

구름이 포함된 고해상도 다시기 위성영상의 자동 상호등록 Automatic Co-registration of Cloud-covered High-resolution Multi-temporal Imagery

한유경* · 김용일** · 이원희***

Han, You Kyung · Kim, Yong Il · Lee, Won Hee

요 旨

일반적으로 상용화되고 있는 고해상도 위성영상에는 좌표가 부여되어 있지만, 촬영 당시 센서의 자세나 지표면 특성 등에 따라서 영상 간의 지역적인 위치차이가 발생한다. 따라서 좌표를 일치시켜주는 영상 간 상호등록 과정이 필수적으로 적용되어야 한다. 하지만 영상 내에 구름이 분포할 경우 두 영상 간의 정합쌍을 추출하는데 어려움을 주며, 오정합쌍을 다수 추출하는 경향을 보인다. 이에 본 연구에서는 구름이 포함된 고해상도 KOMPSAT-2 영상 간의 자동 기하보정을 수행하기 위한 방법론을 제안한다. 대표적인 특징기반 정합쌍 추출 기법인 SIFT 기법을 이용하였고, 기준영상의 특징점을 기준으로 원형 버퍼를 생성하여, 오직 버퍼 내에 존재하는 대상영상의 특징점만을 후보정합쌍으로 선정하여 정합률을 높이고자 하였다. 제안 기법을 구름이 포함된 다양한 실험지역에 적용한 결과, SIFT 기법에 비해 높은 정합률을 보였고, 상호등록 정확도를 향상시킴을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 자동 상호등록, 구름분포영상, 고해상도 다시기 영상, SIFT

Abstract

Generally the commercial high-resolution images have their coordinates, but the locations are locally different according to the pose of sensors at the acquisition time and relief displacement of terrain. Therefore, a process of image co-registration has to be applied to use the multi-temporal images together. However, co-registration is interrupted especially when images include the cloud-covered regions because of the difficulties of extracting matching points and lots of false-matched points. This paper proposes an automatic co-registration method for the cloud-covered high-resolution images. A scale-invariant feature transform (SIFT), which is one of the representative feature-based matching method, is used, and only features of the target (cloud-covered) images within a circular buffer from each feature of reference image are used for the candidate of the matching process. Study sites composed of multi-temporal KOMPSAT-2 images including cloud-covered regions were employed to apply the proposed algorithm. The result showed that the proposed method presented a higher correct-match rate than original SIFT method and acceptable registration accuracies in all sites.

Keywords : Automatic Co-registration, Cloud-covered Imagery, High-resolution Multi-temporal Imagery, SIFT

1. 서 론

동일지역에 대한 다시기의 고해상도 영상을 분석에 함께 이용할 경우, 영상융합(image fusion), 객체추출(object extraction), 변화탐지(change detection) 등 다

양한 공간정보 분야에서 다시기 영상을 이용할 때보다 많은 정보를 효과적으로 추출할 수 있다(Han et al., 2012). 하지만 영상촬영 당시에 구름이 다수 분포하는 경우에는 지표면으로부터 센서에 도달하는 반사값에 영향을 끼침에 따라, 높은 품질의 영상을 얻을 수 없어

2013년 11월 5일 접수, 2013년 12월 9일 채택

* 서울대학교 건설환경공학부 박사(Ph.D., Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, han602@snu.ac.kr)

** 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, yik@snu.ac.kr)

*** 교신저자 · 정회원 · 조선대학교 토목공학과 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chosun University, wlee33@chosun.ac.kr)

활용성이 떨어진다. 이러한 한계를 최소화하기 위해, 영상에 분포하는 구름과 그로인해 발생하는 그림자 지역을 추출하고 복원하는 연구가 활발하게 진행되고 있다(Choi and Bindschadler, 2004; Huang et al., 2010; Jin et al., 2013). 중·저해상도를 대상으로 하는 대부분의 구름탐지 기법은 열적외선(thermal) 파장대의 영상을 이용하는 것이 가장 효과적이라고 알려져 있으나, 일반적으로 제공되는 고해상도 영상의 경우 열적외선 파장에 대한 정보는 제공하지 않는다. 따라서 고해상도의 구름을 탐지하기 위한 연구에서는 구름의 분포가 다른 다시기 영상을 이용하여 영상 간의 변화 혹은 상관도를 분석하여 구름을 추출하는 방식이 대부분이다(Tseng et al, 2008; Hagolle et al., 2010; Sedano et al., 2011).

