도심지역의 고해상도 위성영상 정합에 대한 그림자 영향 분석 Analysis of Shadow Effect on High Resolution Satellite Image Matching in Urban Area

염준호* · 한유경** · 김용일***

Yeom, Jun Ho · Han, You Kyung · Kim, Yong Il

要 旨

다중 시기에 수집된 고해상도 위성영상은 효과적인 도심지 분석과 모니터링을 위한 필수적인 자료이다. 그러나 같은 지역에 대해 다른 센서에서 수집된 영상은 물론, 동일 센서 영상이라 하더라도 두 영상간의 기하학적 위치정보가 서로 일치하지 않는 문제가 존재한다. 따라서 다중 영상의 효과적인 활용을 위해서는 영상 정합을 위해 매칭 포인트를 추출하는 일이 필수적이다. 그러나 도심지의 경우 건물, 교량, 나무, 기타 인공 구조물 등의 영향으로 넓은 영역에 그림자가 분포하며 그림자의 방향과 강도는 영상 수집 시기에 따라 달라지기 때문에 정확한 매칭 포인트를 추출하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 대표적인 매칭점 추출 기법인 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법과 자동 그림자 추출 기법을 적용하여 도심지역의 그림자가 영상 정합에 미치는 영향을 분석하였다. 영상 분할을 통해 생성된 세그먼트의 분광 및 공간인자를 이용하여 그림자 객체를 추출하였으며 이 때 건물 버퍼 영역을 그림자의 인접정보로서 활용하였다. SIFT 기법을 통해 추출된 매칭점이 그림자에 위치하는 경우 이를 제거하고 영상 정합을 수행하였다. 최종적으로 고해상도 위성영상의 정합에 대한 그림자의 영향을 분석하기 위해 추출된 매칭점과 정합 결과의 정확도를 정량적, 시각적으로 평가하였다.

핵심어 : 영상 정합, 그림자 추출, 그림자 영향, 고해상도 위성영상

Abstract

Multi-temporal high resolution satellite images are essential data for efficient city analysis and monitoring. Yet even when acquired from the same location, identical sensors as well as different sensors, these multi-temporal images have a geometric inconsistency. Matching points between images, therefore, must be extracted to match the images. With images of an urban area, however, it is difficult to extract matching points accurately because buildings, trees, bridges, and other artificial objects cause shadows over a wide area, which have different intensities and directions in multi-temporal images. In this study, we analyze a shadow effect on image matching of high resolution satellite images in urban area using Scale-Invariant Feature Transform(SIFT), the representative matching points extraction method, and automatic shadow extraction method. The shadow segments are extracted using spatial and spectral attributes derived from the image segmentation. Also, we consider information of shadow adjacency with the building edge buffer. SIFT matching points extracted from shadow segments are eliminated from matching point pairs and then image matching is performed. Finally, we evaluate the quality of matching points and image matching results, visually and quantitatively, for the analysis of shadow effect on image matching of high resolution satellite image.

Keywords : Image Matching, Shadow Extraction, Shadow Effect, High Resolution Satellite Image

1. 서 론

다중 시기 위성영상은 넓은 영역의 변화 탐지를 위

한 효과적인 자료이다. 특히, 고해상도 위성영상은 시간소비가 많고 노동 집약적인 현장 조사를 대체하여 도심지의 변화를 주기적으로 모니터링 할 수 있다는 장점

2013년 5월 6일 접수, 2013년 6월 20일 채택

* 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, salt2525@snu.ac.kr)

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

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

이 있다. 그러나 같은 고해상도 센서로부터 동일 지역에 대한 영상을 수집했다 하더라도 영상간의 기하학적인 차이가 존재한다. 이는 위성 운동에 따른 미세한 궤도 변화와 시야각 변화에 기인한다.

따라서 다중 시기 영상을 제대로 활용하기 위해서는 기존 영상의 좌표계로 다른 영상을 통합하는 영상 정합(image matching) 전처리가 필수적이다. 영상 정합이란 두 개 혹은 그 이상의 영상을 중첩시켰을 때 기하학적인 위치가 동일하도록 처리하는 과정이다(Zitová and Flusser, 2003). 영상 정합은 공역점 또는 매칭점이라 불리는 특징점 추출을 통해 이루어지는데 Lowe(2004)에 의해 소개된 SIFT 기법은 현재 대표적인 매칭점 추출 기법으로 많이 이용되고 있으며, 보다 정확한 영상 정합 결과를 얻기 위해 SIFT 기법을 개선하고 보완하는 연구가 다양하게 진행되고 있다(El Rube et al., 2009; Han et al., 2012).

