

원형레일 기반의 지상 SAR 시스템 시뮬레이션 기법 개발

김광은*† · 조성준* · 이훈열**

*한국지질자원연구원, **강원대학교 지구물리학과

Development of A Simulation Technique for Arc-Rail Based GB-SAR System

Kwang-Eun Kim*†, Seong-Jun Cho*, and Hoonyol Lee**

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, **Department of Geophysics, Kangwon National University

Abstract : A technique for the simulation of various kinds of ground based SAR system was developed. This is an ancillary research for the development of an ArcSAR system which uses an arc-rail as a platform for the antenna movement instead of linear rail. The results of applying conventional Deramp FFT based SAR focusing algorithm to the simulated raw signal of linear rail type ground based SAR for the point targets showed that the developed simulation technique generated accurate GB-SAR raw signal. The developed technique is now being used for the development and verification of SAR focusing algorithm for the arc-rail type ground based SAR. The simulation technique is also expected to be very useful for the purpose oriented system design and operation planning of ground based SAR technique.

Key Words : GB-SAR, Arc-Rail, Simulation, SAR Processing.

요약 : 본 연구에서는 원형레일 기반의 지상 SAR 시스템에 대한 Forward Modeling 기법을 개발하였다. 이는 기존의 선형 레일을 이용하는 지상 SAR 시스템의 응용성 확대를 위해 원형레일 기반의 지상 SAR 시스템을 개발하고자 하는 연구의 일환으로 이루어졌다. Point targets를 대상으로 선형 레일을 따라 움직이는 안테나에 대한 시뮬레이션을 통해 얻어진 SAR raw signal 자료에 대하여 Deramp FFT 기법을 이용한 기존의 지상 Linear SAR 영상화 처리 알고리즘을 적용한 결과, 대상체에 대한 정확한 영상이 얻어지고 있어 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 기술이 정확한 raw signal을 생성하고 있음을 확인하였다. 본 연구 결과는 현재 원형 레일을 플랫폼으로 하여 안테나를 이동시키며 얻어지는 지상 SAR 자료의 영상화 처리 알고리즘 개발 및 검증에 활용되고 있으며, 다양한 응용목적에 따른 최적의 지상 SAR 자료획득 및 운용체계의 설계를 위해서도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

지상 SAR(GB-SAR, Ground Based Synthetic

Aperture Radar) 시스템은 지상에 설치된 구조물을 플랫폼으로 하여 안테나를 이동시켜 합성구경을 이룸으로써 높은 해상도의 2차원 SAR 영상을 획득하는 장치이

접수일(2009년 3월 2일), 수정일(1차 : 2009년 4월 23일), 게재확정일(2009년 4월 23일).

† 교신저자: 김광은(kimke@kigam.re.kr)

다. 합성구경 레이더 기법 고유의 장점을 그대로 가지면서, 동시에 지상에서 편리하게 운용될 수 있어(Zhou *et al.*, 2005), 눈사태나 산사태 모니터링, 지반침하 모니터링, 댐 등 대형 구조물에 대한 모니터링 등 다양한 대상에 대한 모니터링 기술로서 주목받고 있다(Tarchi *et al.*, 2000; Pieraccini *et al.*, 2005, Alba *et al.*, 2008). 최근에는 국내에서도 지상 SAR 시스템이 개발된 바 있으며(이훈열 등, 2007a), 대기영향을 보정하여 SAR 간섭기법을 적용할 경우, 개발된 지상 SAR 시스템을 이용하여 1mm이내의 오차범위로 목표물의 위치 변화를 탐지할 수 있음을 확인한 바 있다.

그러나, 지상 SAR 시스템을 운용하기 위해서는 지상에 레일을 설치해야 하는데, 고정밀로 제작된 레일의 운반 및 설치가 용이하지 않아서 현장 적용성이 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하고자 차량에 원형의 레일을 탑재함으로써 신속한 기동성을 확보함과 동시에 합성구경의 길이를 확대함으로써 영상 영역을 확장할 수 있는 기술을 개발하고자 하는 연구가 시작되어, 이에 대한 개념 설계 결과가 보고된 바 있다(조성준 등, 2008). 현재는 원형레일과 관련 지상 SAR 시스템의 시제품 제작이 완료되어 시험 자료 획득을 위한 준비가 진행 중이다.