이렇듯, 고해상도 다시기 영상을 동시에 활용하여 정보를 추출하거나, 고해상도 영상 내에 존재하는 구름을 추출하기 위해서는 함께 사용하는 영상 간의 좌표가 일치되어야 한다. 현재 상용화되고 있는 대부분의 고해상도 위성영상은 배포 당시부터 그 지역에 해당하는 좌표 정보를 가지고 있지만, 촬영 당시의 위성센서가 갖는 자세나 환경, 지표면 특성 등에 따라 지형적 위치차이가 발생한다. 대표적인 고해상도 위성영상인 IKONOS-2의 standard GEO product로 처리된 센서로부터 취득된 영상을 예로 들면, 평평한 지역의 경우 약 50m 정도의 위치오차를 보이며, 지형기복이 심한 지역은 이보다 큰 위치오차를 야기한다고 알려져 있다(GeoEye, 2006). 따라서 이러한 지형적 위치차이를 최소화하는 영상 간 상호등록 과정은 다시기 영상분석에 앞서 반드시 선행되어야 하는 필수적인 전처리과정으로 인식되고 있다.

고해상도 위성영상 내에는 식별 가능한 개체가 다수 존재한다는 특성에 따라, 이들 간의 자동 상호등록을 위해서는 특징기반 정합기법(feature-based matching method)을 적용하는 것이 적합한 것으로 알려져 있으며(Capel and Zisserman, 2003), 이에 고해상도 영상에 특화된 특징점 추출 알고리즘을 제안하거나 방법론을 제시하는 다양한 연구가 진행되었다(Gianinetta and Scaioni, 2008; Hong and Zhang, 2008; Yu et al., 2008). 하지만 이러한 연구들은 구름이 포함되지 않은 일반적인 고해상도 영상에 적용한 알고리즘이며, 구름이 포함된 영상에 적용할 경우 다수의 오정합쌍을 추출할 우려가 있다. 구름이 포함된 영상의 상호등록을 수행하기 위한 연구 또한 수행되었지만(Kim and Choi, 2009; Lee et al., 2011), 이들은 동일 영상의 전정색영상과 다중분광영상 간의 상호등록으로 국한되었다.

본 연구에서는 구름이 포함된 고해상도 다시기 위성

영상 간의 자동 상호등록에 대한 연구를 수행하였다. 고해상도 다시기 영상 간의 제한된 초기 위치차이가 존재한다는 점에 착안하여, 대표적인 특징기반 정합쌍 추출 기법인 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법을 개선하여 본 실험에 적용하였다(Lowe, 2004). 구름이 포함된 KOMPSAT-2의 다중분광(multispectral) 영상을 이용하여 실험을 적용하였으며, 제안 기법의 상대적인 평가를 위해 SIFT 기법을 통해 상호등록을 수행한 결과와 비교평가 하였다.

2. 연구 방법

서론에서 언급하였듯이, 같은 센서의 고해상도 위성 영상에서부터 취득된 영상이라 하더라도 취득당시 센서의 자세에 따라 지역적인 위치차이를 보일 수 있다. Fig. 1은 다른 시기에 취득된 KOMPSAT-2 영상에서 같은 위치에 해당하는 좌표(UTM Zone 52 North, 353614.04E, 4026089.68N)를 선택하였을 때, 이들이 각 영상에서 나타나는 실제 위치는 차이를 보여주고 있다. 이렇게 발생하는 영상 간의 위치차이에 착안하여 본 연구에서는 제한된 탐색영역(search area)에 대하여 SIFT 기반의 정합쌍 추출 방법을 제안하였다.