그러나 도심지의 경우 많은 인공 구조물들이 존재하기 때문에 넓은 영역에 걸쳐 그림자가 분포하는 문제가 있으며, 다른 계절이나 시기에 수집된 다중 시기 위성 영상에서 그림자의 방향과 강도 특성이 서로 다르다는 문제점 또한 존재한다(Yeom and Kim, 2012). 그림자는 색조와 형상정보를 왜곡하여 개체 정보를 손실시키기 때문에 영상 정합을 위한 매칭점 추출 결과의 정확도를 저하시키는 원인이 된다(Tsai, 2006). 다중 영상에서 서로 대응되는 점이나 선과 같은 공역 요소들은 그림자에 의해 하나나 그 이상의 요소들로 분해되기도 하며 약한 강도를 갖는 점이나 선은 다중 시기 영상 중 한 영상에서만 공역 요소로 추출되기도 한다(Zhang and Gruen, 2006). 이러한 이유로 많은 연구들이 다중 영상 매칭을 수행할 때 발생하는 그림자 문제에 대해 언급하고 있다(d'Angelo et al., 2008; Li et al., 2004; Mamassian, 2004).

이에 본 연구에서는 도심지 고해상도 위성영상의 정합에 그림자가 미치는 영향을 분석하기 위해 Yeom et al.(2012)이 제안한 도심지 자동 그림자 탐지 기법을 적용하였다. 객체 기반 영상 분할과 규칙 기반 그림자 추출을 통해 온전한 경계의 그림자를 추출한 후, SIFT 기법을 통해 추출된 매칭점들 중 다중 시기 영상에서 그림자에 위치한 매칭점들을 제거하여 영상 정합을 수행하였다. 최종적으로 그림자가 영상 정합에 미치는 영향을 분석하기 위해 추출된 매칭점에 대한 정확도를 그림자 매칭점 제거 전후에 따라 시각적, 정량적으로 평가하였으며 각각의 매칭점을 통해 영상 정합을 수행한 결과 또한 비교 분석하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 전체적인 흐름은 Fig. 1과 같다. 그림자 추출을 위해 영상 분할 기법을 이용하였으며 영상 분할 결과는 축척과 병합 두 인자에 의해 결정된다. 축척인자는 객체의 크기를, 병합인자는 1차분할 후 인접 객체간의 병합 수준을 결정하게 된다. 또한 그림자에 대한 인접 정보로서 건물 버퍼 영역인 건물 에지 버퍼 영역을 생성하여 규칙 기반 그림자 추출에 이용하였다. 건물 에지 버퍼는 케니(Canny) 에지 연산자에 의해 추출된 에지에 팽창(dilation) 필터를 적용하여 생성하였다. 일반적으로 그림자 객체는 균질하고 어두운 색 특성으로 인해 다른 객체에 비해 상대적으로 큰 사이즈와 낮은 밝기값을 갖게 된다. 이와 같은 그림자의 분광, 형상 정보와 건물 에지 버퍼와의 교차 여부를 바탕으로 규칙 기반 그림자 추출을 수행하였다.

한편, SIFT 기법을 이용해 다중 시기 영상 쌍에서 매칭점을 추출하였다. 추출된 매칭점 중 그림자 객체에 포함되는 매칭점을 제거함으로써 보다 정확한 영상 정합이 이루어지도록 하였으며 이를 통해 고해상도 위성 영상의 정합에 대한 그림자의 영향을 알아보고자 하였다. 그림자 매칭점 제거 전과 후에 대한 추출 정확도는 시각적 판독을 바탕으로 정량적으로 평가 되었다. 또한 그림자 영역 내 매칭점의 제거 전후와 올바르게 추출된 매칭점만을 이용한 경우에 대하여 영상 정합을 수행하고 결과에 대한 교차상관분석, 평균제곱근오차(RMSE) 분석을 수행하여 정량적, 시각적 평가를 진행하였다.

2.1 그림자 추출

그림자 추출을 위해 도심지의 다양한 토지 이용 요소에 대하여 온전한 경계의 그림자 객체를 높은 정확도로 추출한 Yeom et al.(2012)의 기법을 이용하였다. 수계와 도로와 같이 그림자와 분광적, 형태적 특징이 유사

Figure 1. Flow chart

Table 1. Parameters of segmentation and building edge buffer

Type	Parameter	Value
Segmentation	Scale	20
	Merge	80
Building Edge Buffer	Canny threshold 1	0.2
	Canny threshold 2	0.4
	Gaussian standard deviation	2
	Dilation filter size	40

한 개체가 그림자로 잘못 추출되지 않도록 건물 영역의 인접 정보인 건물 에지 버퍼를 이용하여 그림자를 추출할 필요가 있기 때문이다.

