

컴포넌트 기반의 ERS SAR 엄밀지형보정 알고리즘 개발

Development of Component Based Rigorous Geocoding Algorithm for ERS SAR

손홍규 · 박정환 · 이형기 · 이기선

Sohn, Hong-Gyoo · Park, Choung-Hwan · Lee, Hyung-Ki · Lee, Ki-Sun

연세대학교 사회환경시스템 공학부 조교수 · e-mail:sohn1@yonsei.ac.kr
연세대학교 사회환경시스템 공학부 박사과정 · e-mail:c142520@yonsei.ac.kr
연세대학교 사회환경시스템 공학부 석사과정 · e-mail:leehk@yonsei.ac.kr
연세대학교 사회환경시스템 공학부 박사과정 · e-mail:kisuns@yonsei.ac.kr

要 旨

SAR 시스템은 능동적 센서로 마이크로파라 불리우는 전자기파를 직접 지상에 보내고 돌아오는 신호의 위상과 진폭을 이용하여 영상으로 나타내는 간섭성 시스템이다. 이러한 영상의 특성으로 인해 날씨나 태양의 유·무에 상관없이 영상을 취득할 수 있는 장점이 있다. 또한, 최근에는 기존의 다중분광 위성영상과의 SAR 영상의 Data Fusion을 통해 지상의 새로운 정성적 정보를 취득하려는 시도 등 나날이 그 활용성이 증대되고 있는 상황이다. 그러나 SAR 영상의 광범위한 활용을 위해서는 먼저 영상의 지형보정이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 SAR 영상의 활용을 위해서 선행되어야 할 지형보정의 알고리즘을 컴포넌트 기반의 프로그램으로 구현하고 대상연구지역에 대한 적용을 통해 그 활용성과 가능성을 보여주고자 한다.

연구대상지역은 ERS-1, ERS-2 SAR로 촬영된 대전광역시와 그 주변지역으로 해당 SAR 영상에 대하여 엄밀지형보정 알고리즘과 경사거리 영상을 지상거리 영상으로 변환하는 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 실험결과 공칭해상도 30m의 ERS 영상에 대하여 39.7m(*X*방향으로 24.5m, *Y*방향으로 31.3m)의 수평오차를 나타내었으며 경사거리 영상의 지상거리 영상으로의 변환도 원활하게 수행됨을 알 수 있었다. 마지막으로 본 연구를 통해 연구된 모든 알고리즘은 컴포넌트 기반으로 설계하고 구현되어 향후 국내 SAR 처리기술 개발에 있어서 공유할 수 있도록 하였다.

1. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar) 시스템은 능동적 센서로 전자기파를 직접 지상에 보내고 돌아오는 신호의 강도에 따라 지상의 물체의 특성을 위상 및 진폭을 이

용하여 고해상도의 영상으로 파악할 수 있는 간섭성 시스템(coherent system)이다. 특히 태양의 반사파에 의존하는 수동적 센서와는 달리 밤과 낮 구분 없이 영상을 취득할 수 있는 큰 장점이 있다. 또한 송신하는 파장이 구름의 입자보다 크

기 때문에 구름과 소량의 강우에는 영향을 거의 받지 않고 고해상의 영상을 취득할 수 있기 때문에 구름이 많이 끼는 지역, 상습강우지역, 극지방의 연구 및 재해지역의 연구에 많이 이용되고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 가시광선대의 인공위성 시스템과는 다른 파장대로 그 특유의 반사특성을 가지고 있기 때문에 지상의 물체를 파악하는데 자체의 특성을 이용하거나 다른 파장대에 대한 보충자료로 널리 이용되고 있다. 특히 1991년 발사된 ESA(European Space Agency)의 ERS-1 SAR의 성공적인 지구관측에 따라 ERS-2, JERS-1이 연이어 발사되었고, 1995년에 발사된 RADARSAT-1은 최초로 남극의 고해상도 영상지도를 만드는 데 사용되어 그 이용의 새 장을 열었다(Noltimier et al., 1999).

