

SIFT 기법을 이용한 중·저해상도 위성영상간의 자동 기하보정

Automatic Image-to-Image Registration of Middle- and Low-resolution Satellite Images Using Scale-Invariant Feature Transform Technique

한동엽¹⁾ · 김대성²⁾ · 이재빈³⁾ · 오재홍⁴⁾ · 김용일⁵⁾

Dong-Yeob Han · Dae-Sung Kim · Jae-Bin Lee · Jae-Hong Oh · Yong-Il Kim

Abstract

To use image data obtained from different sensors and different techniques, the preprocessing step that registers them in a common coordinate system is needed. For this purpose, we developed the methodology to register middle- and low-resolution satellite images automatically. Firstly, candidate matching points were extracted using the Harris and Harris-affine algorithm. Secondly, we used the correlation coefficient, normalized correlation coefficient and SIFT algorithm to detect conjugate matching points from candidates. Then, to test the feasibility of approaches, we applied the developed methodology to various kinds of satellite images and compared results. The results clearly demonstrate that the methodology using the SIFT is appropriate to register these multi-resolution satellite images automatically, compared with the classical cross-correlation.

Keywords : Scale-Invariant Feature Transform, Automatic Registration, Harris-Affine, Descriptors, Detectors, Correlation Coefficient

초 록

영상 기하보정은 여러 가지 데이터의 조합으로부터 얻어질 수 있는 영상 분석 작업에 매우 중요한 전처리 과정 중 하나다. 본 연구는 최근 평면 영상간 기하보정에 많이 사용하고 있는 SIFT 기법을 적용하여, 다양한 해상도를 가진 위성영상의 자동 기하보정을 수행하는데 초점을 맞추고 있다. 2차원 영상의 조건을 만족하기 위해 기복면위의 영향이 상대적으로 적은 중·저해상도 위성영상의 기하보정을 수행하였으며, 다양한 해상도 영상을 조합함으로써 공간해상도의 차이를 보이는 영상의 기하보정에 SIFT 기법을 적용할 수 있는지를 실험하였다. 결과를 통해, SIFT 기법이 기존의 상관계수를 이용하여 특징점의 정합을 수행하는 방법에 비해 높은 정합률을 나타냈으며, 추출된 정합쌍을 자동 영상 기하보정에 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : SIFT, Automatic Registration, Harris-Affine, 기술자, 추출자, 상관계수

1. 서 론

영상 기하보정은 다른 센서, 다른 촬영 위치, 다른 시간에 촬영된 둘 이상의 동일지역 영상을 겹치는 작업으로서, 영상 융합, 변화 탐지, 다중밴드 영상 복구, 영상 모자

이크와 같은 여러 가지 데이터의 조합을 이용하는 영상 분석 작업에 매우 중요한 전처리 과정 중 하나다(Zitová 등, 2003). 기존의 영상 기하보정은 사용자가 직접 두 영상의 동일한 지점을 추출하여 정합하는 수동적인 방법이 주를 이루고 있으며, 응용 소프트웨어에서도 이러한 절차

- 1) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:hkyon2@snu.ac.kr)
- 2) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:mutul94@empal.com)
- 3) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:dama77@snu.ac.kr)
- 4) 한국전자통신연구원 텔레매틱스 · USN연구단 공간정보연구팀 연구원(E-mail:ojh@etri.re.kr)
- 5) 연결저자 · 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 부교수(E-mail:yik@snu.ac.kr)

를 통해 기하보정 작업을 수행할 수 있도록 대부분 설계되어 있으나, 추출할 수 있는 기준점의 수와 정확도가 한정되고, 무엇보다 시간이 많이 소요된다는 단점이 발생한다. 최근에는 3점 이상의 기준점을 미리 결정하거나 영상의 헤더 정보를 이용하여 영상간 대략적인 변환관계를 결정하는 반자동 기하보정 기법을 이용하고 있지만(Kim 등, 2003; PG-STEAMER, 2006), 아직까지 다양한 해상도를 가진 원격탐사 영상의 자동화된 기하보정 작업은 확립되지 못하고 있다.