한편, 원형 레일을 따라 안테나를 이동시키면서 획득된 SAR 자료는 영상화 처리(SAR signal processing)를 하는데 있어 기존의 선형으로 이동하는 플랫폼을 기반으로 얻어지는 SAR 자료의 영상화 처리기법을 그대로 적용할 수 없으므로, 원형 레일을 따라 얻어진 SAR 자료의 영상화 처리를 위한 알고리즘 개발이 요구된다.

본 연구에서는 원형 레일기반의 지상 SAR 자료 영상화 알고리즘의 검증과 대상체의 특성에 따른 지상 SAR 자료 획득체계 설계를 위한 도구로 사용하기 위하여 point target에 대하여 선형레일뿐 아니라 원형레일을 따라 이동하는 안테나를 통해 얻어지는 지상 SAR raw signal 자료를 모의 생산할 수 있는 시뮬레이션 S/W를 개발하고자 하였다.

2. 지상 SAR 시스템의 영상획득 체계

항공기나 인공위성 SAR 시스템에서 특정 파장대역

의 FM 변조된 펄스를 송·수신하는 것과는 달리, 지상 SAR 시스템에서는 SF-CW(Stepped Frequency Continuous Wave)를 이용한다. 즉, 특정 bandwidth B 내에서 일정한 주파수 간격(Δf)의 N 개의 단일 파장 마이크로웨이브를 송·수신한다($B = (N-1)\Delta f$).

따라서 획득되는 raw signal의 형태는 N 개의 주파수에 대한 amplitude와 phase 값으로 구성되는 주파수 영역의 자료가 되는데, 이를 푸리에 역변환(Inverse Fourier Transform)함으로써 시간영역의 pulse 신호를 얻게 된다. pulse를 송수신하는 SAR 시스템에서는 pulse duration이 τ 라고 할 때, range 방향의 해상도 $\Delta r = c\tau/2$ 이며, pulse duration τ 는 $1/B$ 에 해당되므로 지상 SAR에서의 range 방향 해상도는 다음과 같다

$$\Delta r = c/2B \quad (1)$$

인공위성이나 항공기를 이용하는 SAR의 경우 range 방향 해상도는 $c\tau/2\cos\theta$ 이므로 range 방향 해상도를 높이기 위해서는 pulse duration을 짧게 해야 하나, 이럴 경우 에너지가 작아져서 신호대 잡음비가 나빠지게 된다. 지상 SAR에서는 주파수 영역에서 자료를 획득함에 따라 식 (1)에 나타난 바와 같이 bandwidth를 증가시키으로써 range 방향 해상도를 향상시킬 수 있다. 지상 SAR 시스템에서 bandwidth가 600MHz인 경우 range 방향의 해상도는 25cm가 된다.

한편, 지상 SAR 시스템은 항공기나 인공위성을 이용하는 SAR 시스템과는 달리 합성구경의 길이가 제한된다. 항공기나 인공위성 SAR 시스템에서는 합성 구경의 길이가 안테나의 빔 폭과 같기 때문에 Azimuth 방향의 해상도는 안테나로부터의 거리에 관계없이 안테나 실제 구경의 1/2이 된다($\Delta a = L/2$). 그러나, 지상 SAR 시스템에서는 안테나를 이동시키는 길이가 제한됨으로써 안테나와 매우 가까운 일부 영역을 제외하고는 합성 구경의 길이가 안테나의 빔 폭보다 작게 되며, 따라서 Azimuth 방향의 해상도는 다음과 같이 안테나가 이동되는 전체 길이 X 에 반비례하고 사용하는 마이크로웨이브의 파장에 비례하게 된다.

