

# SAR 영상을 이용한 수치표고모형 제작방법에 관한 연구

이창원, 문우일

서울대학교 지구환경과학부 ESI<sup>3</sup> 연구실

서울시 관악구 신림동 산 56-1

e-mail: bosscq@eos1.snu.ac.kr; wmoon@eos1.snu.ac.kr

## 요 약

백두산 지역의 JERS-1 SLC 영상과 볼리비아 지역의 RADARSAT 영상에 대해 각각 interferometry와 radargrammetry를 이용하여 수치표고모형을 제작하였다. Interferometry는 coregistration, interferogram 작성, phase unwrapping 과정으로 나뉘는데 temporal decorrelation으로 인한 낮은 coherence, 부정확한 궤도정보가 DEM의 정확도를 저하시키는 주요 원인으로 작용하였다. Radargrammetry는 photogrammetry와 동일한 처리과정, 즉 GCP를 이용한 stereo model 설정, 영상 matching, 고도추출단계로 이루어지지만 광학영상과는 다른 SAR 영상의 기하학적, 방사적 특성이 고려되어야 한다.

## 1. 서론

SAR 자료는 기상조건, 관측시간에 구애받지 않으므로 주기적으로 지표면을 관측할 수 있어 점차 그 응용범위가 넓어지고 있다. SAR 영상으로부터 DEM을 제작하는 방법은 크게 radargrammetry와 interferometry가 있다. Radargrammetry는 다양한 빔모드를 갖는 RADARSAT 위성의 발사이후 활성화되기 시작한 기술로 레이다 영상에 투영된 대상물의 기하학적 차이(parallax)를 이용한다. 위성에 탑재된 1개의 안테나에 의한 repeat-pass interferometry는 서로 다른 시기, 위치에서 취득된 두 신호의 위상차이를 이용하는 기술로서 radargrammetry에 비해 높은 정확도를 가질 수 있어 수치표고모형의 제작(Zebker et al., 1994) 외에 differential interferometry에 의한 화산, 지진, 빙하의 움직임 등 지표의 변위량 측정(Masonnet and Feigl, 1998), coherence 영상을 이용한 지표 피복분류에 이용된다. 그러나, repeat-pass interferometry는 coherence를 저하시키는 여러 decorrelation 효과들(Zebker and Villansenor, 1992), 대기상태(Goldstein, 1995) 등 여러 제약 요인들로 인해 적합한 자료의 획득이 어려우며 부정확한 궤도 정보, phase unwrapping과 같은 자료처리과정의 오류도 존재한다. 이에 비해 radargrammetry는 자료의 취득이 상대적으로 용이하지만 높은 해상도의 DEM을 얻기 위해서는 광학영상과 달리 기하학적 차이(geometric disparity)외에 방사적 차이(radiometric disparity)가 존재하는 SAR의 특성을 고려하여 지형의 기록에 적합한 stereo-configuration(해상도, 교차각, 입사각 등)이 요구된다(Toutin, 1999).

본 연구에서는 볼리비아 지역의 RADARSAT standard 3, 6 빔 모드 영상과 백두산 지역의 JERS-1 SLC 영상에 각각 radargrammetry와 interferometry 방법을 적용하여 DEM을 추출하여 각 방법들의 문제점을 파악하고자 하였다.

## 2. 자료처리

### 2.1 연구자료

사용된 영상자료에 대한 요약은 table 1과 같다. 볼리비아 영상은 칠레와 볼리비아의 국경선에 인접한 Cerro Caquella 칼데라 부근의 화산지대이다(Fig. 6a).

Parameter	Value			
	JERS-1		RADARSAT	
Satellite	JERS-1		RADARSAT	
Study Area	Mt. Baikdu		Bolivia (Cerro Caquella)	
Acquisition Date	94.8.29 (master)	95.08.16 (slave)	97.03.27	98.08.23
Beam Mode			standard 6	standard 3
Incidence Angle	38.6 degree		41-46	30-37
Wavelength	23.5 cm		5.4 cm	
Resolution (range×azimuth)	10×6 m		25×27 m	
Pixel Spacing	8.8×4.5 m		12.5×12.5 m	
Orbital Repeat Interval	44 days		24 days	
Orbit Direction	descending mode		descending mode	
Baseline Length	1618 m (parallel) 518 m (perpendicular) 8279 m (critical)			

