다. SAR 특성상 비스듬하게 관측(Side-looking)하기 때문에 오

그림 7. SAR 위성 궤도 구간
Fig. 7. SAR orbital section.

른쪽 관측을 기준으로 3개의 궤도를 설정하였다. 설정된 궤도에 따라 SAR 센서 노출 시간을 설정하여 위성체에 수신되는 SNR(Signal to Noise Ratio)과 지상 RF 신호에 영향을 받는 SNR을 비교 분석하였다. 그림 8은 궤도 1, 궤도 2, 궤도 3에서 SAR 위성체에 수신되는 SNR과 $S/(N+Interference)$ 를 보여준다. 지상 RF 신호의 간섭에 의해 위성체에 수신되는 SNR이 저하되는 것을 확인할 수 있으며, 궤도 구간에 따라 위성체에 간섭 영향이 달라지는 것을 알 수 있다. 이러한 지상 RF 신호 레벨 분석을 통하여 지상 RF 신호와의 거리를 알 수 있으며, 나아가서는 지속적인 신호 분석을 통해 지상 RF 신호의 위치 파악이 가능하다. 또한, 지상 RF 신호 레벨의 영향을 받은 SNR을 적용한 SAR 간섭 시뮬레이션이 가능하며, 추후 SAR 점 표적 시뮬레이션 보정시 기준 자료로 사용이 가능하다.

2-2-2 지상 표적 RCS 적용한 SNR 비교 분석

SAR 영상은 위성체의 궤도 위치 및 주파수 특성에 따라 점 표적 영상의 품질이 다른데, 이러한 SAR 영상은 표적의 정보를 기준으로 보정이 필요하다. SAR 영상의 보정을 하기 위한 정보로서, 표적으로부터 RCS의 사전 예측이 요구되는데, 본 시뮬레이션은 표적의 RCS를 추출하고, STK-SAR 시나리오에 표적의 RCS를 적용한다.

그림 9는 STK로부터 RCS를 적용하기 위한 지상 표적 및 궤도 구간에 따라 표적에 적용되는 안테나 패턴을 보여준다. 그림 7에서 확인할 수 있듯이 위

(a) 궤도 1
(a) Orbit 1

(b) 궤도 2
(b) Orbit 2

(c) 궤도 3
(c) Orbit 3

그림 8. 지상 RF 간섭 신호에 의한 SAR 수신 신호 품질 변화

Fig. 8. Effects of ground RF signals on SAR signal qualities.

성의 여러 궤도 1위치에 따라 표적의 RCS가 다르기 때문에, 이를 고려한 시뮬레이션이 요구된다. 표적의

그림 9. 안테나 패턴에 따른 표적 RCS 변화 측정 시나리오

Fig. 9. Target RCS tracking scenario for varying SAR aspect angles.

그림 10. 매트랩을 이용한 표적 RCS

Fig. 10. Target RCS using MATLAB.

RCS 추출은 POfacets 4.0 매트랩 툴을 사용하여 전투기를 기준으로 표적의 RCS를 추출하였으며, SAR 센서가 표적을 바라보는 입사각을 설정하였다.

그림 10은 POfacets 4.0 매트랩 툴로부터 생성한 표적을 보여준다. 주파수는 5.3 GHz로 설정하였으며, 0°에서 180°로 입사각을 설정하여 위성궤도 위치를 고려한 표적 RCS를 추출하였다. 표적으로부터 추출된 RCS는 그림 11과 같으며, 입사각을 궤도 1: 20°, 궤도 2: 80°그리고 궤도 3: 140°로 설정하여 구간에서의 RCS를 추출하였다. SAR 운용 모드 중 SAR 센서가 표적에 노출되는 시간이 아주 짧으며, RCS의 수치가 크게 변하지 않는 것을 고려하여 궤도 위치에 따라 일정한 RCS를 적용하였다.

그림 11. 매트랩을 이용한 표적 RCS

Fig. 11. Target RCS using MATLAB.

표 2. 표적 RCS에 따라 수신되는 SNR

Table 2. Received SNR according to target RCS.

	궤도 1	궤도 2	궤도 3
RCS[dBsm]	10.42	6.8	0.8
SNR[dB]	9.877	6.257	0.257

추출된 RCS를 적용하여 STK 시뮬레이션을 수행하였다. 궤도 위치에 따른 SNR의 결과는 그림 12와 같다. 입사각에 의하여 SNR이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 표 2은 구간별 표적의 RCS 및 최대 SNR을 보여준다. 이러한 표적의 RCS 수치에 따라 SAR 영상의 밝기가 변하며, 이러한 자료는 향후 고해상도 SAR 표적 탐지 시뮬레이션에서 보정 자료로 활용될 수 있다.

