



SAR 위성 검보정 사이트 선정 연구

황 인 영*

A Study for Selection of SAR Satellite Calibration and Validation Site

Inyoung Hwang*

요 약

운용 시간과 기후의 영향에서 자유롭게 고해상 영상을 획득할 수 있는 이점으로 인하여 SAR 위성의 활용이 증가하고 있는 추세이다. SAR 위성은 복잡한 영상처리가 필요하며 임무에 요구되는 영상 품질을 만족시키기 위해 검보정이 필수적이다. 궤도상에서 수행되는 검보정은 비용과 일정에 연관되어 있기 때문에 기존의 연구들에서 전략적인 검보정 계획이 제시되어 왔다. 본 논문에서는 검보정 계획 중 표준 표적을 설치하기에 적합한 검보정 사이트를 검색할 수 있는 검보정 사이트 검색 알고리즘을 개발하는데 초점을 맞추었다. 개발된 검보정 사이트 검색 알고리즘은, 임무 궤도와 SAR 센서의 목표 성능을 기반으로 정해진 기간 동안 최대한의 영상 정보를 획득할 수 있는 장소를 찾을 수 있도록 설계되었다. 이를 위해 일반적으로 검보정 사이트에 요구되는 조건 만족 여부를 확인하는 과정이 포함되어 있으며, 조건으로는 수치 표고 자료와 식생정보를 바탕으로 지형 평탄성과 역산란이 검토되었다. 개발된 알고리즘은 기존의 위성 정보를 이용한 시뮬레이션이 수행되었으며, 시뮬레이션 결과를 통해 개발된 알고리즘의 임무 활용성을 볼 수 있었다.

Abstract

The use of SAR satellite is growing because of the high resolution under less influence of operational time and climate. SAR satellite needs complicate image processing then it is important to calibration and validation on sensor to satisfy the image quality. Because in-orbit Cal/Val is directly related to cost and schedule, the Cal/Val planning strategy has been proposed in recent study. This paper focuses on the part of Cal/Val site search setting standard targets. From the mission orbit and sensor objective capacity, candidate site searching algorithm where captures maximum target image data within specific duration has been designed. Additionally the algorithm contains the step for checking satisfaction of general condition in Cal/Val site. The flatness and backscattering are examined using Digital Elevation Model and Vegetation Index. Through a simulation with specifications of existing satellite, application of developed algorithm on mission is shown.

Keywords

SAR satellite, calibration and validation site, search algorithm, DEM

* 국방과학연구소 연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6026-1489>

· Received: Apr. 06, 2018, Revised: May 01, 2018, Accepted: May 04, 2018
· Corresponding Author: Inyoung Hwang
Dep. of Defense Satellite PEO, Agency for Defense Development, Daejeon
Tel.: +82-42-821-2351, Email: ynyong@hanmail.net

1. 서 론

지구상의 영상정보를 수집할 때, 광학과 적외선 및 레이더(Radar) 등이 사용된다. 레이더는 광학 및 적외선 센서에 비해 광량과 날씨의 영향으로부터 자유롭기 때문에 지구관측에 용이하여 농업, 산림, 지질, 도시 및 인공구조, 해양 등 다양한 임무에 활용되고 있다. 레이더 중에서도 합성개구레이더(SAR, Synthetic Aperture Radar)는 지상에서 물체에 반사되어 되돌아오는 신호를 동시 합성 처리하여 해상도 향상이 가능하다[1]-[3]. 해상도를 높이기 위해 안테나 크기를 증가시켜야 하는 레이더와 비교하여, SAR 센서는 작은 안테나로 고해상 영상을 획득할 수 있기 때문에 최근 위성 탑재체로써 활용이 확대되고 있다. 그러나 SAR 영상 정보를 사용하기 위해서는 영상 생성을 위한 복잡한 처리과정이 요구되며, 이 과정에서 영상의 품질을 결정하는 다양한 파라미터가 고려되어야 한다. SAR 센서 검보정(Cal/ Val, Calibration and Validation)은 안테나 시스템의 안정과 임무에 필요한 영상 품질을 만족시키기 위해 영상 품질과 관련된 파라미터를 보정하여 지리적, 방사적 특징을 최적화하는 활동이다[4]. 따라서 SAR 위성의 영상 품질은 SAR 위성의 검보정 결과를 통해서 최종적으로 결정된다.

