

사전검수 영역기반정합법과 과대오차제거를 이용한 '자동 영상좌표 상호등록'

Automated Image Co-registration using Pre-qualified Area Based Mating and Outlier Removal

김종홍* · 허준** · 손홍규***

Kim, Jong Hong · Heo, Joon · Sohn, Hong Gyoo

* 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정 (E-mail : kkdevil@hanmail.net)

** 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수 (E-mail : jheo@yonsei.ac.kr)

** 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수 (E-mail : sohn@yonsei.ac.kr)

요 지

최근 대규모 지역 혹은 전 지구에 걸친 분석 및 모니터링을 위한 위성영상의 사용이 늘어나면서 이를 처리하기 위한 효율적인 '영상좌표 상호등록'법이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 일반적으로 오랜 시간이 소요되는 '영상좌표 상호등록'의 효율성을 높이기 위해 '사전검수 영역기반 정합법'(Pre-qualified area based matching)을 사용하였다. 이를 통해 '영상좌표 상호등록'시 연산시간을 현저히 단축시켰고 추출된 정합점에 과대오차제거법을 적용함으로써 단순히 영역기반정합법을 적용한 경우에 비해서 정확도가 향상됨을 확인할 수 있었다. 제안한 알고리즘을 이용하여 테스트 프로그램을 작성, 한반도 Landsat ETM+ 영상 3장을 이용하여 테스트하였다. 정합점 간의 평균제곱오차는 0.436 영상소, 정합점은 평균 38,475개로 나타났다. 연산시간은 평균 약 8분으로 나타났다.

1. 서 론

'영상좌표 상호등록(Image co-registration)'이란 기준영상에 취득영상을 중첩시키는 과정으로 최근 위성영상의 사용이 늘어남에 따라 효율적인 '영상좌표 상호등록'법이 요구되고 있다. 이는 크게 '엠틸센서모델'을 이용하는 방법과 수치지도 혹은 기준영상을 사용하여 영상에 좌표를 등록하는 방법으로 나눌 수 있다. 긴 연산시간이 필요한 '영상좌표 상호등록'은 최근 컴퓨터 기술의 비약적 발달을 통해 처리시간이 많이 단축되었

지만 여전히 빠르고 효과적인 '영상좌표 상호등록' 방법이 필요한 상황이다. 이에 Rignot 등(1991)은 '영상좌표 상호등록' 자동화의 중요성을 인식하고, 이를 위해 필요한 조건 및 처리방법을 제안하였고, Ton 과 Jain(1989)은 최초로 반자동으로 기준점을 선택하여 Landsat 영상을 자동으로 정합하는 방법을 제안하였다. 또한 Flusser와 Suk(1994), Li 등(1995), Dai 와 Khorram(1999)등은 형상기반정합법(feature based matching)을 제안하였으

나 형상기반정합법의 경우 기준점의 수가 부족하거나 추출된 형상들이 영상 전반에 분포하지 않는 경우 '영상좌표 상호등록' 시 오류가 발생할 가능성이 있다는 문제가 있다(Chen 등, 2003). Kim과 Im(2003)은 영역기반정합법과 과대오차검출 및 제거법을 포함한 '영상좌표 상호등록' 법을 제안하였다. 이에 본 연구에서는 NASA GLCF에서 무료로 제공하는 정사 보정된 Landsat 영상을 기준 영상으로 사용하는 빠르고 효과적인 '영상좌표 상호등록' 방법을 제안하고 한국의 Landsat 영상을 이용하여 테스트를 실시하였다.

2. 배경 이론

2.1 영상 초기화, 경계 및 정합점 추출

'영상 초기화'(Initial approximation)란 '영상좌표 상호등록' 수행 전에 대상영상을 기준영상에 수 영상소 이내로 일치시키는 과정이다. 이는 영역기반정합법 수행시 탐색영역(Searching space)의 크기를 결정하므로 '영상좌표 상호등록'의 효율성 확보하기 위해 중요한 과정이라고 할 수 있다. 영상 초기화 후 Canny연산자(1986)를 이용해 기준영상에서 경계를 추출하여 경계영상을 작성하였고 추출된 경계를 따라 영역기반정합을 수행하여 정합점을 추출하였다.

