

SURF와 지역적 위상 상관도를 활용한 광학 및 열적외선 영상 간 정합쌍 추출

Matching Points Extraction Between Optical and TIR Images by Using SURF and Local Phase Correlation

한유경* · 최재완**

Han, You Kyung · Choi, Jae Wan

요 旨

위성센서 기술이 발전함에 따라서 가시광선, 적외선, 열적외선 영역 등의 파장대를 탐지하는 다양한 센서들이 발사되고 있다. 이에 따라, 다중센서 영상의 융합 및 통합에 대한 연구들이 진행되고 있으며, 이를 위해서는 다중센서의 정합이 필수적이다. 위성영상의 정합 및 자동기하보정을 위하여 SIFT, SURF와 같은 알고리즘이 제안되었다. 그러나, 광학영상과 열적외선 영상의 경우 다른 분광특성을 가지고 있기 때문에, 기존의 영상정합기법을 적용할 경우에는 높은 정확도를 확보하기 어려운 문제를 지닌다. 본 연구에서는 SURF를 이용하여 참조영상의 특징점을 추출하였으며, 추출된 특징점의 위치를 기반으로 지역적 상관도를 추정하여 정합쌍을 추출하고자 하였다. 지역적 상관도의 경우에는 푸리에 변환을 기반으로 하는 위상 상관도 기법을 적용하였다. 가상의 고해상도 다중센서 영상과 Landsat-8, ASTER 영상을 이용한 실험결과, 기존의 SURF를 활용한 정합기법과 비교하여 본 연구에서 제안한 방법이 두 영상 간 정합쌍을 더욱 효과적으로 추출할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 정합쌍, 영상 등록, SURF, 지역적 위상 상관도, 광학 영상, 열적외선 영상

Abstract

Various satellite sensors having ranges of the visible, infrared, and thermal wavelengths have been launched due to the improvement of hardware technologies of satellite sensors development. According to the development of satellite sensors with various wavelength ranges, the fusion and integration of multisensor images are proceeded. Image matching process is an essential step for the application of multisensor images. Some algorithms, such as SIFT and SURF, have been proposed to co-register satellite images. However, when the existing algorithms are applied to extract matching points between optical and thermal images, high accuracy of co-registration might not be guaranteed because these images have difference spectral and spatial characteristics. In this paper, location of control points in a reference image is extracted by SURF, and then, location of their corresponding pairs is estimated from the correlation of the local similarity. In the case of local similarity, phase correlation method, which is based on fourier transformation, is applied. In the experiments by simulated, Landsat-8, and ASTER datasets, the proposed algorithm could extract reliable matching points compared to the existing SURF-based method.

Keywords : Matching Points, Image Registration, SURF, Local Phase Correlation, Optical Image, TIR Image

1. 서 론

위성센서의 기술이 발전함에 따라서, VNIR(Visible and Near-InfraRed)과 SWIR(Short-Wave InfraRed)의 적외선 파장대 및 열적외선 파장대 등의 다양한 분광과

장대를 지니는 위성센서들이 발사되고 있다. 우리나라의 경우에도 기존의 VNIR 파장대에 해당하는 청색(blue), 녹색(green), 적색(red), 근적외선(NIR) 파장대를 촬영하는 KOMPSAT-2, 3 위성을 운용하고 있으며, 향후 3 μ m 내외의 열적외파장대에 대한 영상을 획득할 수

Received: 2015.02.27, revised: 2015.03.13, accepted: 2015.03.18

* 정희원 · Fondazione Bruno Kessler 박사후 연구원(Member, Postdoctoral Researcher, Fondazione Bruno Kessler, youhan@fbk.eu)

** 교신저자 · 정희원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 조교수(Corresponding Author, Member, Assistant Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)

있는 KOMPSAT-3A호의 발사를 계획하고 있다. 이에 따라서, 상이한 분광특성을 지니는 다중센서(multisensor) 영상 간의 융합(fusion) 및 통합(integration)에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있다(Dong et al., 2009; Byun et al., 2013). 특히, 다른 공간적인 특성을 가지는 다중센서간의 정확한 정합(matching)을 위한 자동화된 기하보정(automatic registration)에 대한 연구는 효과적인 다중센서 영상의 활용을 위하여 선행되어야 할 연구라고 할 수 있다(Han et al., 2012).