SAR 위성의 검보정은 내부 검보정과 외부 검보정으로 구분된다. 내부 검보정은 궤도환경과 수명을 고려하여 시스템의 안정성을 측정하기 위해 안테나 게인(Gain)과 위상변화(Phase Change)를 측정하는 활동이다. 외부 검보정은 SAR 처리 과정에서 이미지 정보를 보정하고 크기를 조정하기 위한 필수 파라미터를 보정하는 활동으로 지리보정(Geo-location Calibration)과 상대방사(Relative Radiometric)보정, 절대방사(Absolute Radiometric)보정 등으로 구분된다. 상대방사보정의 경우, 발사 전 지상시험 수행과 정밀한 안테나 모델의 수립으로 수행 기간 단축이 시도되고 있다. 그러나 절대방사보정은 표준 표적 반복 촬영이 요구되기 때문에 궤도시험 및 위임 단계에서 일정 증가의 요인이 된다.

궤도시험 단계에서 이루어지는 궤도상 검보정은 일정 기간이 필요하다. 위성의 궤도는 임의조정이 어렵기 때문에 표준 표적의 영상을 획득할 수 있는

경우가 제한된다. 또한 위성은 발사 후 우주환경에 노출되므로 설계 단계에서 결정한 수명이 시작된다. 따라서 위성의 검보정 기간이 길어질수록 보정된 영상 정보를 활용할 수 있는 임무 운용기간이 짧아진다. 임무 운용기간을 최대화하려면 효율적인 검보정 수행 계획이 요구된다. RADARSAT-1의 경우, 15개의 빔(Beam)에 대해 모든 운용모드 상에서 수행한 검보정이 2년 이상 소요되었기 때문에, 200개 이상의 빔을 보유한 RADARSAT-2에 대해 6개월 이내에 검보정을 수행하기 위하여 위임 단계 계획을 수립하여 90일 이내에 검보정을 완수하였다[5][6]. DLR(German Aerospace Center)은 TerraSAR-X 및 Sentinel-1을 개발하면서 안테나 모델이 정확하다는 가정 하에 여러 운용모드에서 검보정에 사용될 빔을 선정하는 검보정 계획을 소개하였다[7][8].

검보정 기간의 단축은 검보정을 수행할 빔의 선정과 검보정 사이트의 선정 방안으로 구분할 수 있다. SAR 센서의 빔을 모든 운용 모드에 대해 검증할 경우 (빔의 개수×운용모드의 경우의 수)만큼 표적 정보가 획득되어야 하므로, 전체 빔에 대하여 검보정을 수행하는 것은 일정상 바람직하지 않다. 안테나와 빔의 형태는 임무에 따라서 다양하게 설계되기 때문에 빔의 선정을 일반화하기 어렵다. 그러나 검보정 사이트는 안테나의 특성에 따라 사전에 제시가 가능하다. 본 논문에서는 최대한 많은 정보를 획득하여 검보정 기간을 단축시키기 위한 검보정 사이트 검색 알고리즘을 개발하는데 초점을 맞추었다.