Table 1. Summary of dataset

## 2.2 Interferometry에 의한 백두산 지역의 DEM 제작과정

SLC 영상은 Range-Doppler algorithm을 이용하여 raw data로부터 얻었다. 이때 Doppler centroid 차이에 의한 decorrelation 효과를 제거하기 위해 slave 영상의 Doppler centroid 값을 master 영상과 동일하게 처리하였다. Coregistration은 complex correlation을 통해 얻어진 일정 간격의 tiepoint로부터 변환식을 계산한 후 slave image를 resampling하여 구한다. 이때 Refined tiepoint와 궤도로부터 예측된 tiepoint의 차이가 최소가 되도록 slave orbit vector를 보정하였다. Interferogram은 master 영상과 coregistered slave 영상의 complex conjugate를 통해 얻어지며 지형의 기록에 의한 위상값만을 보존하기 위해 flat earth phase를 제거하였다.

$$I = Z_1 Z_2^* e^{-i\phi}$$

$I$ : interferogram,  $Z_1$ : master 영상,  $Z_2$ : slave 영상,  $\phi$ : flat earth phase

Interferogram의 SNR을 향상시키기 위해서 동일한 range, azimuth pixel 크기를 갖도록 하는 complex averaging을 실시하였으며 post-filtering을 통해 noise를 제거하였다 (그림 1). Coherence 영상은 (Fig. 2) interferogram의 질을 평가하는 척도로 두 영상의 complex correlation을 (12×12) 통해 얻어진다 (Bamler et al., 1998).

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^N Z_{1i} Z_{2i}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^N |Z_{1i}|^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N |Z_{2i}|^2}}$$

위상차이는  $-\pi \sim \pi$ 의 범위로 측정되므로 phase unwrapping 과정을 통해 상대적 위상으로 변환과정이 필요하다. Phase unwrapping 알고리즘은 크게 국소화된 화소간의 계산에 의한 path-following 알고리즘과 wrapped phase와 unwrapped phase간의 phase gradient를 최소화하기 위한 minimum-norm 방법으로 나뉜다 (Ghiglia et al., 1998). Unwrapping한 결과를 테스트하기 위해 동일한 궤도조건하에서 reference DEM으로부터 추출된 simulated interferogram을 이용하였다. Reference unwrapped phase는 simulated interferogram에 branch-cut 알고리즘을 적용하여 얻었다.

상대적 위상 역시  $2n\pi$ 의 모호성이 있으므로 GCP를 이용하여 보정이 필요하다. 1 fringe가 나타내는 고도의 모호성 (altitude of ambiguity)은 약 102 m로서 경사가 완만한 지역에서 GCP를 취하여 오차를 줄이고자 하였다. 지구 타원체에 대한 높이는 다음의 관계식으로 구할 수 있으며 UTM 투영법을 통해 지도좌표계로 변환하였다.

$$\delta = \frac{\lambda\phi}{4\pi}, \sin(\theta - \alpha) = \frac{(r - \delta)^2 - r^2 - B^2}{2rB}, z = h - r\cos\theta$$

$\delta$ : 위상차이,  $\lambda$ : 파장,  $r$ : slant range,  $B$ : baseline,  $h$ : 위성의 고도,  $\theta$ : 입사각,  $z$ : 대상물의 높이

### 2.3 Radargrammetry에 의한 볼리비아 지역의 DEM 제작과정

Ground range로 투영된 SAR 영상은 레이더 빔의 조사방향에 대해 수직으로 관측된 광학 영상과 동일한 특성을 이용한다 (Toutin et al., 1992). DEM 제작과정은 스테레오 모델 설정, 영상 매칭, 고도 계산 세 단계로 이루어진다. 먼저 GCP 취득과 수월한 영상 매칭 과정을 위해 두 영상에 대해 스펙클 필터를 적용하였다. 스테레오 모델 설정은 SPOT 위성에서 사용되었던 영상좌표와 지도좌표를 연결시키는 colinearity 방정식을 사용한다 (Al-Rousan et al., 1997). Colinearity 방정식의 미지의 파라미터는 GCP를 이용하여 최소사승법을 통해 계산된다. Y-parallax에 의한 영향을 제거하기 위해 slave 영상을 epipolar 투영법으로 변환하였다. 즉, correlation을 통해 계산된 tie-point간의 X-parallax를 이용하여 고도를 추출하였다.

### 2.4 Reference DEM

백두산 지역의 참고자료는 3초 (약 90 m) 간격의 DEM으로 interferometry로 제작된 DEM과 비교하기 위해 20 m 간격으로 resampling 하였다. 볼리비아 지역은 등고선 간격이 500 m인 1:50000 지형도를 일부 디지털화한 후 DEM을 변환하였다.

## 3. 결과 및 고찰

백두산지역 JERS-1 영상과 볼리비아지역 RADARSAT 영상으로 추출된 DEM은 Fig. 5와 같다.

