

도심지역 DSM을 이용한 고해상도 InSAR 위상 시뮬레이션

윤근원*,*** · 김상완**† · 이용웅* · 이동천** · 원중선***

* 국방과학연구소 제 3기술연구본부, ** 세종대학교 지구정보공학과, *** 연세대학교 지구시스템학과

High Resolution InSAR Phase Simulation using DSM in Urban Areas

Geun-Won Yoon*,***, Sang-Wan Kim**†, Yong-Woong Lee*, Dong-Cheon Lee**
and Joong-Sun Won***

* The third R&D Institute, Agency for Defense Development,

** Department of Geoinformation Engineering, Sejong University

*** Department of Earth System sciences, Yonsei University

Abstract : Since the radar satellite missions such as TerraSAR-X and COSMO-SkyMed were launched in 2007, the spatial resolution of spaceborne SAR(Synthetic Aperture Radar) images reaches about 1 meter at spotlight mode. In 2011, the first Korean SAR satellite, KOMPSAT-5, will be launched, operating at X-band with the highest spatial resolution of 1 m as well. The improved spatial resolution of state-of-the-art SAR sensor suggests expanding InSAR(Interferometric SAR) analysis in urban monitoring. By the way, the shadow and layover phenomena are more prominent in urban areas due to building structure because of inherent side-looking geometry of SAR system. Up to date the most conventional algorithms do not consider the return signals at the frontage of building during InSAR phase and SAR intensity simulation. In this study the new algorithm introducing multi-scattering in layover region is proposed for phase and intensity simulation, which is utilized a precise LIDAR DSM(Digital Surface Model) in urban areas. The InSAR phases simulated by the proposed method are compared with TerraSAR-X spotlight data. As a result, both InSAR phases are well matched, even in layover areas. This study will be applied to urban monitoring using high resolution SAR data, in terms of change detection and displacement monitoring at the scale of building unit.

Key Words : SAR, Interferometry, High resolution, Phase simulation, Urban area, LIDAR DSM.

요약 : 현재 공간해상도 약 1 m 의 고해상도 X-band SAR 위성인 독일의 TerraSAR-X와 TanDEM-X, 이탈리아의 COSMO-SkyMed가 성공적으로 발사되어 운용되고 있으며 분석 결과 우수한 성능을 보이고 있다. 국내에서도 최고 공간해상도 약 1 m 의 X-band SAR 위성인 KOMPSAT-5가 향후 발사될 예정이다. 이러한 고해상도 SAR 영상 활용이 가능해짐에 따라 SAR Interferometry(InSAR) 기술을 이용한 도심지역 모니터링이 더욱 관심을 받고 있다. 하지만, 기존의 InSAR 위상 시뮬레이션 알고리즘은 도심지역에 분포하는 빌딩과 같은 인공구조물 객체에 의해 나타나는 layover 현상과 빌딩 벽면에서 산란되는 신호를 충

접수일(2011년 3월 3일), 수정일(1차 : 2011년 4월 2일), 게재확정일(2011년 4월 3일).

† 교신저자: 김상완(swkim@sejong.ac.kr)

분히 고려하지 못한다. 본 연구에서는 기존 알고리즘의 한계점을 극복하기 위하여 LIDAR DSM을 이용한 정밀 InSAR 위상과 SAR 반사강도 영상 시물레이션 알고리즘을 개발하였다. 대전 지역에서 획득된 TerraSAR-X spotlight 영상과 비교 분석을 통해 개발된 알고리즘의 타당성 분석을 수행하였다. 시물레이션 결과로 생성된 InSAR 위상과 SAR 반사강도 영상은 실제 TerraSAR-X spotlight SAR 자료로부터 생성된 결과와 매우 유사하였다. 이러한 결과는 향후 고해상도 SAR 영상을 이용한 도심지역 변화 및 변위 탐지 모니터링 연구에 활용될 것이다.

1. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar) 관측 기술은 광학 원격탐사와 함께 위성 및 항공기 탑재체 활용과 개발 계획의 핵심을 이루고 있으며, 선진국에서도 SAR의 개발과 활용기술 개발에 많은 연구와 투자가 이루어지고 있다. 이 기술은 능동형 센서를 이용하여 영상을 형성하므로 밤과 낮에 구애받지 않고, 전파의 투과 특성으로 인하여 구름이 존재하는 상황에서도 영상 획득이 가능하므로 전천후 운용 능력을 가진다. 또한, 전파 고유의 특성을 이용하여 활용 분야가 아주 다양하여 시간에 따른 지표 미세 변화 및 변위를 감지하는 변화탐지, 지표의 고도를 추출하여 3차원 영상을 생성하는 간섭기법 및 고정/이동 표적 탐지, 곡물 성장 상태 모니터링, 해양 상태 모니터링, 3차원 단면적 정보 추출 등이 가능하다.

현재 공간해상도 약 1 m의 고해상도 X-band SAR 위성인 TerraSAR-X(독일), TanDEM-X(독일)와 COSMO-SkyMed(이탈리아)가 성공적으로 발사되어 우수한 성능을 보이고 있다. 국내에서도 최고 공간해상도 약 1 m의 X-band SAR 위성인 KOMPSAT-5를 향후 발사할 예정이다. 또한 항공기를 이용한 고해상도 SAR 영상도 목적에 따라 다양하게 활용되고 있다.

