

# 지역적 매칭쌍 특성에 기반한 고해상도영상의 자동기하보정 Automatic Registration of High Resolution Satellite Images using Local Properties of Tie Points

한유경<sup>1)</sup> · 변영기<sup>2)</sup> · 최재완<sup>3)</sup> · 한동엽<sup>4)</sup> · 김용일<sup>5)</sup>

Han, You Kyung · Byun, Young Gi · Choi, Jae Wan · Han, Dong Yeob · Kim, Yong Il

## Abstract

In this paper, we propose the automatic image-to-image registration of high resolution satellite images using local properties of tie points to improve the registration accuracy. A spatial distance between interest points of reference and sensed images extracted by Scale Invariant Feature Transform(SIFT) is additionally used to extract tie points. Coefficients of affine transform between images are extracted by invariant descriptor based matching, and interest points of sensed image are transformed to the reference coordinate system using these coefficients. The spatial distance between interest points of sensed image which have been transformed to the reference coordinates and interest points of reference image is calculated for secondary matching. The piecewise linear function is applied to the matched tie points for automatic registration of high resolution images. The proposed method can extract spatially well-distributed tie points compared with SIFT based method.

Keywords : High Resolution Image, Piecewise Linear Function, Scale Invariant Feature Transform, Spatial Distance, Tie Points

## 초 록

본 논문은 Scale Invariant Feature Transform(SIFT) 기술자를 이용한 매칭 방법을 개선하여 고해상도영상에서 보다 많은 매칭쌍(tie points)을 추출함으로써 고해상도영상 자동기하보정의 결과향상을 목적으로 한다. 이를 위해 기준(reference)영상과 대상(sensed)영상의 특징점(interest points)간의 위치관계를 추가적으로 이용하여 매칭쌍을 추출하였다. SIFT 기술자를 이용하여 어핀(affine)변환계수를 추정한 후, 이를 통해 대상영상의 특징점 좌표를 기준영상 좌표체계로 변환하였다. 변환된 대상영상의 특징점과 기준영상의 특징점간의 공간거리(spatial distance)정보를 이용하여 최종적으로 매칭쌍을 추출하였다. 추출된 매칭쌍으로 piecewise linear function을 구성하여 고해상도 영상간 자동기하보정을 수행하였다. 제안한 기법을 통하여, 기존 SIFT 기법에 의해 추출한 결과에 비해 영상 전역에 걸쳐 고르게 분포된 다수의 매칭쌍을 추출할 수 있었다.

핵심어 : 고해상도영상, Piecewise Linear Function, Scale Invariant Feature Transform, 공간거리, 매칭쌍

## 1. 서 론

최근 구글(Google Earth), 마이크로소프트(Microsoft Virtual Earth), 다음(Daum Sky View) 등을 선두로 국내외

대형 Web 서비스업체에서 고해상도 위성영상 및 항공사진을 기반으로 한 영상지도도를 제작하고, 이를 바탕으로 다양한 위치기반 정보를 통합하여 인터넷 이용자에게 제공하고 있다. 이러한 공간자료와 통합된 영상 지도는

1) 학생회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부(E-mail: han602@snu.ac.kr)  
2) 학생회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부(E-mail: kko071@snu.ac.kr)  
3) 학생회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부(E-mail: choijw11@snu.ac.kr)  
4) 정회원 · 전남대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(E-mail: hozilla@chonnam.ac.kr)  
5) 교신저자 · 정회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부 교수(E-mail: yik@snu.ac.kr)

사용자의 위치와 특정 공간에 대응하여 다양한 정보들을 실시간으로 검색, 분석할 수 있다는 점에서 높은 잠재력을 갖고 있는 미래 IT 성장산업 중에 하나로 평가받고 있다. 이러한 추세에 따라, 고해상도 위성영상 기반의 공간정보 생성 기술 자동화를 통한 영상 지도 구축 알고리즘의 개발과 이를 이용한 공간 속성정보를 추출하는 연구가 이루어지고 있지만, 위성센서의 발전 속도에 비해 해당 영상을 효과적으로 처리할 수 있는 알고리즘의 발전은 미진한 상태이다.