### 1) 백두산 영상

JERS-1 영상은 약 1년의 취득시기 차이로 인한 temporal decorrelation 효과로 인해 평균 0.25의 coherence를 보였다 (Fig. 3). 이러한 낮은 coherence로 인해 phase gradient가 높은 산악지형에 많은 residue가 분포하게 되어 unwrapped phase에 많은 오차가 발생하였다 (Fig. 4). Figure 7a은 DEM의 단면도로서 경사가 급한 지역일 수록 고도오차가 심한 양상을 보여준다.

### 2) 볼리비아 영상

각 영상마다 25개의 GCP를 취해 계산된 stereo model의 오차는 Table 2와 같다.

	residual X (longitude)	residual Y (latitude)	RMS (m)
Standard 6	15.23	17.85	23.46
Standard 3	15.88	17.82	23.87

Table 2. Stereo model error calculated from GCP

Figure 7b는 Figure 6a의 A-A' 선상의 단면도로서 기존의 지형도로부터 얻어진 DEM

과 잘 일치함을 보인다.

#### 5. 결론

JERS-1은 L-band를 사용하므로 C-band에 비해 temporal decorrelation 효과에 둔감한 특성을 지니므로 약 1년의 관측시기차이에도 불구하고 interferogram을 얻을 수 있었다. 그러나, 부정확한 궤도정보, 낮은 coherence로 인한 phase unwrapping 오차로 인해 DEM의 정확도는 높지 않았다. 이에 비해 스테레오 영상으로부터 DEM을 추출하는 방법은 이러한 제약이 없지만 광학영상과는 SAR 영상의 특성 (기하학적, 방사적 특성)이 고려되어야 한다.

#### 감사의 글

JERS-1, RADARSAT SAR 영상을 제공해준 NASDA, CSA에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Al-Rousan, R., Cheng, P., Petrie, G., Toutin, Th. and Valadan Zoej, M.J., 1997, Automated DEM extraction and orthoimage generation from SPOT level 1B imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 965-974
- Bamler, R. and Hartl, Philipp, 1998, Synthetic aperture radar interferometry, *Inverse Problems*, 14, 51-54
- Ghiglia, D.C., Pritt, M.D., 1998, Two-Dimensional Phase Unwrapping, Algorithms, and Software. John Wiley & Sons, p. 493
- Goldstein, R., 1995, Atmospheric limitations to repeat-track radar interferometry. *Journal of Geophysical Research*, 22, 2517-2520
- Massonnet, D. and Feigl, K.L., 1998, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36, 441-500
- Patrik, B.G. Dammert, Jan I.H. Askne, 1999, Unsupervised segmentation of multitemporal interferometric SAR images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 2259-2271
- Zebker, H.A. and Villasenor, J., 1992, Decorrelation in interferometric radar echoes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 950-959
- Zebker, H.A., Werner, C.L., Rosen, P.A. and Hensley, S., 1994, Accuracy of topographic maps derived from ERS-1 interferometric radar, 32, 823-836
- Toutin, T., Carbonneau, Y. and St-Laurent, L, 1992, An integrated method to rectify airborne radar imagery using DEM, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, 417-422
- Toutin, T, 1999, Error tracking of radargrammetric DEM from RADARSAT images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 2227-2238

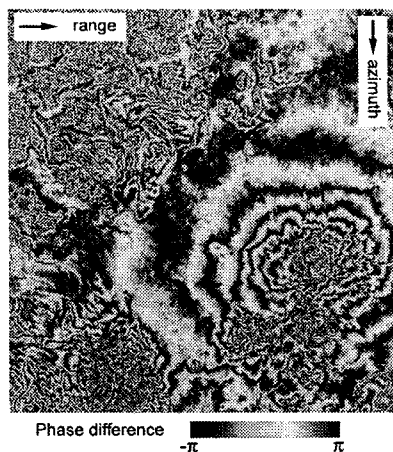


Fig. 1. Interferogram (Slant range projection)

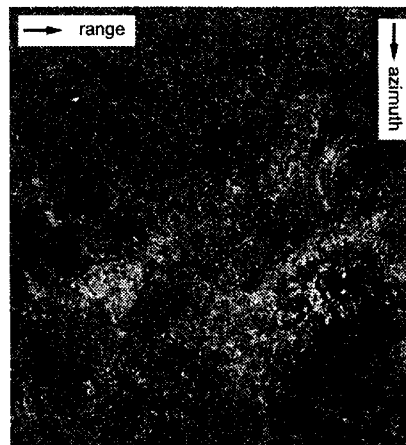


Fig. 2. Coherence image (Slant range projection)