SIFT 알고리즘은 가우시안 스케일 공간상에서 특징점을 찾는 방법으로, 스케일 변화에 영향이 적은 특징점을 추출할 수 있는 장점이 있다(Lowe, 2004). 값이 다른 가우시안 필터를 적용한 인접한 영상간의 차영상(Difference of Gaussian)을 생성한 후, 각 스케일의 차영상에서 발생하는 극점이 특징점으로 추출된다. 추출된 특징점은 위치(location), 축척(scale), 방향(orientation) 정보를 포함하고 있으며, 이 정보를 이용하여 정규화 영역을 생성한다. 정규화 영역에 대하여 그래디언트 히스토그램을 계산하며, 가장 큰 그래디언트 방향을 기준으로 회전시킨 후 4×4 배열(bins)의 그래디언트 히스토그램을 8방향 성분, 즉 128차원(4×4×8)으로 나누어 SIFT 기술자 벡터로 생성한다. 두 영상에서 추출된 특징점들 간의 128차원의 벡터로 유클리드 거리를 계산하여 가장 가까운 매칭쌍과 두 번째로 가까운 매칭쌍간의 거리의 비가 임계치보다 작은 경우에 최종 매칭쌍으로 선정한다(SIFT 기법에 대한 보다 자세한 설명은 Lowe(2004), Han(2013)의 논문 참고).

SIFT 기법을 고해상도 위성영상에 적용했을 때 발생할 수 있는 가장 큰 문제점은 하나의 영상에서 추출된 특징점의 정합쌍을 찾기 위해 다른 영상의 모든 영역에서 추출된 특징점을 정합쌍 후보로 선정한다는 점이다. 하지만 실질적으로 고해상도 영상 간에 존재하는 지형



Figure 1. Geometric location difference between multi-temporal KOMPSAT-2 images (UTM Zone 52 North, 353614.04E, 4026089.68N)

적 위치의 차이는 제한적이므로, 본 연구에서는 정합쌍을 추출하기 위한 탐색영역을 제한하여 정합쌍을 추출하고자 하였다. Fig. 2는 SIFT 기법과 제한된 탐색영역에 대하여 정합쌍을 추출하는 제안 기법을 비교하여 그림으로 나타내었다. Fig. 2의 (a)는 기준영상에서 추출

된 특징점의 분포를 보여주고 있고, 각 특징점의 좌표를 대상영상에 중첩하여 표시하였을 때, 대응되는 특징점을 기준으로 SIFT 기법과 제안 기법 각각의 탐색영역을 음영으로 표시한 결과가 각각 Fig. 2의 (b)와 (c)와 같다. SIFT 기법의 경우 특징점의 위치에 관계없이 영상 전역에 걸쳐서 대응쌍을 찾는 반면, 제안 기법의 경우 기준영상에서의 특징점 위치좌표에 대응하는 대상영상의 좌표를 중심으로 원형버퍼 안에서만 대응쌍 탐색과정을 진행하게 된다. 즉, 탐색영역을 제한함으로써 정합률(correct-match rate)을 높이고 정합 소요시간을 줄이고자 하였다. 탐색영역에 대한 원형 버퍼의 크기는 추출된 특징점의 축척에 비례하여 선정함으로써 특징점에 따라 적응적(adaptive)으로 크기를 할당할 수 있도록 하였다.

추출된 정합쌍에 대하여 대표적인 모델추정 기법인 RANSAC 기법을 적용하여 오정합쌍 제거하고 어핀 변환모델식을 구성하였다(Fischler and Bolles, 1981). 추출된 정합쌍과 이를 통해 구성된 모델식으로 생성된 기하보정 결과에 대한 평가를 위해 정합률과 상호등록 정확도를 계산하였으며, SIFT 기법으로부터 도출된 결과와 비교평가를 수행하였다.