영상 분할은 ENVI 4.5 프로그램의 feature extraction 모듈을 이용하였으며 해당 모듈은 축척인자와 병합인자를 이용한다. 축척인자가 클수록 1차 분할 객체의 크기가 커지며 1차 분할 객체 중 분광적으로 유사한 객체를 병합인자에 의해 병합하게 된다. 축척인자와 병합인자는 0에서 100의 값을 지니는데, 상대적으로 낮은 축척 인자와 높은 병합 인자를 이용할 경우 균질한 분광 특성을 갖는 그림자의 경계를 잘 기술할 수 있다. 한편, 그림자 후보 지역인 건물 에지 버퍼를 생성하기 위해 각각의 영상에 케니 에지 검출기를 적용한 후 팽창 필터를 적용하였다. 영상 분할과 건물 에지 버퍼 생성에 사용된 파라미터 값은 Table 1과 같다.

일반적으로 영상 분할 결과에서 그림자 객체는 큰 크기와 낮은 밝기값을 가지며 건물에 인접하는 특성을 지닌다. 따라서 이러한 특성을 바탕으로 분할 객체 중 건물 에지 버퍼와 인접하며 객체의 크기의 표준화 점수(Z-statistics)가 1 초과, 객체 밝기값의 표준화 점수가 -1 미만인 객체를 그림자로 추출하였다.

2.2 SIFT 매칭점 추출 및 영상 정합

Lowe(2004)에 의해 개발된 SIFT 알고리즘은 가우시안 스케일 공간상에서 특징점을 찾아서 주변화소를 이용하여 서술벡터를 생성하고 매칭점을 찾는 기법으로, 스케일 변화에 영향이 적도록 매칭점을 추출할 수 있는 장점이 있다. SIFT 기법은 특징점 추출, 주방향 할당, 특징점 서술 및 정합의 세 단계로 구성된다. σ 값이 다른 가우시안 필터를 적용한 인접한 영상 간의 가우시안 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, 128차원의 SIFT 기술자 벡터를 생성한다. 기준영상과 대상영상에서 추출된 특징점들 간의 128차원의 벡터로 유클리드 거리를 계산하여 가장 가까운 매칭점과 두 번째로 가까운 매칭점간의 거리의 비가 임계치보다 작은 경우에 최종 매칭점으로 선정한다.

영상 정합을 위한 변환모델로는 어핀변환을 이용하였다. SIFT 기법을 통해 추출된 매칭점을 이용하여 두 영상 간의 위치관계 모델을 구성하였다. 어핀변환은 x, y축에 대한 축척(scale), 비직교성(nonorthogonality), 회전(rotation), 그리고 대칭이동(translation)으로 매칭점 간의 관계를 설명한다. 매칭점으로부터 추정된 어핀 변환계수를 이용하여 QuickBird-2 2002년도 영상을 2006년도 영상의 좌표체계로 변환하였다.

2.3 그림자 영향 평가

다시기 영상에 SIFT 기법을 적용하여 추출된 매칭점들의 정확도를 평가하였다. 추출된 모든 점들에 대해 영상 판독을 수행하여 올바른 매칭점인지 판단하였다. 마찬가지로 다시기 영상의 그림자에 위치한 매칭점을 제거한 경우도 정확도를 평가하였으며 두 결과의 비교를 통해 그림자가 매칭점 추출에 미치는 영향을 분석하였다. 나아가 해당 매칭점을 영상 정합에 이용한 경우 정합된 영상의 시각적 일치 여부와 교차 상관성, 참조 공액점의 기하학적 위치오차를 비교 분석하였다.

3. 연구 결과

3.1 사용 데이터

0.61m의 공간해상도를 갖는 Quickbird-2 고해상도 위성의 전정색(panchromatic) 영상을 이용하여 실험을 진행하였으며 2002년 12월 31일과 2006년 10월 28일에 수집된 다중 시기 영상을 이용하였다. 실험 대상 지역은 대전시로서 높은 아파트 단지와 상업용 건물들을 다수 포함하여 넓은 영역에 그림자가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 2002년과 2006년 영상에서 그림자의 방향이나 크기가 다르게 나타난다(Fig. 2).