대표적인 위성영상 간의 정합기법으로, 특징기반 정합기법인 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)와 SURF(Speeded Up Robust Features)를 들 수 있다(Lowe, 2004; Bay et al., 2008; Yeom et al., 2013). SIFT와 SURF는 영상 내에 존재하는 공간적인 특성을 활용하여 식별이 용이한 서술벡터(description vector)를 생성하고, 벡터간의 유사성을 계산하여 정합을 수행하게 된다. 그러나 SIFT와 SURF의 서술벡터는 영상의 분광특성이 상이할 경우, 정합 정확도가 저해될 수 있다. 따라서 SIFT 및 SURF와 같은 특징기반 정합기법을 영역기반 정합기법과 결합하여 분광특성이 상이한 다중센서에 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 국외의 경우, Klimaszewski et al.(2013)은 적외선 영상과 광학영상에서 에지(edge) 정보를 추출하고, 에지영상에 위상 상관도(phase correlation)를 적용하여 두 영상간의 기하보정을 수행하였으며, Lu(2013)는 SIFT를 이용하여 영상 내의 정합점을 생성하고, 해당 지점간의 지역적 위상 상관도(local phase correlation)를 적용하여 항공영상 간의 자동 기하보정을 수행하였다. 또한 Zhao et al.(2014)은 SURF의 서술벡터 생성기법을 다중영상(multimodal image)에 적용하기 위하여 서술벡터의 형태를 변환시킨 MM-SURF(MultiModal-SURF) 기법을 제안하고, 이를 다양한 형태의 영상에 적용하기도 하였다. 국내의 경우, Gwon et al.(2013)은 가우시안 피라미드(gaussian pyramids)를 활용하여 광학영상과 IR 영상간의 정합을 수행하였으며, Lee(2014)는 다양한 고해상도 위성영상에 SURF 알고리즘을 적용하고, 이에 대한 결과를 평가하기도 하였다. 한편, Ye(2014)는 새로운 코너 응답 함수를 제안하여, 기존의 영상 정합의 성능을 개선하고자 하였다. 그러나, 특징기반 정합을 수행할 경우에는 광학영상과 열적외선 영상의 상이한 분광특성으로 인하여 정합점이 효과적으로 추출되지 않을 수 있으며, 지역적 위상 상관도를 적용할 경우에는 효과적인 영상 모델 구축을 위하여 지역적 위상 상관도의 적용 위치에 따라서 영상 정합의 성능이 저하될 수 있다. 본 연구에서는 대표적인 특징

점 검출자인 SURF와 영역기반 정합기법인 지역적 위상 상관도 기법을 활용하여 광학 영상과 열적외선(TIR) 영상의 정합쌍을 추출하고, 이를 기하보정에 적용해보고자 하였다. 이를 위하여, 근적외선 영상을 활용한 고해상도 가상 영상(simulated image), LADNSAT 8, ASTER 위성 내의 광학 및 열적외선 영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 영상 내에서 생성된 정합쌍을 활용하여 기하보정결과를 평가하였으며, 정규격자를 바탕으로 한 지역적 위상 상관도에 의한 기하보정 결과와의 정량적 평가를 통하여 본 논문에서 제안한 방법의 실제 적용가능성을 분석하였다.

2. 연구방법

앞서 언급하였듯이, 분광적 특성이 다른 다중센서 영상 간의 정합쌍을 추출할 경우 영역기반 혹은 특징기반 정합기법 하나만을 이용해서는 효과적인 정합 결과를 도출하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 대표적인 영역/특징기반 기법의 장점을 결합하여 새로운 정합쌍 추출 기법을 제안하였다. 우선, 전처리가 완료된 기준(reference) 영상에 대하여 SURF 기법을 통해 특징점을 추출한다. 추출된 특징점을 중심으로 하여 템플릿을 구성한 후, 대상(target) 영상에서 대응되는 템플릿과의 phase correlation을 계산하여 대응쌍의 최적의 위치를 추정한다. 오정합쌍 제거과정을 거친 최종 추출 정합쌍을 통해 변환모델식을 구성한 후, 이를 바탕으로 대상 영상을 기준 영상의 좌표체계로 변환한다. 각 단계에 대한 세부적인 알고리즘 적용 방법은 다음과 같다.