특히, 영상간의 좌표체계를 하나로 통일 시키는 기하보정의 경우 대부분이 수동으로 이루어지고 있는 실정이며 이것은 많은 인력 및 시간비용을 소모하는 단점을 가지고 있다(Zitová 등, 2003). 최근 들어, 영상간의 기하보정을 자동화하는 연구가 수행되고 있지만 중·저해상도의 특정 센서에만 국한된 알고리즘이거나 사용자의 개입이 요구되는 반자동 알고리즘이 대부분이다. 따라서 센서의 종류나 영상취득 시기, 취득한 영상 내의 지형적인 특성이 정확도에 영향을 미치지 않는 효과적인 자동기하보정기법의 필요성이 대두되고 있다. Rignot 등(1991)은 일찍이 자동기하보정의 중요성을 자각하고, 이를 위해 필요한 조건 및 실제 처리방법을 제안하였다. Habib 등(2005)은 영역기반정합보다 우수한 형상기반정합 알고리즘을 제안하였으나, 형상기반정합의 경우 충분한 지상기준점의 수가 확보되지 않으면 주관적인 결과를 얻을 수 있고 추출된 형상들이 영상 전반에 걸쳐서 분포하지 않을 수 있다는 단점이 제기되었다(Chen 등, 2003). Kim 등(2003)은 영역기반정합과 과대오차검출 및 제거법을 포함한 알고리즘을 제안하였으며, 한동엽 등(2006)은 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법을 이용하여 중·저해상도 위성영상간 자동기하보정에 관한 연구를 실시하였다. 하지만 이러한 연구들은 임의의 조건에서 기존의 알고리즘이 가지고 있던 여러 문제를 해결하는 수준에 그침에 따라 일반화된 해결책을 제시하지 못했으며, 자동화 과정 중 긴 처리시간이 소요되는 문제가 있다. 뿐만 아니라 대부분의 연구가 중·저해상도의 센서에 그치고 있으며, 이러한 기법들을 분광적 복잡도(spectral heterogeneity)가 큰 고해상도 영상에 그대로 적용하기에는 무리가 있다.

고해상도 영상의 자동기하보정과 관련하여, 고해상도 영상에 특화된 특징점(interest points) 추출 알고리즘을 제안하거나 방법론을 제시하는 다양한 연구가 진행되고 있다(Hong 등, 2008; Xiong 등, 2009; Yu 등, 2008). 고해

상도 영상 내에 존재하는 지역적인 왜곡(local distortion)이나 기복변위(relief displacement)에 의해 영상 내에 존재하는 지역적 특성에 따라 각기 다른 변환식이나 변환계수를 사용하는 non-rigid 기반의 지역적 변환식(local mapping function)을 비교 평가하는 연구 또한 수행되었다(Arévalo 등, 2008; Zagorchev 등, 2006). 하지만 이러한 지역적인 변환식을 적용하기 위해서는 영상 간 존재하는 매칭쌍(tie points)이 영상 전역에 걸쳐서 고르게 다수 분포하여야 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있다(Hong 등, 2008).

이에 본 연구에서는 SIFT 기술자를 이용한 매칭 방법을 개선하여 고해상도영상에서 보다 많은 매칭쌍을 추출하는 것을 목적으로 한다. SIFT 기술자를 이용하여 어핀(affine)변환계수를 추정한 후, 이를 이용하여 대상(sensed)영상의 특징점 좌표를 기준(reference)영상 좌표체계로 변환하였다. 변환된 대상영상의 특징점과 기준영상의 특징점간의 공간거리(spatial distance)정보를 추가적으로 이용하여 최종적으로 매칭쌍을 추출하였다. 실험 결과, 기존의 SIFT 기법을 이용한 방법에 비해 영상 전반에 걸쳐서 많은 수의 매칭쌍을 추출하였으며, 정합률 또한 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이렇게 추출된 매칭쌍을 이용하여 최종적으로 non-rigid 기반의 piecewise linear function을 통해 고해상도영상의 기하보정 결과 향상을 이루고자하였다.