2.3 매핑함수의 추정 및 과대오차 제거

매핑함수의 추정이란 '영상좌표 상호등록'을 위한 수학적 모델을 선택하는 것으로 본 연구에서는 1차 다항식(affine)을 이용하였다. 하지만 최초로 얻은 정합점을 이용하는 경우 만족할 만한 정확도를 확보할 수 없으므로 정합점 중에서 과대오차를 제거해야 한다. 본 연구에서 사용된 관측방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_p \\ Y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_p & y_p & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_p & y_p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{x1} \\ \varepsilon_{y1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{xp} \\ \varepsilon_{yp} \end{bmatrix}$$

$$R_{2P \times 4} = S_{2P \times 6} \cdot M_{6 \times 1} + \varepsilon_{2P \times 1} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

여기서 R은 기준영상에 분포하는 기준점의 영상좌표, S는 대상영상에 분포하는 정합점의 영상좌표 행렬, P는 정합점 수, I는 단위행렬이다. 또한 x,y는 선형 변환전의 좌표, X와 Y는 변환후의 좌표, 벡터 M은 Affine 변환계수를 나타낸다. 최소제곱법을 이용한 추정값 M과 잔차 ε 는 다음과 같다.

$$\hat{M} = (S^T S)^{-1} S^T R \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

$$\begin{aligned} e &= R - \hat{R} = R - S\hat{M} \\ &= (I - S(S^T S)^{-1} S^T)R \\ &= (I - H)R \end{aligned} \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

식 2,식 3에 의해 i번째 정합점의 잔차는 식 4와 같은 분포를 따름을 확인할 수 있다.

$$e_i \sim N(0, (1 - h_{ii})\sigma^2) \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

h_{ii} 는 'hat matrix' H의 (i,i) 성으로서 잔차는 상수값이 아니라 행렬 S의 성분으로 표현됨을 확인할 수 있으며 이는 과대오차를 단순히 잔차의 크기만을 이용하여 제거할 수 없음을 의미한다. 또한 n번째 관측값과 k-parameter에 대한 표준잔차 (Standardized residual) r_i 는 다음과 같다.

$$r_i = \frac{e_i}{s\sqrt{1-h_{ii}}}, \quad (\text{단 } s = \sqrt{\frac{e^T e}{n-k}}) \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

Lund(1975)는 이 표준잔차의 개략적인 분포를 계산했고, Weisberg(1980)는 이러한 표준잔차를 t-분포를 이용 studentized 잔차로 변환하는 변환식을 제안하였다.

$$t_i = r_i \left(\frac{n-k-1}{n-k-r_i^2} \right)^{\frac{1}{2}} \sim t(n-k-1) \quad \langle \text{식 6} \rangle$$

이렇게 통계적으로 의미를 가지는 표준잔차 혹은 studentized 잔차를 이용하여 과대오차를 제거하면 영상 전체에 걸쳐서 정합점을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이제까지의 절차를 개략적으로 나타내면 그림 1과 같다.

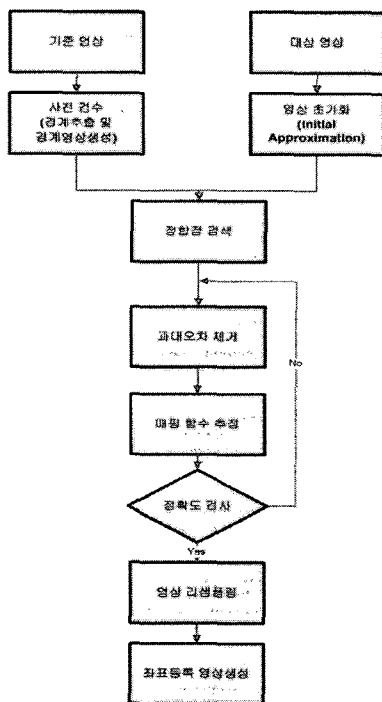


그림 1. '자동 영상좌표 상호등록'의 절차

3. 실험 및 결과분석

제안한 알고리즘을 3개 영상으로 테스트하였다. 연산시간에 영향을 미칠 수 있는 지표 형상을 고려하기 위해 다양한 지역의 영상

(중부내륙(p115r35), 강원산간(p115r34) 및 남해안(p115r36))의 영상을 사용하였으며 영상의 제원은 표 1과 같다.