DLR에서 수립한 검보정 사이트 선정 조건을 기반으로 개발된 알고리즘[9]에 실제 수치 표고 자료(DEM, Digital Elevation Model) 정보를 삽입하여 알고리즘을 확장하였다. 지형조사를 위한 과정이 알고리즘 상에서 이루어지기 때문에 후보지의 경우의 수를 줄여서 최종 결정을 위한 시간을 절약할 수 있다. 또한 후보지를 촬영할 수 있는 모든 촬영 정보를 함께 제공하여 검보정 계획수립에 용이하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 알고리즘의 기본 설계 개념인 검보정 수행 전략에 대해 다룬다. 3장에서는 개발된 알고리즘에 대하여 자세하게 기술하고, 분석 결과를 제시한다. 4장에서는 결론을 기술하고 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

II. 검보정 전략

2.1 궤도상 검보정 계획

궤도상에서 수행되어야 하는 검보정 업무는 그림 1에서 확인할 수 있다. 지리 보정을 위해서는 지표면과 위성 시스템의 지리적인 보상을 위해 정확한 위치정보가 알려진 표준 표적 영상이 필요하다. 안테나 지향보정은 안테나의 기계적 오프셋에 의해 발생하는 지향 오차를 결정하기 위해, 균일분포 표적과 지상 수신기를 촬영한 영상을 요구한다. 안테나 모델검증을 위해서는 정밀한 안테나 패턴 모델 정립이 필요하다. 발사 후 안테나 모델의 고도방향 패턴 보정은 균일분포 표적에 대한 영상획득으로부터 이루어지고, 진행방향 패턴은 지상 수신기에 대한 영상획득을 통해 이루어진다.

앞서 언급한 세 가지 검보정 업무(지리보정, 안테나 지향보정, 안테나 모델검증)는 균일분포 표적인 열대우림지역과 한 패스 내에서 수차례 정보를 획득할 수 있는 지상 수신기를 영상획득 대상으로 하기 때문에 검보정 계획을 수립 하는데 있어 결정적인 요소로 작용하지 않는다. 하지만 방사보정은 반복적인 표준 표적 촬영을 요구하기 때문에, 검보정 계획을 수립하는데 있어 방사보정 기간을 단축시킬 수 있는 전략이 필수적이다. DLR에서 수립한 전략은 다음과 같다.

첫 번째, 정교한 내부 검보정과 안테나 모델 검증을 수행한다. 검증된 안테나 모델의 적용은 방사보정 기간을 현저하게 감소시킬 수 있다. 특히 상대 방사보정은 SAR 영상 내 보정으로, 모듈 단위로 분석이 수행된 내부 검보정과 정확한 안테나모델을

적용할 때 표준 표적 정보가 필요하지 않다[4][10].

두 번째, 검보정이 수행될 빔을 선정한다. 모든 빔에 대해 최소 1개의 표준 표적 영상을 획득하는 것이 원칙이나, 오랜 기간이 소요된다[11]. 따라서 안테나를 구성하는 모든 빔을 대상으로 검보정을 수행하는 대신, 검증된 안테나 모델을 바탕으로 빔을 선정하여 표준 표적의 영상획득을 최소화한다. 다음은 빔을 선정할 때 만족해야 하는 조건이다.

- 모드별로 최소 한 개의 빔 검증
- 입사각(low, mid, and high)별 빔 검증
- 빔은 최소 두 번 측정(ascending, descending)
- 빔에 대해 모든 편파 검증

2.2 검보정 사이트 선정

목표하는 궤도시험 기간을 달성하기 위해 기간 내에 최대한의 영상 정보를 수집할 수 있는 검보정 사이트 선정이 필수적이다. 검보정에는 균일분포 표적과 표준 표적이 활용된다. 센서의 검보정에는 반사 및 불필요한 신호에 대하여 낮은 역산란(Backscattering) 계수가 요구된다. 역산란계수가 작은 지역은 일반적으로 평탄한 지역, 산림의 벌채 및 파괴가 진행되지 않는 지역, 강과 호수가 없는 지역, 인공구조물이 없는 지역, 기후가 안정된 지역 등이 포함되며, 조건을 만족하는 균일분포 표적의 대표 지역으로 열대우림이 있다.

