

RNCC 기반 다시기 RapidEye 위성영상의 정밀 상호좌표등록 RNCC-based Fine Co-registration of Multi-temporal RapidEye Satellite Imagery

한유경¹⁾ · 오재홍²⁾

Han, Youkyung · Oh, Jae Hong

Abstract

The aim of this study is to propose a fine co-registration approach for multi-temporal satellite images acquired from RapidEye, which has an advantage of availability for time-series analysis. To this end, we generate multi-temporal ortho-rectified images using RPCs (Rational Polynomial Coefficients) provided with RapidEye images and then perform fine co-registration between the ortho-rectified images. A DEM (Digital Elevation Model) extracted from the digital map was used to generate the ortho-rectified images, and the RNCC (Registration Noise Cross Correlation) was applied to conduct the fine co-registration. Experiments were carried out using 4 RapidEye 1B images obtained from May 2015 to November 2016 over the Yeonggwang area. All 5 bands (blue, green, red, red edge, and near-infrared) that RapidEye provided were used to carry out the fine co-registration to show their possibility of being applicable for the co-registration. Experimental results showed that all the bands of RapidEye images could be co-registered with each other and the geometric alignment between images was qualitatively/quantitatively improved. Especially, it was confirmed that stable registration results were obtained by using the red and red edge bands, irrespective of the seasonal differences in the image acquisition.

Keywords : RapidEye, Fine Co-registration, RNCC, Multi-temporal Satellite Images

초 록

본 연구는 다시기 영상의 활용이 유리한 RapidEye 영상의 활용성을 증대시키기 위하여, 이들 간에 지역적으로 존재하는 기하오차를 최소화 하는 정밀 상호좌표등록 기법을 제안하였다. 이를 위해, RapidEye 영상과 함께 제공 되는 RPCs (Rational Polynomial Coefficients)를 이용하여 다시기 정사영상을 생성하고, 정사영상 간의 정밀 상호좌표등록을 수행하였다. 정사영상을 생성하기 위해서 수치지도에서 추출된 DEM (Digital Elevation Model)을 활용하였으며, 정밀 상호좌표등록을 수행하기 위하여 RNCC (Registration Noise Cross Correlation) 기법을 적용하였다. 영광지역에 대해 2015년 5월부터 2016년 11월까지 획득된 RapidEye 1B 영상 총 4장을 활용하여 실험을 진행하였으며, 밴드별(blue, green, red, red edge, near-infrared)로 적용된 정밀 상호좌표등록 결과 비교분석을 통해 각 밴드가 보이는 상호좌표등록 적용 가능성 여부를 판단하였다. 실험 결과, RapidEye 영상의 모든 밴드를 활용하여 상호좌표등록이 가능하였으며, 상호좌표등록을 하지 않았을 때보다 다시기 영상 간 정량적/정성적으로 향상된 기하 일치도를 보였다. 특히 red와 red edge 밴드를 이용할 경우 다시기 영상 촬영시기의 계절적 차이에 관계없이 안정적인 상호좌표등록 결과를 보임을 확인하였다.

핵심어 : RapidEye, 정밀 상호좌표등록, RNCC, 다시기 위성 영상

Received 2018. 11. 23, Revised 2018. 12. 05, Accepted 2018. 12. 10

1) Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: han602@knu.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University (E-mail: jhoh@kmou.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

RapidEye 위성은 BlackBridge사에서 2008년 8월 29일 발사한 위성으로, 약 630km 고도에 위치한 총 5개의 동일한 위성으로 구성되어 있다. 기존 지구관측위성과는 달리 5개의 위성을 이용하여 지구를 관측하기 때문에, 동일한 지역에 대한 영상을 주기적으로 획득하고 모니터링 할 수 있다는 것이 큰 장점이다. 또한 77km에 이르는 큰 폭으로 획득되기 때문에, 앞서 언급한 높은 주기 해상도(temporal resolution)와 더불어 넓은 대상지에 대한 빠르고 신속한 데이터 획득이 가능하다. RapidEye 위성은 통상적으로 위성영상에서 제공하는 4개의 멀티스펙트럴 밴드인 blue, green, red, NIR(Near-infrared) 외에 red edge 밴드를 추가적으로 제공하고 있어, 산림 모니터링, 농작물 모니터링 등에 효과적으로 활용할 수 있다(Oh and Lee, 2014).