3. 연구 결과

3.1 실험지역 및 사용 데이터

제안 알고리즘의 평가를 위해 대전지역의 서로 다른 네 장의 KOMPSAT-2 다시기 영상을 이용하였고, 같은 좌표로 추출된 총 세 실험지역을 선정하였다. 실험에 사용된 KOMPSAT-2 영상의 제원은 Table 1과 같다. 첫 번째 실험지역은 기준영상(reference image)으로 2007년 5월 10일에 촬영된 구름이 포함되지 않은

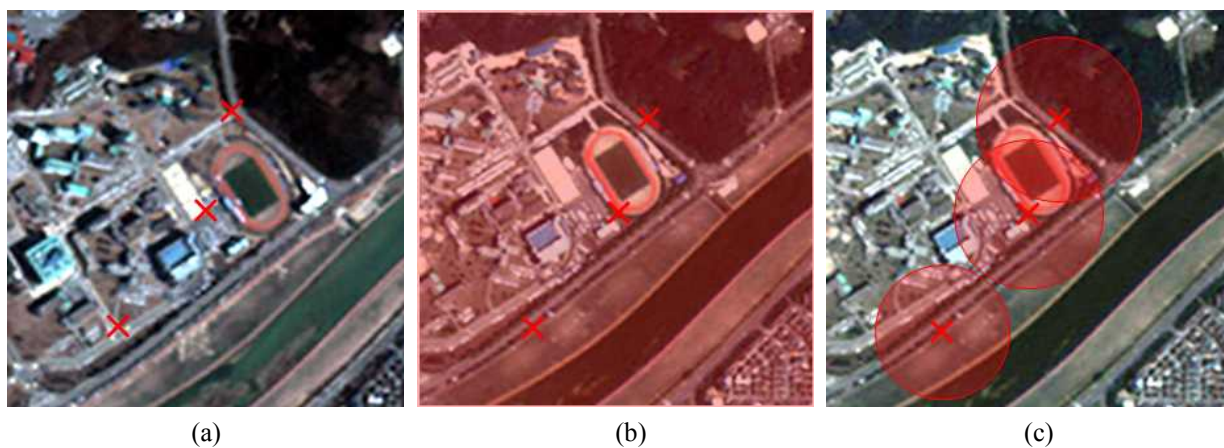


Figure 2. Comparison of search area for each feature of reference image. (a) features of reference image (b) SIFT method (b) proposed method

Table 1. Specification of KOMPSAT-2 Images for the Experiment

Scene ID	Acquisition Date	Cloud Status	Spatial Resolution	Spectral Region
MSC_070510013551_04174_10811272BN28	20070510	A (0%)	Pan : 1m Multi : 4m	Pan : 500-900nm Multi MS1 (Blue) : 450-520nm MS2 (Green) : 520-600nm MS3 (Red) : 630-690nm MS4 (NIR) : 760-900nm
MSC_080913015043_11361_10821272BP19	20080913	B (0~10%)		
MSC_100415012654_19819_10811272BP28	20100415	A (0%)		
MSC_110904011458_27226_10811272BP15	20110904	D (25~75%)		

영상을, 대상영상(target image)으로는 구름등급이 B(10~20%)인 2008년 9월 13일 영상으로 선정하였다. 두 번째 실험지역은 구름이 포함되지 않은 2010년 4월 15일 영상과 구름이 다수 포함된 구름등급 D(25%~

75%)인 2011년 9월 4일 영상으로 선정하였으며, 세 번째 실험지역은 두 영상 모두 구름이 포함된 2008년 9월 13일 영상과 2011년 9월 4일 영상을 이용하여 구성하였다. 구름분포가 다양한 영상을 조합하여 실험지역







	Reference Image	Target Image	Property
Site 1			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reference : 20070510 ✓ Target : 20080913 ✓ Small cloud-covered region in target image
Site 2			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reference : 20100415 ✓ Target : 20110904 ✓ Large cloud-covered region in target image
Site 3			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reference : 20080913 ✓ Target : 20110904 ✓ Small cloud-covered region in reference image ✓ Large cloud-covered region in target image

Figure 3. Property of Study Sites

을 구성함으로써, 구름의 분포가 제안한 상호등록 결과에 미치는 영향을 판단하고자 하였다.