자동 기하보정 방법은 기하보정요소 추출, 기하보정요소 정합, 변환함수 결정, 영상 재배열의 4단계로 나눌 수 있다(Zitová 등, 2003; Goshtasby, 2005). 기하보정요소는 영상간 관계를 결정하기 위한 지역적 요소로서, 영상에서 특징점을 추출하는 것이 일반적이며(Goshtasby, 2005), 대표적으로 Beaudet, Moravec, Kitchen Rosenfeld, Förstner, Harris, Deriche, SUSAN 추출자 등을 이용한다(Parks 등, 2001). Schmid 등(2000)은 Harris, Heitger, Förstner와 같은 여러 가지 추출자의 성능을 특징점 추출의 반복률(Repeatability Rate)과 정보량(Information Content)을 기준으로 평가하여, 이 중 Harris 추출자가 영상 회전이나 시점 및 조명의 변화에도 가장 불변하다(Invariant)는 것을 보였다. 또한 김의명 등(2005)이 IKONOS 위성영상에 KLT(Kanade Lucas Tomasi), Harris, Förstner, 웨이블릿 추출자를 적용하여 평가한 결과, 추출된 점의 분포 특성과 식별성에서는 Harris와 Förstner 추출자가 우수하였으며, 영상정합의 효율성과 정합률 측면에서 KLT와 Harris가 가장 좋은 것으로 나타났다.

Harris 추출자는 특징점 추출 방법 중 가장 많이 사용되는 추출자로서 영상의 회전과 이동에는 불변이지만, 스케일의 변화에 매우 민감하여 다른 해상도를 가진 영상에 적용할 경우 좋은 결과를 기대할 수 없다(Lowe, 2004). 이를 해결하기 위한 방법으로 Scale Adapted Harris, Harris-Laplace, Harris-Affine 추출자 등이 제시되고 있으며, 이는 단순히 특징점을 추출하는 것 이외에 변형의 크기와 방향을 함께 포함하고 있어 영역 추출자(Region Detector)의 용어로 사용되기도 한다(Mikolajczyk 등, 2002; 2004; 2005).

각 영상에서 추출된 기하보정요소는 서로 동일한 위치임을 결정하기 위한 정합 작업을 수행하여야 하며, 보통 기술자(Descriptor)에 의해 이루어진다. 가장 간단한 기술자는 교차상관(Cross-Correlation)에 의한 유사도 측정 방법을 들 수 있으며(Mikolajczyk 등, 2005), 시간이 많이 소요되는 단점을 해결하기 위해 PCA나 영상 기울기 패치

(Gradient Patch)를 통해 기술자의 크기를 줄여 사용하기도 한다(Ke 등, 2004). Mikolajczyk 등(2005)은 기술자를 크게 분포기반(Distribution-based) 기술자, 공간 주파수(Spatial-frequency) 기법, 상대적(Differential) 기술자의 세 가지로 나누어 설명하고 있으며, 이 중 분포기반 기술자로 분류되는 SIFT 기술자가 정합에 효과적인 결과를 나타낸다고 결론지었다.

SIFT 기법은 Lowe(1999)에 의해 처음 소개된 기술자로서, 영상 축척과 회전에 불변이고, 긴 범위의 어둡고 밝은, 시점변화, 노이즈 첨가, 조명의 변화에 대해서도 영향을 받지 않고 정합을 수행하는 것으로 알려져 있다. 이미 컴퓨터 비전 분야의 다양한 근거리 카메라 영상에 적용되어 가장 효과적인 기술자로 보고되고 있으나, 항공사진과 위성영상의 경우 근거리 영상과 기하적인 특성, 촬영방식, 영상화소 특성이 달라 SIFT 기법이 근거리 영상에 적용된 것과 동일한 효과를 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해 SIFT 기법이 원격탐사 영상의 기하보정에 효과적으로 적용될 수 있는지 확인하고자 하였다. SIFT 기법이 3차원 촬영시점 변화에 따른 2차원 영상의 변형과 관련한 기하보정에 주로 사용되고 있다는 점에 착안하여, 기복변위의 영향을 상대적으로 덜 받는 다양한 해상도의 중·저해상도 영상에 우선적으로 적용하였다).

2장은 특징점 추출을 위해 사용된 Harris, Harris-Affine 추출자에 대해 이론적으로 알아보고, 특징점을 정합하기 위한 기술자로 사용된 상관계수, 정규화 상관계수, SIFT 기법에 대해 간략히 정리하였다. KOMPSAT-1 위성의 EOC 영상, EO-1 위성의 ALI 전정색 영상, 다중분광 영상, Landsat ETM+ 전정색 영상을 이용하여, 실제 다양한 위성영상에 추출자와 기술자를 적용함으로써 그 결과를 3장을 통해 확인하였으며, 마지막으로 연구의 성과와 향후 연구에 대해 기술하였다.