RapidEye 영상 제품은 기본적으로 Basic 1B와 Ortho 3A 두 가지로 제공된다. Basic 1B의 경우 센서보정이 적용되고 위성 궤도 정보가 데이터에 포함된다. 즉, RPCs (Rational Polynomial Coefficients)가 같이 제공된다. Ortho 3A는 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM (Digital Elevation Model)을 사용하여 정사보정된 제품을 제공한다. Ortho 3A가 Basic 1B에 비해 높은 기하 정확도를 보이지만 가격이 비싸다. RapidEye 영상의 위치 정확도는 후처리 없이는 수평 RMSE (Root Mean Square Error) 250m(~530m CE95 (Circular Error 95%))의 정확도를 보이지만, 1B의 경우 Landsat 영상에서 추출된 지상기준점을 활용했을 때 44.9m(CE90), 3A의 경우 Landsat 기반 지상기준점과 SRTM DEM을 활용하면 약 30.3m(CE90)의 정확도를 확보할 수 있다(BlackBridge, 2013).

이렇듯 RapidEye와 함께 제공하는 RPCs는 Landsat이나 SRTM DEM과 같은 참조데이터를 이용하여 정밀도를 향상시켰으나, 이들 참조데이터의 낮은 공간해상도나 취득 환경 차이, 촬영 지역의 특성 등에 의해 여전히 영상 간의 픽셀단위의 오차가 존재한다 (Han and Oh, 2018). 따라서 이러한 기하 오차를 최소화시키는 영상 간 정밀 상호좌표등록(fine co-registration)을 수행한다면, 경계선 지역 등에 있어서 보다 정밀한 변화탐지가 가능하다. 영상 상호좌표등록이란 동일지역에서 촬영된 둘 이상의 영상을 중첩하는 과정을 말한다(Zitová and Flusser, 2003). 특히, 정밀 상호좌표등록은 지역적으로 존재하는 기하 불일치를 제거하는 것으로, 고해상도 다시기 위성영상을 영상 지도 생성, 영상융합, 변화탐지 등과 같은 다양한 응용분야에 적용하였을 때 결과에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있다(Han, 2017). 영상 간 정밀 상호좌표등록을 수행하기 위한 다양한 연구가 진행 중이며, 이를 위한 대표적인 방법으로 초기 정합쌍을

추출하여 영상 간 위치 차이를 최소화 시킨 후에 정밀 상호좌표등록을 수행하는 coarse-to-fine 기법이 있다(Hong and Zhang, 2008; Han *et al.*, 2014; Ye and Shan, 2014). 최근에는 영상 내에 존재하는 등록오차(registration noise)를 직접 추출한 후 이를 이용하여 정밀 상호좌표등록을 수행하는 연구 또한 진행되고 있다(Han, 2017; Han and Oh, 2018; Zhu *et al.*, 2018). 특히 등록 오차를 이용할 경우, 지역적으로 기하 정보가 일치하지 않는 지역에 대해서만 중점적으로 왜곡을 보정할 수 있기 때문에 정밀 상호좌표등록의 효과를 극대화 할 수 있다.

본 연구에서는 RapidEye 영상 구입시 함께 제공되는 RPCs와 수치지도에서 추출된 DEM을 이용하여 다시기 정사영상을 생성하고, 정사영상 간의 정밀 상호좌표등록을 수행한다. 정밀 상호좌표등록은 RNCC (Registration Noise Cross Correlation) 기법을 적용하였다(Han and Oh, 2018). 영광지역에 대해 2015년 5월부터 2016년 11월까지 획득된 RapidEye 1B 영상 총 4장을 활용하여 실험을 진행하였다. RapidEye가 제공하는 5개의 밴드별로 적용된 정밀 상호좌표등록 결과 비교분석을 통해 각 밴드가 보이는 상호좌표등록 적용 가능성 여부를 판단하였다.

2. 실험 방법

제안된 RapidEye 영상 간 정밀 상호좌표등록 기법은 우선적으로 수치지도에서 추출된 DEM을 활용하여 다시기 RapidEye 정사영상을 생성한다. 그 후, 정사영상 간에 존재하는 지역적 기하오차는 RNCC 기법을 통해 제거 된다. RapidEye 영상이 갖는 5개의 밴드로 적용된 상호좌표등록 결과를 비교함으로써, 각 밴드 별 정밀 상호좌표등록 가능성을 판단한다.

2.1 DEM 생성 및 정사영상 제작

정사영상을 제작하기 위해서는 원영상과 지형의 표고정보(DEM)가 필요하며, 이 둘 간의 상관관계를 맺어주는 센서모델링 정보가 필요하다. 본 연구에서는 1:25,000 수치지도를 이용하여 DEM을 제작하였다. 수치지도는 국토지리정보원에서 무료로 다운로드하여 사용할 수 있으며, 1:25,000 수치지도의 레이어 중 등고선과 표고점을 이용하여 원하는 공간 해상도로 보간(interpolation)하여 DEM을 생성한다. 센서모델링 정보로는 RapidEye와 함께 제공되는 RPCs 데이터를 사용한다. RPCs를 사용하기 위한 식은 Eq. (1)의 RFM (Rational Function Model) 식과 같다.