3.2 그림자 추출 결과

영상 분할을 이용하지 않고 화소 기반으로 그림자를 추출할 경우 온전한 경계를 지니는 그림자가 추출되는 것이 아니라 개별화소가 추출되어 잡음과 유사한 형태

Figure 2. Study site: (a) 2002, (b) 2006

Figure 4. Building edge buffer: (a) 2002, (b) 2006

Figure 3. Segmentation results: (a) 2002, (b) 2006

Figure 5. Shadow extraction results: (a) 2002, (b) 2006

를 갖게 된다. 영상 분할 결과를 살펴보면 건물과 달리 상대적으로 균질한 나지, 초지, 도로와 같은 토지 피복의 경계가 잘 기술된 것을 알 수 있으며 특히, 그림자의 경계를 기준으로 영상이 잘 분할된 것을 알 수 있다 (Fig. 3).

분할 객체의 건물 인접성을 판단하여 그림자를 추출하기 위해 Fig. 4의 건물 에지 버퍼를 이용하였다. 건물 에지 버퍼는 대부분 그림자와 인접한 건물 영역을 효과적으로 포함하고 있으나 2006년 영상에서는 일부 자동차들의 에지가 추출되어 버퍼 영역이 잘못 생성된 것을 알 수 있다.

분할 객체의 건물 인접성, 크기와 밝기값의 표준화 점수를 이용하여 그림자를 추출하였으며 결과는 Fig. 5와 같다. 전체적으로 아파트와 상업용 건물의 그림자가 다시기 영상에서 잘 추출된 것을 알 수 있으나 그림자와 유사한 낮은 밝기값을 갖는 도로가 자동차에서 생성된 건물 에지 버퍼와 중첩되어 일부분 그림자로 잘못 추출되기도 하였다. 또한 횡단보도, 도로 지시선, 나지

와 같이 높은 밝기값을 갖는 피복에 놓인 그림자 중 일부가 그림자로 추출되지 않았다.

3.3 SIFT 매칭점 추출 및 영상 정합 결과

SIFT 기법을 통해 매칭쌍을 추출하기 위한 임계치로, 가장 가까운 매칭점과 두 번째로 가까운 매칭점간의 거리의 비를 0.7로 설정하였다. 다시기 영상에서 SIFT 기법을 통해 매칭점을 추출한 결과와 그림자에 위치한 매칭점을 제거한 결과가 Fig. 6과 같다. 다시기 영상 쌍에서 추출된 매칭점들을 2006년 영상에 중첩하여 나타냈으며 영상 비교 판독을 통해 바르게 매칭된 점은 파란색, 잘못 매칭된 점은 붉은색으로 표시하였다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 그림자에서 추출된 대부분의 매칭점이 그림자의 경계 부분이나 주차장내 자동차에서 잘못 추출된 것을 알 수 있다. 매칭점에 대한 정확도 비교 평가는 Table 2와 같다. 전체 매칭쌍 중 35개의 매칭쌍이 그림자 내에 존재하며 이 중 23개의 매칭쌍은 부정확한 매칭쌍으로 나타났다.

Figure 6. SIFT matching point in 2006: (a) original, (b) shadow point removal

Table 2. Comparison of SIFT matching points

	Original	Shadow point removal
Total matches	107	72
True matches	59	47
False matches	48	25
Correct match rate (%)	55.14	65.28

SIFT 기법을 통해 추출된 원 매칭점과 그 중에서 정확한 매칭점만을 이용하여 정합을 수행한 경우, 그림자 지역의 매칭점을 제거한 경우에 대하여 2002년과 2006년 영상 간의 어떤 변환 계수를 구하고 영상 정합을 수행하였다(Fig. 7). 2006년 영상을 기준영상으로 두고 영상 정합을 수행한 결과 추출된 매칭점을 전부 이용하였을 때 영상에 심한 왜곡이 발생하였다. 이와 반대로 정확한 매칭점만을 이용한 경우와 그림자에 위치한 매칭점을 제거한 경우 시각적으로 우수한 정합 결과를 보였다. 정량적인 분석을 위해 기준 영상인 2006년 영상과 정합된 2002년 영상을 이용하여 교차상관분석, 체크 포인트를 이용한 평균제곱근오차 분석을 수행하였다(Table 3). 체크 포인트로서 교차로, 도로 지시선, 횡단보도와 같이 식별성이 높고 기복이 없는 지점을 대상으로 해당 시기의 항공사진과 위성영상 판독을 통해 12개의 점을 취득하였다.

