

SAR 영상을 이용한 DEM 추출기법에 관한 연구

서 병 준*, 김 형 태**, 김 용 일***

* 서울대학교 도시공학과 석사과정

** 서울대학교 도시공학과 박사과정

*** 서울대학교 도시공학과 조교수

I. 개요

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 레이더 기법을 이용한 영상 취득 센서의 한 종류로서 이에 대한 처리기법들은 지금까지의 광학센서를 사용하여 취득된 영상을 처리하는 원격탐사의 기법들과는 다른 점이 많다. 광학 센서를 이용한 영상에 비하여 SAR영상은 기상조건에 거의 영향을 받지 않으므로, 구름이 많은 지역이나 강우가 빈번한 지역 등에 매우 효용성이 높고, 또한 거리를 측정하는 기구인 레이더의 원리를 이용하므로, 광학 영상과는 다른 측면의 정보도 취득할 수 있는 장점이 있다.

일반적인 방법론으로는 기존의 광학영상에서 적용하였던 입체시 모델을 정립하여 지형표고를 추출하는 기법과 SAR 데이터중 두 영상의 같은 지상위치의 위상정보의 차이를 이용하여 표고를 구하는 SAR Interferometry 기법이 있다. 이 두 가지 방법은 모두 같은 지역에 대한 두 영상을 필요로 한다. 본 연구에서는 SAR 영상을 이용하여 수치표고모형을 추출하는 일반적인 이 두 가지 방법론을 제시하고 실제에 적용해봄으로써 그 효용성을 입증하고자 하였다.

II. 수치표고모형 추출 기법

1. 입체시 기법

이 기법은 SPOT에 적용된 block triangulation에 기초한 것으로서, 공선조건식을 이용하여 입체모델을 정립한다. 이 공선조건식을 이용한 입체모델은 광학영상이나 SAR 영상, 그리고 다른 위성과 항공기탑재 센서에 대해서도 적용이 가능하다는 장점이 있다.

$$P \cdot p + y(1 + \delta\gamma \cdot X) - \tau H - H_0 \cdot \Delta T^* = 0$$

$$X + \theta \frac{H}{\cos \chi} + aq(Q + \theta x - \frac{H}{\cos \chi}) - Q \cdot \Delta R = 0 \quad \text{식(1)}$$

$$\text{여기에서, } X = (x - ay)(1 + \frac{h}{N_0}) + by^2 + cxy,$$

$$H = h - \frac{x^2}{2N_0}$$

각 변수들은 영상의 조명 기하특성과 위성, 지구, 영상의 지리적인 위치 등에 의해 결정된다. 이 식에 입력되는 정보는 위성의 궤도변수, 영상좌표와 그에 대응하는 지상좌표들이다.

2. Interferometry 기법

일반적으로 레이더 영상은 진폭 데이터만을 나타내지만, SAR의 가장 중요한 면은 레이더 반사파의 진폭과 함께 위상정보도 같이 수집한다는 것이다. SAR Interferometry는 이 위상정보를 측정

정보를 이용하여 경사거리의 변화량을 계산해낸다.

동시에 같은 표면을 보고 있고, 길이 B와 수평면에 대한 각 α 를 갖는 기선 벡터 B에 의해 분리된 A1과 A2의 두 개의 레이더 안테나에 의해 영상화되는 지역에서, 두 영상사이의 위상차이는 기하특성과 점 z의 기준면(h=0)으로부터의 높이에 따라 달라진다.