그림 12. 표적 RCS에 따른 수신되는 SNR

Fig. 12. Received SNR according to target RCS.

III. SAR 표적물 시뮬레이션

3-1 직거리 및 안테나 패턴 추출 과정

본 과정에서는 STK로부터 추출된 직거리 및 안테나 패턴을 적용하여 SAR 시뮬레이션에 수행한다. 안테나 주 빔의 3 dB 폭(양복 6 dB)에서의 센서 노출 시간을 샘플 데이터로 설정하였으며, SAR 점 표적 시뮬레이션을 수행하기 위해서 위성체 궤도의 직거리와 안테나 패턴을 추출하였다. 그러나 STK에서 추출한 직거리 및 안테나 패턴을 SAR 점 표적 시뮬레이션에 바로 적용하는 경우, STK 샘플 간격과 SAR 위성체의 PRF가 다른 문제점이 있다. 이를 그대로 적용하면 점 표적 과정에서 azimuth FFT 수행 시 위상의 특성이 달라지는 문제점이 발생한다^[3]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 STK에서 추출한 직거리 및 안테나 패턴에 2차 poly-fitting을 적용하여 PRF를 생성하였다. 또한, SAR 위성체와 지상 표적과의 최소 거리와 최대 이득을 분석하여 위성고도와 표적고도 차이 시간(beam center crossing time)을 확인하였으며, 지구 자전에 따른 시간오차를 고려한 도플러 파라미터를 추정하였다. 그림 13은 STK SAR 점 표적 시뮬레이션에 적용할 궤도 1, 궤도 2, 궤도 3의 직거리 및 안테나 패턴 데이터를 나타낸다.

그림 13에서 확인할 수 있듯이 최대 안테나 이득이 중심에서 지구 자전에 의해 약간의 시간 오차가 있는 것을 확인할 수 있다. 직거리와 안테나 패턴을 비교하여 최대 이득 지점에서 도플러 주파수를 추정하고, 이 중심점을 기준으로 센서 노출 시간을 설정하였다.

3-2 SAR 표적 생성

본 과정에서는 상위과정으로부터 추출된 직거리 및 안테나 패턴을 적용하여 SAR 점 표적을 생성하였으며, STK SAR 점 표적 시뮬레이션과 이상적인 SAR 점 표적 시뮬레이션과 비교 분석하였다. 또한, 표적물 영상 특성 분석을 위해 위성 궤도 위치에 따른 RCS 변화를 계산하고, 이를 적용한 SAR 시뮬레이션을 수행하였다.

3-2-1 단일 점 표적 생성

(a) 직거리 데이터
(a) Slant range data

(b) 안테나 패턴 데이터
(b) Antenna pattern data

그림 13. STK SAR 점 표적 시뮬레이션 적용 데이터
Fig. 13. Data for STK SAR point target simulation.

STK로부터 궤도 구간에서의 직거리 및 안테나 패턴을 적용한 SAR 점 표적 시뮬레이션을 수행하였다. 일반적으로 SAR 점 표적의 품질을 판별할 수 있는 중요한 변수는 PSLR 및 ISLR이다. 따라서 이상적인 SAR 점 표적과 STK를 이용한 SAR 점 표적에서의 거리 방향의 PSLR과 ISLR를 각각 산출하여 결과를 비교하였다.

그림 14(a)는 이상적인 SAR 거리 방향 신호 압축을 보여준다. 안테나 패턴을 Sinc 함수를 이용하여 생성하였으며, 직거리를 곡선 궤도가 아닌 직선 궤도를 적용한 점 표적 시뮬레이션 결과이다. 그림 14(b)는 STK로부터 추출된 직거리 및 안테나 패턴을

(a)

(b)

그림 14. (a) 이상적인 SAR 거리 방향 신호 압축, (b) STK SAR 거리 방향 신호 압축
Fig. 14. (a) Range compression of the ideal SAR signal, (b) Range compression of the STK SAR signal.