SAR는 기하학적 특성상 기본적으로 경사거리 영상을 취득하게 된다. 이는 기존의 광학적 영상에서 접해온 지상거리 영상과는 전혀 다른 특성을 지니고 있다. 특히, 경사거리 영상의 취득으로 발생하는 layover 현상, foreshortening 현상, shadow 현상 등은 영상 내 포함되어 있는 주요한 기하학적 왜곡의 원인에 해당한다. 또한 경사거리 영상은 기존의 광학영상에서 필연적으로 발생하는 폐쇄영역을 상당부분 감소시킬 수 있기 때문에 입체영상(반대방향에서 촬영한 경우) 취득 시에는 지상거리 영상에 비해 유리한 점도 있다.

본 연구에서는 SAR 영상의 다양한 활용을 위해서 선행되어야 할 지형보정 알고리즘을 분석하고 이를 컴포넌트(component) 기반의 프로그램으로 개발하였다. 영상의 위치정확도가 높은 엄밀지형보정 알고리즘과 지형보정 알고리즘에 부가적으로 요구되는 경사거리(slant range) 영상을 지상거리(ground range) 영상으로 변환하는

알고리즘에 대하여 컴포넌트 기반으로 설계하고 모듈화하였다.

2. SAR 엄밀지형보정 알고리즘

SAR 위성은 그 기하학적 특성으로 인해 많은 지형적 왜곡이 영상 내 포함될 수 있으므로 보다 엄밀한 SAR 지형보정을 수행하기 위해서는 높은 정확도의 수치표고모형이 필수적으로 요구된다. 엄밀지형보정 알고리즘은 영상에 해당하는 지역의 수치표고모형의 각 격자점에 대하여 영상 내 위치를 계산하고, 각각의 격자점에 대한 정확한 영상 밝기값을 취득함으로써 영상 내 포함된 기하학적 왜곡을 제거하여 지형보정을 수행하는 것이다.

실제 지상의 임의의 점에 대한 영상내 위치를 구하기 위해서는 위성과 영상간의 기하학적 모형을 도플러 방정식과 경사거리(range) 방정식이라고 불리는 2개의 관측방정식을 사용하여 해를 구하는 복잡한 과정을 거친다. 그림 1은 본 연구에서 적용한 기하학적 모형을 보여주고 있다. 식 (1)과 식 (2)는 도플러 방정식과 경사거리 방정식을 나타낸다(Schreier, 1993).

$$F_1(i, j) = f_{dc} - 2 \frac{(p-s) \cdot (\dot{p}-\dot{s})}{\lambda |p-s|} \quad (1)$$

$$F_2(i, j) = r_o - m_r j - |p-s| \quad (2)$$

여기서, p 는 지구중심에서 수치표고모형 내 임의의 격자점까지의 벡터를 의미하며, s 는 지구중심에서 영상을 촬영할 당시의 위성위치까지의 벡터를 나타낸다. \dot{p} 와 \dot{s} 는 p 와 s 에 대한 시간에 대한 1차 미분, 즉, 속도를 의미한다. f_{dc} 는 도플러 중심주파수, λ 는 SAR 위성에서 사용하는 신호

의 파장, r_o 는 위성에서 가장 가까운 영상까지의 경사거리, m_r 은 경사거리 SAR 해상도, i, j 는 영상좌표의 행(line)과 열(pixel)을 의미한다.

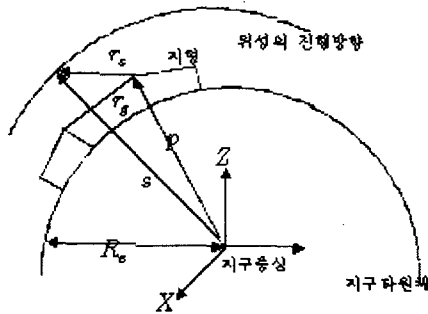


그림 1. SAR 위성과 영상간의 기하학적 관계

엄밀지형보정 알고리즘의 적용을 위해 먼저 SAR 위성헤더 파일에서 추출한 천체력 자료(ephemeris data)를 이용하여 위성의 위치를 행의 함수(혹은 시간의 함수)로 표현하여 위성의 궤도위치를 모델링하였다. 다음으로 초기 영상좌표를 기준으로 식 (1)과 식(2)의 도플러 방정식과 거리 방정식을 이용하여 입력된 수치표고모형의 격자점에 해당하는 정확한 영상 위치를 계산하게 된다. 도플러 방정식을 이용하여 영상 내 행의 위치를 결정하게 되는데 식 (3)과 같은 방법을 이용하였다.

$$\begin{array}{ll}
 \text{do while}(f_d < f_{dc}) & \text{do while}(f_d > f_{dc}) \\
 i = i + 1 & i = i - 1 \\
 \dots & \dots \\
 \text{end} & \text{end}
 \end{array} \quad (3)$$

여기서, f_{dc} 는 도플러 중심주파수로 위성 매개변수를 통해 계산된다.