2.1 전처리 과정

본 논문에서 제안한 알고리즘은 영역기반 정합기법을 사용하여 특징점 간의 정합쌍을 추출하기 때문에 영역간의 템플릿 크기와 탐색영역 크기의 설정이 필요하다. 실제 위성영상에의 적용을 위하여, 실험에 사용된 영상들은 초기 좌표가 등록되어있는 영상으로 가정하였다. 영상 취득시의 초기 좌표의 경우에도 다시기 영상에 따른 상호위치간 오차가 존재하기 때문에, 영상정합을 통하여 위치정확도를 개선하기 위함을 실험의 목적으로 설정하였다. 따라서, 해당 자료들은 일정 반경 내에 특징점들이 정합될 수 있도록 탐색 영역을 제한하였다. 또한, 특징기반 정합기법인 SURF를 효과적으로 적용하기 위하여, 모든 영상은 선형 스트레칭(linear stretching) 방법을 이용하여 8bit 영상으로 변환하였다.

2.2 SURF 기법을 통한 특징점 추출

대표적인 특징기반 정합기법 중 하나인 SURF 기법은 특징점을 추출하고 서술자를 생성하는 과정에서 적분 영상(integrated image)을 사용함으로써 다른 특징기반 정합기법에 비해 빠른 속도를 보이는 장점이 있다 (Bay et al., 2008). 정합을 수행하기 위한 특징점은 헤시안 행렬(Hessian matrix)을 기반으로 추출한다. 영상 내 임의의 점을 $p = (x, y)$ 라고 할 때, 스케일 σ 일 때의 헤시안 행렬 $H(p, \sigma)$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(p, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(p, \sigma) & L_{xy}(p, \sigma) \\ L_{xy}(p, \sigma) & L_{yy}(p, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $L_{xx}(p, \sigma)$ 는 p 점에 대하여 x 방향으로 스케일 σ 인 가우시안 필터를 이용하여 2차 미분을 수행한 결과를 뜻한다. 일반적인 가우시안 기법의 경우 스케일 공간상에서 강건함을 보이지만, 영상에 적용하기 위한 양자화 과정에서 정보의 손실로 인한 재현율(repeatability)을 떨어뜨리는 단점이 있다(Fig. 1. (a),(b)). 따라서 SURF 기법에서는 근사화된 헤시안 박스 필터를 사용하여 정보의 손실을 줄이고 계산 과정 또한 단순화하고자 하였다(Fig. 1. (c),(d)). 각 점에서 헤시안 행렬을 식

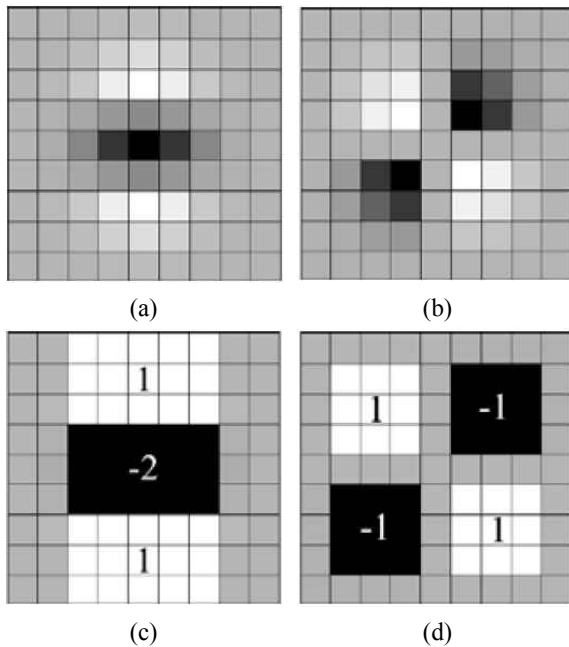


Figure 1. General Gaussian second order partial derivative in (a) y and (b) xy directions, and approximation for the second order Gaussian partial derivative in (c) y and (d) xy directions used in SURF method (Bay et al., 2008).

(1)을 통해 계산한 후 이에 대한 행렬식(determinant) 값을 구한다. 그 값이 스케일 공간상에서 지역적 최대값(local extrema)을 가질 때, 그 점을 특징점으로 추출한다.