적용한 STK SAR 거리 방향 신호 압축 결과를 보여준다. SAR 점 표적의 품질의 판별을 위한 거리 방향 PSLR, ISLR은 표 3에서 확인할 수 있다. 이상적인 SAR 점 표적 시뮬레이션의 PSLR은 -13.3 dB, ISLR은 -10.4 dB의 결과를 확인할 수 있으며, STK를 이용한 SAR 점 표적 시뮬레이션에서 궤도 1의 PSLR은 -10.4 dB, ISLR은 -8.9 dB, 궤도 2의 PSLR은 -11.7 dB, ISLR은 -10.3 dB, 궤도 3의 PSLR은 -12.5 dB, ISLR은 -9.9 dB의 결과를 확인할 수 있다.

두 시뮬레이션의 분석을 통해 STK를 이용한 점 표적 시뮬레이션의 경우, 이상적인 점 표적 시뮬레

표 3. PSLR 및 ISLR 분석

Table 3. Analysis of PSLR & ISLR.

	이상적인 점 표적	STK SAR 점 표적 (궤도 1)	STK SAR 점 표적 (궤도 2)	STK SAR 점 표적 (궤도 3)
PSLR [dB]	-13.3	-10.4	-11.7	-12.5
ISLR [dB]	-10.4	-8.9	-10.3	-9.9

이선과는 달리 위성 곡선 궤도에 의한 요소 그리고 안테나 패턴에 의한 요소에 의해 PSLR 및 ISLR의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

3-2-2 외부 간섭 신호의 영향을 고려한 모델

SAR 위성체는 궤도 운용중 영상을 획득하는 과정에서 지상 RF 신호로부터 많은 영향을 받게 된다. 이러한 지상 RF 신호는 SAR 영상의 품질을 저하시켜 표적 식별 성능을 저하시킨다. 본 시뮬레이션 과정에서는 2-2-3절에서 수행한 궤도 구간에 따른 지상 RF 신호에 의한 영향을 적용한 SAR 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 15(a)~(c)는 궤도 1, 궤도 2, 궤도 3에서 SAR 위성체에 영향을 받은 SAR 다중 점 표적 영상을 보여준다. SAR 위성체가 RF 신호 영역에 근접할수록 영상의 품질은 더 저하되었으며, 저하된 영상은 추후 간섭 제거 기법을 이용하여 제거가 필요하다. 또한, 궤도 구간에 따른 간섭 시뮬레이션을 통하여 위성체와 지상 표적의 상호 위치 파악이 가능할 것이다.

3-2-3 표적 RCS에 따른 다중 점 표적 생성

고해상도 표적물이 위성 SAR의 궤도면에 따라 변화되는 특성을 분석하기 위해 2-2-2 과정에서 추출된 표적 RCS를 적용하여 SAR 시뮬레이션을 구현하였다. 지상에 주기되어 있는 항공기를 기준으로, 0°에서 180°로 입사각을 설정하여 위성 궤도 위치를 고려한 표적 RCS를 추출하였으며, 입사각을 궤도 1: 20°, 궤도 2: 80°, 궤도 3: 140°로 설정하여 구간에서의 RCS를 추출하였다. 그리고 구간별로 추출된 RCS를 SAR 시뮬레이션에 적용하여 영상의 품질을 분석하였다. 그림 16은 적용된 SAR 시뮬레이션을 나타

(a) 궤도 1

(a) Orbit 1

(b) 궤도 2

(b) Orbit 2

(c) 궤도 3

(c) Orbit 3

그림 15. 지상 RF 신호의 영향

Fig. 15. Effect of ground RF signal.

그림 16. 위성 궤도 위치에 따른 SAR 시뮬레이션

Fig. 16. SAR simulation according to satellite orbital position.

낸다. 그림 16(a)는 표적에 20° 방향으로 접근시 RCS를 적용한 영상, 그림 16(b)는 표적에 80° 방향으로 접근시 RCS를 적용한 영상이며, 그림 16(c)는 표적에 140° 방향으로 접근시 RCS를 적용한 영상이다. RCS가 작을수록 표적의 품질이 저하되는 것을 확인할 수 있으며, SAR 위성체의 궤도 위치, 표적의 위치, 표적의 형태에 따라 점 표적 영상의 품질과 관련이 있는 것을 확인하였다. 향후 시스템의 주파수 특성에 따른 RCS, 내부 잡음 및 간섭 신호와 같은 특성을 고려해야 되며, 이는 SAR 영상의 보정시 기준 자료로 활용이 가능하다.