각 실험지역은 구름의 분포뿐만 아니라 두 영상 간의 시기적, 계절적 차이 또한 존재하기 때문에, 특징점을 추출하기엔 적합하지만 상대적으로 계절의 변화에 민감한 NIR 밴드 대신 Red 밴드를 이용하여 정합쌍 추출 과정을 진행하였다. 모든 실험영상의 크기는 1000×1000 화소로 선정하였고, 보다 효과적으로 정합쌍을 추출하기 위해 2% 선형 스트래칭 과정을 거친 후 8비트 영상으로 변환하여 제안 기법을 적용하였다. 각 실험지역과 그에 대한 특성을 정리하여 Fig. 3에 나타내었다.

3.2 실험 결과 및 분석

세 실험지역에 대하여 제안 기법을 통한 정합쌍 추출을 위해, 원형버퍼의 반지름을 KOMPSAT-2 영상의 위치정확도를 고려하여 50화소(200m)로 선정하였고 (Seo et al., 2013), 여기에 추출된 기준영상의 특징점 축척을 곱하여 적용함으로써 특징점에 따라 원형버퍼를 적응적으로 적용시킬 수 있도록 하였다. 특징점 간의 128 차원 방향벡터 유클리드 거리에 대한 임계치를 0.5로, 가장 가까운 벡터거리와 두 번째로 가까운 벡터거리의 비를 0.6으로 일괄적으로 할당하여 실험을 진행하였다. 제안한 기법을 통해 추출된 정합쌍에 대한 비교평가를 위해 동일한 임계치를 적용한 SIFT 기법을 이용하여 정합쌍을 추출, 비교평가 하였다.

우선 두 기법을 통해 추출된 정합쌍이 얼마나 높은 신뢰도를 보이는지 확인하기 위해, 정확한 위치에서 추출된 정합쌍 수를 총 추출된 정합쌍 수로 나눈 정합률을 계산하여 정량적인 평가를 수행하였다. Table 2는 각 실험지역 별로 SIFT 기법과 제안 기법을 통해 추출된 정합쌍 수와 정합률을 계산한 결과이다. 계산 결과를 보면, 제안한 기법을 통해 더욱 많은 정합쌍을 추출할 수 있을 뿐만 아니라 정합률 또한 모든 실험지역에서 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 실험지역 별로 살펴보면, 상대적으로 두 번째 실험지역에서 두 기법 모두 적은 수의 정합쌍을 추출하는 것을 확인하였다. 특히 SIFT 기법에서는 오직 1개의 정합쌍이 제대로 추출되었으며, 이는 변환모델식을 추정할 수 없어 영상 간 상호등록이 불가능함을 의미한다. 제안 기법의 경우 역시 마찬가지로 적은 수의 정합쌍이 추출되었지만 모델식을 추정하는 데는 충분한 수이며, 50% 이상의 정합률(57.89%)을 보이는 것을 볼 때, 모델추정 알고리즘을 적용하여 변환모델식을 추정하는데 문제가 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