이러한 고해상도 SAR 영상 활용이 가능해짐에 따라 지금까지의 중저해상도 영상에서는 관측할 수 없는 새로운 특징 및 현상이 나타나게 되었다. Bamler and Eineder(2008)는 TerraSAR-X 영상이 촬영한 피라미드 전사면에서 보이는 이중 반사(double bounce)에 의한 밝게 나타나는 현상을 연구하였고, Brenner and Roessing(2008)은 항공기 고해상도 SAR를 이용하여 건물의 layover 지역을 중심으로 반사강도(intensity)와 위상 값을 연구하였다. Eineder *et al.*(2009)은 TerraSAR-X 간섭영상에서 에펠탑의 고도 추출과 변

위탐지 가능성을 제시하였다. 이와 같이 지금까지는 도심지역을 대상으로 중저해상도 영상의 반사강도와 긴밀도(coherence) 정보를 이용한 넓은 지역의 변화탐지 및 토지피복분류가 주로 수행이 되어 왔으나, 고해상도 영상을 이용하면 도심지역의 건물, 다리 등과 같은 각 객체에 대한 연구가 가능하다(Auer *et al.*, 2010; Thiele *et al.*, 2007a; Guida *et al.*, 2008; Wegner *et al.*, 2009). 또한 중저해상도 영상에서는 급경사로 인한 layover 지역에 대해서 무작위한 신호를 수신받기 때문에 마스킹 처리를 하는 것이 일반적이었다. 하지만 고해상도 SAR 자료의 도심 지역에서는 많은 지역이 음영(shadow)이나 layover의 영향을 받지만 이에 대한 분석을 수행하면 의미 있는 정보를 추출할 수 있다. 즉, 도심지역 건물 주변의 반사강도 영상에서는 corner reflection에 의한 다중 산란(multiple scattering) 영향으로 건물 하부에 밝은 선이 존재하며 이를 이용하여 건물 높이 또는 footprint 추출에 적용할 수 있다. 또한, 고해상도 영상에서만 관찰 가능한 layover 지역의 InSAR(Interferometric SAR) 위상을 이용하여 정밀한 건물 높이 추출 또는 미세 변위 탐지에 적용가능하다.

이러한 분석을 수행하기 위해서는 고해상도 SAR 반사강도와 InSAR 위상에 대한 효과적인 시물레이션이 필수적이다. 도심지역 고해상도 SAR 반사강도 영상의 시물레이션 연구 사례는 ray tracing 이나 rasterization 방법 등으로 다양하게 진행이 되고 있으나(Soergel, 2010), InSAR 위상 시물레이션 연구 사례는 초기 연구 단계이다(Thiele *et al.*, 2007b; Thiele *et al.*, 2008). 이러한 InSAR 위상 시물레이션이 정밀히 처리가 되어야지만, 정밀 미세 변위 탐지를 위한 DInSAR(Differential InSAR) 나 지오크딩 분야에서 정확한 결과를 기대할 수 있다.

본 연구는 도심지역의 건물을 중심으로 InSAR 위상 시물레이션에 대한 가능성 분석을 목적으로 한다. 따라

서 첫 번째로 기존 방법의 한계점을 살펴보기 위하여 InSAR 자료처리에 널리 사용되는 GAMMA S/W(version 1.4)를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 다음으로 기존 방법의 한계점을 극복하기 위하여 기하(geometry) 기반의 InSAR 위상 시뮬레이션 방법을 제안하였으며, 위상 시뮬레이션 결과에 대한 실제 InSAR 위상과 비교 분석을 하였다. 이러한 결과는 향후 InSAR 위상 시뮬레이션 방법 개선을 통하여 고해상도 SAR 영상을 이용한 도심지역 변위 또는 변화탐지 및 모니터링 연구에 활용될 것이다.

2. 기존 시뮬레이션 결과

먼저 중저해상도 SAR 자료를 대상으로 했던 기존 시뮬레이션 방법과 적용결과를 바탕으로 한계점을 분석하기 위하여 InSAR 자료처리에서 널리 사용되는 상업 소프트웨어 GAMMA S/W를 이용하여 자료처리를 하였다. 연구지역은 대전광역시 일부 도심지역이며 사용한 고해상도 SAR 자료의 특징은 Table 1과 같다. 그리고 InSAR 위상을 시뮬레이션 하기 위해서는 고도 정보가 필요한데, 경우에 따라서는 DTM(Digital Terrain Model) 자료로도 충분하지만, 도심지역의 건물과 같은 경우에는 DTM에 건물 높이 정보가 포함되어 있지 않기 때문에 사용이 적절하지 않다. 즉, 건물과 같은 인공 구조물이 많은 도심지역에서는 높이와 국지입사각

Table 1. Characteristics of TerraSAR-X SAR data

	Master	Slave
Date	March 24, 2009	April 4, 2009
Heading	Descending	
Beam mode	High Resolution Spotlight	
Incidence angle	about 39°	about 39°
Range pixel spacing	0.909403 m	0.909403 m
Azimuth pixel spacing	0.851815 m	0.862203 m
Frequency	9.65 GHz	
Perpendicular baseline	-98.8 m	
Height ambiguity	69.4 m	

(local incidence angle)에 의한 효과를 고려하여야 한다. 또한, 고도 정보를 가지고 있는 외부의 부가 자료는 SAR 자료와 해상도가 비슷하거나 좋아야 한다. 그러므로 도심지역에서의 SAR 자료를 이용한 InSAR 위상 시뮬레이션을 위해서는 LIDAR (LIght Detection And Ranging) DSM(Digital Surface Model) 자료의 활용이 적절하다(Schubert et al., 2008). Fig. 1은 연구지역에 대한 LIDAR DSM 자료와 연구 지역 중심에 높은 고도를 가지는 건물에 대한 전경을 보여준다.