표준 표적은 레이더 유효 반사 면적을 정확하게 알고 있는 점표적으로, 반복적으로 영상을 획득하는 것이 용이하여야 한다. 다음은 표준표적이 설치 될 검보정 사이트를 선정하기 위한 조건이다.

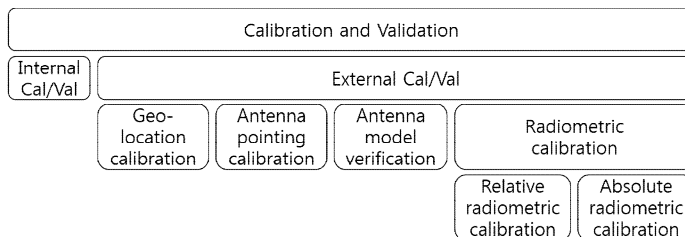


그림 1. 검보정 구성

Fig. 1. Construction of Cal/Val

첫 번째, 최대 정보 수집을 위하여 승교(Ascending) 및 강교(Descending) 궤적이 겹쳐지는 지역이 요구된다. 중첩지역의 선택은 영상획득 가능성 뿐 아니라, 빔 선정 과정에서 요구하는 최소 두 번 측정 조건의 만족을 고려한 결과이다.

두 번째, SAR 영상에서 표준 표적을 명확하게 구분하기 위해서 일반적인 검보정 사이트의 조건을 만족하는 지역이 요구된다. 따라서 표준 표적은 평탄하고 기후가 안정되어 역산란계수가 작은 지역에 설치되어야 한다.

마지막으로, 접근이 용이한 지역이 선호된다.

III. 검보정 사이트 검색 알고리즘

3.1 알고리즘 소개

2장에서 기술한 전략을 기반으로 검보정 사이트를 검색하는 알고리즘을 개발하였다. 검보정을 위한 빔의 선정은 안테나 설계에 따른 빔의 수와 임무가 고려되어야 하므로 알고리즘화가 어렵다. 그러나 검보정 사이트의 경우 센서의 목표 성능과 임무 궤도 정보가 주어지면 계산이 가능하다. 개발된 알고리즘은 궤도 정보와 관측, 입사각 경계를 입력받아서 대상 지역 내 검보정 사이트 후보지를 제공한다. 이때 DEM을 적용하여 평탄한 지역에 대한 요구조건이 만족되도록 설계하였다. 위성의 진행방향에 수직으로 영상이 촬영되는 경우만 고려하였다. 검보정 사이트 검색 알고리즘은 그림 2와 같이 다섯 단계로 이루어진다. 각 단계에서는 다음의 계산이 수행된다.

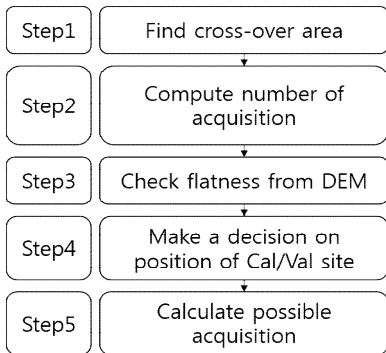


그림 2. 알고리즘 흐름도

Fig. 2. Flow chart of the algorithm

- Step1: Find cross-over area

빔은 승교 궤적과 강교 궤적에서 최소 두 번의 영상획득이 수행되어야 한다. 또한 최대한 많은 표적 정보를 획득하기 위해 표준 표적은 승교 궤적과 강교궤적의 중첩지역에 설치되어야 한다. 중첩지역을 구할 때, 기준이 될 입사각을 지정한다. 알고리즘의 기본 값은 운용 가능 입사각이 만드는 지상 관측영역의 중간 지점에 해당하는 입사각이다. 필요에 따라 다른 기준 입사각의 입력이 가능하다. 승교 궤적과 강교 궤적에서 기준 입사각에 의한 지상 궤적이 만나는 지점이 중첩지역의 중심이 된다. Step1은 대상지역의 경계 내에 위치한 모든 중첩지역의 중심 좌표를 출력한다.