$$\Delta a = R\lambda/2X \quad (2)$$

이와 같이 해상도가 거리에 비례하여 낮아지므로 지상 SAR 시스템에서 Azimuth 해상도는 대개 다음과 같이 각도로서 표현하며, 해상도를 향상시키기 위해서는

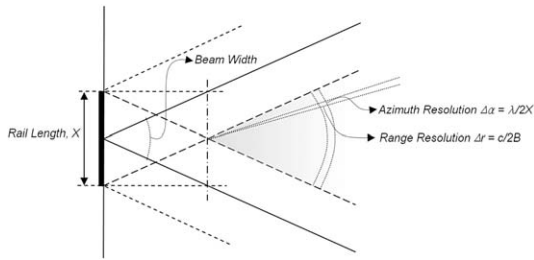


Fig. 1. Imaging geometry of Arc-rail ground based SAR system.

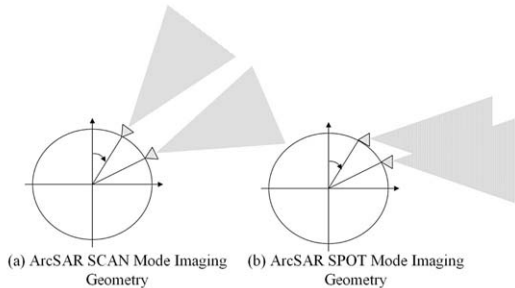


Fig. 2. Geometry of imaging system and spatial resolution of ground based SAR.

보다 고주파수의 마이크로웨이브를 사용하거나 혹은 안테나가 이동되는 구간의 길이(X) 즉, 레일의 길이를 늘려야 한다.

$$\Delta\theta = \lambda/2X \quad (3)$$

결과적으로 지상 SAR 시스템에서의 영상자료는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 부채꼴 형태의 영상이 얻어지게 된다. 한편, 지상 SAR 기술의 활용성을 확대하고자 하는 목적으로 선형의 레일을 지상에 고정시키는 방식이 아닌 원형의 레일을 차량에 탑재하고자 하는 기술 개발이 시도되고 있는데(조성준 등, 2008), 이를 통해 합성구경의 길이를 늘리며 동시에 영상 영역을 확장할 수 있을 것으로 기대되고 있다. Fig. 2는 원형레일 기반의 지상 SAR 시스템의 2가지 형태의 영상 획득 모드를 보여준다. 이는 새로운 형태의 지상 SAR 영상 획득체계로서, 획득 자료의 SAR 영상화 처리를 위한 알고리즘의 개발이 요구된다.

3. 선형 및 원형 레일기반의 지상 SAR 시스템 시뮬레이션

앞서 기술한 바와 같이, 지상 SAR 시스템에서는

SF-CW(Stepped Frequency Continuous Wave)를 이용한다. 즉, 지상에서 안테나를 고정된 상태에서 해당 여러 주파수의 마이크로웨이브를 송수신하고, 이렇게 얻어진 주파수 영역의 자료를 푸리에 역변환(Inverse Fourier Transform)함으로써 시간영역에서의 후방 반사 pulse 신호자료를 얻게 된다.

본 연구에서는 다양한 기하학적 조건의 선형 혹은 원형레일을 따라 이동되는 안테나의 위치와 회전각도에 따라 point targets로부터 반사되어 돌아오는 CW(Continuous Wave)의 Phase와 Amplitude를 계산하여 지상 SAR 시스템의 raw signal 자료를 모의 생성하고, 이를 푸리에 역변환함으로써 시간영역의 반사 pulse 자료를 얻을 수 있는 기법을 개발하였다.

Fig. 3은 개발된 시뮬레이션 S/W를 이용하여 안테나로부터 90미터 떨어진 지점에 존재하는 1개의 point scatter에 대해 5.0GHZ ~ 5.6GHZ의 주파수 대역서 0.375MHz 간격으로 측정된 총 1601개 주파수의 CW에 대해 모의된 raw signal의 일부(a)와, 이를 푸리에 역변환하여 얻어진 시간 영역의 후방 반사 pulse 자료(b)를 보여주고 있다.