- 1) 실험에 사용된 위성영상을 예를 들자면, 가장 해상도가 높은 KOMPSAT-1은 이론적으로 최대 시야각이 45°까지 옆으로 촬영할 수 있으나 실제 촬영은 일반적으로 $\pm 10^\circ$ 이내이다. 이 경우 한 화소가 표현할 수 있는 기복변위 높이값은 화소 크기(6.6m)/($\pm \tan 10^\circ$)=37.43m 정도가 된다. 해상도가 가장 낮은 Landsat ETM+는 거의 수직으로 촬영하고, 최외각 화소의 경우 $\tan^{-1}(185/(705 \times 2)) = \pm 7.5^\circ$ 가 되어, 한 화소가 표현할 수 있는 기복변위 높이값은 화소크기(30m)/($\pm \tan 7.5^\circ$)=227.87m 정도가 된다. 따라서 고층 건물이 존재하는 도심지를 제외하고 대부분의 경우 기복변위의 영향을 받지 않는 2차원 영상으로 가정하여 연구를 수행하였다.

2. 추출자와 기술자

본 장에서는 실험에 사용된 Harris 추출자와 Harris-Affine 추출자, 상관계수와 정규화 상관계수 및 SIFT 기술자에 대해서 간략히 정리하였다. Harris 추출자는 Harris-Affine 추출자와 비교를 통해 해상도 차이에 민감하다는 것을 입증하고자 사용하였으며, 상관계수와 정규화 상관계수는 SIFT 기술자의 성능을 비교·평가하기 위해 적용되었다. 최근 SIFT 기술자를 기본으로 PCA-SIFT나 GLOH(Gradient Location and Orientation Histogram) 기술자들이 제시되고 있으나, 그 성능의 향상이 미미한 것으로 보고되고 있으며(Mikolajczyk 등, 2005), 비슷한 접근 방식의 기술자이므로 SIFT 기술자를 그대로 사용하였다.

2.1 추출자

2.1.1 Harris 추출자

Harris 특징점 추출자는 식 (1)과 같은 2차 모멘트 행렬 (C , 자기상관 행렬(Auto-correlation Matrix)라고도 함)을 이용한다(Harris 등, 1988). 식 (1)의 중간식 행렬에서 x 방향과 y 방향의 2차 미분은 입력영상의 2차원 방향성을 나타내는 공분산 행렬을 의미한다. 특징점에서 계산된 행렬 C 는 회전행렬(R)을 이용하여 식 (1)과 같이 일반적인 형태로 표현할 수 있으며, 고유값 λ_1, λ_2 는 입력영상의 특징적인 변화를 의미하며 특징점이 존재한다는 것을 의미한다. 특징점 추출을 위한 응답함수(H)는 식 (2)와 같다. k 값은 실험적으로 0.04~0.06로 정해지며, 본 연구에서는 0.04를 적용하였다.

$$C = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix} = R^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R \quad (1)$$

여기서, I_x, I_y 는 x 방향과 y 방향에 대한 기울기, λ_1, λ_2 는 C 행렬의 대각행렬 고유값

$$H = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 \quad (2)$$

2.1.2 Harris-Affine 추출자

어떤 변형은 등방성(Isotropic) 형태의 구조가 변형된 것으로 가정하여 접근할 수 있으며, 어떤 2차 모멘트 행렬은 추출영역의 이방성(Anisotropic) 형태를 측정하는데 사용될 수 있다. 어떤 축척 공간에서 점 x 에서 2차 모멘트 행렬 μ 는 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$\mu(x, \Sigma_I, \Sigma_D) = \det(\Sigma_D) g(\Sigma_I) * ((\nabla L)(x, \Sigma_D)(\nabla L)(x, \Sigma_D)^T) \quad (3)$$

여기서, Σ_I 와 Σ_D 는 Integration과 Differentiation 가우시안 커널을 계산하는 공분산 행렬이며, 모양은 같으며 축척만 다르다. Integration 축척은 정규화된 Laplacian 축척의 극대점에서 선택되며, Differentiation 축척은 정규화된 등방성 최대값에서 선택될 수 있다. 결국 선택된 Integration과 Differentiation 축척을 적용하여 2차원 모멘트 행렬을 추정할 수 있으며, Shape Adaptation 행렬(U)을 갱신한다. 이는 Harris-Affine 추출자에 의해 추출된 특징점의 주변화소를 정규화하는데 사용되며, 값의 변화가 작아질 때까지 이 과정을 반복한다.