2.3 위상 상관도를 이용한 지역적 정합쌍 추출

SURF 기법을 통해 추출된 특징점들은 이 점을 중심으로 주변화소를 이용하여 정합을 수행하기 위한 서술 벡터를 생성하게 된다. 서술벡터는 주변화소를 통해 계산된 주방향(orientation)을 기준으로 회전한 후, 회전된 주변화소의 x, y 방향에 대한 누적 강도를 계산하여 서술벡터를 생성한다. 하지만 이렇게 생성된 서술벡터는, 센서의 분광 특성에 따라 주변에 존재하는 밝기값이 차이가 날 뿐만 아니라 밝기값 변화의 양이나 방향 또한 다를 수 있다. 즉, SURF 서술자를 이용하여 기본적으로 분광특성이 다른 다중센서 영상을 정합하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서, 해당 지역간의 분광정보들의 패턴을 이용하여 정합을 수행하는 영역 단위의 정합기법이 광학영상과 열적외선 영상의 정합을 수행하는데 효과적이라고 판단하였다.

이에 본 연구에서는 다중센서 영상에도 좋은 정합 결과를 보인다고 알려진 위상 상관도를 지역적으로 적용하여 정합쌍을 추출하고자 하였다. 위상 상관도 방법은 영상간의 변위(translation) 및 회전(rotation), 축척(scale)을 추출할 수 있지만, 본 연구에서는 위상 상관도를 사용하여 정합점 사이의 변위량만을 고려하여 정합을 수행하였다. 영상 내의 템플릿 영상 $I_1(x, y)$, $I_2(x, y)$ 가 존재한다고 할 때, 두 정합점 간의 위상 상관도 C 는 다음의 식을 이용하여 구성할 수 있다.

$$C = \left| F^{-1} \left(\frac{F(I_2(x, y))}{F(I_1(x, y))} \right) \right| \quad (2)$$

여기서, F, F^{-1} 은 각각 2차원 푸리에 변환 (2D Fourier transformation), 2차원 푸리에 역변환 (2D inverse Fourier transformation)을 의미한다. 식 (2)를 통하여 함수 값을 극대화시킬 때의 x, y 변위값을 이용하여 SURF를 통해 추출된 특징점의 대응되는 지역적 정합점을 추출하였다.

2.4 오정합쌍 제거 및 변환모델식 구성

본 연구에서는 SURF 기법과 위상 상관도 기법을 통해 추출된 정합쌍을 이용하여 두 영상 간의 위치관계를 투영변환(projective transformation)으로 표현하였다. 비선형 모델인 투영변환은 위성영상 간의 위치관계를

설명하는데 효과적이라고 알려져 있다(Han et al., 2014). 기준영상의 정합쌍 좌표를 (X,Y), 이에 대응하는 대상영상의 정합쌍 좌표를 (x,y) 라고 할 때, 투영변환은 아래의 식 (3)을 통해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{ax+by+c}{dx+ey+1} \\ Y &= \frac{fx+gy+h}{dx+ey+1} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 a-h는 8개의 투영변환계수를 의미한다. 투영변환계수를 구하기 위해서는 최소 4개의 정합쌍이 존재하여야 하며, 그 이상이 존재할 경우 최소제곱법 (least square method)을 통해서 계수를 추정할 수 있다.

아무리 강건하게 설계된 정합 기법이라 하더라도, 정합쌍의 위치가 일치하지 않는 오정합쌍이 존재할 수 있으므로 이를 제거하는 과정이 추가적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 추출된 정합쌍에 대하여 대표적인 모델추정 기법인 RANSAC 기법을 적용하여 오정합쌍 제거하고 투영변환모델식을 구성하였다(Fischler and Bolles, 1981). 추출된 정합쌍과 이를 통해 구성된 모델식으로 생성된 기하보정 결과에 대한 평가를 위해 상호 등록 정확도를 측정하는 계수인 RMSE와 CE90을 계산하였으며, SURF 기법으로부터 도출된 정합쌍 추출 결과와 비교평가를 수행하였다.