- Step2: Compute number of acquisition

Step2에서는 위성체가 서로 대칭인 승교 및 강교 궤도에서 기준 입사각으로 중첩지역에 대한 영상획득이 가능한 경우를 제외하고, 궤도는 다르지만 같은 기준 입사각으로 중첩지역에 대한 영상획득이 가능한 경우의 수를 계산한다. 이 단계는 Step1에서 선정된 중첩지역들 가운데 정해진 검보정 일정 내에 최대한 많은 영상획득이 가능한 지역을 선별하기 위한 과정이다. 중첩지역의 중심 좌표와 기준 입사각에 해당되는 지상 궤적과의 거리를 이용하여 영상획득 가능 여부를 판단한다. 거리가 관측폭의 절반 이하인 경우, 표준 표적의 일부가 공유 가능한 것으로 판단하여 유효한 정보가 획득된 것으로 인정된다. [8]에 따르면 중첩지역의 크기는 운용모드 중 해상도가 가장 높은 모드의 관측폭에 의해 결정되므로, Step2에 입력될 관측폭은 운용모드 중 고해상 영상의 관측폭을 권장한다.

- Step3: Check flatness from DEM

Step3은 후보 지역의 평탄성(Flatness)을 확인하기 위해 시행한다. DEM은 건물, 수목, 인공구조물 등을 제외한 지형(Bare Earth) 수치 모델로, DEM으로부터 지형의 고도를 확인할 수 있다. Step1과 Step2에서 결정된 중첩지역 영상의 프레임 안에 포함되는 지형의 고도를 비교한다. 영상 내 고도의 평균과 표준편차가 허용 가능한 기준(Tolerance) 내의 값이면 표준 표적이 설치될 수 있는 지역으로 인정하여 최종 출력한다.

- Step4: Make a decision on position of Cal/Val site

평탄하면서 최대 영상획득이 가능한 후보 지역이 여러 곳일 경우, 공학적인 센스가 필요하다. 지역의 역산란계수와 접근 가능성 등을 고려하여 최종 후보지를 가려내는 과정이다. 역산란계수는 식생분포를 통해 추정할 수 있다[12].

• Step5: Calculation possible acquisition

최종적으로 가려진 후보지에서 기준 입사각으로 영상을 획득하는 경우를 제외하고, 촬영이 가능한 입사각을 산출한다. 지구를 구형으로 가정하여, 운용 가능한 입사각 범위 내에서 검보정 기간 동안 촬영 가능한 모든 입사각을 계산한다. Step5의 산출물은 최대한 많은 촬영이 가능한 지역을 판별하기 위함과 동시에, 검보정 계획 시 빔을 선정하는 과정에서 기반 자료로 사용될 수 있다.

3.2 분석 결과

Sentinel-1의 SAR 센서 사양과 일정을 고려하여 검보정 사이트를 선정하고자 한다. 고도 600km 태양동기궤도를 돌고 있는 위성이 오스트레일리아 내륙에 설치된 표준 표적을 이용하여 3개월 내 검보정을 수행한다고 가정한다. 시뮬레이션에 적용된 센서 사양은 표 1과 같다.

운용가능한 입사각 범위가 만드는 관측영역 내 중심 지역에 해당되는 입사각인 34°를 기준 입사각

으로 설정하였으며, wave mode 관측폭(20km)이 후보지역 검색에 사용되었다. 오스트레일리아 내에서 승교 및 강교 궤적의 중첩영역은 총 15720개가 도출되었고, 한 중첩 지역에서 중복 촬영(step2)되는 최대 횟수는 11회이다.