Fig. 2는 2009년 3월 24일 촬영된 TerraSAR-X의 실제 SAR 반사강도 영상과 TerraSAR-X의 파라미터를 이용하여 기존의 방법으로 시뮬레이션 된 SAR 반사강도 영상이다. Fig. 3은 2009년 3월 24일과 2009년 4월 4일 촬영된 두 개의 TerraSAR-X 영상을 이용하여 생성된 실제 InSAR 위상과 Table 1의 InSAR 파라미터

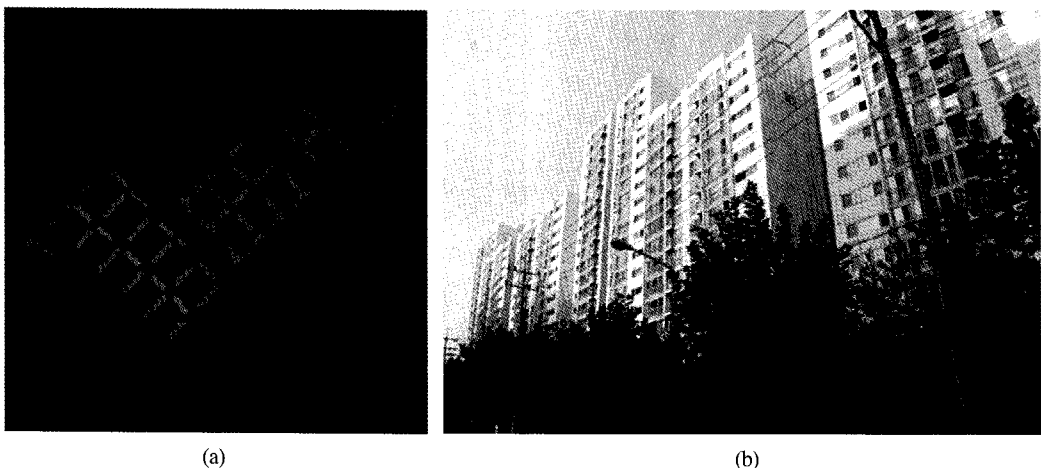


Fig. 1. (a) LIDAR DSM data of study area by the courtesy of Hanjin Information Systems & Telecommunication Co., Ltd. (b) Photograph of tall buildings.

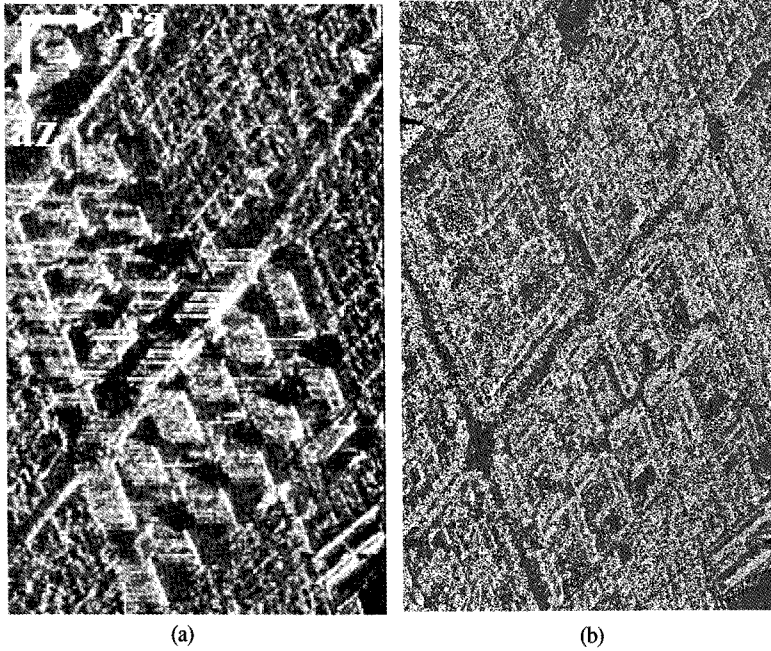


Fig. 2. (a) Real SAR intensity image (b) Simulated SAR intensity image using traditional approach.

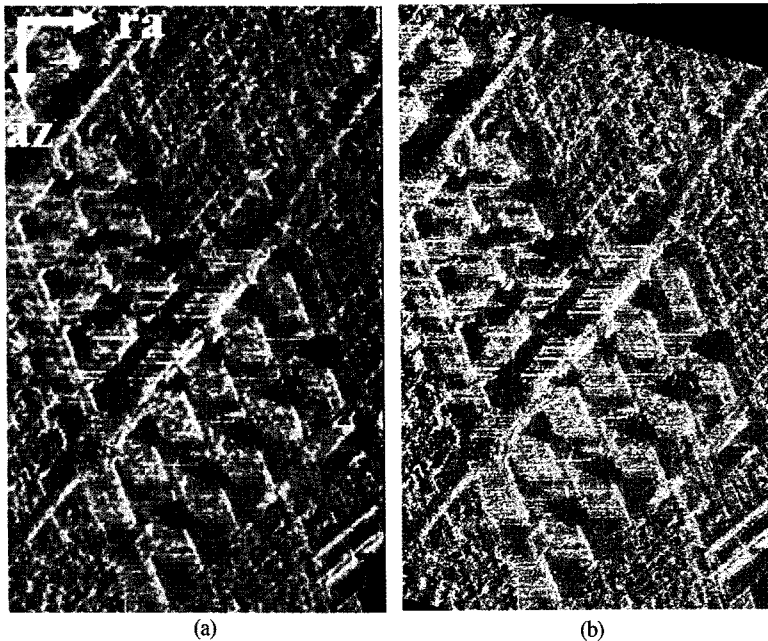


Fig. 3. (a) Real InSAR phase overlaid on intensity image (b) Simulated InSAR phase overlaid on intensity image using traditional approach.