3. 실험 적용 및 결과

3.1 실험 자료 및 지역

본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 NIR 영상을 활용한 가상 영상, Landsat-8, ASTER 위성을 실험에 사용하였다. 가상영상은 KOMPSAT-3 위성영상을 활용하여 구성하였으며, 실험에 사용된 지역 및 영상의 특성은 Table 1, Fig. 2와 같다. KOMPSAT-3의 target 영상은 NIR밴드의 DN값에 반비례하도록 영상의 DN

값을 조정하였다. 8bit 영상의 최대 DN값(255)과 광학영상의 차연산을 통하여 Fig. 2(d)와 같이 가상의 열적외선 영상을 생성하였다. Landsat-8과 ASTER 영상의 경우, 광학영상은 VNIR 과장대영역에 주성분변환 (Principle Component Transformation)을 수행하여 얻어진 PC1 밴드를 사용하였으며, 열적외선 밴드는 온도 변환된 밴드를 사용하거나(Landsat-8 자료의 경우) 열적외선 다중분광밴드에 주성분변환을 수행하여 얻어진 PC1 밴드(ASTER 자료의 경우)를 활용하였다.

3.2 실험 결과

제안 기법을 평가하기 위해 선정된 세 실험지역에 대하여, 기준영상을 대상으로 SURF 기반의 특징점을 추출하였다. 실험지역 각각에 대하여 각각 5,227, 40,655, 14,424 개의 특징점이 추출되었다. 각 특징점을 기준으로 두 영상의 위치관계를 고려하여 기준영상과 대상영상 각각에 64×64 크기의 템플릿을 구성한 후, 이를 기준으로 지역적 위상 상관도를 계산하여 최적의 변위량 차이를 추정하여 정합쌍을 추출하였다. RANSAC 기법을 통해 추출된 정합쌍에 대하여 오정합쌍을 제거한 후 최종적으로 실험지역 1, 2, 3에서 각각 5,159, 6,364, 456 쌍의 정합쌍이 추출되었다 (Fig. 3). 추출된 정합쌍의 신뢰도를 파악하기 위해서 두 영상의 좌표관계를 알고 있는 KOMPSAT-3의 가상 영상을 이용하였다. 비교평가를 위해, 모든 실험지역에 대하여 SURF 기반의 정합쌍 추출 과정을 진행한 결과 높은 오정합률로 인해 모든 실험지역에 대해서 제대로된 변환모델식을 구성할 수 없었다. 실험지역 1을 기준으로 정합률을 계산한 결과, 총 24개의 정합쌍 중 참정합쌍은 한 쌍도 추출하지 못하였다. Fig. 4는 SURF를 통해 제대로된 정합쌍이 추출되지 않음을 보여주고 있다. 이는 SURF와 같은 특징기반 정합기법을 통해서서는 분광특성이 다른 다중센서영상 간의 기하보정이 어렵다는 것을 의미한다.

추출된 정합쌍을 기준으로 투영변환모델식을 구성하

Table 1. Specifications of datasets

	KOMPSAT-3		Landsat-8		ASTER	
	Reference	Target	Reference	Target	Reference	Target
location	Suwon, Korea		Cheongju, Korea		Cheongju, Korea	
date	2013/05/05	2013/05/05	2013/10/27	2014/10/14	2007/04/26	2009/04/22
spectral resolution(μm)	NIR (0.76-0.9)	Pseudo TIR	PC1 band by VNIR (0.43-2.29)	Land surface temperature by TIR (10.60-12.51)	PC1 band by VNIR (0.52-0.86)	PC1 band by TIR (8.125-11.65)
spatial resolution(m)	2.8		30	100	15	90
image size(pixels)	1000×1000		2000×2000		1400×1700	