그림 3은 Step 3에서 도출된 후보 지역을 오스트레일리아 지형 내에 표시한 그림이다. 적용된 DEM은 NASA에서 2009년에 공개한 1GDDEM(Global Digital Elevation Model Version 1)으로 10km의 해상도를 가진다. 해당 DEM은 1° X 1° 격자 당 1arcsec로 고도가 분화되어 있다[13]. DEM 영상의 이미지 처리를 통해 중첩 지역 영상에 포함되는 고도의 표준편차가 0인 지역을 선별하였다.

레이더의 역산란은 식생, 날씨 등의 영향을 받는다. SAR 센서는 주파수 영역에 따라 투과율이 달라지며 파장이 짧은 X 밴드의 경우 C, L 밴드에 비해 투과율이 낮으므로 나무를 투과할 수 없다.

표 1. SAR 센서 사양

Table 1. SAR sensor specification

Image mode	Swath	Resolution	Incidence angle
Strip Map	80km	5 x 5m	20° - 45°
Interferometric Wide Swath	250km	5 x 20m	25° - 45°
Extra-Wide Swath	400km	20 x 40m	20° - 45°
Wave	20km	5 x 5m	23° - 37°

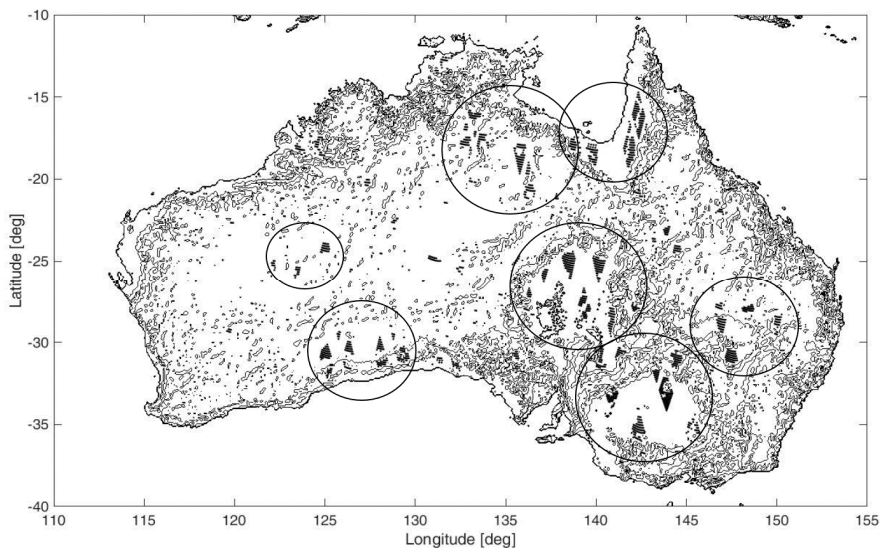


그림 3. 검보정 사이트 후보지
Fig. 3. Candidate of Cal/Val site

또한 강우나 구름의 영향을 받는다[14][15]. 따라서 수목이 없고 기후가 안정된 지역이 고려되어야 한다. 평탄성을 고려한 지역 중에서 최종 검보정 지역을 선정할 때 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 참고하여 역산관계수를 확인할 수 있다. [11][16]에 따르면 NDVI가 0.0-0.2 정도인 지역이 사막 및 초원으로 검보정 사이트로서 적합하다. 해당지역은 식생의 변화가 거의 없고, 기후가 안정적인 지역에 속하여 검보정 사이트에 요구되는 일반 조건을 만족한다. 오스트레일리아를 대상으로 검토하는 경우, 서부 지역에서 NDVI가 0.0-0.2로 나타난다.

그림 4는 평탄성과 역산관계수를 고려하여 최종적으로 도출된 후보지의 구글 위성사진이다. 대지가 고르고 수목이 없어 표적을 설치하기에 적합한 장소임을 확인할 수 있다.