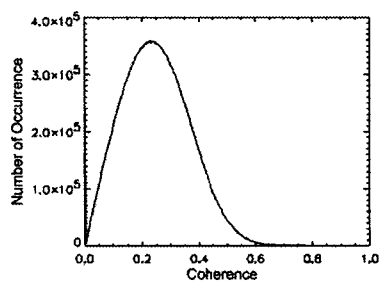


Fig. 3. Histogram of Coherence image

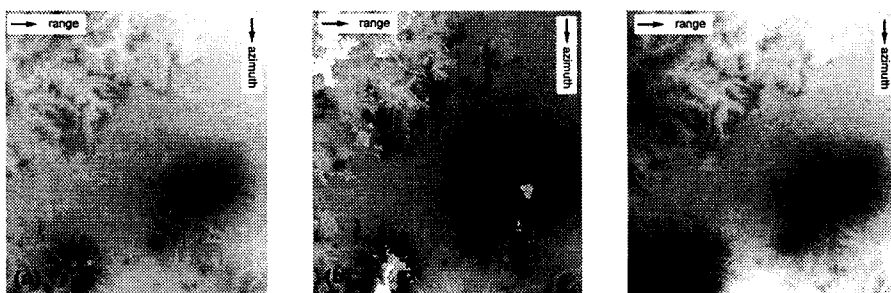


Fig. 4. Unwrapped phase (a) Reference (b) by Goldstein (c) by Multigrad

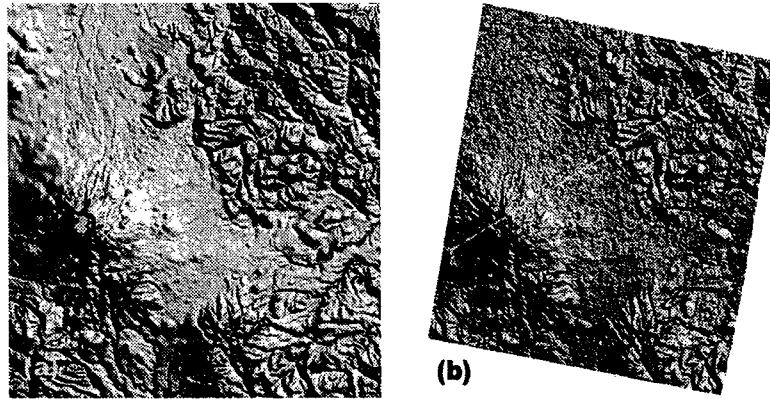


Fig. 5. (a) reference DEM (b) DEM by interferometry

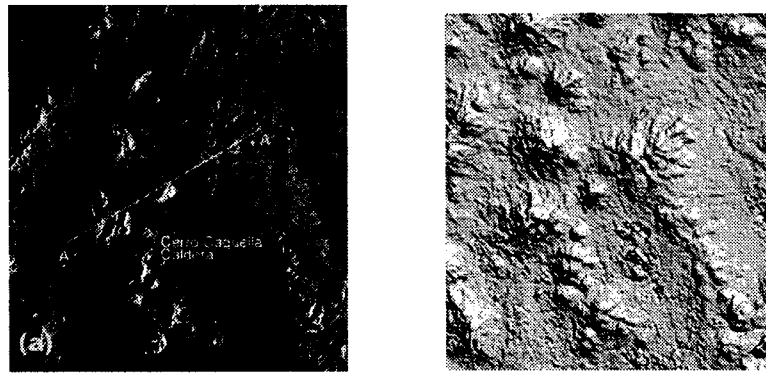


Fig. 6. (a) RADARSAT image (b) DEM by radargrammetry

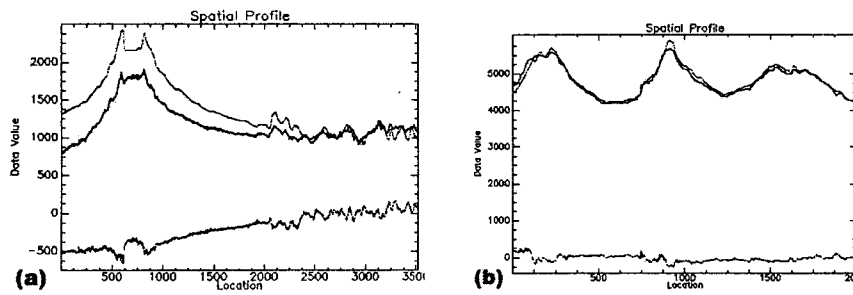


Fig. 7 DEM profile of (a) Mt. Baikdu (b) Bolivia of in A-A' of Fig. 5b and 6a, respectively (dotted line: reference, solid line: generated, bottom: difference)