

IKONOS 스테레오 영상의 매칭사이즈 결정연구

A Study on Determination of the Matching Size of IKONOS Stereo Imagery

이효성¹⁾·안기원²⁾·이창노³⁾·서두천⁴⁾

Lee, Hyo Seong·Ahn, Ki Weon·Lee, Chang No·Seo, Doo Cheon

¹⁾ 순천대학교 공과대학 토목공학과 조교수(E-mail: hslee@sunchon.ac.kr)

²⁾ 경상대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail: kwahn@gsnu.ac.kr)

³⁾ 서울산업대학교 공과대학 토목공학과 조교수(E-mail: changno@snut.ac.kr)

⁴⁾ 한국항공우주연구원 위성운영센터 선임연구원(E-mail: dcivil@kari.re.kr)

Abstract

In the post-Cold War era, acquisition technique of high-resolution satellite imagery (HRSI) has begun to commercialize. IKONOS-2 satellite imaging data is supplied for the first time in the 21st century. Many researchers testified mapping possibility of the HRSI data instead of aerial photography. It is easy to renew and automate a topographical map because HRSI not only can be more taken widely and periodically than aerial photography, but also can be directly supplied as digital image. In this study, matching size of IKONOS Geo-level stereo image is presented for production of digital elevation model (DEM). We applied area based matching method using correlation coefficient of pixel brightness value between the two images. After matching line (where "matching line" implies straight line that is approximated to complex non-linear epipolar geometry) is established by exterior orientation parameters (EOPs) to minimize search area, the matching is carried out based on this line. The experiment on matching size is performed according to land cover property, which is divided off into four areas (water, urban land, forest land and agricultural land). In each of the test areas, window size for the highest correlation coefficient is selected as proper size for matching. As the results of experiment, the proper size was selected as 123×123 pixels window, 13×13 pixels window, 129×129 pixels window and 81×81 pixels window in the water area, urban land, forest land and agricultural land, respectively. Of course, determination of the matching size by the correlation coefficient may be not absolute appraisal method. Optimum matching size using the geometric accuracy, therefore, will be presented by the further work.

1. 서론

21세기 미국과 소련의 냉전기가 끝남에 따라 고해상도 위성영상 획득기술은 미국의 IKONOS-2 위성영상을 시초로 상용화되기 시작하였고, 이로부터 항공사진을 대신하여 지형도 제작 가능성 파악을 위한 실험이 전 세계적으로 수행되어져 왔다. 고해상도 위성영상은 보다 주기적이고 광범위하게 영상을 취득할 수 있을 뿐만 아니라 직접 수치화되어 제공됨으로 지형도의 빠른 갱신과 자동화가 쉽다는 장점이 있다. 기존 1m 급 고해상도 위성영상으로부터 수치표고모델(DEM) 제작을 위한 정합선(영상획득 시 위성궤도의 위치정보 즉, 외부표정요소를 이용하여 수립한 에피폴라 기하모델 또는 이

와 근사한 기하모델)수립관련 연구는 주로 IKONOS 위성영상을 중심으로 진행되어 왔다(Zhang 등, 2002; Morgan, 2004; Habib 등, 2005; Gruen 등, 2005; 김의명 등, 2005; 손홍규 등, 2005; 이효성 등, 2006). 이 영상은 위성궤도의 위치정보를 제공하지 않고, Rational Polynomial Coefficient(RPC)만을 제공하기 때문에 Zhang 등(2002)과 Gruen 등(2005)은 9개의 미지계수로 이루어진 정합선 방정식을 제시한 후, 이로부터 DEM을 결정하였다. Morgan(2004)과 Habib 등(2005)은 외부표정요소가 제공되는 IKONOS 모의영상(Simulated Images)을 이용하여 정합선을 수립하였다. 김의명(2005) 등과 손홍규 등(2005)은 각각 지상기준점을 이용한 평행투영방정식과 RPC로부터 정합선을 수립한 후, DEM

을 결정하였다. 또한 이효성 등(2006)은 IKONOS 위성영상에서 제공하는 메타자료(Meta Data)와 지상기준점을 이용하여 직접 EOP를 결정하여 정합선을 수립하였으며, 이로부터 DEM을 제작하였다.