Fig. 4는 5m 길이의 선형레일을 따라 안테나를 5cm 씩 이동시키면서 획득된 모의 raw signal 자료를 푸리에 역변환 하여 얻어진 시간영역 반사 pulse 자료들, 즉 range compressed 영상자료(a)와, Deramp FFT 기법(이훈열 등, 2007b)을 이용하여 Azimuth compressed

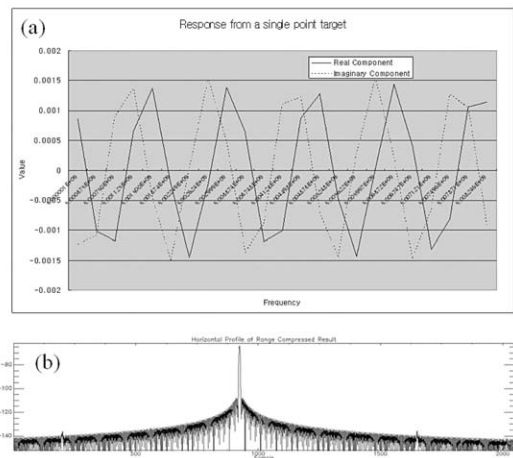


Fig. 3. (a) A part of the simulated raw signal for a point target. (b) Time domain signal generate by IDFT(Inverse Discrete Fourier Transform) of the simulated frequency domain signal shown in Fig. 3.

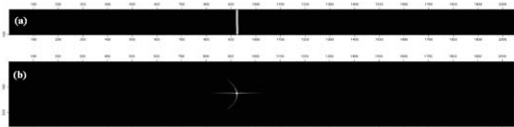


Fig. 4. (a) Range compressed result of the simulated raw signal by using a linear rail of 5m and antenna space of 5 cm. (b) Azimuth compressed result by Deramp FFT technique.

된 자료 즉 SAR 영상화 처리가 수행된 결과(b)를 보여 주고 있다. 모형으로 정의된 한 개의 point scatter 에 대한 정확한 영상이 얻어지고 있어 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 기법이 정확한 raw signal을 생성하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 5개의 point target들에 대해 8m 길이의 선형레일을 따라 안테나를 2cm씩 이동시키면서 획득된 모의 raw signal 자료를 푸리에 역변환 하여 얻어진 시간영역 반사 pulse 자료(b)와, 선형레일 기반의 지상 SAR 영상화처리 알고리즘을 이용하여 생성된 최종 SAR 영상(c)을 보여주고 있다. 5개 point target들의

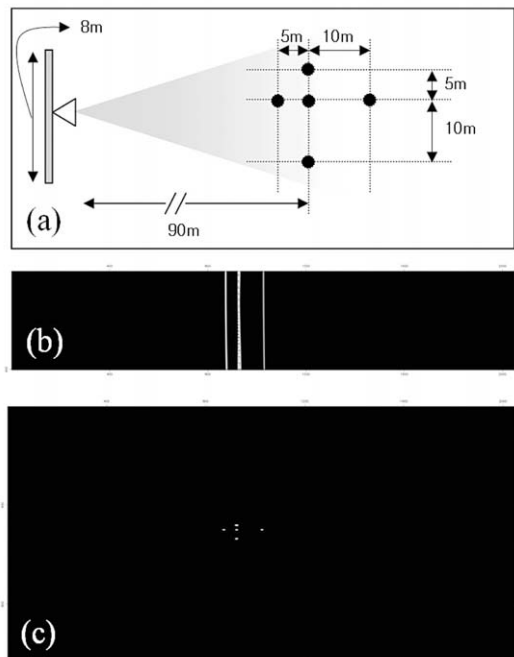


Fig. 5. (a) The schematic diagram of a model for the simulation which has 5 point targets, using a linear rail of 8m and antenna space of 2 cm. (b) Range compressed result of the simulated raw signal. (c) Final ground based SAR image generated by azimuth compression using the conventional Deramp FFT technique.

위치와 기하학적 배치가 모형에서 정의된 그대로 영상화되고 있어 시뮬레이션에 의해 정확한 raw signal이 생성되고 있음을 알 수 있다.