## 2. 연구방법

본 연구의 흐름도는 그림 1과 같다. 우선, 기준영상과 대상영상에 대해서 SIFT 알고리즘을 이용하여 특징점을 추출한 후, 불변기술자(invariant descriptor)로 특징점간 매칭을 수행한다. 각 특징점을 128방향으로 서술한 기술벡터간의 유클리디안 거리를 구하여, 가장 가까운 매칭쌍과 두 번째로 가까운 매칭쌍의 거리비를 이용하여 매칭후보쌍으로 선정한다. 매칭후보쌍 중에서 잘못 매칭되었다고 판단되는 매칭쌍을 제거한 나머지를 이용하여 두 영상 간 어핀변환계수를 구한다. 어핀변환계수를 통해 대상영상의 특징점을 기준영상의 좌표체계 기반으로 변환한 후, 변환된 대상영상의 특징점 좌표가 기준영상의 특징점을 기준으로 특정 거리 내에 존재하는 대상영상의 특징점만을 2차 매칭을 위한 특징점으로 선정한다. 특징점간의 방향벡터거리와 공간거리를 결합한 유클리디안 거리를 통해 최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하

여 *piecewise linear function*을 적용하여 기하보정을 수행한다. 연구의 세부적인 방법은 다음의 절을 통해 설명하고자 한다.

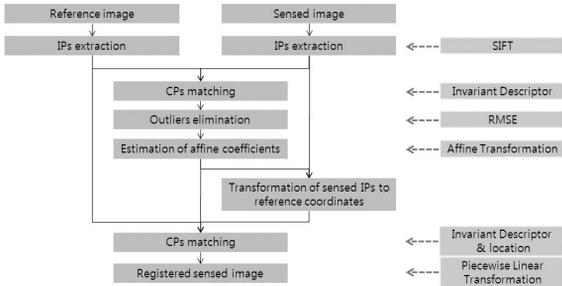
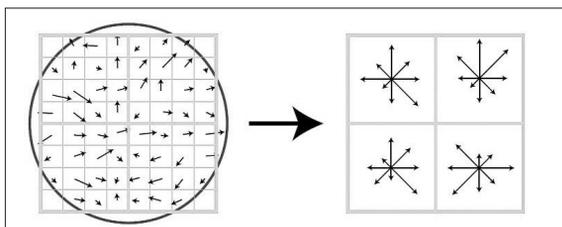


그림 1. 연구흐름도

### 2.1 SIFT 기법을 이용한 어핀변환계수 추정

SIFT 알고리즘은 가우시안 스케일 공간상에서 특징점을 찾는 방법으로, 스케일 변화에 영향이 적은 특징점을 추출할 수 있는 장점이 있다(Lowe, 2004).  $\sigma$ 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(그림 2(a)), 가장 큰 그래디언트 방향이 위로 향하도록 회전시킨 후 그림 2의 (b)와 같이  $4 \times 4$  배열(bins)의 그래디언트 히스토그램을 8방향 성분, 즉 128차원( $4 \times 4 \times 8$ )으로 나누어 SIFT 기술자 벡터로 생성한다. (그림 2의 그래디언트 히스토그램은  $2 \times 2$  배열로 표현하였으나 실제 사용되는 정규화 영역은  $16 \times 16$  화소이며, 추출되는 그래디언트 히스토그램 크기는  $4 \times 4$  배열이 된다.) 기준영상과 대상영상에서 추출된 특징점들



(a) 영상 기울기 (b) SIFT 기술자

그림 2. SIFT 기술자(Lowe, 2004)

간의 128차원의 벡터로 유클리디안 거리를 계산하여 가장 가까운 매칭쌍과 두 번째로 가까운 매칭쌍간의 거리의 비가 임계치보다 작은 경우에 최종 매칭쌍으로 선정한다.

본 연구에서는 SIFT 기법을 통해 추출된 매칭쌍을 이용하여 두 영상간의 관계를 어핀변환으로 표현하였다. 어핀변환은  $x, y$ 축에 대한 스케일, 비직교성(nonorthogonality), 회전, 그리고 대칭이동으로 매칭쌍간의 관계를 표현하며, 그 식은 다음과 같다(식 (1)).