$$Y = \frac{a^T u}{b^T u}, X = \frac{c^T u}{d^T u}$$

with

$$u = [1 \ V \ U \ W \ VU \ VW \ UW \ V^2 \ U^2 \ W^2 \ UVW \\ V^3 \ VU^2 \ VW^2 \ V^2U \ U^3 \ UW^2 \ V^2W \ U^2W \ W^3]^T$$

$$U = \frac{\phi - \phi_0}{\phi_s}, V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_s}, W = \frac{h - h_0}{h_s}, Y = \frac{l - L_0}{L_s}, X = \frac{s - S_0}{S_s}$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{20}]^T, b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{20}]^T,$$

$$c = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{20}]^T, d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_{20}]^T \quad (1)$$

where X, Y : the normalized image coordinates, U, V, W : the normalized ground point coordinates, ϕ, λ, h : the geodetic latitude, longitude and ellipsoidal height of ground point, l, s : the image line (row) and sample (column) coordinates, $\phi_0, \lambda_0, h_0, S_0, L_0$: the offset factors for the latitude, longitude, height, sample and line, $\phi_s, \lambda_s, h_s, S_s, L_s$: the scale factors for the latitude, longitude, height, sample and line.

2.2 RNCC 기법 기반 정밀 상호좌표등록

정사보정된 다시기 영상이라 하더라도 이들 간에는 지역적 인 기하 오차가 존재하기 때문에, 본 연구에서는 RNCC 기법을 활용하여 지역적 기하오차를 제거하였다(Han and Oh, 2018).

RNCC 기법은 지역적으로 발생한 등록오차를 추출한 후, 이를 최소화하는 위치에 대응하여 정합쌍을 추출한다. 등록오차는 주로 영상 내 존재하는 객체의 경계에서 발생하므로 영상의 고주파영역(high frequency region)에서 추출할 수 있다. 영상의 고주파영역을 나타내는 경계강도 영상을 이용하여 등록오차를 추출하기 위해서는 다음 두 가지 상황을 만족해야 한다(Han, 2017). 첫째로, 등록오차는 두 영상의 지배적인 경계(dominant edge)의 주변에서 발생한다. 지배적인 경계나 그 주변 화소는 경계강도 영상에서 높은 강도 값을 갖고, 경계에서 멀어질수록 낮은 강도 값을 갖는다. 즉, 등록오차 화소들은 기준영상과 대상영상의 경계강도 영상에서 모두 높은 값을 갖는다. X_{ref}^h 와 X_{sen}^h 를 각각 기준영상과 대상영상에 DoG (Difference of Gaussian) 필터를 적용하여 생성한 경계강도 영상이라고 할 때, 첫 번째 등록오차 조건 RN_1 은 Eq. (2)로 표현할 수 있다.

$$RN_1(x, y) \in \begin{cases} 1, & \text{if } \min(|X_{ref}^h(x, y)|, \alpha |X_{sen}^h(x, y)|) \geq T_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where T_1 : Threshold, (x, y) : Generic spatial position of image, α : Normalization parameter.

α 는 정규화계수로 두 영상 간의 경계강도의 상대적인 값을

조절하는 역할을 하며, 두 경계강도 영상으로부터 계산된 표준편차의 비($\alpha = \sigma(X_{ref}^h) / \sigma(X_{sen}^h)$)로 정의할 수 있다.

위에서 추출된 등록오차 후보 RN_1 에 의해 추출된 화소들은 1) 기하적으로 일치하는 객체의 경계 화소거나, 2) 등록오차 화소로 나뉜다. 경계강도 차분영상(difference image)을 이용할 경우, 이 둘을 효과적으로 구분할 수 있다. 두 영상이 정밀하게 등록된 위치에서 RN_1 화소가 추출 되었다면, 이 화소에서는 두 영상 모두에서 높은 경계강도 값을 갖기 때문에 경계강도 차영상은 낮은 값을 갖는다. 등록오차에서 추출된 화소의 경우, 반대로, 한 영상에서는 높은 경계강도 값을 갖는 반면, 다른 한 영상에서는 객체 경계의 주변지역이므로 상대적으로 낮은 경계강도 값을 갖는다. 즉, 두 영상 중 한 영상에서 보다 높은 경계강도 값을 갖게 되므로, 그 화소에서의 경계강도 차영상 값은 상대적으로 크다. 이에 대한 두 번째 등록오차 조건 RN_2 는 아래와 같이 표현할 수 있다(Eq. (3)).

$$RN_2(x, y) \in \begin{cases} 1, & \text{if } \|X_{ref}^h(x, y) - \alpha X_{sen}^h(x, y)\| \geq T_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

where T_2 : Threshold.