한편, 원형레일을 이용한 지상 SAR에 대한 시뮬레이션도 이루어졌는데, 현재 원형레일을 기반으로 획득된 지상 SAR raw signal을 영상화 처리할 수 있는 알고리즘이 개발되어 있지 않아 본 연구에서는 우선 기존의 선형 레일 기반의 영상화 알고리즘을 적용하여 보았다. 이를 위해서, 원형 레일을 따라 등간격의 각도를 기준으로 회전시키며 자료를 획득하는 것이 아닌, 안테나의 간격이 Azimuth 방향으로 등간격이 되도록 회전각도 간격을 변화시키며 raw signal을 생성하였다.

Point target 모형은 Fig. 5에 나타냈던 모형과 동일한 모형을 사용하였으며, arc-arm의 길이는 4m이고, point target을 중심으로 좌우로 40°, 총 80°를 회전시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 조건으로 Scan 모드와 Spot 모드에서 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 6은 Scan 모드에 대해 수행된 시뮬레이션

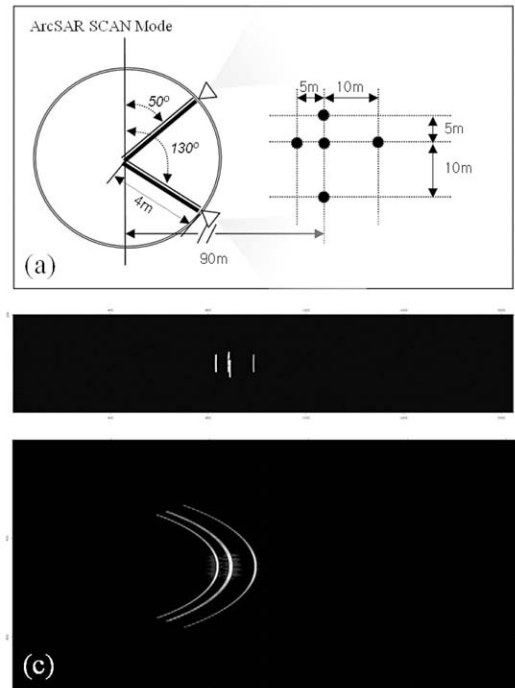


Fig. 6. (a) The schematic diagram of a model for the scan mode simulation which has 5 point targets, using a arc rail of 4m radius. (b) Range compressed result of the simulated raw signal. (c) Final ground based SAR image generated by azimuth compression using the conventional Deramp FFT technique.

의 모식도(a)와, 생성된 모의 raw signal 자료를 푸리에 역변환 하여 얻어진 시간영역 반사 pulse 자료(b), 그리고 선형레일을 사용하는 지상 SAR 영상화처리 알고리즘을 이용하여 생성된 최종 SAR 영상(c)을 보여주고 있다. 원형레일을 따라 이동하는 안테나의 공간적 위치 변화를 반영하지 못함으로 인해 영상화 처리가 제대로 이루어지고 있지 않음을 알 수 있다.

Fig. 7은 Spot 모드에 대해 수행된 시뮬레이션의 모식도와 결과를 나타냈다. Spot 모드에서는 arc-arm의 회전과 함께 안테나도 동시에 회전시켜 안테나가 항상 같은 방향을 보도록 제어하므로, Scan 모드에서와는 달리 arc-arm의 회전범위인 80° 범위 전체 구간에서 point target으로부터의 반사 신호가 얻어진다. 그러나, 선형레일에 대해 모의 생성된 결과와는 달리 양쪽 끝단에서의 반사 pulse 도달 시간이 중심에서보다 확연히 지연되고 있음을 볼 수 있다. 이에 따라, 기존의 azimuth compression 알고리즘을 그대로 적용하여서