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1x + a_2y \\ Y &= b_0 + b_1x + b_2y \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x, y$ 는 기준영상의 매칭쌍 좌표이고  $X, Y$ 는 그에 대응하는 대상영상의 매칭쌍 좌표를 의미하며,  $a_0, a_1, \dots, b_2$ 는 독립적인 어핀변환계수를 나타낸다. 6개의 어핀변환계수를 구하기 위해서는 최소 3개의 매칭쌍이 존재하여야 하며, 그 이상이 존재할 경우 최소제곱법(least square method)을 통해서 어핀변환계수를 추정할 수 있다.

SIFT 기법으로 추출된 매칭쌍의 경우 오매칭쌍(outliers)이 존재할 수 있으므로 이를 제거하는 과정이 추가적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 최소제곱법을 이용하여 구한 어핀변환계수를 매칭된 대상영상의 모든 특징점에 적용하여, 이에 대응하는 기준영상의 특징점과의 거리차를 판단하는 RMSE(root mean square error)를 계산하였다. 가장 큰 RMSE를 갖는 매칭쌍을 오매칭쌍으로 판단하여 제거한 후 나머지 매칭쌍으로 다시 어핀변환계수를 갱신하는 과정을 반복하여, 모든 매칭쌍의 RMSE가 특정 임계치보다 낮을 때의 변환계수를 최종 어핀변환계수로 추정하였다.

### 2.2 원형버퍼와 공간거리를 이용한 2차 매칭쌍 추출

앞서 추정된 어핀변환계수를 이용하여 대상영상의 모든 특징점의 좌표를 기준영상의 좌표로 변환할 수 있다. 이를 통해 두 영상에서 추출한 특징점간의 공간거리를 구할 수 있고, 본 연구에서는 이 거리정보를 128차원의 방향 벡터간 유클리디안거리와 통합하여 2차 매칭쌍을 추출하는 방법을 제안하였다.

우선, 2차 매칭을 위한 후보점을 선정하기 위하여 기준영상의 특징점을 기준으로 일정 거리의 버퍼를 지정

하여 버퍼 내에 존재하는 대상영상의 특징점만을 매칭 고려대상으로 하였다. 이러한 과정을 통해서 보다 많은 수의 매칭쌍을 영상 전역에 걸쳐서 추출함과 동시에, 기존에 추출했던 특징점을 그대로 사용함으로써 시간비용을 줄이고자 하였다. 그림 3은 가운데 기준영상의 특징점을 기준으로 원형의 버퍼 영역(buffer zone) 내에 존재하는 대상영상의 특징점만을 2차 매칭을 위한 후보점으로 제한한 것을 보여준다.

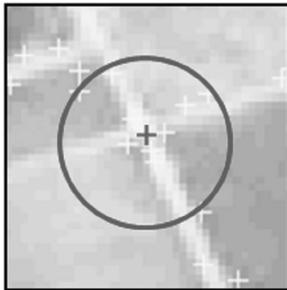


그림 3. 2차 매칭을 위한 원형버퍼 설정

기준영상의 한 특징점을  $i$ 라고 하고, 이 기준점에서 원형버퍼 내에 존재하는 대상영상의 한 특징점을  $j$ 라고 할 때, 두 특징점을 매칭하기 위한 거리  $D(i,j)$ 를 구하는 식을 다음과 같이 고안하였다(식 (2)).

$$D(i, j) = ED(i, j)(1 + ND(i, j)) \quad (2)$$

여기서  $ED(i,j)$ 는 두 특징점의 128 방향벡터에 대한 유클리디안 거리를 뜻하며  $ND(i,j)$ 는 대상영상의 특징점  $j$ 를 기준영상의 좌표체계로 변환했을 때 두 특징점간의 공간거리를  $[0,1]$ 로 정규화시킨 값을 의미한다. 최종적으로  $D(i,j)$ 가 미리 지정한 임계치보다 작은 경우에 최종 매칭쌍으로 선정하였다. 두 특징점의 위치가 완전히 일치했을 경우  $ND(i,j)$ 의 값이 0이 되어 단순히 128방향벡터간의 유클리디안 거리만을 매칭 거리로 판단하게 되며, 두 특징점간의 거리가 멀어질수록 방향벡터거리에 높은 가중치가 부여되어 결과적으로 매칭쌍으로 선정될 확률이 줄어들게 된다.