그러나 IKONOS 위성의 스테레오 영상으로부터 상관계수를 이용한 영역기반매칭을 수행할 경우, 토지피복 특성에 따라 매칭사이즈 크기를 달리 설정해야하는 문제가 있으므로 이에 대한 예비실험이 필요하다고 판단된다. 기존에 제시된 연구에서 상관계수를 이용한 매칭방법 대부분은 정합선으로부터 관심점(Interest Point) 추출로 수행되어 졌으므로, 토지피복 특성별 매칭사이즈 결정에 관한 예비실험은 수행되지 않았다. 따라서 본 연구는 IKONOS Geo레벨 스테레오 영상으로부터 DEM 제작을 위한 매칭사이즈를 토지피복 특성별로 분리하여 제시하고자 한다. 사용된 매칭기법은 상관계수를 이용한 영역기반매칭 기법을 적용하였고, 탐색영역을 최소화하기 위해 EOP로부터 정합선을 수립하여 매칭하였다. 매칭사이즈 결정 실험은 삼림, 논·밭, 수계, 도심지의 4가지 토지피복 특성별로 수행되었으며, 토지피복별로 상관계수가 가장 높은 값에 해당하는 기준영역 크기를 해당영역의 매칭사이즈로 선정하였다.

2. 정합선 수립방법

2.1 외부표정요소 결정

IKONOS 위성영상의 Geo 레벨 메타자료는 영상 취득 시 촬영고도각과 방위각 한 화소의 지상크기, 영상 네 귀퉁이의 WGS84 타원체 기준 UTM 평면위치 등을 제공하고 있다. 이로부터 EOP 획득을 위한 초기치 계산방법은 이효성 등(2005)이 제안한 방법을 적용하였으며, 지상 기준점을 이용하여 센서라인의 변화에 따른 EOP를 결정한 후, 정합선 방정식에 의한 자동매칭을 수행하였다. 이를 위한 EOP 초기치($X_0, Y_0, Z_0, w_0, \phi_0, \kappa_0$) 획득방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_0 &= E_C + (Z_0 / \tan \theta_E) \cdot \sin \theta_A, \\ w_0 &= \tan^{-1}(\Delta Y / \Delta Z) \\ Y_0 &= N_C + (Z_0 / \tan \theta_E) \cdot \cos \theta_A, \\ \phi_0 &= \tan^{-1}(\Delta X / \Delta Z) \\ Z_0 (= H_s) &= 681,000m, \\ \kappa_0 &= 0^\circ \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, X_0, Y_0, Z_0 는 제공되는 영상의 마지막 라인 취득 시 위성의 대략적 위치, θ_A 와 θ_E 는 위성의 촬영 방위각과 고도각, E_C, N_C 는 영상 마지막 라인의 중심위치이다. w_0 와 ϕ_0 는 위성의 X축과 Y축에 대한 회전요소이다. $\Delta X, \Delta Y$ 는 위성의 X, Y위치와 촬영 대상지역의 X, Y위치 간의 차이를 나타낸 것이다. 그리고 H축의 회전요소(κ_0)는 발생하지 않은 것으로 간주하였다.

IKONOS 위성영상의 초점거리는 경사촬영에 의한 영상축척을 이용하여 구하였다(Fraser 등, 2004).

$$\frac{f}{Z_0 / \cos w_{ave}} = \frac{l}{L} \quad (2)$$

여기서, f = 영상의 초점거리, w_{ave} = 앞에서 구한 스테레오 영상 w_0 의 평균값, l = 한 화소의 물리적 크기, L = 한 화소의 지상크기.

센서라인 변화에 따른 EOP 다항식은 1m 급 고해상도 위성영상의 경우, 매우 빠른 속도와 좁은 시야각으로 촬영되어지므로 촬영당시 등속운동과 일정한 자세를 유지한다는 가정 하에 식(3)과 같이 일차 다항식으로 결정하였다(Morgan, 2004).

$$\begin{aligned} X_0 &= X_1 + \Delta X_1 \cdot l & \omega_i &= \omega_1 \\ Y_0 &= Y_1 + \Delta Y_1 \cdot l & \phi_i &= \phi_1 \\ Z_0 &= Z_1 + \Delta Z_1 \cdot l & \kappa_i &= \kappa_1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, l 은 영상의 스캔라인 수, X_0, Y_0, Z_0 는 카메라 위치, X_1, Y_1, Z_1 는 위성의 등속운동에 따른 라인의 일정한 위치변화량, $\omega_1, \phi_1, \kappa_1$ 은 모든 스캔라인의 회전각은 일정하다는 조건으로 유도된 카메라 회전각이다.