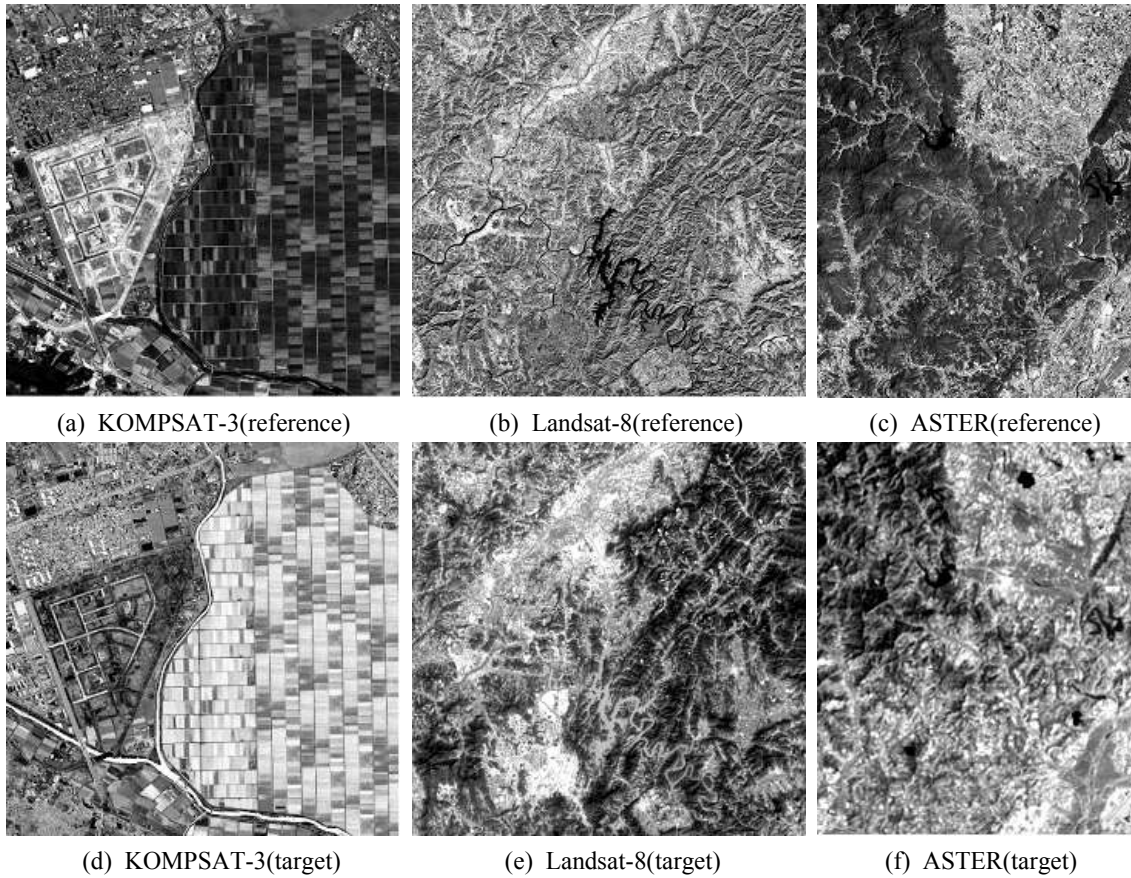


Figure 2. Study area

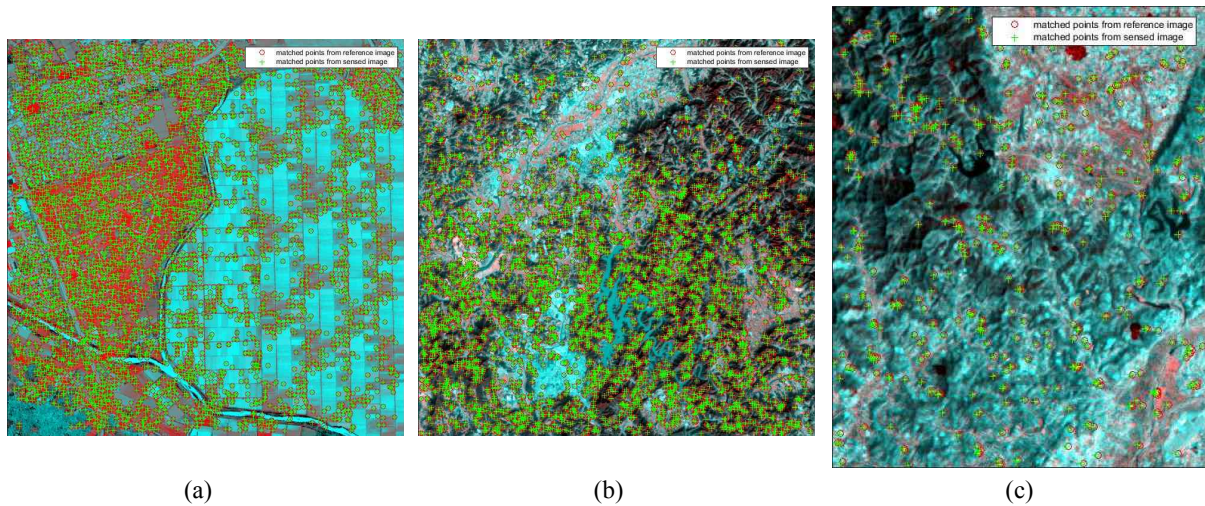


Figure 3. Results of matching points extraction by the proposed method: (a) site 1(KOMPSAT-3) (b) site 2(Landsat-8) (c) site 3(ASTER).