### 2.3 Piecewise linear function 기반의 영상 간 기하보정

원형버퍼와 공간거리를 이용한 2차 매칭을 통해 추출된 매칭쌍을 이용하여 piecewise linear function 기반의 영

상간 기하보정을 수행하였다. Piecewise linear function은 영상간 매칭쌍들을 이용하여 델루누이 삼각망(Delaunay triangulation)을 구성하여 삼각망 각각을 다른 어핀변환계수를 사용하여 변환을 수행하는 방식으로 진행된다(Goshtasby, 1986). 델루누이 삼각망 규칙에 따라 세 특징점으로 구성된 기준영상의 삼각망과 그에 대응하는 대상영상의 삼각망 간의 관계를 어핀변환을 통해 나타낼 수 있고, 이때의 어핀변환계수를 이용하여 삼각망 내에 존재하는 대상영상의 모든 화소의 좌표를 기준영상의 좌표로 변환할 수 있다(그림 4). 이러한 과정을 모든 삼각망에 대하여 수행하며, 따라서 삼각망 각각이 다른 계수를 갖는 어핀변환을 통해 대상영상이 지역적으로 기준영상의 좌표로 기하보정됨으로써, 고해상도 영상이 갖는 지역적 왜곡이나 기복변위를 최소화할 수 있는 장점이 있다. 반면, 삼각망마다 독립적인 변환계수를 갖기 때문에 다른 삼각망에 걸쳐서 존재하는 선형객체가 변형될 수 있고, 매칭쌍이 존재하지 않는 지역의 경우 주변 삼각망을 이용한 외삽법(extrapolation)을 통해 변환을 수행하기 때문에 왜곡이 크게 발생할 수 있는 단점이 있다(Arévalo 등, 2008). 본 연구에서는 이러한 단점에 영향을 받지 않는 매칭쌍이 존재하는 두 영상의 동일지역만을 관심영역으로 제한하여 piecewise linear function을 적용하였다.

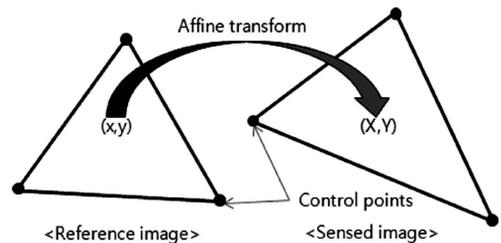


그림 4. Piecewise linear function

## 3. 실험 및 평가

### 3.1 실험 대상지역

본 연구에서 제안한 방법론의 효용성을 평가하기 위하여 대전광역시를 실험 대상지역으로 선정하였다(그림 5). Site 1은 시기가 다른 QuickBird-2 다중분광영상의 네 밴드를 평균하여 단밴드로 만든 2.4m의 공간해상도를 갖는 영상을 대상으로 하였다. 기준영상은 2004년 10월 30일, 대상영상은 2006년 10월 28일 영상이고, 특히 Site

1의 대상영상을 시계방향으로 45° 회전함으로써 회전이 알고리즘에 미치는 영향을 판단하고자 하였다. Site 2는 1m의 IKONOS-2(2006년 3월 25일) 흑백영상과 2.4m의 QuickBird-2 다중분광영상의 네 밴드를 평균한 단밴드 영상(2005년 1월 15일)을 실험지역으로 선정하여 공간해상도가 다른 지역에 알고리즘이 어떻게 적용되는지를 판단하고자 하였다. 모든 영상에 대해서 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 전처리로 수행하였다.