를 이용하여 기존의 방법으로 시뮬레이션한 InSAR 위상이다. 방위(azimuth)와 거리(range) 방향은 그림에 표시된 것과 같으며, 전체 영상의 크기는 700×440 픽셀이다.

Fig. 3의 실제 생성된 간섭영상에서 한 가지 주목할

점은 현재까지 중저해상도 영상에서는 layover 지역이 임의의 값을 가지기 때문에 잡음(noise) 성분이 많아 일반적으로 위상 줄무늬(fringe)가 나타나지 않는 반면, Fig. 3 (a)에서 보는 것과 같이 고해상도 영상의 도심지역 건물 벽면에서는 위상 줄무늬 형태가 뚜렷하게 나타

난다. 이와 같이 layover 지역에서 InSAR 위상이 존재하는 것을 “front porch” 효과라고 한다(Gamba *et al.*, 2006). 이는 센서 방향의 layover 지역은 지표, 건물의 벽면, 건물의 지붕에 대한 신호가 중첩되어 나타나는데 이중에 건물의 벽면에 대한 신호가 우세하다는 것을 추측할 수 있게 한다. 하지만, Fig. 3 (b)처럼 기존의 시뮬레이션 방법에서는 이러한 현상이 반영이 되지 못한 것을 확인할 수 있다. GAMMA와 같은 기존 상용 S/W에서 사용하는 InSAR 위상 시뮬레이션 구현 방법은 다음과 같다.

- 1) DEM의 좌표계를 지구 중심 직교좌표계에서의 (x, y, z)로 변환하고, 다시 이 (x, y, z)값을 레이더 좌표계로 변환한다.
- 2) 레이더 좌표계(azimuth, range)로 변환된 DEM의 빈 공간을 TIN 등의 방법을 이용하여 내삽한다.
- 3) 고도값이 주어진 레이더 좌표계에서 특정한 화소에 대응하는 지리좌표 $P(x, y, z)$ 를 구한다.
- 4) 부영상의 위성궤도에서 P 지점 관측 시간을 구하여 부영상 위성위치를 결정한다.
- 5) 부영상 위성 위치와 P 지점까지의 거리와 주영상의 경사거리 차를 구하여 InSAR 위상을 계산한다.

여기서 지리좌표계와 레이더좌표계간의 변환은 도플러방정식과 거리방정식, 타원체방정식을 이용한다(Olmsted, 1993; Kampes and Usai, 1999). 간단히 요약하면 기존 방법은 지리좌표계의 DEM을 먼저 레이더 좌표계로 변환하고, 이를 이용하여 InSAR 위상과 SAR 반사강도 영상을 시뮬레이션하기 때문에 다중 산란체가 한 단위화소에 영향을 주는 현상이 전혀 반영되지 않는다. 또한 건물 지붕의 고도만 고려하여 InSAR 위상 시뮬레이션이 되었을 뿐, layover 지역의 건물 벽면에서 발생하는 산란에 의한 강한 수신 신호 효과를 반영하지는 못하였다. 그러므로 도심지역에서 InSAR 위상 시뮬레이션 수행 시, 지금까지의 기존 방법과는 다른 새로운 접근법이 필요하다는 것을 확인할 수 있다.

3. 제안한 방법

SAR 간섭영상에서 InSAR 위상은 두 개의 위성의 위치와 지상에 존재하는 목표물 사이의 경사 거리(slant range) 차이와 관련이 있다. 전통적인 InSAR 위상 시

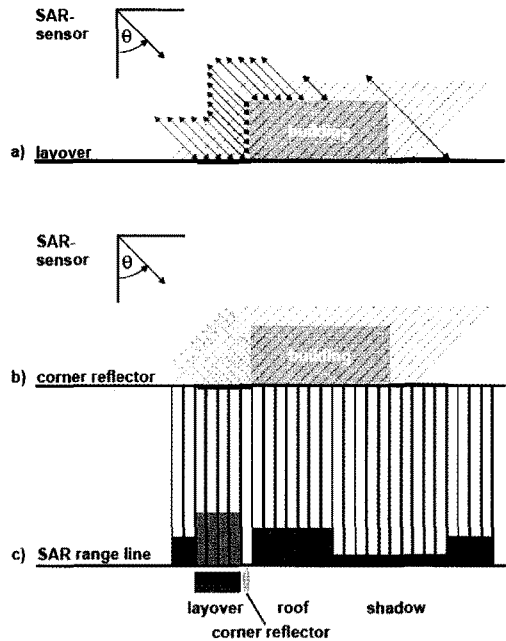


Fig. 4. SAR phenomena at a flat roofed building (a) layover, (b) corner reflector, (c) range line of SAR image (Soergel *et al.*, 2005).

뮬레이션에서는 지리좌표계에 존재하는 고도점들이 방위와 거리 방향으로 구성되는 레이더 좌표체계로 투영된 후, 이러한 좌표 체계를 기준으로 간섭영상이 시뮬레이션 된다. 하지만, 이와 같은 방법으로는 건물 벽면과 같은 가파른 경사를 가지는 객체는 제대로 InSAR 위상 시뮬레이션 하기가 어렵다.

SAR 영상은 영상 획득의 기하 때문에 영상에서 기하학적인 왜곡 현상이 존재하며, Fig. 4는 건물 주변의 전형적인 현상에 대한 그림이다. Layover는 수직의 건물 외곽 벽과 같은 가파른 고도 차이를 가지는 부분에서 발생하며, 그림과 같이 건물 전면의 지표, 건물 벽, 지붕과 관련이 있다. 또한, 건물과 지표에서는 이중 반사로 인하여 방위 방향으로 밝은 값을 가지는 선이 생긴다. 그리고 건물의 반대편 지표에서는 신호가 돌아오지 않아 영상이 어둡게 나타나는 음영 지역이 존재한다. 기존 시뮬레이션과 달리 이러한 기하를 고려하여 거리 방향으로 fragment로 나누어 시뮬레이션 하는 것이 필요하다.