여 기하보정을 수행하여 모자이크영상을 수행한 결과는 Fig. 5와 같다. 시각적인 평가를 위해 기준영상은 빨간색 격자로, 변환이 수행된 대상영상은 회색격자로 반복적으로 표현함으로써, 격자의 경계를 통해 두 영상이

기하보정이 제대로 되었는지 확인할 수 있다. 생성된 모자이크 영상의 경계 부분에서 선형 특징이나 객체 특징이 자연스럽게 표현되는 것을 볼 때, 제안 기법을 통해 두 영상이 효과적으로 기하보정이 되었음을 확인할



Figure 4. Matching points extraction by SURF method in site 1.

수 있다.

제안 기법의 정량적 평가를 위해 추출된 정합쌍으로부터 추정된 변환모델에 대한 RMSE와 CE90 값을 계산하였으며, 비교평가를 위해, 일정한 간격(50×50 화소 간격)으로 균일하게 특징점을 추출하여 지역적 위상 상관도를 통해 정합쌍을 추출한 결과에 대한 정확도 평가를 추가적으로 수행하였다(Table 2).

균일 간격으로 특징점을 추출하여 알고리즘을 적용한 경우, 제안 기법에 비해 적은 수의 정합쌍을 추출하였을 뿐만 아니라, 낮은 기하보정 정확도를 도출하였다. 실험지역 3(ASTER 영상)에서는 오정합쌍이 다수 추출되어 정확한 변환모델식을 추정할 수 없었다. 이러한 결과는 균일하게 추출된 특징점이 갖는 한계에서 비롯된 것으로 판단된다. 즉, 추출된 특징점이 지역적인 특성을 반영하지 못하므로, 그에 대응하는 위치를 찾기가 어려워 기하보정 정확도를 떨어뜨린다. 반면, 제안 기법을 통해서 세 실험지역 모두 만족할만한 수준의 기하보정 정확도를 도출하였음을 확인하였다. 상대적으

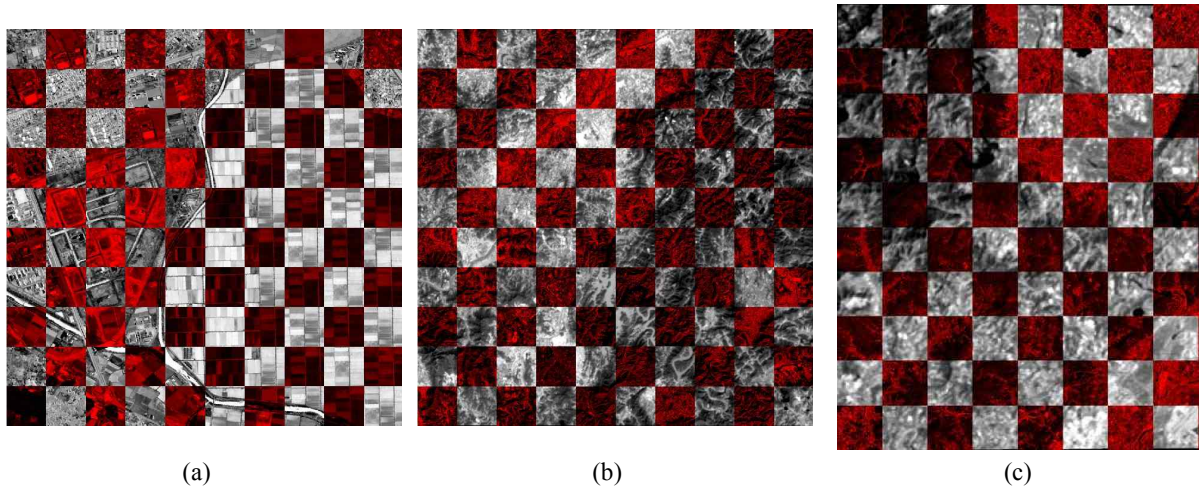


Figure 5. Mosaic image generation by the proposed method: (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3.