IV. 결 론

위성 SAR 시뮬레이션은 신호전파 특성, 안테나 설계 변수, 시스템 내부 잡음 및 간섭 신호에 영향을 많이 받으며, 특히 표적의 RCS에 따라 영상의 품질이 달라진다.

본 논문에서는 SAR 검보정에 적용 가능한 시뮬레이션을 수행하기 위해 안테나 빔 패턴 설정, 곡선

궤도 설정, 간섭 신호의 영향 및 표적의 RCS가 고려된 시나리오를 구성하여 정밀한 SAR 시뮬레이션을 수행하였으며, STK SAR 점 표적 시뮬레이션과 이상적인 SAR 점 표적 시뮬레이션의 PSLR 및 ISLR 특성을 분석하였다. 분석 결과, STK SAR 점 표적 시뮬레이션의 경우 이상적인 점 표적 시뮬레이션과는 달리 위성 곡선 궤도에 의한 요소, 안테나 패턴에 의한 요소에 의해 PSLR 및 ISLR의 성능이 저하되는 것을 확인하였다. 또한, 궤도 구간에 따라 지상 RF 신호에 의한 SAR 위성체의 영향을 고려한 시뮬레이션을 수행하여 위성체가 지상 RF 신호에 근접할수록 SAR 영상의 품질이 저하되는 것을 확인하였다. 그리고 궤도 위치에 따른 지상 표적의 RCS를 추출하여 SAR 시뮬레이션을 통한 SAR 영상의 품질을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 SAR 영상은 위성체의 궤도 위치 및 지상 RF 신호에 의해 영상의 품질이 달라지는 것을 확인하였다.

결론적으로 본 연구를 통하여 실제 SAR 위성체의 영상의 영향 및 성능을 판별할 수 있는 SAR 운용 시뮬레이션을 수행하였으며, 이는 추후 SAR 영상

보정시 기준 자료로 사용 가능할 것이다. 또한, 현재 시뮬레이션에서는 스트립 모드에 대해서만 수행하였지만, 이러한 문제는 스왑 모드에서 더욱 두드러질 것으로 예상되며, 향후에는 이를 적용한 SAR 모의실험을 수행할 예정이다.

STK는 여러 궤도 시뮬레이션이 가능하며, 추후 SAR 영상 보정 및 고해상도 표적 식별에 활용될 수 있는 기준 자료를 제공하는데 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이우경, 곽영길, "SAR 영상 처리 기술", 한국전자과학회논문지, 22(6), pp. 40-54, 1738-9712, 2011년.
- [2] B. J. Doring, P. R. Looser, M. Jirousek, and M. Schwerdt, "Reference target correction based on point-target SAR simulation", *IEEE*, vol. 50, pp. 951-959, Mar. 2012.
- [3] Björn J. Doring, Philipp Looser, Matthias Jirousek, and Marco Schwerdt, "Point target correction coeffi-

- cients for absolute SAR calibration", *IEEE*, pp. 1-6, May 2011.
- [4] Ian G. Cumming, Frank H. Wong, *Digital Processing Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House.
- [5] Bassem R. Mahafza, Atef Z. Elsherbeni, *MATLAB Simulations for Radar Systems Design*, Chapman & Hall/Crc, pp. 471-498, 589-624, 2004.
- [6] 김정훈, 나성웅, "SAR 위성 검보정을 위한 반사기 개발", 우주과학회지, 26(4), pp. 667-676, 1598-5601, 2009년 12월.
- [7] Matthew Schlutz, *Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB*, California Polytechnic State University, Jun. 2009.
- [8] Kevin Rokosh, "Radarsat", *IEEE*, pp. 3-6, Nov. 1986.
- [9] Nilufen Cotuk, Christoph Gierull, "Time-domain bistatic SAR processor", Defence R&D Canada, Technical memorandum, pp. 2-5, Dec. 2004.
- [10] "Radar Jamming with STK", STK help systems, Analytical Graphics Inc., 2007.

이 보 윤

2010년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2012년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 레이더 영상 표적 인식, SAR 신호처리 및 간섭

이 우 경

1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2000년 12월: 런던대학교(UCL) 전기 전자공학과 (공학박사)
1999년 9월: 한국과학기술원 인공

위성센터 연구교수

2003년 1월: 삼성종합기술원 책임연구원

2004년 9월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 부교수

[주 관심분야] 인공위성 시스템, 위성전자 레이더 탑재체

이 슬 기

2011년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2011년 2월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
[주 관심분야] SAR 신호처리 및 간섭, 위성전자 레이더 탑재체