제안된 방법은 Fig. 5의 Thiele *et al.* (2007b)의 방법을 바탕으로 하였으며, 이를 실제 3차원의 정밀 지형

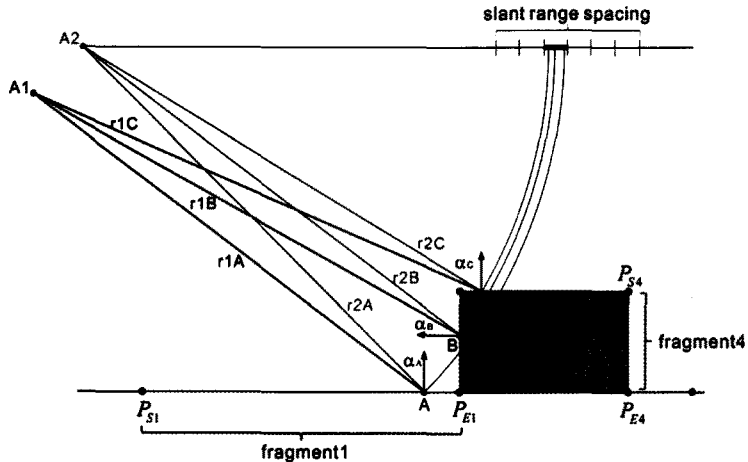


Fig. 5. Contribution of InSAR measurements at building structure: A1 and A2 are satellite positions, green line represents a DSM profile composed of fragments in ground range (modified from Thiele *et al.*, 2007b).

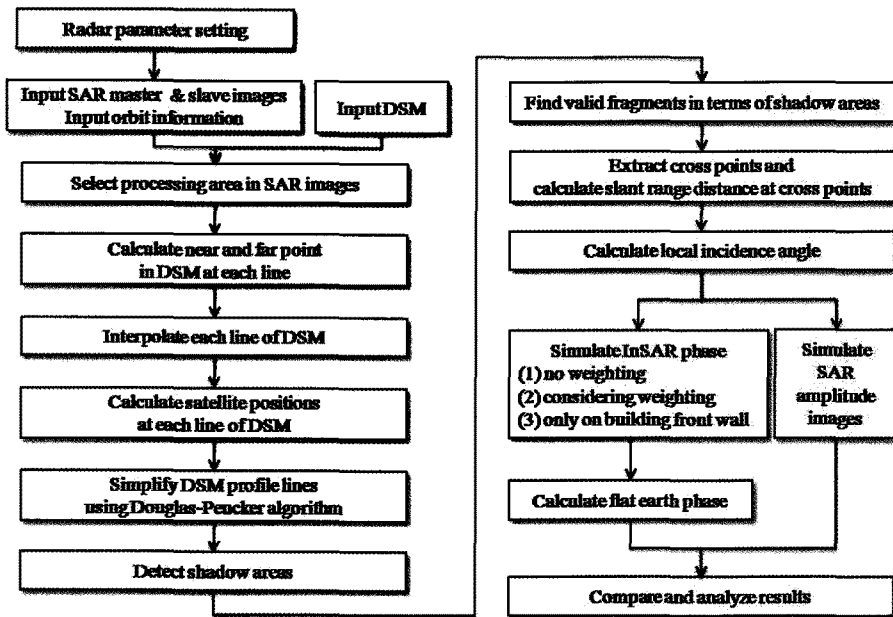


Fig. 6. Processing flowchart for InSAR phase and SAR amplitude image simulation using DSM.

정보를 나타내는 LIDAR DSM 자료를 이용하는 방법으로 확장하였다(Fig. 6). 알고리즘의 기본적인 순서는 먼저 처리하고자 하는 SAR 영상 영역을 기준으로 LIDAR DSM에서 고도 값을 추출하여 내삽을 한 후, 각 라인마다 위성의 궤도를 계산한다. 각 라인을 적절한 값으로 근사하기 위하여 Douglas-Peucker polyline simplification(Douglas and Peucker, 1973)을 적용하였으며, 관측각(look angle)을 계산하여 음영 지역을

제외하여 유효한 fragment를 계산하였다. Fragment는 동일한 고도를 가지는 영역으로 정의된다. 그리고 남은 거리 구간에서의 교점(cross point)을 찾아 경사 거리를 계산한다.

Fig. 5와 같이 건물로 인한 layover 지역에서는 주영상의 위성 위치 A1으로부터 같은 경사거리에 있는 지상의 산란체가 지표, 건물 벽면, 지붕(Fig. 5에서 A, B, C) 등 여러 개의 교점을 가질 수 있다. 단위 해상도 화소에

저장되는 신호의 위상은 다수의 산란체에 의한 반사 신호의 간섭 중첩된 값으로 표현된다. 따라서 주영상 위성 위치 A1 및 부영상의 위성 위치 A2로부터 산란체 A, B, C에 의해 기록된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$S_1 = a_1 \cdot e^{j\phi_1} \\ = a_{1A} \cdot e^{j\phi_{r1A}} + a_{1B} \cdot e^{j\phi_{r1B}} + a_{1C} \cdot e^{j\phi_{r1C}} \quad (1)$$

$$S_2 = a_{2A} \cdot e^{j\phi_{r2A}} + a_{2B} \cdot e^{j\phi_{r2B}} + a_{2C} \cdot e^{j\phi_{r2C}} \quad (2)$$