최종적으로 위의 두 조건을 동시에 만족할 때 등록오차 RN 을 추출할 수 있다.

지역적으로 기하 오차가 심한 지역에 대해서는 다수의 정합쌍을 추출하여 이에 대한 보정을 해주어야 한다. 반대로 기하적으로 일치하는 지역에 대해서는 적은 수의 정합쌍으로도 충분히 보정이 가능하다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로, 쿼드트리 기반 영상 분할 기법을 이용하여 추출되는 정합쌍의 분포를 결정하였다. 쿼드트리 영상분할 기법은 사용자가 정의한 분할 기준을 만족하면 영상을 반복적으로 동일 크기의 네 지역으로 분할을 계속하고, 기준을 만족하지 않으면 분할을 멈추는 방식으로 진행된다(Samet, 1984). 본 연구에서는 기준영상을 이용하여 분할을 수행하였으며, 분할 기준으로는 분할을 수행할 영역의 크기와 해당 영역에서 추출되는 등록오차 화소의 비로 선정하였다. 즉, 상대적으로 많은 수의 등록오차 화소가 추출된 지역에서는 지속적으로 분할을 수행하였고, 기준보다 적은 수의 등록오차 화소가 추출된 지역에서는 분할을 수행하지 않았다. 미리 정의된 분할 최소크기에 도달할 때까지 이러한 과정을 반복적으로 적용하였다.

영상 분할이 완료된 후, 각 분할 객체의 중심점을 기준영상의 정합점으로 이용함으로써 하였다. 이러한 방법을 통해 상대적으로 지역적 기하 오차가 큰 지역에서는 다수의 분할 영상이 생성되므로 더 많은 수의 정합쌍을 추출할 수 있다. 기준영상의

정합점 위치에 대응되는 대상영상의 정합점 위치는 RNCC 기법을 이용하여 정의하였다. RNCC는 미리 정의된 탐색영역 내에서 대상 영상을 이동하면서 각 분할영역에 존재하는 등록오차의 화소 개수를 계산한다. 정의된 임의의 분할영역의 크기가 $w_r \times w_c$ 일 때, RNCC는 Eq. (4)와 같이 계산된다.

$$RNCC = \sum_{r=1}^{w_r} \sum_{c=1}^{w_c} RN_{r,c} \quad (4)$$

where $RN_{r,c}$: whether an RN pixel is extracted or not at a pixel (r, c) in a given segment whose size is $w_r \times w_c$.

계산된 RNCC 값 중에서, 가장 적은 수의 등록오차 화소가 추출된 변위량 (r_{min}, c_{min}) 만큼 이동한 위치가 기준영상의 정합점에 대응되는 대상영상의 정합점 위치가 된다. 즉, 정의된 분할 객체 내에서 가장 적은 수의 등록오차 화소가 추출될 때를 지역적으로 정합이 잘된 위치라고 판단하며, 이 때의 위치를 정합쌍으로 추출하게 된다.

각 분할 영상에 대하여 정합쌍이 추출되고 나면, 추출된 정합쌍 중 정확한 위치에 대응되지 않는 오정합쌍을 제거하여야 한다. 오정합쌍을 제거하기 위한 두 영상 간 기하학적 관계는 어핀변환모델을 이용하였다. 제안 기법을 통해 추출된 모든 정합쌍을 이용하여 어핀변환계수를 추정한 후, 가장 높은 잔차를 가지고 있는 정합쌍에 대하여 오정합쌍 여부를 판단하였다. 잔차의 값이 임계치보다 큰 경우 오정합쌍으로 판단하여 제거하였으며, 이러한 작업을 반복적으로 수행하였다.

최종적으로 추출된 정합쌍을 이용하여 구분적 선형변환 (piecewise linear function) 기반의 영상 간 상호좌표등록을 수행하였다. 구분적 선형변환은 영상 간 정합쌍을 이용하여 델루누이 삼각망(Delaunay triangulation)을 구성한 후, 삼각망 각각에 대하여 어핀변환계수를 계산하여 지역적으로 변환을 수행하는 방식으로 진행된다(Goshtasby, 1986). 구분적 선형변환은 삼각망 각각이 다른 계수를 갖는 어핀변환을 통해 대상영상을 기준영상의 좌표로 등록함으로써, 영상 간 존재하는 지역적 기하 왜곡을 최소화할 수 있다.

3. 실험 결과

상호좌표등록 실험은 영광지역에 대해 2015년 5월부터 2016년 11월까지 획득된 RapidEye 1B 영상 총 4장에 대해 수행되었다(Fig. 1). 실험 영상은 방사보정만 수행되고 기하보정이나 대기보정 등은 수행되지 않은 Basic 1B 데이터이다(Table 1). 대상

지역의 DEM 제작을 위해서 1:25,000 수치지도가 활용하였으며 이를 위해 대상지를 포함하는 총 41장의 수치지도를 국토지리정보원 홈페이지에서 다운로드하였다.