Table 2. Results of matching points extraction and accuracy assessment

Site	Matching points		RMSE	CE90
	All	After outlier removal		
Regular grids + local phase correlation				
1: Simulated (KOMPSAT 3)	400	389	0.008	0.014
2: Landsat-8	1,600	270	2.160	2.830
3: ASTER	952	35	-	-
Proposed method (SURF + local phase correlation)				
1: Simulated (KOMPSAT 3)	5,227	5,159	0.002	0.003
2: Landsat-8	40,655	6,364	1.142	1.508
3: ASTER	14,424	456	4.086	5.257

로 다른 실험지역에 비해 실험지역 3의 ASTER 영상에 대하여 부정확한 기하보정 결과를 도출하였는데, 이는 기준영상과 대상영상의 공간 해상도 차이가 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다. 보다 향상된 기하보정 정확도를 얻기 위해서는 이러한 공간해상도 차이에도 강건한 정합 알고리즘을 개발해야할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 특징기반의 정합기법인 SURF와 영역기반의 정합기법인 지역적 위상 상관도를 이용하여 광학영상과 열적외선 영상 간의 영상정합을 수행하고자 하였다. SURF 기법을 이용하여 참조영상에서 특징점의 위치를 추정하였으며, 특징점의 위치를 기준으로 하여 각 템플릿을 구성하고, 지역적 위상 상관도를 활용하여 각 템플릿 별 이동변위를 산출하였다. 계산된 변위는 각 정합쌍을 구성하는데 활용하였으며, RANSAC 이상치 제거 알고리즘을 통하여 최종 정합쌍을 구성하였다. KOMPSAT-3, Landsat-8, ASTER 영상을 활용한 실험결과, 본 연구에서 제안한 기법이 기존의 SURF를 활용한 방법 및 정규격자를 기반으로 한 지역적 위상 상관도 기법과 비교하여 높은 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험은 향후 발사예정인 KOMPSAT-3A에 탑재될 열적외선영상과 기존 KOMPSAT 영상간의 자동정합을 목적으로 수행되었기 때문에, KOMPSAT 위성영상의 발사 후 실제 광학 및 열적외선 자료를 활용한 실험 및 영상의 촬영각 등의 변화에 대한 실험 등을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 적용가능성을 추가적으로 검증할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF-2014M1A3A3A03034798).

References

1. Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Gool, L. V., 2008, Speeded-up robust features, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359.
2. Byun, Y., Choi, J. and Han, Y., 2013, An area-based image fusion scheme for the integration of SAR and optical satellite imagery, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 6, No. 5, pp. 2212-2220.
3. Dong, J., Zhuang, D., Huang Y. and Fu, J., 2009, Advances in multi-sensor data fusion: algorithms and applications, *Sensors*, Vol. 9, No. 10, pp. 7771-7784.
4. Fischler, M. and Bolles, R., 1981, Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395.
5. Gwon, H., Lee, I. and Choi, T., 2013, Electro-optics and infrared image registration using gaussian pyramids, *Advanced Science and Technology Letters*, Vol. 29(SIP 2013), pp. 55-59.
6. Han, Y., Byun, Y., Choi, J., Han, D. and Kim, Y., 2012, Automatic registration of high-resolution images using local properties of features, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 78, No. 3, pp. 211-221.
7. Han, Y., Choi, J., Byun, Y. and Kim, Y., 2014, Parameter optimization for the extraction of matching points between high-resolution multisensor images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 9, pp. 5612-5621.
8. Klimaszewski, J., Kondej, M., Kawecki, M. and Putz, B., 2013, Registration of Infrared and visible images based on edge extraction and phase correlation approaches, *Image Processing and Communications Challenges 4*, Vol. 184, pp. 153-162.
9. Lee, Y., 2014, Automatic extraction method of control point based on geospatial web service, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 2, pp. 17-24.
10. Lowe, D., 2004, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
11. Lu, P., 2013, Rotation invariant Registration of 2D aerial images using local phase correlation, Master thesis, Uppsala University.
12. Ye, C., 2014, Image registration using outlier removal and triangulation-based local transformation, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 6, pp. 787-795.
13. Yeom, J., Han, Y. and Kim, Y., 2013, Analysis of shadow effect on high resolution satellite image matching in urban area, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21,

No. 2, pp. 93–98.

14. Zhao, D., Yang, Y., Ji, Z. and Hu, X., 2014, Rapid multimodality registration based on MM-SURF, *Neurocomputing*, Vol. 131, pp. 87–97.