2.2 정합선 수립

앞에서 결정한 EOP 일차 다항식을 이용하여 Morgan(2004)이 제시한 방법으로 정합선을 수립하였으며, 정합선 수립을 위한 기본식은 다음과 같다.

$$Z = \left[\frac{B_5}{B_4} \right] l + \left[\frac{B_6}{B_4} \right] \quad (4)$$

$$x_i = \frac{E_4 + E_3 \cdot l}{E_1 + E_2 \cdot l} \quad (5)$$

여기서, $B_4, B_5, B_6, E_1, E_2, E_3, E_4$ 는 EOP 일차 다항식과 공선조건식으로부터 유도되어진 정합선 방정식의 계수이다.

식(5)에서 l 을 구하기 위해선 식(4)에서 정확한 높이(Z)를 알아야 하지만 Z 값을 알 수 없으므로 대상지역내 최소높이(Z_{\min})와 최고높이(Z_{\max}) 범위를 고려하여 구해야만 한다. IKONOS 스테레오 영상에서 정합선 방정식을 직선으로 간주하고 Z 값은 Z_{\min} 과 Z_{\max} 만을 고려하여 이에 대응하는 l, x_i 구한 후, 직선의 방정식으로 모델링 하였으며, 이를 자동매칭에 이용하였다.

3. 매칭 사이즈 결정 실험과 평가

본 실험에 사용된 IKONOS 위성영상은 2001년 01월 10일에 경남 양산시 일대를 지상면적 약 7km×7km 대상으로 관측·수집한 Geo 레벨의 전정색(Panchromatic) 입체영상이다(그림 1과 그림 2). 지상관측점은 좌·우측영상에서 동일한 30점을 대상영역 내에서 골고루 분포하게끔 선정하였다. 그리고 GPS에 의한 정적현장관측방법(Static Survey)으로 한 측점 당 1시간 이상 자료를 수신하였으며, 국토지리정보원 3, 4등 삼각점 3점과 1등 수준점 2점을 연결하여 상대측위법에 의한 삼각측량 방식으로 지상좌표를 획득하였다. 지상관측점과 동일한 지점의 영상좌표는 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.7)를 사용하여 화소 이하의 단위로 독취 하였다. 획득한 현지 지상관측점 중 10점은 EOP 결정을 위한 기준점으로, 20 점은 EOP 결정 정확도 확인을 위한 검사점으로 활용하였다(그림 2에서 맨 좌측). 표 1은 실험에

사용된 IKONOS 위성영상 메타자료의 대략적 정보를 나타낸 것이다.

EOP 초기치는 앞에서 제시한 식(1)과 식(2)을 이용하여 구하였고, 이로부터 지상기준점을 이용하여 번들조정으로 영상라인의 변화에 따른 EOP 일차다항식을 결정하였다. 결정된 EOP의 위치결정 정확도 파악을 위해 검사점의 지상좌표를 획득한 후, 현지 관측한 위치와의 차이를 구하였다. 그리고 결정된 EOP의 비교·검토를 위해 RPC 최소제곱조정방법을 적용한 후, 동일 검사점에 대한 지상좌표를 획득하고, 그 오차를 구하였다(표 2). 그 결과, 결정된 EOP는 ±3m 오차범위 이내의 결과 정확도를 나타내고 있으며, 기존의 검증된 RPC 최소제곱조정의 결과와도 비슷한 오차크기를 보이고 있다. 따라서 IKONOS 위성과 같은 고해상도 위성영상에서 정합선 수립을 위해, 최적 EOP의 위치는 라인변화에 따른 일차다항식, 회전 요소는 상수항만을 적용해도 충분한 위치 정확도가 유지되고, 이는 기존의 검증된 방법과 유사한 결과오차를 나타냈다.