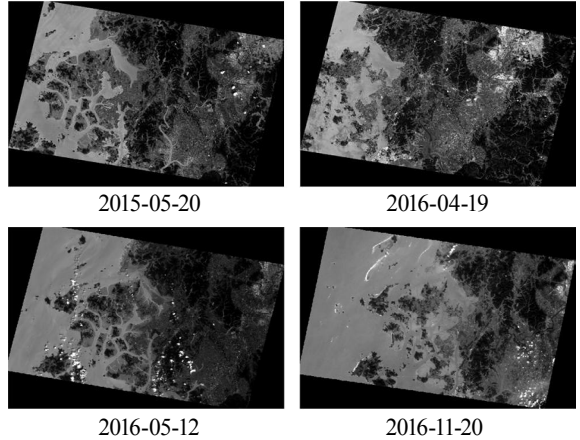


Fig. 1. Tested RapidEye images (band 1)

Table 1. Specification of tested RapidEye 1B images

Satellite	RapidEye
Acquisition Date	2015-05-20
	2016-04-19
	2016-05-12
	2016-11-20
Product Level	1B (radiometric correction only, geometric, elevation, and atmospheric correction not applied)

3.1 DEM 제작 및 정사보정 결과

본 연구에서는 1:25,000 수치지도 41장에서 표고정보만을 선택하여 DEM을 생성하는데 활용하였다. 수치지도에서 등고선 레이어는 F로 시작되는 코드 정보를 이용하여 선택되었으

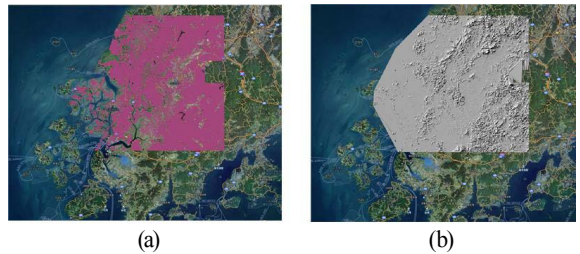


Fig. 2. The contours of the 1:25,000 digital maps (a) and generated DEM of 20 meters resolution (b) on the internet image map

며, Fig. 2에서 등고선 레이어 및 제작된 20m 해상도의 DEM의 음영도를 인터넷 카카오지도와 중첩하여 나타내었다. DEM은 폴리라인으로 제작되어 있는 등고선레이어의 벡터의 표고값으로부터 IDW (Inverse Distance Weighted) 보간 기법을 이용하여 생성되었다.

정사영상 제작은 ERDAS Imagine LPS를 이용하여 수행되었으며, 원 영상의 해상도 그대로 제작되었다. Fig. 3는 2016년 11월 영상에 대해서 정사보정 전/후를 인터넷 영상 지도와 비교한 결과이다. 인터넷의 영상지도와의 비교를 위해 RapidEye 정사영상에 투명도를 주어 중첩 비교하였다. 그 결과 보정 전의 경우 공항 부근에서 인터넷 지도와 비교하여 800m 가량의 위치 오차를 보이나, 정사 보정 후의 영상은 큰 일치도를 보이고 있음을 시각적으로 명확히 확인할 수 있다.

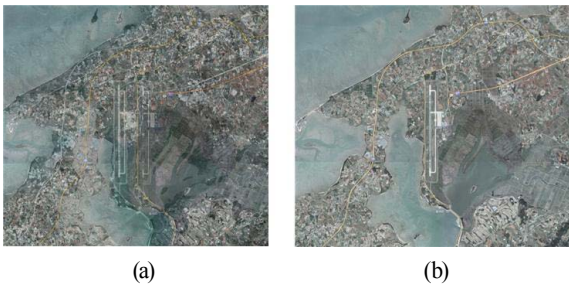


Fig. 3. RapidEye image overlaid with base image map before (a) and after (b) the orthorectification

3.2 정밀 상호좌표등록 결과

5m의 공간해상도를 갖는 RapidEye 영상에는 화소하나에 지표의 이질적인(heterogeneous) 특성을 보일 우려가 있기 때문에 본 연구에서는 영상 피라미드 기법을 통해 원영상의 행과 열의 크기를 2배로 줄인 후에 등록오차를 추출하였다. 등록오차를 추출하는데 필요한 두 임계치 T_1 과 T_2 는 기대최대화 기반의 자동 임계치 설정 기법을 통해 설정하였다(Carson *et al.*, 2002). 쿼드트리 영상분할을 수행하기 위한 최대 최소 분할 객체의 크기는 각각 256, 64로 설정하였다. 정사영상의 정확도를 고려하여 RNCC를 계산하기 위한 탐색영역은 반경 4 화소(약 20m)로 결정하였다. 사용된 네 장의 RapidEye 영상의 밴드별 모든 조합을 바탕으로 정밀 상호좌표등록을 수행하였다.