추출된 정합쌍을 이용하여 RANSAC 알고리즘을 통

해 어핀변환계수를 추정하여 상호등록을 한 후, 이에 대한 정확도 평가를 수행한 결과는 Table 3과 같다. 구름이 포함된 영상에서 정확한 위치의 정합쌍을 수동으로 추출하기는 어렵기 때문에, 총 추출된 정합쌍의 70%를 이용하여 어핀변환계수를 추정하였고, 나머지 30%를 이용하여 정확도평가를 실시하였다. 관측에서 나타나는 오차를 제공하여 평균한 값의 제공근인 RMSE(Root Mean Square Error)와, 기준이 되는 점의 위치를 원의 중심으로 했을 때 90%의 관측점이 분포할 오차원의 최소 반경을 의미하는 CE90(Circular Error of 90%)을 계산하였다. 대상영상의 일부지역에 구름이 분포된 실험지역 1에서는 제안 기법을 통해 도출된 상호등록 결과가 SIFT 기법보다 향상된 것을 확인할 수 있었다. 대상영상에 다수의 구름이 포함된 실험지역 2에서는 제안 기법을 통해 약 0.91 화소의 RMSE와 1.28 화소의 CE90을 도출한 반면, SIFT 기법을 통해 추출된 참조정합쌍의 수가 적어서 어핀변환계수를 추정할 수 없기 때문에 정확도평가가 불가능하였다. 두 영상 모두 구름이 포함된 실험지역 3에서는 두 기법 모두 만족할 만한 상호등록 정확도를 보였다. SIFT 기법에서 조금 더 좋은 결과를 도출하는 것을 확인하였으나, 이는 상호등록 정확도를 판단하는 RMSE와 CE90 값이 각 기법을 통해 추출되는 정합쌍에 의해 계산되기 때문인 것으로 판단된다. 이는 실험지역 3에 대한 SIFT 기법과 제안 기법을 통해 추출된 정합쌍 분포를 살펴보면 보다 쉽게 확인이 가능하다(Fig. 4). SIFT 기법을 통해 추출된 정합쌍 분포를 살펴보면(Fig. 4. (a)), 정합쌍이 영상 하단에서 집중적으로 추출된 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서 진행한 전체 추출된 정합쌍 중에 일부로 변환식을 구성하고 나머지로 정확도평가를 수행할 경우, 도출된 평가 결과는 추출된 정합쌍에 의존적일 수밖에 없다. 즉, 실험지역 3에서 SIFT 기법을 통해 추출된 정합쌍 분포결과와 같이 밀집된 지역에서 정합쌍이 추출되어 RMSE와 CE90 값이 낮게 나왔다 하더라도, 정합쌍이 추출되지 않은 지역에서 지형적 위치차이가 크게 발생할 수 있다. 반면 제안 기법의 경우 SIFT 기법에 비해 영상 전역에 걸쳐서 고르게 추출되었을 뿐만 아니라 (Fig. 4. (b)), RMSE 값 또한 0.72 화소로 만족할 만한 정확도를 보임을 알 수 있다.

시각적인 평가를 위해, 제안 기법을 통해 최종 상호등록된 결과를 이용하여 모자이크 영상을 생성하여 Fig. 5와 같이 표현하였다. 기준영상과 좌표변환된 대상영상을 반복적인 격자형태로 번갈아가면서 구성하였다. 구름이 분포되지 않은 지역을 위주로 살펴보면, 격자의 가장자리 부분에서 도로나 지형의 형상이 유지되

Table 2. Correct-match Rate of Each Site

	Site 1		Site 2		Site 3	
	SIFT	Proposed	SIFT	Proposed	SIFT	Proposed
Total matches	23	114	4	19	88	172
Correct matches	20	103	1	11	80	159
False matches	3	11	3	8	8	13
Correct-match rate	86.96%	90.35%	25.00%	57.89%	90.91%	92.44%

Table 3. Registration Accuracy of Each Site (unit : pixels)

	Site 1		Site 2		Site 3	
	SIFT	Proposed	SIFT	Proposed	SIFT	Proposed
RMSE	0.99	0.77	-	0.91	0.68	0.72
CE90	1.28	1.18	-	1.28	0.98	1.15