수치표고모형의 격자점의 해당하는 영상 내 행의 위치가 결정되면 거리 방정식을 이용하여 다시 열의 위치를 결정하게 된다. 그러나 ERS의 경우 거리 방향으로

발생되는 도플러 변화로 인해 처음에 산정된 행의 위치가 변화할 수 있다. 따라서 최종적으로 거리방향으로 발생된 도플러 변화를 고려하여 행의 위치를 다시 계산하였다(그림 2 참조).

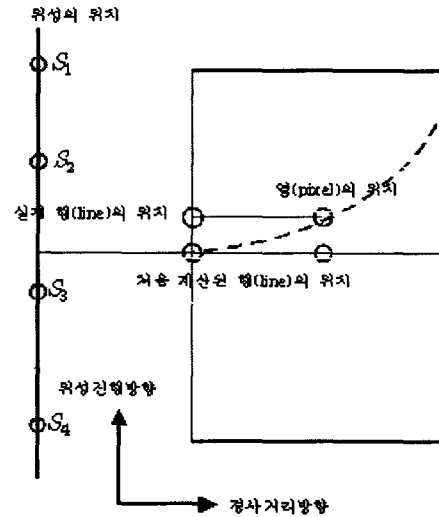


그림 2. 도플러-경사거리 방정식을 이용한 영상위치 결정 방법

마지막으로 본 연구에서는 임의의 지상점에 대한 영상 내의 행과 열 위치를 동시에 계산하는 반복계산 알고리즘을 이용한 엄밀지형보정도 고려하였으나 두 가지 알고리즘을 다 사용해본 결과 프로그램의 수행속도에 있어서 반복계산 알고리즘의 경우 4배 이상 오랜 시간이 요구되어 연구목적에 부응하도록 수행속도가 빠른 본 알고리즘을 채택하였다.

3. SAR 경사거리-지상거리 변환 알고리즘

SAR 영상은 기본적으로 경사거리 기준의 관측을 수행하기 때문에 취득된 영상이 일반적인 광학영상과는 전혀 다른 기하학적 성질을 나타내며, 또한 한 영상소

의 가로, 세로의 지상해상력이 서로 다른 특성을 보여준다. 따라서 사용자의 편의와 지형보정의 편의를 위해 종종 경사거리 기준의 SAR 영상을 일반적인 지상거리 기준의 영상으로 변환하게 된다(Logan, 1999).

경사거리를 지상거리로 변환하기 위해 서 다음과 같은 절차를 사용하였다(그림 1 참조).

$$r_s^2 = R_e^2 + s^2 - 2 \cdot s \cdot R_e \cos \phi \quad (4)$$

$$\phi = \arccos\left(\frac{R_e^2 + s^2 - r_s^2}{2 \cdot s \cdot R_e}\right) \quad (5)$$

$$r_g = R_e \cdot \phi \quad (6)$$

여기서, s 는 지구중심으로부터 위성까지의 거리, r_s 은 임의의 영상좌표까지의 경사거리, R_e 는 영상중심에서의 지구반경, r_g 은 임의의 영상좌표에서의 지상거리를 의미한다.

4. 자료처리 및 결과

본 연구에서는 엄밀지형보정 알고리즘을 ERS-1, ERS-2 SLC(Singlook Complex Data) 형태의 영상자료에 적용하였으며 연구에 사용된 영상은 충청남도 대전지역을 포함하는 100km×100km의 SAR 영상이다. 그림 3과 4는 SLC 형태의 경사거리 영상 자료를 진폭값으로 표현한 16bit 영상이다. 그림에서 보듯이 SAR 경사거리 영상 자료는 일반 광학영상과는 기하학적으로 큰 차이를 보이며 지형상태를 알아보기가 매우 어려운 상태이다. 일반적으로 광학영상은 8bit 형태로 표현을 하게 되는데, 본 연구에서는 SAR 경사거리 영상의 관측값을 그대로 유지하고 차후에 행하여 질 수 있는 방사학적 보정을 대비하여 16bit 원상태를 그대로 사용하기로 했다.