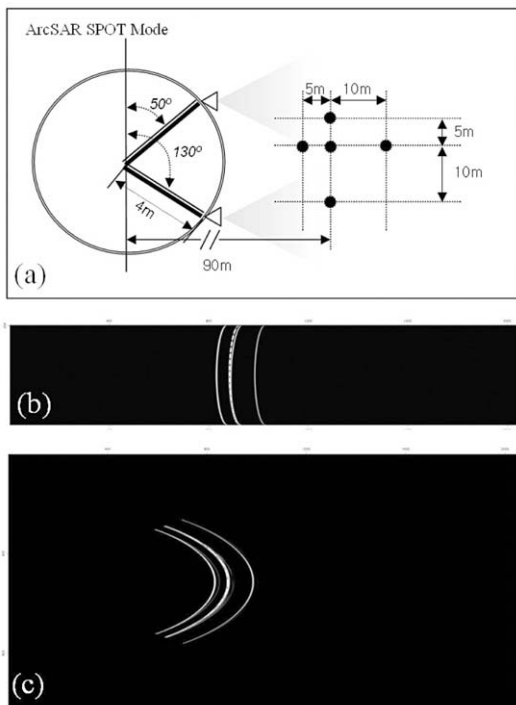


Fig. 7. (a) The schematic diagram of a model for the spot mode simulation which has 5 point targets, using a arc rail of 4m radius. (b) Range compressed result of the simulated raw signal. (c) Final ground based SAR image generated by azimuth compression using the conventional Deramp FFT technique.

는 point target들에 대한 영상이 제대로 얻어지지 못함을 알 수 있다(Fig. 7 (c)).

4. 결론

본 연구에서는 선형 및 원형의 레일을 기반으로 이동하는 안테나에 의한 지상 SAR 자료를 모의 생성할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 구현하였다.

선형레일에 대한 시뮬레이션을 통해 모의 생성된 자료에 기존의 지상 SAR 영상화 처리 알고리즘을 적용한 결과, 모형으로 사용된 target들에 대한 정확한 영상이 얻어지고 있어 시뮬레이션을 통해 정확한 raw signal이 생성됨을 확인하였다. 원형레일에 대한 시뮬레이션 결과 기존의 영상화 처리 알고리즘을 적용한 결과를 통해서, 원형레일기반의 지상 SAR 영상화 처리 알고리즘의 필요성을 확인하였다.

본 연구 결과는 현재 원형레일 기반의 지상 SAR 영상화 처리 알고리즘의 개발과 검증을 위한 도구 활용되고 있다. 또한, 대상체의 특성과 응용 목적에 따른 지상 SAR 시스템의 자료획득 및 운용 체계 설계에 특히 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업 과제의 연구비지원(07국토정보CO3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007a. GB_SAR의 개발(I): 시스템 구성과 간섭기법, 대한원격탐사학회지, 23(4): 237-245.
- 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007b. GB_SAR의 개발(II): 영상화 기법, 대한원격탐사학회지, 23(4): 247-256.
- 조성준, 이훈열, 김광은, 2008. 차량 탑재형 Arc-SAR

- 시스템 개념 설계, 대한원격탐사학회 2008 춘계 학술대회 논문 초록집, 3-6.
- Alba, M., G. Bernardini, A. Giussani, P. Paolo, F. Roncorono, M. Scaion, P. Valgoi, and K. Zhang, 2008. Measurement of Dam Deformations By Terrestrial Interferometric Techniques, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 17, Part B1: 133-139.
- Pieraccini, M., M. Fratini, F. Parrini, G. Pinelli, and C. Atzeni, 2005. Dynamic Survey of Architectural Heritage by High-Speed Microwave Interferometry, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 2(1): 28-30.
- Tarchi, D., H. Rudolf, M. Pieraccini, and C. Atzeni, 2000. Remote Monitoring of Buildings Using a Ground-Based SAR: Application to Cultural Heritage Survey, 2000, *Int. J. Remote Sensing*, 21(18): 3545-3551.
- Zhou, Z-S. and S. R. Cloude, 2005. The Development of a Ground Based Polarimetric SAR Interferometer (GB-POLInSAR), *Pro of IGARSS 2005, Seoul 25-27 Jul*, 1097-1100.