제안 기법을 통해 도출된 분할 결과 및 정합쌍 추출 결과의 일부를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4는 2015년 5월 20일 영상과 2016년 4월 19일 영상에 대하여 red 밴드를 활용하여 도출된 결과이다. 쿼드트리 기법을 통해 구성된 분할 영역은 흰색으로, 분할 영역의 중심에 위치하는 정합쌍은 적색으로 표현하였다. 그

림을 통해 정합쌍이 영상 전역에 걸쳐서 고르게 분포하였으며, 특히 지역적으로 기하 오차가 발생할 수 있는 도심지역에서는 다수의 정합쌍이 추출되었다.

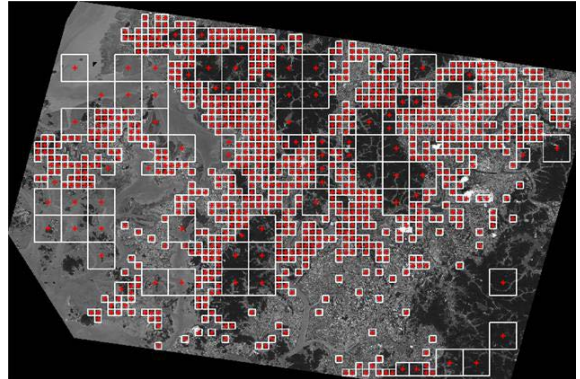


Fig. 4. Extracted conjugate points from the red bands of 20150520 and 20160419 image pair (Determined segments are expressed as white rectangles, and the corresponding points located at centroids of the segments are marked as red crosses)

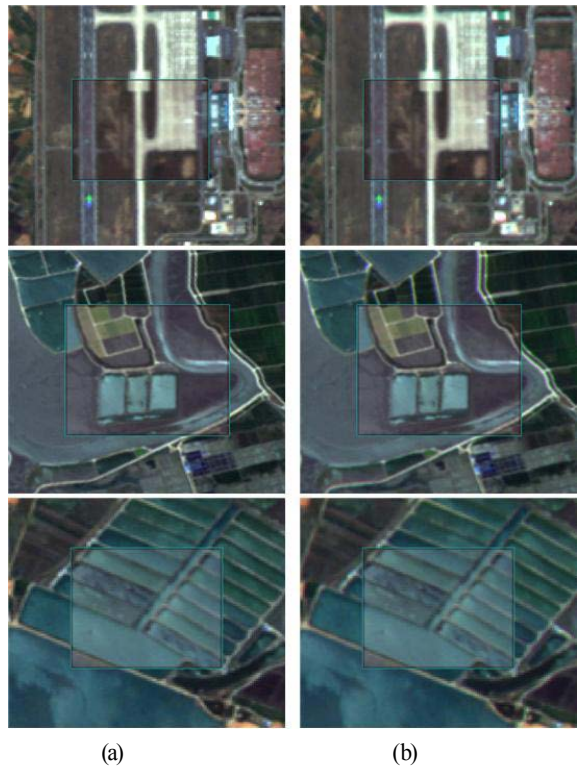


Fig. 5. Visual inspection of fine co-registration results applied by red bands: (a) before co-registration and (b) after co-registration

추출된 정합쌍을 이용하여 구분적 선형변환식을 구성한 후, 이를 바탕으로 정밀 상호좌표등록을 수행하였다. 시각적 비교 평가를 위해, 정밀 상호좌표등록을 수행한 영상과 수행하지 않은 정사영상의 특정 지역을 확대하여 Fig. 5에 나타내었다. 각 그림 내부에 위치한 직사각형과 외부에 위치한 직사각형은 각각 다른 시기에 취득된 다시기 영상이며, 따라서 두 직사각형의 경계가 잘 일치하는지를 파악함으로써 정밀 상호좌표등록이 효과적으로 적용되었는지를 판단할 수 있다. 시각적 판단 결과, 정밀 상호좌표등록을 수행한 결과(Fig. 5(b))와 수행하지 않은 정사영상(Fig. 5(a)) 보다 도로와 같은 선형 객체가 직사각형 경계에서 잘 유지되는 것을 알 수 있다. 이를 통해 정밀 상호좌표등록 과정을 통해 지역적으로 존재하는 지형의 불일치를 효과적으로 제거하였음을 알 수 있다.