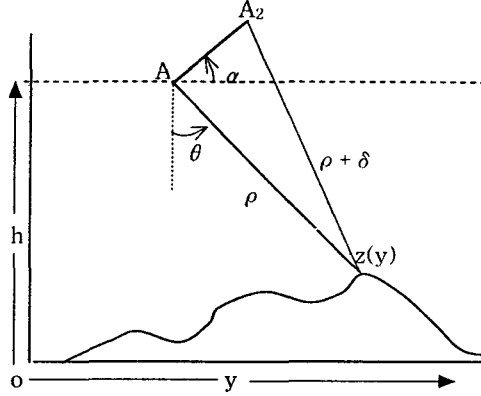


그림 1. Interferometry 기법의 기하특성

III 실험 방법

1. 입체시 기법

입체시 기법을 이용한 지상표고의 추출은 PCI의 Ortho-Engine 모듈을 이용하였으며, 사용된 영상은 RADARSAT-1, Standard 빔의 2번과 7번이 이용되었다. 이 입체시는 서로 맞은편에서 촬영된 입체쌍이 아닌 한쪽에서 서로 다른 두 입사각으로 촬영된 입체쌍이다. 각 빔의 입사각은 아래 표 1과 같고, 그 해상력은 약 30m×30m이다.

표 1. Standard 빔 위치에 따른 입사각

빔 모드	빔 위치	입사각	
		근거리	원거리
Standard	S1	20	27
	S2	24	31
	S3	30	37
	S4	34	40
	S5	36	42
	S6	41	46
	S7	45	49

두 영상에서 서로 중첩되는 부분에서 1:50,000 대전지역에 해당되는 부분에 대하여 지상기준점을 선정하였으며, 전체 영상에 대하여 동일한 지상위치라고 여겨지는 20여 점을 선정하여 공선조건식과 최소제곱 조정을 통하여 지상표고를 추출하였다. 그 결과 계산된 높이값과 입력된 지상기준점의 높이에 대한 오차는 다음 표 2와 같다.

표 2. 입력된 지상기준점의 높이와 계산된 높이와의 비교

기준점 번호	영상좌표		입력	계산된	차이
	열	행	높이	높이	
1	3016	1809	121.0	99.0	22.0
2	2626	1913	308.2	427.0	-118.8
3	3063	1648	239.0	184.0	55.0
4	3302	1789	130.0	66.0	64.0
5	3768	1942	110.2	98.0	12.2
6	3222	1931	312.6	245.0	67.6
7	3247	2355	355.0	287.0	68.0
8	3631	2788	353.0	392.0	-39.0
9	2958	2905	348.0	338.0	10.0
10	3209	2628	306.5	260.0	46.5
11	3335	2475	324.0	262.0	62.0
12	3044	1869	274.0	218.0	56.0
13	3663	2225	392.0	328.0	64.0
14	2606	2053	125.0	248.0	-123.0
15	3578	1899	267.0	204.0	63.0
16	3410	2836	508.0	454.0	54.0
17	3374	2989	574.0	438.0	136.0
18	3231	2449	152.0	126.0	26.0
19	2806	2895	186.0	230.0	-44.0
20	3835	1786	145.0	57.0	88.0

높이오차	평균	평균제곱오차	최소	최대
	28.5m	63.5m	-123.0	136.0

2. Interferometry 기법

Interferometry 기법은 Earthview-InSAR 프로그램을 이용하였으며, 위상정보를 포함하고 있는 SLC(Single Look Complex) 영상을 이용하였다. RADARSAT-1의 24일 간격의 영상들이 이용되었다.

먼저 궤도정보를 이용하여 두 영상간의 상호접합에서의 이동량을 구하고, 이후에 상관계수(correlation)를 이용한 세밀한 좌표접합이 이루어진다.

이후에 SAR Interferogram의 유용성에 대한 근본적인 정보를 제공하는 정량적인 척도로서 두 complex SAR 영상 Z_1 과 Z_2 의 complex 상관계수의 절대값으로 정의되는 coherence γ 수치를 계산한다.

$$\gamma = \left| \frac{E[Z_1 Z_2^*]}{\sqrt{E[|Z_1|^2] E[|Z_2|^2]}} \right| \quad \text{식(6)}$$

여기에서, γ : coherence

Z_1, Z_2 : complex SAR 영상

$E[]$: 기대값 연산자

*: complex conjugate

낮은 coherence 수치는 interferometric fringe들에 많은 phase noise가 첨가되어 있다는 것을 의미한다. coherence는 신호대 잡음비 SNR의 함수로도 표현이 가능하다.