교차상관분석결과 그림자 매칭점을 제거하지 않은 경우에는 두 영상간의 상관성이 거의 없는 것으로 나타났으며, 제거한 경우에는 0.2의 상관관계, 정확한 매칭점만을 이용한 경우에는 0.5의 상관관계를 보였다. 체크 포인트를 이용한 평균제곱근오차는 SIFT 매칭점을 그대로 이용한 경우 178 화소로 매우 높게 나타났으며,

Figure 7. Affine transformation results of 2002: (a) original, (b) true match, (c) shadow point removal

Table 3. Comparison of image matching

	Original	True match	Shadow point removal
Cross correlation	0.05	0.58	0.21
RMSE (pixels)	178.81	8.33	35.23

그림자 매칭점을 제거한 경우 35 화소, 정확한 매칭점만을 이용한 정합 결과는 8 화소로 크게 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림자 매칭점 제거 이후에도 평균제곱근 오차가 다소 높게 나타난 이유는 대상지역의 경우 고층 아파트와 상업용 건물이 밀집되어 있어 두 영상의 그림자 방향이나 크기가 다르며 건물 기복의 방향도 다르기 때문이다. 따라서 위치가 크게 다른 오매칭점이 포함되어 있을 경우 영상 정합의 질이 낮아진다. 매칭점 하나 하나를 일일이 판독하여 정확한 매칭점만을 바탕으로 영상 정합을 수행하였다 하더라도 건물 지붕에서 추출된 매칭점이 지나는 영상 간 기복 차이로 인해 적어도 8 화소의 위치 오차를 지니는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

다시기 영상에서 그림자는 다른 방향과 크기로 존재하며 색조와 형상 정보를 왜곡하고 개체 정보를 손실시킨다. 이로 인해 고층 건물이 밀집한 도시지역의 경우 매칭점 추출 결과의 정확도가 낮아지는 문제점이 발생한다. 본 연구에서는 도시지역에 대해 그림자가 영상 정합에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 규칙 기반 그림자 추출과 SIFT 매칭점 추출 기법을 적용하였으며 추출된 매칭점에 대한 정확도를 그림자 매칭점 제

거 전후에 따라 시각적, 정량적으로 평가하였다. 평가 결과, 그림자 매칭점 제거에 의해 매칭점의 정확도가 10% 가량 높아지는 것을 확인하였으며 영상 정합 결과 또한 다시기 영상의 상관성이 증가하고 평균제곱근오차가 100 화소이상 크게 감소하는 것을 확인하였다. 고층건물이 밀집한 도심지역에 대해 보다 정확한 영상 정합을 위해서는 그림자에 대한 충분한 고려를 바탕으로 오매칭점을 효과적으로 제거하는 과정이 필요할 것으로 생각되며 이에 대한 연구를 향후 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. d'Angelo, P., Lehner, M., Krauss, T., Hoja, D. and Reinartz, P., 2008, Towards automated DEM generation from high resolution stereo satellite images, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 1137-1342.
2. El Rube, I. A., Sharks, M. A. and Salem, A. R., 2009, Image registration based on multi-scale SIFT for remote sensing images, The 3rd International Conference on Signal Processing and Communication Systems, Omaha, Nebraska, USA, 28-30 September, pp. 1-5.
3. 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 & Remote Sensing, ASPRS, Vol. 78, No. 3, pp. 211-221.
4. Li, Y., Sasagawa, T. and Gong, P., 2004, A system of the shadow detection and shadow removal for high resolution city aerial photo, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 35, pp. 802-807.
5. Lowe, D. G., 2004, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol. 66, No. 2, pp. 91-110.
6. Mamassian, P., 2004, Impossible shadows and the shadow correspondence problem, perception, Vol. 33, pp. 1279-1290.
7. Tsai, V. J. D., 2006, A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Vol. 44, No. 6, pp. 1661-1671.
8. Yeom, J. H., Chang, A. J., Kim, Y. I., 2012, Shadow extraction of urban area using building edge buffer in Quickbird image, Korean Journal of Geomatics, KSGPC, Vol. 30, No. 2, pp. 163-171.
9. Yeom, J. H., Kim, Y. I., 2012, Selective histogram matching of multi-temporal high resolution satellite images considering shadow effects in urban area, Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System, KOGSIS, Vol. 20, No. 2, pp. 47-54.
10. Zhang, L. and Gruen, A., 2006, Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, ISPRS, Vol. 60, No. 3, pp. 195-211.
11. Zitová, B. and Flusser, J., 2003, Image registration methods: a survey, Image and Vision Computing, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1000.