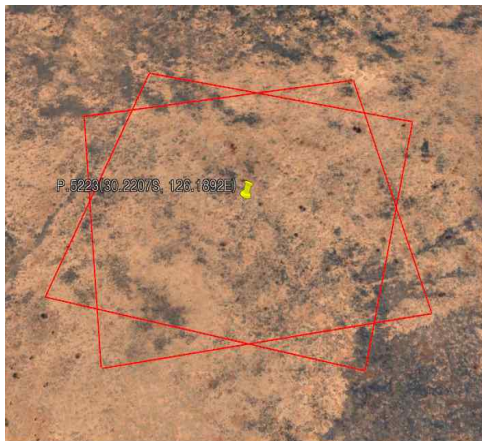


그림 4. 최종 검보정 사이트 위성사진
Fig. 4. Satellite image of final Cal/Val site

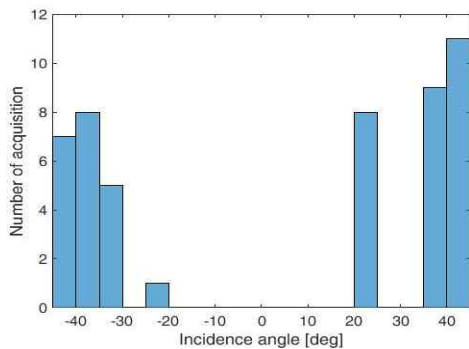


그림 5. 획득 입사각 정보
Fig. 5. Data for acquisition incidence angle

기준 입사각으로 영상을 획득하는 경우를 제외하고, 표준 표적을 촬영할 수 있는 경우는 49회로, 그림 5는 표준 표적을 촬영할 수 있는 입사각의 분포(step5)를 나타낸다. 입사각 분포를 고려하여 검보정 수행 시 기간 단축을 위한 빔을 선택할 수 있다.

IV. 결 론

SAR 위성 영상품질은 센서의 검보정 결과에 의해 결정된다. 검보정 단계는 발사 전후로 나뉘며, 발사 후 단계인 궤도상 검보정은 표준 표적 정보의 반복 획득을 요구하기 때문에 궤도 시험 및 위임 단계에 있어 일정 증가의 원인이 된다. 검보정 기간이 증가수록 영상 요구 조건이 충족된 임무 기간이 감소하고, 검보정을 위한 시설 및 인원에 소요되는 비용이 증가하기 때문에 오랜 검보정 기간은 일정과 비용의 측면에서 문제가 된다. 문제 해결을 위해 기존의 연구들은 검보정 기간을 단축하기 위한 전략적 검보정 계획을 수립하였다.

본 논문에서는 표준 표적이 설치될 사이트 선정에 초점을 맞추어 검보정 전략을 세웠다. 한정된 기간 동안 표적 정보의 획득을 최대화 할 수 있는 검보정 사이트 후보지 검색 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 크게 일정 기간 동안 표준 표적 영상을 최대로 획득할 수 있는 지역 조사 단계와 일반적인 검보정 사이트 조건 만족 여부를 확인하는 단계로 이루어지며, 추가로 표준 표적 영상을 획득할 수 있는 모든 입사각 정보를 제공하는 단계로 이루어진다. 일반 조건으로는 평탄성과 역산률이 고려되었다. 평탄성은 DEM을 반영하여 고도의 균일성으로 확인하였다. 이때 운용가능 최소 관측폭보다 작은 해상도의 DEM이 요구된다. DEM을 DSM(Digital Surface Model)으로 대체할 경우, 지구의 지형에 인공 구조물까지 고려할 수 있다. 역산률은 NDVI로부터 식생의 변화와 기후 안정성을 추정하였다.

개발된 알고리즘은 임무의 목표 성능이 정해지면 DEM을 반영하여 지표의 평탄성까지 고려한 검보정 사이트를 사전에 제시할 수 있다는 점에서 의의를 찾을 수 있다. 그러나 계산 과정에서 지구를 구형으로 가정하였다. 타원형의 지구의 형태가 반영되지 않은 계산으로 실제 임무에 바로 적용하기 어렵다.