$$\gamma = \frac{1}{1 + SNR^{-1}} \quad \text{식(7)}$$

위상차를 영상화한 SAR interferogram은 두 complex SAR 영상에서, 상호 영상좌표등록이 끝난

후에 한 영상의 complex와 다른 나머지 한 영상의 공액 복소수(complex conjugate)를 곱함으로써 얻어진다. 적절하게 상호좌표등록된 complex SAR 영상들 Z_1 과 Z_2 는 다음과 같은 방식으로 화소단위로 곱해진다.

$$Z_{int} \equiv Z_1 Z_2^* \equiv I_1 I_2 e^{i(\phi_1 - \phi_2)} \equiv I_{int} e^{i\phi_{int}} \quad \text{식(8)}$$

여기에서, Z_{int} : SAR interferogram

Z_1, Z_2 : complex SAR 영상

I_1, I_2 : SAR intensity 영상

ϕ_1, ϕ_2 : SAR 위상 영상

I_{int} : interferometric intensity

ϕ_{int} : interferometric phase

Interferogram에서 구하여진 위상은 실제로는 $(-\pi, \pi]$ 의 구간으로 구속된 위상(wrapped phase)이다. 그러므로, 이 구속된 위상을 지형의 기복과 관련된 구속되지 않은 추정치로 변환하는 과정이 필요하다. 다시 말해, 아래의 식에서 위상 $\varphi(t)$ 에 대한 추정치 $\phi(t)$ 를 구하는 과정이다.

$$\phi(t) = \varphi(t) + 2\pi k(t) \quad \text{식(9)}$$

여기에서, $k(t)$: ϕ 가 $-\pi < \phi \leq \pi$ 로 되도록 하는 정수함수

이렇게 구해진 위상차이를 지표상의 실제높이로 변환하는 과정이 다음과 같은 식을 통해서 이루어진다.

$$h = \partial H = \frac{\lambda R_1 \sin \theta}{4\pi B \cos(\theta - \alpha)} \partial \phi_{int} \quad \text{식 (10)}$$

IV 실험 결과

결과비교는 1:25,000 지도의 등고선 데이터를 이용하여 이를 일정간격으로 격자를 형성하여 기준 DEM으로 하고, 실험 결과를 그와 동일한 격자로 형성하여 최소제곱오차를 구하였다.

1. 입체시 기법

아래 그림에서는 입체시 기법을 이용한 결과를 등고선과 3차원 곡면의 형태로 표현하여 보았다.

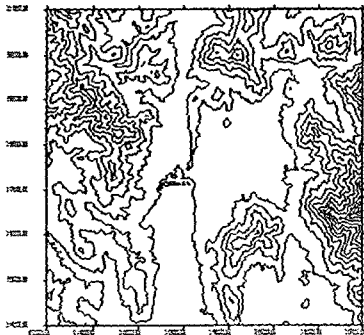
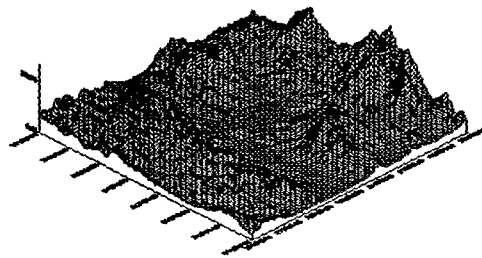


그림 2 (a) 기준 DEM의 등고선



(b) 기준 DEM의 곡면

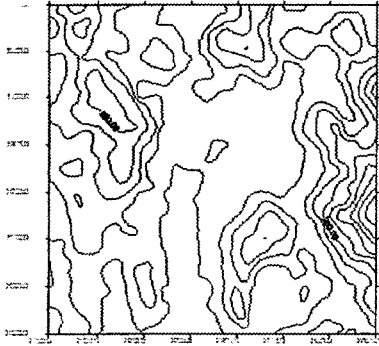
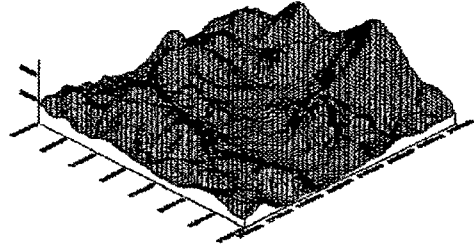