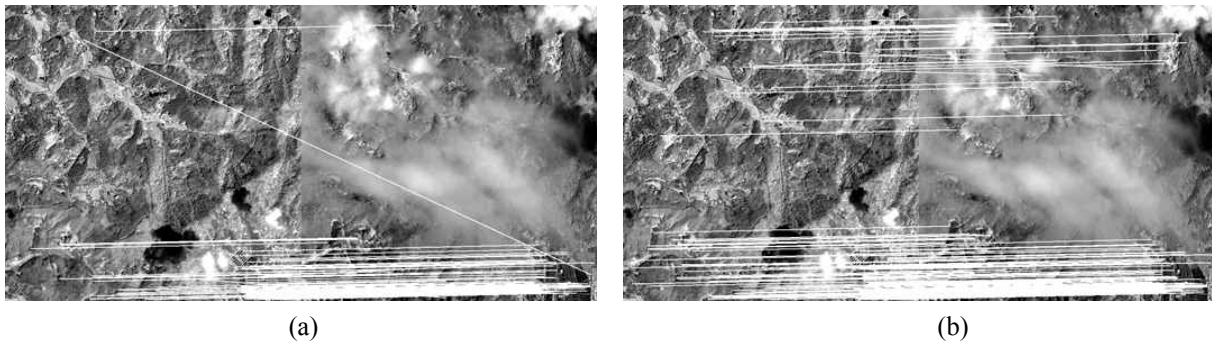


Figure 4. Comparison of Matching Points Extraction on Site 3. (a) SIFT Method (b) Proposed Method

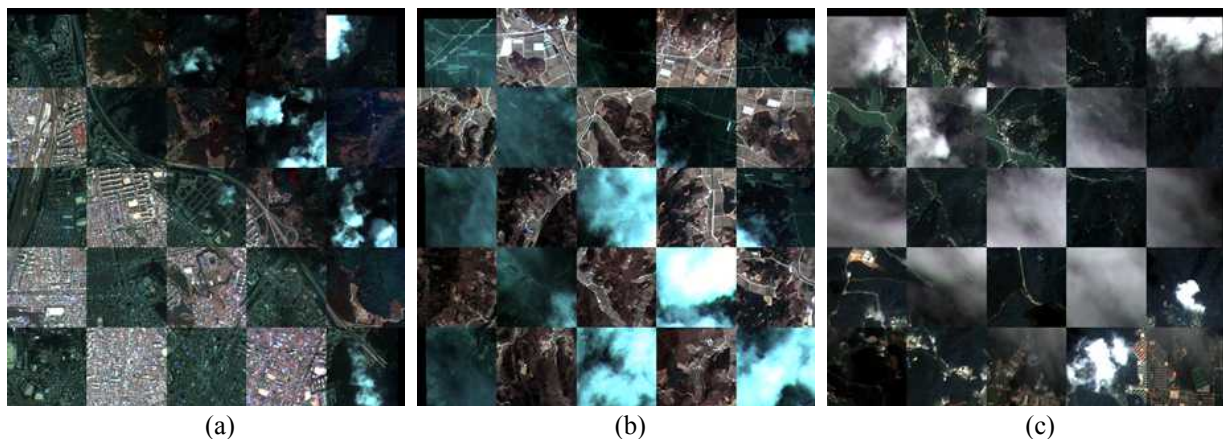


Figure 5. Mosaic Image Generation by Proposed Method. (a) Site 1 (b) Site 2 (c) Site 3

는 것을 볼 때, 구름이 다수 포함된 영상이라 하더라도 제안 기법을 통해 효과적으로 상호 등록이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 구름이 포함된 고해상도 위성영상 간의 상호등록을 위해서, 영상 간의 초기 위치관계를 이