결정된 최적 EOP를 적용하여 정합선을 수립하였다. 정합선을 구하기 위해, 대상영역의 Z 값은 기존 지형도와 메타자료의 정보를 이용하여 $Z_{\min} = 10m$, $Z_{\max} = 700m$ 값을 고려하고, 식(4)으로부터 라인좌표(l)의 범위를 구한 후, 한 라인씩 증가 시키면서 식(5)을 이용하여 칼럼좌표(x_i)를 구하였다. 그림 1은 두 번째 영상 기준점 10점에 대응하는 첫 번째 영상의 정합선을 플로팅(Plotting)한 모습이다. 그림 1에서 보는바와 같이, 10개 기준점의 정합선이 모두 직선 형태로 플로팅 되었으며, 10개 기준점의 실측 영상좌표는 플로팅된 정합선상에 거의 일치하였다(그림 1에서 가운데와 오른쪽 영상). 따라서 정합선을 직선의 방정식으로 모델링하여 자동매칭해도 된다는 것을 알 수 있다.

앞에서 구한 정합선방정식으로부터 삼립(500칼

표 1. 실험에 사용된 IKONOS 위성영상 제원

Image	First Image	Second Image
Nominal Collection Azimuth	18.5512°	187.2200°
Nominal Collection Elevation	73.345000°	74.40065°
Acquisition Date/Time	2001-01-10/02:06 GMT	2001-01-10/02:07 GMT
Image Size	7004 pixels × 7004 pixels	7001 pixels × 7001 pixels
Product Level	Geo	
Altitude/Pixel Size	681 kilometer/1 meter	
Datum/Map Projection	WGS84/UTM	

림×500라인), 논·밭(400칼럼×600라인), 수계(350칼럼×300라인), 도심지(600칼럼×600라인)의 4가지 토지피복 특성별 대상지역에서 영역기반매칭 방법으로 매칭을 수행하였다. 대상지역별 매칭사이즈는 기준영역 11×11, 검색영역 25×25부터 2화소씩 증가시켜 기준영역 159×159, 검색영역 173×173까지 설정하고, 각각에 대한 사이즈로 매

칭을 수행한 후, 75개의 상관계수 영상을 출력하였으며, 이로부터 평균상관계수 값을 획득하였다(그림 2). 실험결과로써, 삼림지역의 기준영역 129화소×129화소에서, 논·밭은 81화소×81화소에서, 수계지역은 123화소×123화소에서, 도심지는 13화소×13화소에서 평균 상관계수 값이 각각 0.664, 0.944, 0.888, 0.810으로 가장 높았다가 그 이상 크

표 2. 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter)

	Determined EOPs		Bias-Corrected RPCs	
	RMSE	Maximum Error	RMSE	Maximum Error
X	0.722	-1.551	1.106	2.632
Y	0.921	1.828	0.934	1.837
Z	1.153	2.448	0.945	-1.714



그림 1. 첫 번째 영상(그림에서 맨 오른쪽 그림) 기준점 좌표에 대응하는 두 번째 영상의 정합선과 확대모습(그림에서 맨 좌측과 가운데 그림)