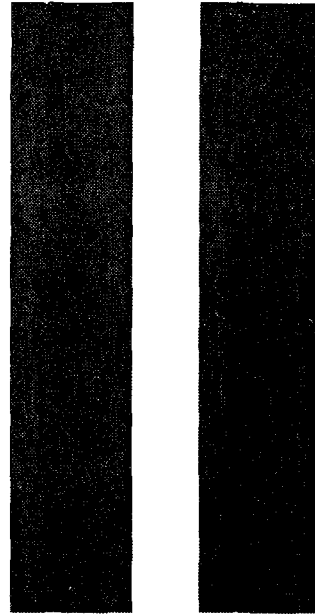


그림3. ERS-1 경사거리 영상(대전지역, 좌측영상)

그림4. ERS-2 경사거리 영상(대전지역, 우측영상)

그림 5는 엄밀지형보정 위해서 사용된 연구대상지역의 수치표고모형을 보여주고 있다. 수치표고모형은 단순지형보정에 사용한 자료와 마찬가지로 경도 127°E~129°E, 위도 35°N~38°N에 해당하는 DTED level 1(간격: 3 arc seconds ≃ 100m)자료를 실험지역에 대해서 50m 간격으로 재배열하여 제작하였다. 이 지역은 표고가 최대 1,422m에 이르는 대부분이 산악지형으로 이루어져 있다.



그림 5. 실험지역의 수치표고모형 (UTM 52 Zone)

그림 6과 7은 최종적으로 엄밀지형보정 알고리즘을 사용하여 얻어진 정사영상이다. 그림 8과 9는 본 연구에서 수행한 엄밀지형보정 알고리즘의 결과의 검정을 위해서 상용 소프트웨어인 ERDAS Imagine 8.4에서 같은 지역에 대해 동일한 수치표고모형을 사용하여 얻어진 결과이다. 그림 6과 그림 8을 통해 지형보정된 영상의 상대적인 위치 정확도를 비교해 보았을 때 행 위치에서는 평균 1 영상소, 열 위치에서는 평균 1.5 영상소 정도의 차이를 나타내었다(표 1 참조).

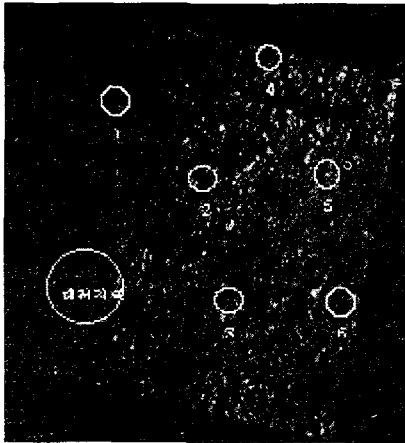


그림 6. ERS-1의 엄밀지형보정 영상
(본 연구에서 개발한 프로그램 사용)

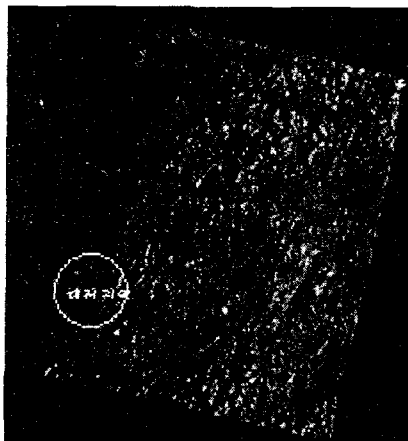


그림 7. ERS-2의 엄밀지형보정 영상
(본 연구에서 개발한 프로그램 사용)

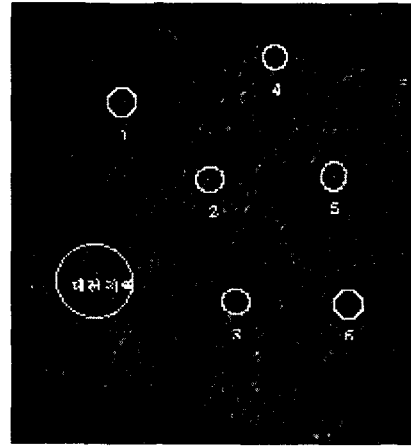


그림 8. ERS-1의 엄밀지형보정 영상
(ERDAS Imagine 8.4 사용)