용하여 SIFT 기법 기반의 정합쌍 추출방법을 제안하였다. 구름이 포함된 다시기 KOMPSAT-2 영상을 통해 실험을 적용한 결과, 제안 기법을 통해 모든 실험지역에 대하여 SIFT 기법보다 높은 정합률을 보였으며, 1 화소 이내의 RMSE를 도출하여 결과적으로 만족할만한 상호 등록 정확도를 보였음을 확인하였다. 제안 방법은 SIFT 기법뿐만 아니라 SURF, Harris 추출자 등 다른 특징기반 정합쌍 추출 기법에도 동일하게 적용이 가능하다. 이

는 향후 연구를 통해 수행할 예정이며, 그 외에 더욱 다양한 구름의 형태와 분포 영상에도 추가적으로 실험을 수행할 예정이다. 최종적으로는 고해상도 영상에 존재하는 구름과 그에 대한 그림자를 다시기 영상을 이용하여 효과적으로 추출하는 방법론을 개발하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

References

1. Capel, D. and Zisserman, A., 2003, Computer vision applied to super resolution, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 20, No. 3, pp. 75–86.
2. Choi, H. and Bindschadler, R., 2004, Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91, No. 2, pp. 237–242.
3. Fischler, M. A. and Bolles, R. C., 1981, Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communication of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381–395.
4. Gianinetto, M. and Scaioni, M., 2008, Automated geometric correction of high-resolution pushbroom satellite data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 74, No. 1, pp. 107–116.
5. GeoEye, 2006, IKONOS imagery products and product guide, URL: http://www.geoeye.com/Whitepapers_pdfs/GeoEye_Ikonos_Product_Guide_v17.pdf.
6. Hagolle, O., Huc, M., Pascual, D. V. and Dedieu, G., 2010, A multi-temporal method for cloud detection, applied to FORMOSAT-2, VEN μ S, LANDSAT and SENTINEL-2 images, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, pp. 1747–1755.
7. Han, Y., Byun, Y., Kim, I., 2012, Automatic estimation of geometric translations between high-resolution optical and SAR images, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 3, pp. 41–48.
8. Han, Y., 2013, Automatic image-to-image registration between high-resolution multisensor satellite data in urban areas, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
9. Hong, G. and Zhang, Y., 2008, Wavelet-based image registration technique for high-resolution remote sensing images, *Computers & Geosciences*, Vol. 34, No. 12, pp. 1708–1720.
10. Huang, C., Thomas, N., Goward, S. N., Masek, J. G., Zhu, Z., Townshend, J. R. G. and Vogelmann, J. E., 2010, Automated masking of cloud and cloud shadow for forest change analysis using Landsat images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 20, pp. 5449–5464.
11. Jin, S., Homer, C., Yang, L., Xian, G., Fry, J., Danielson, P. and Townsend, P., 2013, Automated cloud and shadow detection and filling using two-date Landsat imagery in the USA, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No. 5 pp. 1540–1560.
12. Kim, T. and Choi, M., 2009, Image registration of cloudy KOMPSAT-2 imagery using disparity clustering, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 3, pp. 287–294.
13. Lee, W., Yu, S. and Heo, H., 2011, Image registration of cloudy pushbroom scanner images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 1, pp. 9–15.
14. Lowe, D., 2004, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60 No. 2, pp. 91–110.
15. Sedano, F., Kempeneers, P., Strobl, P., Vogt, P., Seebach, L., San-Miguel-Ayanz, L. J., 2012, A cloud mask methodology for high resolution remote sensing data combining information from high and medium resolution optical sensors, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66, pp. 588–596.
16. Seo, D., Park, J., Choi, H., Jung, J., Hong, K. and Lee, S., 2013, Characteristics of location accuracy in KOMPSAT-2, *Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 12, No. 1, pp. 144–151.
17. Tseng, D. C., Tseng, H. T. and Chien, C. L., 2008, Automatic cloud removal from multi-temporal SPOT images, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 205, pp. 584–600.
18. Yu, L., Zhang, D. and Holden, E., 2008, A fast and fully automatic registration approach based on point features for multi-source remote-sensing images, *Computers & Geosciences*, Vol. 34, No. 7, pp. 838–848.