여기서 $a_{1(A,B,C)}$, $a_{2(A,B,C)}$ 는 각 산란체에 의한 반사값의 진폭이며, $\phi_{r1(A,B,C)}$, $\phi_{r2(A,B,C)}$ 는 각 산란체에 의한 위상값이다. A1에서 산란체 A, B, C까지의 거리는 동일하기 때문에($r1A = r1B = r1C = r1$) 주영상에서는 정확하게 같은 화소에 간섭 중첩되지만, A2로부터 산란체 A, B, C까지의 거리가 같지 않기 때문에(Fig. 5에서 $r2A \neq r2B \neq r2C$) 정확히 동일한 화소에 중첩되지 않는다. 다중 산란에 의해 영향을 받는 화소의 경우 $r2$ 값의 최대값과 최소값의 차이는 수직기선거리에 영향을 받지만, 일반적으로 그 차이는 거리방향 단위 해상도보다 매우 작은 값을 갖는다. 본 연구에서 사용된 간섭쌍의 경우, 주영상의 단위 화소에서 다중 산란에 의한 부영상에서의 거리 $r2(A, B, \dots)$ 간의 최대 차이는 약 0.03 m로 거리방향 해상도에 비해 약 1/30 화소 밖에 되지 않는다. 따라서 Fig. 5에서 보는 바와 같이 다중 산란에 의한 신호가 부영상에서도 하나의 단일 화소에 간섭 중첩되는 것으로 가정될 수 있기 때문에, 주영상과 정합과정을 통해 재배열된 부영상과의 복소공역 곱으로 표현되는 간섭영상은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$S = S_1 \cdot S_2^* \\ = (a_{1A} \cdot e^{j\phi_{r1A}} + a_{1B} \cdot e^{j\phi_{r1B}} + a_{1C} \cdot e^{j\phi_{r1C}}) \cdot \\ (a_{2A} \cdot e^{-j\phi_{r2A}} + a_{2B} \cdot e^{-j\phi_{r2B}} + a_{2C} \cdot e^{-j\phi_{r2C}}) \quad (3)$$

식 (3)에서 모든 산란체로부터의 반사 강도가 a 로 동일하다면(즉, $a_{1A} = a_{1B} = a_{1C} = a_{2A} = a_{2B} = a_{2C} = a$) 간섭영상 S 는 다음과 같이 표현된다.

$$S = (a \cdot e^{j\phi_{r1}} + a \cdot e^{j\phi_{r1}} + a \cdot e^{j\phi_{r1}}) \cdot \\ (a \cdot e^{-j\phi_{r2A}} + a \cdot e^{-j\phi_{r2B}} + a \cdot e^{-j\phi_{r2C}}) \\ = 3a \cdot e^{j\phi_{r1}} \cdot a(e^{-j\phi_{r2A}} + e^{-j\phi_{r2B}} + e^{-j\phi_{r2C}}) \\ = 3a \sum_m a(e^{j(\phi_{r1} - \phi_{r2m})}) \quad (4)$$

SAR 영상의 반사강도는 일반적으로 국지입사각에

반비례하므로 동일한 반사강도 대신 국지입사각 $\cos \alpha_i$ 를 반사 신호 강도의 가중치로 사용할 수 있다. 최종적으로 거리 구간 마다 경사 거리 차이와 국지입사각을 이용하여 InSAR 위상과 반사강도를 계산하였다.

InSAR 위상 시뮬레이션은 Thiele *et al.* (2007b)이 제안한 두 방법을 포함하여 모두 세 가지 방법으로 수행하였다.

$$S_a = \sum_m e^{j\Delta\phi_m} \quad (5)$$

$$S_b = \sum_m \cos \alpha_m e^{j\Delta\phi_m} \quad (6)$$

$$S_c = \begin{cases} \sum_m e^{j\Delta\phi_1}, & \text{if } m = 1 \\ \sum_m e^{j\Delta\phi_{wall}}, & \text{if } m \geq 2 \end{cases} \quad (7)$$

여기서, $\Delta\phi_m = \phi_{r1} - \phi_{r2m}$ (식 (4) 참조)로 각 산란체로부터 계산된 위상차를 나타낸다. 식 (5)는 경사 거리만을 계산하여 구한 결과이고, 식 (6)는 국지입사각 값을 가중치로 반영한 것이며 식 (7)은 layover 지역에서는 건물 벽에서 오는 신호만을 고려한 방법이다. S_a, S_b, S_c 는 반사강도에 대한 정보가 생략된 간섭영상의 위상정보만을 표현하는 복소수이며, m 은 후방산란에 영향을 미치는 요소들이다.

국지입사각을 이용한 SAR 반사강도 시뮬레이션은 ASF(Alaska SAR Facility)에서 제시된 방법을 사용하여 아래와 같이 구하였다(Olmsted, 1993).

$$I = \sum_m \frac{0.0133 \cdot \cos \alpha_m}{(\sin \alpha_m + 0.1 \cdot \cos \alpha_m)^3} \\ Bytes = 267 \cdot \sqrt{I} \\ \text{if } (Bytes > 255) \text{ Bytes} = 255 \quad (8)$$

단위 화소 내에 다중 산란체가 존재할 경우 반사강도는 각 산란체에 의한 반사강도의 간섭중첩으로 계산될 수 있다. 주영상의 안테나 위치 A1으로부터 각 산란체까지의 거리가 동일하기 때문에(즉 위상이 동일하기 때문에) 식 (8)과 같이 계산하여도 무방하다.