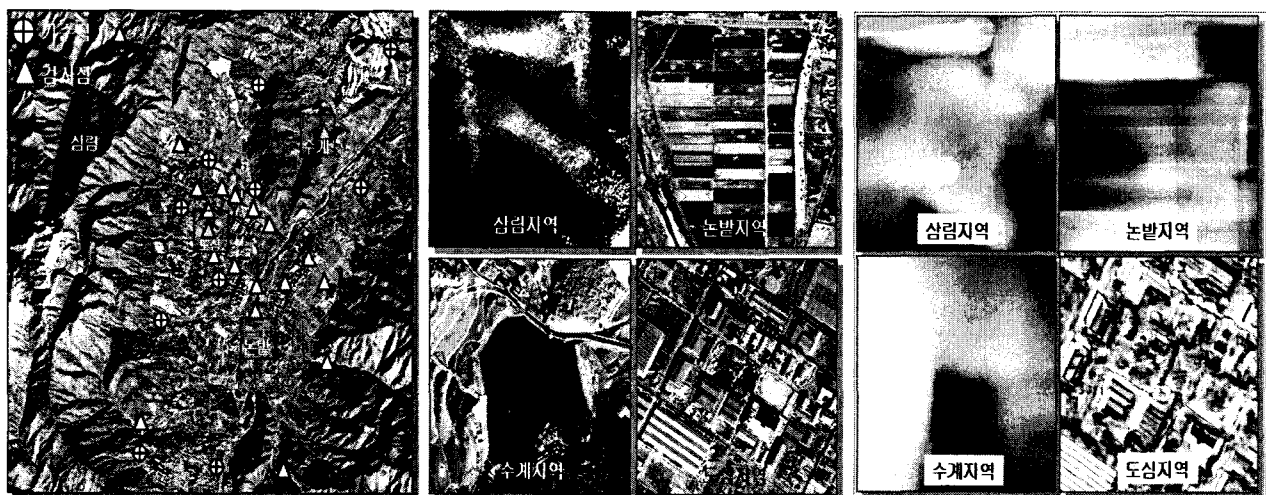


그림 2. 영상에서 지상관측점 배치현황과 실험 대상지역 위치(좌측그림), 실험 대상지역 확대모습(가운데 그림)과 대상지역 별 매칭사이즈 중 평균상관계수 값이 가장 크게 나온 영상(우측그림)

기부터는 점점 낮은 수치를 나타냈다. 실험결과만으로 판단할 때 삼림이나 수계 등과 같은 영상에서 식별이 난해한 지역의 경우에는 큰 매칭사이즈가 요구되는 반면 논·밭이나 도심지와 같은 식별이 뛰어난 지역에서는 작은 매칭사이즈로도 비교적 정확한 매칭이 이루어진다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 IKONOS Geo 레벨 위성영상의 메타자료로부터 EOP 초기치를 구하고, 이와 지상 기준점을 이용하여 라인변화에 따른 EOP 일차 다항식을 결정하였다. 결정된 EOP 다항식으로부터 검사점 20점의 지상좌표를 구한 결과, 평균제곱근 오차는 $\pm 1.0\text{m}$ 내외, 최대오차는 $\pm 3\text{m}$ 를 넘지 않았다. 그리고 결정된 EOP의 위치는 일차다항식, 회전요소는 상수항만을 적용해도 충분한 위치결정 정확도를 보였으며, 기존의 검증된 RPC조정 방법과 유사한 결과오차를 보였다. 이는 기존 중-저 해상도에 적용되어 온 EOP 고차다항식에 비해 고해상도 위성영상의 물리적 센서모델을 위한 적용 기준점 수가 적게 들어간다는 장점이 있다.

또한 결정된 EOP로부터 수립한 정합선은 거의 직선에 가깝다는 것을 파악하였으며, 정합선을 직선의 방정식으로 모델링하여 자동매칭해도 된다는 것을 입증하였다. 그리고 수립된 정합선으로부터 4가지 토지피복 특성별 영역기반매칭을 수행한 결과, 삼림지역의 기준영역 크기는 129화소 \times 129, 논·밭 지역은 81화소 \times 81화소, 수계지역은 123화소 \times 123화소, 도심지는 13화소 \times 13화소에서 상관계수 값이 가장 높게 나타났다. 물론 실험에서 제시한 값은 절대적 평가 방법이 될 수 없으므로 차기실험을 통해, 기하학적 정확도에 의한 평가방법을 추가하여 최적 매칭사이즈를 제시할 것이다.

참고문헌

- 김의명, 김성삼, 유환희 (2005), 평행투영모형에 의한 IKONOS 위성영상의 수치고도모형 생성, 한국지형공간정보학회논문집, 한국지형공간정보학회, 제13권, 제1호, pp. 55-61.
- 손홍규, 박정환, 장훈 (2005), 구간정합선과 다항식비례모형을 활용한 수치고도모형의 제작, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제1D호, pp. 179-188.
- 이효성, 안기원 (2006), IKONOS 위성영상의 외부표정요소로부터 정합선 수립에 의한 DEM 생성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권, 제4호, pp.331-338.
- Gruen, A., Zhang, L. and Eisenbeiss, H. (2005), 3D precision processing of high satellite imagery, *ASPRS 2005 Annual Conference*, ASPRS, Baltimore, Maryland, USA, CD-ROM.
- Habib, A. F., Morgan, M. F., Jeong, S. and Kim, K. O. (2005), Epipolar Geometry of Line Cameras Moving with Constant Velocity and Attitude, *ETRI Journal*, ETRI, Vol. 27, No. 2, pp. 172-180.
- Morgan M. (2004), Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html>.
- Zhang, L., Pateraki, M. and Baltsavias, E. (2002), Matching of Ikonos Stereo and Multitemporal GEO Images for DSM Generation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, <http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/zhangli.html>.