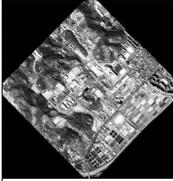
	기준영상	대상영상	특징
Site 1			- 동일해상도 (2.4m) - 회전요소 추가 (대상영상을 시계방향으로 45° 회전)
Site 2			- 이종센서 - 다른 해상도 (1m 기준영상, 2.4m 대상영상)

그림 5. 연구 대상지역

### 3.2 SIFT 기법과 제안한 기법을 통한 매칭쌍 추출 비교평가

SIFT 기법과 제안한 기법을 통해 추출된 매칭쌍에 대한 비교평가를 수행하였다. SIFT 기법의 경우, 두 영상의 특징점간 128차원 벡터의 유클리디안 거리를 계산하여 가장 가까운 매칭쌍과 두 번째로 가까운 매칭쌍간의 거리의 비가 0.6보다 작은 경우 매칭쌍으로 추출하였고, 오매칭쌍을 제거하기 위한 RMSE 임계치를 10으로 선정하였다. 제안한 기법의 경우 또한 1차 매칭쌍을 추출하기 위한 임계치를 SIFT 기법과 동일하게 할당하였고, 2차 매칭쌍 추출을 위하여 원형버퍼의 반경을 10화소, 식 (2)의  $D(i,j)$ 의 임계치를 0.5로 모든 실험에 대하여 동일한 값을 할당하였다. 그림 6은 각 대상지역 별로 SIFT 기법과 제안한 기법으로 매칭쌍을 추출한 결과를 보여준다.

2.4m의 같은 공간해상도의 두 영상 중 대상영상에 회전변환을 수행한 Site 1의 경우, SIFT 기법이 38쌍의 매칭쌍을 보인 반면 제안한 기법은 494쌍으로 더욱 많은 매칭쌍을 추출하였다. 이것은 제안한 기법에서 원형거리버퍼와 공간거리를 적용함으로써 영상간 회전의 차이

에 관계없이 매칭쌍을 추출하는데 도움을 준 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 스케일이 다른 두 영상을 실험대상으로 선정한 Site 2에서 더욱 크게 나타난다. 제안한 기법을 이용한 결과, SIFT 기법의 약 9배 정도 되는 총 177쌍의 매칭쌍을 추출할 수 있었다. 두 실험을 통해서, 공간거리정보를 추가적으로 이용한 제안한 기법의 경우 스케일이나 회전에 크게 영향을 받지 않는 SIFT 기법의 장점에 더해서 영상 전역에 걸쳐서 많은 수의 매칭쌍을 추출할 수 있음을 알 수 있었다.

Site 2에 대하여 제안한 기법을 통해 추출한 매칭쌍으로 삼각망을 구성하여 기준영상과 중첩한 결과는 그림 7의 (a)와 같다. 기준영상과 대상영상이 중복되는 지역 전반에 걸쳐 고르게 삼각망이 구성된 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림 7의 (b)와 같이 몇몇 매칭쌍은 건물의 지붕 및 옆면이나 산림과 같이 높이변화가 존재하는 지역에서 추출되는 것을 발견하였다. 이러한 매칭쌍의 경우 지역적으로 변환을 수행하는데 그 지역에 대한 오차를 크게 할 수 있으므로 삼각망을 구성하는데 있어서 제거되어야 더욱 정밀한 기하보정 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상된다.

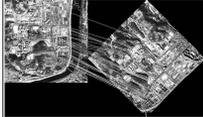
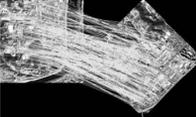
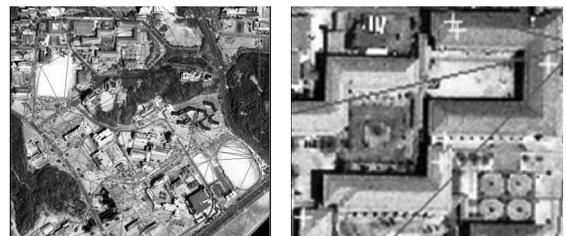
	SIFT 기법	제안한 기법
Site 1 (QuickBird multi. vs. QuickBird multi.)	 38쌍	 494쌍
Site 2 (IKONOS pan. vs. QuickBird multi.)	 19쌍	 177쌍

그림 6. SIFT 기법과 제안한 기법의 추출된 매칭쌍 수 및 분포 비교



(a) 기준영상과 삼각망 중첩 (b) 건물 지붕에서 추출된 매칭쌍  
그림 7. 기준영상과 매칭쌍을 통해 생성된 삼각망 중첩 영상 (Site 2)