3.3 결과분석

제안한 정밀 상호좌표등록 결과의 우수성을 판단하기 위해 밴드별 실험 영상의 모든 조합에 대하여 상호좌표등록을 수행한 후, 이에 대한 상관계수(Correlation Coefficient) 값을 계산하였다. 상대적인 평가를 위해, 다시기 원영상 및 상호좌표등록을 수행하지 않은 다시기 정사영상에 대해서도 밴드별 상관계수를 계산하였다. 계산된 결과(Table 2)에서 알 수 있듯이, 정사영상을 수행한 후에는 원영상보다 더 높은 상관계수를 보였다. 또한, 모든 영상 조합에 대한 밴드별 실험 결과, 정밀 상호좌표등록을 수행하였을 때 가장 높은 상관계수 값을 보였다. 정밀 상호좌표등록을 수행하였을 경우 수행하지 않았을 때보다 평균적으로 약 0.013 높은 상관계수 값을 보였다. 변환모델식이 구성된 중첩된 다시기 영상 전체 영역에서 상관계수 값을 계산하였

Table 2. Accuracy assessment of co-registration results focusing on multispectral bands

Reference Image - Sensed Image	Band	Correlation Coefficient			Δ Correlation Coefficient before/after Co-registration
		Original Image	Orthorectified Image	Co-registered Image	
20150520 - 20160419	Blue	0.6847	0.7317	0.7525	0.0207
	Green	0.6336	0.6777	0.7035	0.0257
	Red	0.6401	0.6465	0.6737	0.0273
	Red Edge	0.6383	0.6508	0.6737	0.0228
	NIR	0.6345	0.6887	0.7017	0.0130
20150520 - 20160512	Blue	0.5582	0.7308	0.7352	0.0044
	Green	0.5111	0.6873	0.6923	0.0050
	Red	0.5113	0.6947	0.6996	0.0049
	Red Edge	0.3781	0.5657	0.5680	0.0023
	NIR	0.6145	0.8204	0.8276	0.0072
20150520 - 20161120	Blue	0.5354	0.7071	0.7142	0.0070
	Green	0.5143	0.6764	0.6850	0.0086
	Red	0.4768	0.6499	0.6608	0.0109
	Red Edge	0.3905	0.5415	0.5535	0.0121
	NIR	0.3686	0.5118	0.5223	0.0105
20160419 - 20160512	Blue	0.4575	0.7469	0.7521	0.0051
	Green	0.4470	0.6947	0.7024	0.0077
	Red	0.4880	0.6500	0.6600	0.0101
	Red Edge	0.4338	0.5687	0.5830	0.0143
	NIR	0.4546	0.7881	0.8009	0.0128
20160419 - 20161120	Blue	0.4190	0.7237	0.7417	0.0181
	Green	0.4112	0.6620	0.6804	0.0185
	Red	0.3903	0.5248	0.5456	0.0208
	Red Edge	0.3673	0.5278	0.5465	0.0187
	NIR	0.3212	0.6228	0.6380	0.0152
20160512 - 20161120	Blue	0.6028	0.6933	0.7070	0.0136
	Green	0.5481	0.6494	0.6631	0.0138
	Red	0.4322	0.6035	0.6205	0.0170
	Red Edge	0.2864	0.4794	0.4956	0.0162
	NIR	0.4681	0.5019	0.5153	0.0133

기 때문에, 상관계수 값의 절대적인 증가 수치는 작게 도출되었다. 등록오차가 다수 발생하는 객체의 경계 부분에 대해서만 상관계수를 계산한다면 제안기법 적용 후 보다 높은 상관계수 값 증가 경향을 보일 것으로 판단된다.

밴드별 특성을 살펴보았을 때, 일반적으로 blue 밴드와 NIR 밴드 간의 상관계수가 상호좌표등록을 수행하기 전이나 후 모두 높게 나타난 것을 확인하였다. 특히 blue 밴드의 경우 촬영 시기의 계절적 차이가 있든 없든 높은 상관계수를 보인다. 그 이유로는 다른 밴드에 비해 짧은 파장대에서 취득되는 blue 밴드 영상에서 발생하는 헤이즈효과로 인해 대비가 좋은 영상을 얻기 어려운 점을 들 수 있다. 즉, blue 밴드에서는 시간의 흐름에 따른 변화가 발생하였더라도, 이로 인한 밝기값의 차이가 크지 않아 변화탐지와 같은 활용 분야에 이용되기에는 적합하지 않음을 알 수 있다. 유사한 계절에 취득된 실험영상에서는 NIR 밴드가 전반적으로 높은 상관계수 값을 보인다(20150520 - 20160512 실험영상 조합, 20160419 - 20160512 실험영상 조합). 이는 실험지역 대다수를 차지하는 산림, 식생지역에 민감하게 반응하는 NIR 밴드의 특성 때문인 것으로 판단된다. 따라서 NIR 밴드를 활용하여 다시기 영상 기반 분석을 수행할 경우, 계절적인 차이를 최소화해야 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있다.