4. 실험 결과 및 토의

TerraSAR-X InSAR 자료와 LIDAR DSM 자료를 이용하여 위성 위치, 방위와 거리 해상도, 센서 파장 등

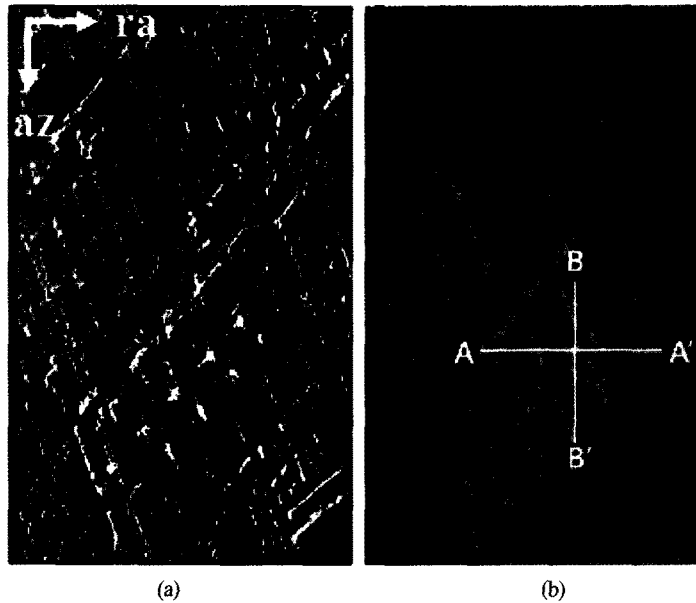


Fig. 7. (a) Intensity image (b) InSAR phase image by the proposed simulation method.

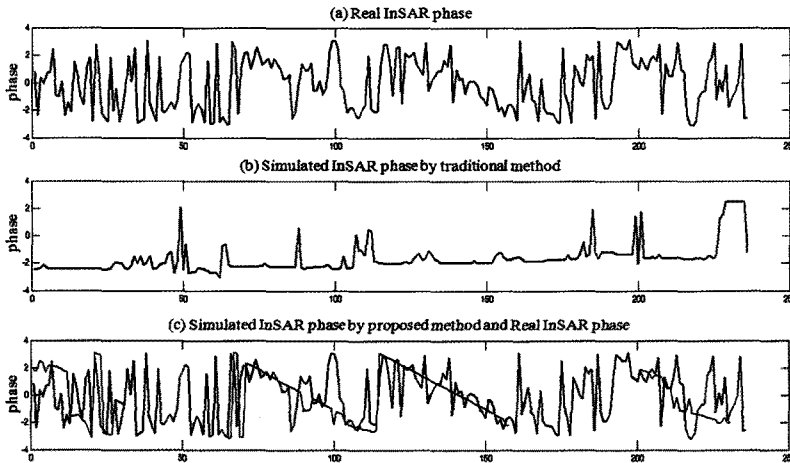


Fig. 8. (a) Real InSAR phase (b) Simulation InSAR phase by traditional method (c) Simulation InSAR phase by the proposed method (red line) and Real InSAR phase (black line) in the profile A-A'.

의 파라미터를 고려하여 제안한 방법으로 InSAR 위상과 반사강도 영상을 시뮬레이션 하였다. InSAR 위상 시뮬레이션 모델링 결과는 식 (5), (6), (7)에 따라 다소 차이는 있지만(Kim and Yoon, 2010), 본 연구에서는 경사 거리만을 계산하여 구한 식 (5)를 위주로 실제 InSAR 위상과 비교 분석 하였다. Fig. 7은 제안한 방법으로 시뮬레이션 한 반사강도와 InSAR 위상 결과이다. Fig. 7(b)의 InSAR 위상을 Fig. 3(a)의 기존의 방법의 시뮬레이션한 InSAR 위상과 비교하면 건물 벽면에 위

상 줄무늬 형태가 존재함을 알 수 있으며, 이는 실제 InSAR 위상과 유사한 결과를 보인다.

Fig. 8과 Fig. 9는 제안한 방법으로 시뮬레이션 한 결과를 실제 InSAR 위상과 비교하기 위한 거리 방향의 A-A'와 방위 방향의 B-B'의 그림이다. (a)는 실제 InSAR 위상 값이고, (b)는 기존의 방법으로 시뮬레이션 한 값이다. 실제 InSAR 위상 값이 잡음이 존재하기는 하지만 건물의 높이 변화에 따른 위상의 경사(slope)가 존재한다. 그러나 기존의 시뮬레이션 값은 건물 높이에

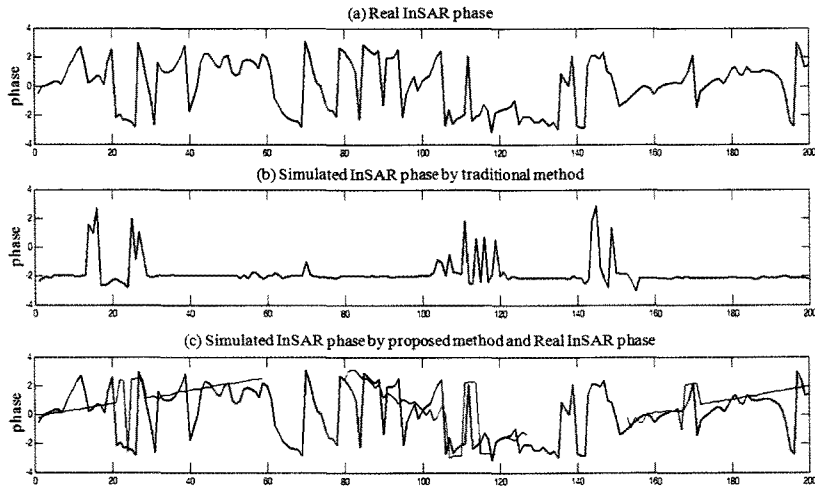


Fig. 9. (a) Real InSAR phase (b) Simulation InSAR phase by traditional method (c) Simulation InSAR phase proposed method (red line) and Real InSAR phase (black line) in profile B-B' .