그림 9. ERS-2의 엄밀지형보정 영상
(ERDAS Imagine 8.4 사용)

표 1. 육안검사를 통한 지형보정 영상좌표의 비교 (그림 6과 8에 표시된 영상좌표)

	그림 6		그림 8	
	행(line)	열(column)	행(line)	열(column)
1	614	536	616	535
2	851	977	851	974
3	1325	1633	1325	1636
4	1569	264	1569	266
5	1839	991	1840	992
6	1992	1652	1990	1652

지형보정된 영상의 정확도 평가를 위해 그림 6의 대전지역에 대하여 항공삼각측

량을 이용해 생성된 20m 단위의 수치표고 모형을 이용하여 지형보정을 수행하였다. 정확도 평가를 위한 검사점은 1:5,000 수치지도를 이용하여 20점을 추출하였으며 이와 비교한 수평위치 정확도는 X 방향으로 24.5m, Y 방향으로 31.3m를 나타내었다. ERS-1의 공칭해상도가 대략 30m이고 일반적인 ERS-1 영상의 지형보정자료의 정확도가 50m 이내로 알려진 연구성과와 유사한 결과를 나타내었다(정수, 1997).

그림 10은 본 연구에서 사용한 ERS-1, ERS-2 경사거리 영상(그림 3, 그림 4 참조)을 10m의 지상거리 영상으로 변환한 결과를 보여주고 있다.

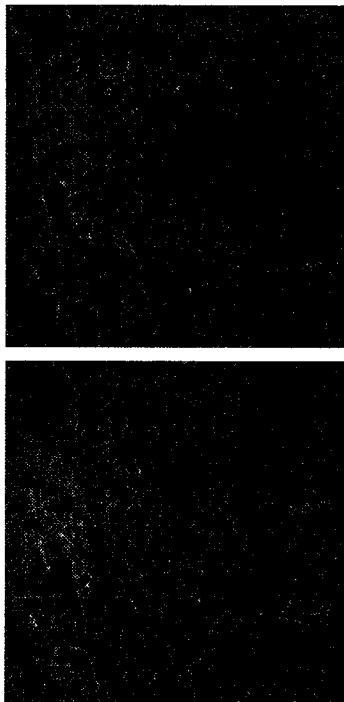


그림 10. ERS 영상의 지상거리영상 변환 (상: ERS-1, 하: ERS-2,)

5. 결론

본 연구에서는 컴포넌트 기반의 SAR 지형보정 모듈 개발을 통해 다음과 같은

결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 일반적인 반복계산에 의한 엄밀지형보정 알고리즘 대신 본 연구에서 수정 제안한 엄밀지형보정 알고리즘을 사용한 결과 수행속도에 있어서는 4배 정도의 처리속도가 향상되었으며 국부지역(대전광역시 주변)에 대한 20점의 검사점과 비교했을 때 39.7m의 평면위치오차를 나타내었다. 이는 일반적으로 알려진 ERS-1 지형보정자료의 정확도가 50m인 것과 비교했을 때 적합한 결과라고 할 수 있다.

둘째, 본 연구를 통해 구현된 모든 모듈이 컴포넌트 기반으로 설계되고 개발됨으로써 향후 국내 SAR 처리기술 개발에 공유될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. 손홍규, 박정환, 송영선, 이형기, 2001, "영상에 포함된 위치정보를 사용한 실시간 SAR Geocoding", 한국지형공간정보학회 학술발표회, 한국지형공간정보학회, pp.67~76.
2. 정수, "RADARSAT 위성 SAR 자료의 지형보정에 관한 연구, 박사학위 논문, 연세대학교 대학원, 1997.
3. Curlander, J.C. and R.N. McDongough, 1991, Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc.
4. Logan, T., 1999, Calculation of ASF CEOS Metadata Values, ASF.
5. Noltimier, K.F., K.C. Jezek, H.G. Sohn, B. Li, H. Liu, and 4 others, 1999, RADARSAT Antarctic Mapping Project - Mosaic Construction, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany, pp. 2349-2351.
6. Schreire, G., 1993, SAR Geocoding: Data and Systems, Wichmann.