표 1. 사용된 영상의 제원

Path Row	Sensor	취득일	해상도(m)	Band
115 /34	Landsat ETM+	1999-10-29	28.5×28.5	1
		2002-03-11	28.5×28.5	1
115 /35	Landsat ETM+M+	2000-05-08	28.5×28.5	1
		2004-04-17	28.5×28.5	1
115 /36	Landsat ETM+	2000-05-08	28.5×28.5	1
		2004-04-17	28.5×28.5	1

테스트 결과는 표 2와 같다. 중요한 점은 제안한 알고리즘은 '영상좌표 상호등록' 도중에 사용자가 일체의 추가 조작을 하지 않았다는 점이며 정합점간 평균제곱근오차는 0.436 영상소로서 이는 모든 Landsat TM/ETM+ 영상에서 사용할 수 있는 수준의 정확도를 확보했다고 할 수 있다. 연산시간은 평균 약 8분이 소요되었으며, 영상에 따라 편차가 있긴 했지만 평균 38475개의 정합점이 추출되었다. 최장 소요시간은 p115r34 영상으로 약 13분이었고, 최단 연산시간은 p115r36영상으로 약 4.5분이었다.

표.2. 테스트 결과

No.	Path /Row	평균제곱근 오차 (영상소)	정합점 (개)	시간 (초)
1	115 /34	0.415032	75875	806
2	115 /35	0.441164	29170	380
3	115 /36	0.452009	10380	282
평균		0.436068	38475	489

4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 사전검수 영역기반 정합법과 과대오차제거법을 이용한 '자동 영상좌표 상호등록' 알고리즘을 제안하였고, 테스트 프로그램을 작성하여 3장의 Landsat 영상을 통해 테스트하였다. 영상이 포함하는 지역의 지형특성에 따라서 편차는 있었지만, 각 영상의 정합점간 평균제곱근오차는 0.436영상소, 소요시간은 평균 8분으로 나타났다. 향후 한국지역외의 영상, 그리고 다른 위성센서의 영상을 확보하여 알고리즘의 타당성을 검증해야 할 것이다. 또한 본 프로그램은 선형매핑함수만을 사용할 수 있으므로 공선조건식이나 RPC 등 비선형매핑함수에 대해서도 적용할 수 있도록 해야하며 일반적인 경계추출 연산자라고 하더라도 '영상좌표 상호등록'시 최적의 결과를 보장하지는 않으므로 다른 경계추출연산자들을 이용해서 같은 방법으로 정확도 및 효율성을 검증해야 할 것이다.

Reference

Canny, J.F. 1986. "A computational approach to edge detection" *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.8, pp. 679-698.

Chen, H. M., M. K. Arora, and P.K. Varshney, 2003. "Mutual Information-Based Image Registration for Remote Sensing Data", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 18, pp. 3701-3706.

Dai, X. and S. Khorram, 1998. "A Hierarchical Methodology Framework for Multisource Data Fusion in Vegetation Classification", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 18, pp. 3697-3701.

Flusser, J. and T. Suk, 1994. "A

Moment-Based Approach to Registration of Images with Affine Geometric Distortion", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 2, pp. 382-387.

Kim, T. and Y. Im, 2003. "Automatic Satellite Image Registration by Combination of Matching and Random Sample Consensus", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 5, pp. 1111-1117.

Lund, R.E., 1975. Tables for an Approximate Test for Outliers in Linear Models, *Technometrics*, Vol. 17, No. 4, pp. 473-476.

Maxwell, S., 2004. "Filling Landsat ETM+ SLC-off Gaps Using a Segmentation Model Approach", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, No. 10, pp.1109-1111

Rignot, E., R. Kowk, J. C. Curlander, and S. S. Pang, 1991. "Automated Multisensor Registration: Requirements and Techniques", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No.8, pp.1029-1038.

Ton, J. and A.K. Jain, 1989. "Registering Landsat Images By Point Matching", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 27, No. 5, pp. 642-651.

Weisburg, S., 1980. *Applied Linear Regression*, John Wiley, New York.