대한 위상 줄무늬 영향으로 생기는 경사가 존재하지 않음을 볼 수 있다. 하지만, (c)의 붉은 색으로 표시된 제안한 방법으로 시뮬레이션 결과는 실제 InSAR 위상 값과 유사한 경향을 나타내고 있다. Fig. 8(c)의 67, 115, 201 번째 거리 위치에서 위상이 높은 값을 보이고 있으며, 이는 건물 윗부분에서 오는 신호를 의미하며 고도가 낮아짐에 따라 위상이 감소하는 경향을 보여준다. 방위 방향의 Fig. 9(c)에서도 제안한 방법의 시뮬레이션 결과가 실제 InSAR 위상과 유사한 경향을 보이고 있다. Fig.8 과 Fig. 9에서 제안한 방법의 시뮬레이션 값 중에 값이 없는 구간은 음영 지역이다.

5. 결론

본 연구에서는 최근에 활용이 급증하고 있는 고해상도 SAR 자료를 이용하여 도심지역의 건물을 중심으로 InSAR 위상 시뮬레이션을 연구하였다. 먼저, 기존 방법의 한계점을 살펴 본 결과, 도심지역과 같은 가파른 경사로 인하여 발생하는 layover 지역에서 효과적으로 시뮬레이션이 수행되지 못함을 확인하였다. 이러한 현재의 한계점을 극복하기 위하여 LIDAR DSM을 이용한 새로운 InSAR 위상 시뮬레이션 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 거리 방향을 동일한 고도를 갖는 fragment로 나누어 InSAR 위상 시뮬레이션을 수행하

여 계산한다는 점이 기존 방법과는 다르다. 시뮬레이션 결과에 대하여 실제 InSAR 자료와 비교 분석을 한 결과 기존 방법에서는 처리할 수 없었던 도심의 layover 지역에 대하여 제안한 방법에 의하여 효과적으로 InSAR 위상 시뮬레이션이 가능하였다. 이러한 결과는 향후 InSAR 위상 시뮬레이션 알고리즘 개선 및 위상 줄무늬에 영향을 주는 요소에 대한 분석 등을 통하여 고해상도 SAR 영상을 이용한 도심지역 변위 혹은 변화탐지 및 모니터링 연구에 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(06국토정보B01)에 의해 수행되었으며, 또한 한국항공우주연구원의 다목적실용위성 5호 시스템종합개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

Auer, S., S. Hinz, and R. Bamler. 2010. Ray-tracing simulation techniques for understanding high-resolution SAR images, *IEEE Transactions*

- on *Geoscience and Remote Sensing*, 48(3): 1445-1456.
- Bamler, R. and M. Eineder. 2008. The Pyramids of Gizeh seen by TerraSAR-X - A prime example for unexpected scattering mechanism in SAR, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter*, 5(3): 468-470.
- Brenner, A. and L. Roessing. 2008. Radar imaging of urban areas by means of very high-resolution SAR and Interferometric SAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(10): 2971-2982.
- Douglas, D. and T. Peucker. 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line its caricature, *The Canadian Cartographer*, 10(2): 112-122.
- Eineder, M., N. Adam, R. Bamler, N. Yague-Martinez, and H. Breit. 2009. Spaceborne spotlight SAR Interferometry with TerraSAR-X, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(5): 1524-1535.
- Gamba, P., F. Dell'Acqua, G. Lisini, and F. Clsotta. 2006. Improving building footprints in InSAR data by comparison with a LIDAR DSM, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(1): 63-70.
- Guida, R., A. Iodice, D. Riccio, and U. Stilla. 2008. Model-based interpretation of high-resolution SAR images of buildings, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1(2): 107-119.
- Kampes, B. and Usai, S. 1999 Doris : The Delft object-oriented Radar Interferometric software, *Proceedings ITC 2nd ORS symposium ITC*, Enschede, The Netherlands.
- Kim, S. W. and Yoon, G. W. 2010. Interferometric phase simulation of building structure for high resolution SAR data, *International Symposium on Remote Sensing*, Jeju, KOREA, Oct. 27-29, 2010. in CD.
- Olmsted, C. 1993. Alaska SAR Facility Scientific SAR User's Guide, 17-32.
- Schubert, A., M. Jehle, D. Small, and E. Meier. 2008. Geometric validation of TerraSAR-X high-resolution products, *3rd TerraSAR-X Science Team Meeting*, Oberpfaffenhofen, DE, Nov. 25-26, 1-6.
- Soergel, U., K. Schulz, U. Thoennesen, and U. Stilla. 2005. Integration of 3D data in SAR mission planning and image interpretation in urban areas, *Information Fusion*, 6: 301-310.
- Soergel, U. 2010. *Radar Remote Sensing of Urban Areas*, Springer, Hannover, Germany.
- Thiele, A., E. Cadario, K. Schulz, U. Thoennesen, and U. Soergel. 2007a. Building recognition from multi-aspect high-resolution InSAR data in urban areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11): 3583-3593.
- Thiele, A., E. Cadario, K. Schulz, U. Thoennesen, and U. Soergel. 2007b. InSAR phase profiles at building locations, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 36(3/W49A): 203-208.
- Thiele, A., E. Cadario, K. Schulz, U. Thoennesen, and U. Soergel. 2008. Building recognition from InSAR data by detail analysis of phase profiles, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37(B3A): 191-196.
- Wegner, J. D., S. Auer, A. Thiele, and U. Soergel. 2009. Analysis of urban areas combining high-resolution optical and SAR imagery, *29th EARSeL Symposium*, Chania, Greece, Jun. 15-18, 2009. CD.