### 3.3 자동기하보정 결과 및 매칭률 평가

전체 매칭쌍 중에서 정확하게 매칭된 매칭쌍 수의 비를 의미하는 매칭률을 계산하여 실험 결과에 대한 정량적인 평가를 수행하고자하였다. 여기서 오매칭쌍의 경우, 위치적으로 어긋난 매칭쌍뿐만 아니라 건물이나 산림 등과 같이 높이변화가 존재하는 지역에서 추출한 매칭쌍 또한 오매칭쌍으로 포함하였다. 결과적으로 SIFT

기법에 비해 제안한 기법이 더욱 많은 매칭쌍을 추출하였고, 보다 높은 매칭률을 보이는 것을 확인 할 수 있었다(표 1).

제안한 기법으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 piecewise linear function 기반의 자동기하보정을 수행한 결과는 그림 8과 같다. 동일한 크기의 블록(blocks)을 설정하여, 각 블록을 기준영상(붉은색)과 대상영상(흑백)으로 번갈아

표 1. 매칭쌍 결과에 대한 정량적 평가

	Site 1 (회전 변화)		Site 2 (스케일 변화)	
	SIFT 기법	제안한 기법	SIFT 기법	제안한 기법
총 매칭쌍 수	38	494	19	177
참매칭쌍 수	29	388	16	154
오매칭쌍 수	9	106	3	23
매칭률	76.32%	78.54%	84.21%	87.00%

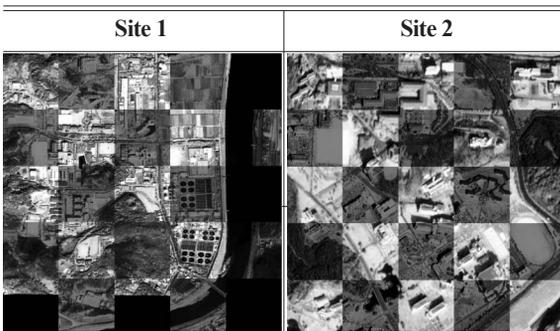


그림 8. 자동기하보정 수행 결과

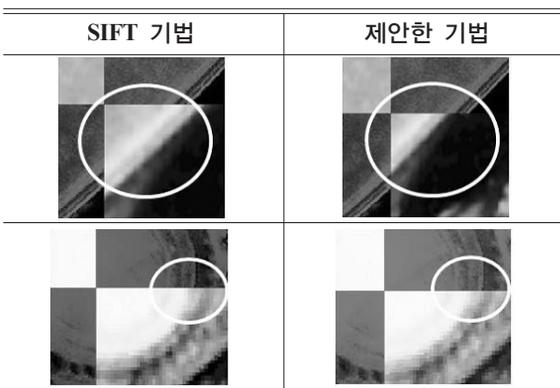


그림 9. 세부지역에 대한 시각적 평가

가면서 시각적으로 표현하였다. 지역적인 평가를 위해서, SIFT 기법과 어떤변환을 통해 수행한 기하보정 결과와 비교를 수행하였다. SIFT 기법의 경우 RMSE로 오매

칭쌍을 제거한 이후의 매칭쌍을 이용하여 기하보정을 수행하였다. 영상 전반적으로 보았을 때는 두 기법 모두 기하보정이 제대로 수행되어 큰 차이를 보이지 않았지만, 부분적으로 시각적 평가를 해보았을 때 제안한 기법의 결과가 좋은 것을 확인할 수 있었다(그림 9). 그림 9에서 왼쪽영상은 SIFT 기법으로 자동기하보정한 결과를 부분적으로 확대한 그림으로, 흰색 원으로 표시한 지역에서 두 영상간 왜곡이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다. 반면 오른쪽영상의 제안한기법의 경우 이러한 왜곡이 상당히 보정된 것을 볼 수 있다. 이를 통해 원형버퍼와 공간거리를 이용하여 많은 매칭쌍을 추출하여 piecewise linear function으로 기하보정을 수행하였을 때, 지역적인 부분에서 왜곡을 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 이러한 장점은 단지 동일해상도의 영상에서뿐만 아니라 회전이나 스케일이 다른 경우에도 동일하게 효과를 보이는 것을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 SIFT 기술자를 이용한 매칭 방법을 개선하여 Site 1의 경우 494쌍, Site 2는 177쌍의 매칭쌍을 추출할 수 있었다. 이를 통해 고해상도영상에서 기존 SIFT 기법에 비해 보다 많은 매칭쌍을 추출할 수 있는 가능성을 확인하였고, 추출된 매칭쌍을 이용하여 지역적으로 다른 변환계수를 적용하여 고해상도영상의 자