그림 3 (a) 추출 DEM의 등고선



(b) 추출 DEM의 곡면

아래 표는 40m와 80m의 간격으로 격자를 생성하여 그 최소제곱오차를 계산한 것이다.

표3 추출 DEM의 최소제곱오차

	40m		80m	
	Reference	추출 DEM	Reference	추출 DEM
평균	132.741684	132.702332	132.405396	132.438446
RMSE	26.244423m		26.1888700m	

2. Interferometry 기법

Interferometry 기법을 이용한 결과는 두 영상사이의 coherence가 거의 0.2이하의 매우 낮은 값을 가져서, 잡음에 의한 영향이 매우 크게 되어 DEM 측정결과를 얻지 못하였다. 그 결과는 아래의 그림에 보여지고 있다.

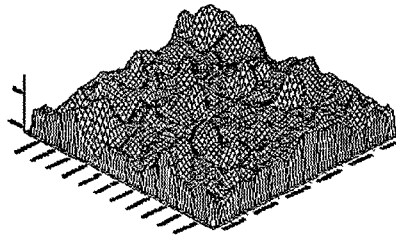


그림 4 Interferometry 기법을 이용한 DEM 추출 결과 (80m 격자 간격)

V 결론

이 연구에서는 SAR 영상을 이용한 DEM 추출기법인 입체시 기법과 Interferometry 기법을 실제로 적용하여 그 정확도를 상호 비교해보고자 하였다. 하지만, Interferometry 기법의 적용에서는 영상의 coherence의 저하로 인한 잡음의 영향으로 인해 좋은 결과를 얻지 못하였다. 그러나, 입체시 기법을 이용한 DEM 추출기법의 실험결과는 RADARSAT-1 Standard 빔 모드의 지상 해상력이 약 30m인데도 불구하고, 약 26m정도의 최소제곱 오차를 보였다. 한쪽에서 바라보는 입체시보

다 양쪽에서 바라보는 입체시 모형이 훨씬 더 정확한 결과를 나타낸다는 연구결과가 있었고, 또한 Standard 빔이 아닌 약 8m의 지상해상력을 갖는 Fine 빔 모드를 이용하면 더욱 높은 정확도의 DEM을 얻을 수 있으리라 생각된다.

Interferometry를 이용한 기법에서는 영상의 coherence를 적절한 정도로 유지하는 기법과 이전의 SAR 영상 처리에 대한 더욱 많은 연구가 이루어져야 할 것이며, 입체시 기법에서는 Fine 빔 모드와 양쪽의 입체모델에 대한 연구가 이후에 이루어져야 할 것으로 본다.

<참고문헌>

1. N. Al-Rousan et al., "Automated DEM Extraction and Orthoimage Generation from SPOT Level 1B Imagery", PE&RS, v.63, no.8, 8, 1997, pp. 965-974.
2. Howard A. Zebker et al, "Accuracy of Topographic Maps Derived from ERS-1 Interferometric Radar", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.32, no.4, 7, 1994, pp.823-836.
3. Soren N. Madsen et al., "Topographic Mapping Using Radar Interferometry : Processing Techniques", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.31, no.1, 1, 1993, pp. 246-255.
4. Dennis C. Ghiglia and Mark D. Pritt, "Two-Dimensional Phase Unwrapping", John Wiley & Sons, 1998.
5. Thierry Toutin, "Opposite Side ERS-1 SAR Stereo Mapping over Rolling Topography", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.34, no.2, 3, 1996, pp. 543-549.