따라서 지형적 한계점을 극복하기 위한 연구를 본 논문의 향후 과제로 제안한다.

References

- [1] K. Tomiyasu, "Tutorial Review of Synthetic-Aperture Radar(SAR) with Applications to Imaging of the Ocean Surface", Proceeding of the IEEE, Vol. 66, No. 5, pp. 563-583, May 1979.
- [2] A. Freeman, "SAR Calibration: An Overview", Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 30, No. 6, pp. 1107-1121, Nov. 1992.
- [3] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, Vol. 1, No. 1, pp. 6-43, Mar. 2013.
- [4] B. Brautigam, M. Schwerdt, and M. Bachmann, "The External Calibration of TerraSAR-X, a Multiple Mode SAR-System", European Conference on Synthetic Aperture Radar(SAR), 4pages, May 2006.
- [5] A. P. Luscombe, "RADASAT-2 SAR image quality and Calibration Operation", Can. J. Remote Sensing, Vol. 10, No. 3, pp. 345-354, Jun. 2004.
- [6] A. Luscombe, "Image Quality and Calibration of RADASAT-2", Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 757-760, Jul. 2009.
- [7] M. Schwerdt, D. Hounam, and J. L. Alvares-peres, "The Calibration Concept of TerraSAR-X: a Multiple Mode, High Resolution SAR", Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 31, pp. 30-36, Feb. 2005.
- [8] P. Snoeij, N. T. Ignacio, and D. Geudtner et al. "In-Orbit Calibration Strategy for Sentinel-1", SPIE Remote Sensing, Vol. 8533, 85331F, Nov. 2012.
- [9] I. Y. Hwang, "Selection of Calibration and Validation Site Considering Planning Strategy", KSAS Spring Conference, Apr. 2018.
- [10] P. Snoeij, D. Geudtner, A. Ostergaard, I. Navas-Traver, M. Brown, B. Rommen, D. Bibby, R. Torres, M. Schwerdt, B. Doring, M. Zink, and D. Schrank, "Sentinal-1 In-Orbit Calibration Plan", Proceedings of the 9th European Radar Conference, Nov. 2012.
- [11] J. H. Kim and S. W. Ra, "A Analysis for Calibration Site Selection of SAR Satellite", J. Astron. Space Sci., Vol. 26, No. 4, pp. 659-666, Dec. 2009.
- [12] C. Prigent, I. Tegen, F. Aires, B. Marticorena, and M. Zribi, "Estimation of The Aerodynamic Roughness Length in Aird and Semi-Arid Regions over The Globe with The ERS Scatterometer", Journal of Geophysical Research, Vol. 110, No. D9, 12pages, May 2005.
- [13] T. Tachikawa, M. Kaku, A. Iwasaki, D. Gesch, M. Oimoen, Z. zhang, J. Danielson, T. Krieger, B. Curtis, J. Haase, M. Abrams, R. Crippen, and C. Carabajal, "ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of Validation Result", Aug. 2011.
- [14] S. W. Lau, "Comparison and Fusion of Spaceborne L-, C- and X- Band SAR Images for Damage Identification in The 2008 Sichuan Earthquake", Royal Institute of Technology(KTH), Jun. 2011.
- [15] T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, and J. W. Chipman, "Remote Sensing and Image Interpretation", Wiley, 2004.
- [16] H. Alfred, J. Chris, and V. L. Wim, "MODIS Vegetation Index Algorithm Theoretical Basis Document", Apr. 1999.

저자소개

황 인 영 (Inyoung Hwang)



2011년 2월 : 연세대학교
천문우주학과(이학사)
2013년 2월 : 연세대학교
천문우주학과(이학석사)
2013년 9월 ~ 현재 :
국방과학연구소
관심분야 : 위성 궤도, 열설계