동기화보정 결과를 향상시킬 수 있었다.

둘째, 매칭쌍을 추출하는데 원형버퍼와 공간거리를 추가적으로 이용함으로써, 영상간 회전이거나 스케일 변화에 상관없이 매칭쌍을 추출하는 SIFT 기법의 장점에 더하여 더욱 많은 매칭쌍을 영상 전역에서 추출할 수 있었고, 매칭률 또한 제안한 기법이 SIFT 기법에 비해 약 2% 이상 상승한 것을 알 수 있었다(Site 1은 76.32%에서 78.54%로, Site 2는 84.21%에서 87.00%로 상승).

마지막으로, 이렇게 추출된 매칭쌍을 이용하여 piecewise linear function을 이용하여 지역적으로 기하보정을 수행하였고, 시각적 평가를 통해 제안한 기법의 우수성을 확인하였다. 하지만 이러한 지역적 기하보정 기법의 경우 매칭쌍이 존재하지 않는 지역에서는 왜곡이 상대적으로 크게 나타나는 경향을 보였으며, 이것은 향후 매칭쌍이 존재하지 않는 지역은 전역적인 어핀변환계수를 이용하여 변환하는 등의 후처리과정을 통해서 처리가 가능할 것으로 예상된다.

향후 계획으로는 건물이나 산림과 같이 높이변화가 존재하는 지역의 매칭쌍을 자동으로 제거하는 알고리즘을 개발하여 보다 정밀한 기하보정결과를 얻을 수 있도록 하고, 또한 정량적인 평가를 위해서 수동으로 check points를 추출하여 정확도 평가를 수행하고자 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090085392)

## 참고문헌

한동엽, 김대성, 이재빈, 김용일 (2006), SIFT 기법을 이용한 중·저해상도 위성영상의 자동 기하보정, 한국공간정보시스템학회 학술회의 논문집, 한국공간정보시스템학회, Vol. 11, pp. 311-316.

Arévalo, V. and González, J. (2008), An experimental evaluation of non-rigid registration techniques on Quickbird satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 513-527.

Chen, H. M., Arora, M. K., and Varshney, P. K. (2003), Mutual information-based image registration for remote

sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 18, pp. 3701-3706.

Goshtasby, A. (1986), Piecewise linear mapping functions for image registration, *Pattern Recognition*, Vol. 19, No. 6, pp. 459-466.

Habib, A., Mwafag, G., Michel, M., and Al-Ruzouq, R. (2005), Photogrammetric and LIDAR data registration using linear features, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 6, pp. 699-707.

Hong, G. and Zhang, Y. (2008), Wavelet-based image registration technique for high-resolution remote sensing images, *Computers & Geosciences*, Vol. 34, pp. 1708-1720.

Kim, T. and Im, Y. (2003), Automatic satellite image registration by combination of matching and random sample consensus, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 5, pp. 1111-1117.

Lowe, D. G. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, no. 2 pp. 91-110.

Rignot, E., Kowk, R., Curlander, J. C., and Pang, S. S. (1991), Automated multisensor registration: requirements and techniques, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 8, pp. 1029-1038.

Xiong, Z. and Zhang, Y. (2009), A novel interest-point-matching algorithm for high-resolution satellite images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 12, pp. 4189-4200.

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, pp. 838-848.

Zagorchev, L. and Goshtasby, A. (2006), A comparative study of transformation functions for nonrigid image registration, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 15, No. 3, pp. 529-538.

Zitová, B. and Flusser, J. (2003), Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1000.