정밀 상호좌표등록의 우수성을 평가하기 위해서 정밀 상호좌표등록 전후의 상관계수 차(Δ Correlation Coefficient)를 추가적으로 분석하였다. 전반적으로 red 밴드나 red edge 밴드를 활용하는 것이 정밀 상호좌표등록 전후의 상관계수 차가 크게 나타났다. 이는 두 밴드에서 지역적으로 발생할 수 있는 등록 오차를 효과적으로 탐지할 수 있음을 뜻한다. 뿐만 아니라, 계절적인 차이로 인해 발생하는 화소값의 차이를 최소화함으로써 실제 지표면의 변화를 탐지하는 데에도 활용도가 높은 밴드임을 알 수 있다. 특히 짧은 파장폭에서 취득되는 red edge(690 - 730 nm) 밴드에서도 안정적으로 등록오차를 추출하거나 변화를 탐지하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 다시기 RapidEye 영상 간의 정밀 상호좌표등록을 수행하였다. 영상과 함께 제공되는 RPCs를 이용하여 다시기 정사영상을 생성하고, 정사영상 간의 밴드 별 정밀 상호좌표등록을 수행한다. 정사영상을 생성하기 위해서 수치지도에서 추출된 DEM을 활용하였으며, 정밀 상호좌표등록을 수행하기 위하여, RNCC 기법을 적용하였다. 영광지역에 대해 2015년 5월부터 2016년 11월까지 획득된 RapidEye 1B 영상 총 4장을 활용하여 실험을 진행하였으며, 밴드별로 적용된 정밀 상호좌표등

록 결과 비교분석을 통해 각 밴드가 보이는 상호좌표등록 적용 가능성 여부를 판단하였다. 모든 영상 조합에 대한 밴드별 실험 결과, 정밀 상호좌표등록을 수행하였을 경우 수행하지 않았을 때보다 평균적으로 약 0.013 높은 상관계수 값을 보였다. 밴드 별 정밀 상호좌표등록 결과를 비교해 보았을 때, red나 red edge 밴드를 활용하는 것이 더 안정적인 결과를 도출하였다. 또한, 영상 취득 시기 간에 계절적인 차이가 있는 경우에는 식생지역의 변화에 민감한 NIR 밴드를 활용하지 않는 것이 좋다고 판단된다. 향후연구에서는 정밀 상호좌표등록된 다시기 영상을 활용하여 변화탐지를 수행함으로써, 정밀 상호좌표등록이 변화탐지에 미치는 영향을 분석할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2017R1C1B2005744)

References

- BlackBridge (2013), Satellite image product specifications, *BlackBridge*, Berlin, Germany, http://blackbridge.com/rapideye/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf (last date accessed: 5 Oct 2014).
- Carson, C., Belongie, S., Greenspan, H., and Malik, J. (2002), Blobworld: Image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 8, pp. 1026-1038.
- Goshtasby, A. (1986), Piecewise linear mapping functions for image registration, *Pattern Recognition*, Vol. 19, No. 6, pp. 459-466.
- Han, Y. (2017), Fine registration between very high resolution satellite images using registration noise distribution, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 35, No. 3, pp. 125-132. (in Korean with English abstract)
- Han, Y., Choi, J., Byun, Y., and Kim, Y. (2014), Parameter optimization for the extraction of matching points between high-resolution multisensory images in urban areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 9, pp. 5612-5621.

- Han, Y. and Oh, J. (2018), Automated geo/co-registration of multi-temporal very-high-resolution imagery, *Sensors*, Vol. 18, No. 5, pp. 1599.
- Hong, G. and Zhang, Y. (2008), Wavelet-based image registration technique for high-resolution remote sensing images, *Computers and Geosciences*, Vol. 34, No. 12, pp. 1708-1720.
- Oh, J. and Lee, C. (2014), Automated improvement of RapidEye 1-B geo-referencing accuracy using 1: 25,000 digital maps, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 5, pp. 505-513. (in Korean with English abstract)
- Samet, H. (1984), The quadtree and related hierarchical data structures, *Computing Surveys*, Vol. 16, No. 2, pp. 187-230.
- Ye, Y. and Shan, J. (2014), A local descriptor based registration method for multispectral remote sensing images with non-linear intensity differences, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 90, No. 4, pp. 83-95.
- Zhu, X., Cao, H., Zhang, Y., Tan, K., and Ling, X. (2018), Fine registration for VHR images based on superpixel registration-noise estimation, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 15, No. 10, pp. 1615-1619.
- Zitová, B. and Flusser, J. (2003), Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1000.