2.2 기술자

2.2.1 상관계수와 정규화 상관계수

상관계수는 추출된 특징점 주변화소를 이용하여 정합을 수행하는 전형적인 영역기반 정합 기법중의 하나이다(Zitová 등, 2003). 식 (4)는 $N \times M$ 크기의 영역에 대한 상관계수 식을 보여주고 있다. 두 영상에서 추출된 모든 특징점 주변화소 영역간의 상관계수를 구하게 되며, 이중 가장 높은 상관계수값을 가지는 위치의 특징점이 정합점으로 결정하게 된다. 이 기법은 계산이 간단하여, 화소값의 분포형태가 비슷한 영상간의 실시간 기하보정에 효과적으로 적용이 가능하다. 하지만, 영상 취득 당시의 환경변수에 영향을 많이 받기 때문에 회전이나 축척의 변화가 적은 영상에 주로 적용되고 있다.

$$CC(i, j) = \frac{\sum_W (W - E(W))(I_{(i,j)} - E(I_{(i,j)}))}{\sqrt{\sum_W (W - E(W))^2 \sqrt{(I_{(i,j)} - E(I_{(i,j)}))^2}}} \quad (4)$$

여기서, W : 기준 영상 윈도우내의 화소값

$I_{(i,j)}$: 기하보정 수행 영상 윈도우내의 화소값

$E(W), E(I_{(i,j)})$: 윈도우 화소값 평균

정규화 상관계수는 두 영상에서 Harris-Affine을 이용하여 추출된 타원 형태의 영역을 타원의 축척과 방향정보를 이용하여 동일 크기의 원형으로 변형한 후에 이들의 상관계수를 구한 것이다.

2.2.2 SIFT

Harris-Affine에 의해 추출된 특징점 영역에서 정규화 영역을 찾기 위해, 우선 축척과 방향에 불변인 영역을 탐

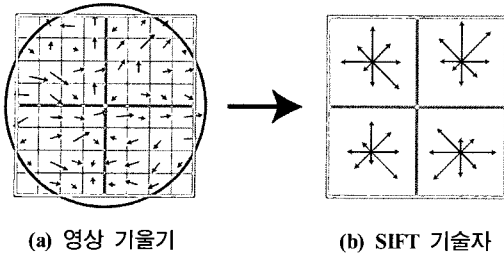


그림 1. SIFT 기술자(Lowe, 2004)

색한다. 탐색된 영역은 x, y , 축척, 방향 정보를 포함하고 있으며, 이 정보를 이용하여 정규화 영역을 생성한다. 정규화 영역에 대하여 그래디언트 히스토그램을 계산하며, 가장 큰 그래디언트 방향이 위로 향하도록 회전시킨 후 그림 1의 (b)와 같이 4×4 화소의 그래디언트 히스토그램을 8방향 성분, 즉 128차원(4×4×8)으로 나누어 SIFT 기술자 벡터로 생성한다. (그림 1의 그래디언트 히스토그램은 2×2 화소 크기로 표현하였으나 실제 사용되는 정규화 영역은 16×16 화소이며, 추출되는 그래디언트 히스토그램 크기는 4×4 화소가 된다.)

3. 알고리즘 적용

3.1 대상지역 및 연구 방법

다양한 조합의 영상간 기하보정 실험을 위해 각각 KOMPSAT-1 EOC(1,000×1,000 pixels, 6.6m), Landsat ETM+ 전정색(600×500 pixels, 15m), EO-1 ALI 전정색(900×700 pixels, 10m), ALI 다중분광(300×250 pixels, 30m) 영상을 사용하였으며, 영상간 해상도 비율은 최대 약 5배이다. 알고리즘 적용을 위해 서울 잠실을 기준으로 남부 지역을 선정하였고, 9월에 촬영한 ETM+ 영상을 제외한 나머지 영상은 봄에 촬영하였다. ALI 다중분광 영상은 2, 3, 4번 밴드를 평균하여 하나의 흑백영상으로 생성하였다. 그림 2는 실험에 사용된 영상이다.

그림 3은 본 연구에서 수행한 연구 흐름도이다. 입력된 4장의 영상으로부터 Harris와 Harris-Affine 추출자를 이용하여 특징점을 추출한다. Harris 추출자에 의해 생성된 특징점은 상관계수 기술자를 이용하여 대응점을 찾게 되는데, 상관계수를 계산하기 위해 특징점 주변의 화소를 이용한다. 실험에서는 13×13 윈도우 즉, 169차원을 사용하였으며, 상관계수 값이 0.8 이상일 때 대응점으로 선정하였다. Harris-Affine 추출자에 의해 생성된 특징점은 위

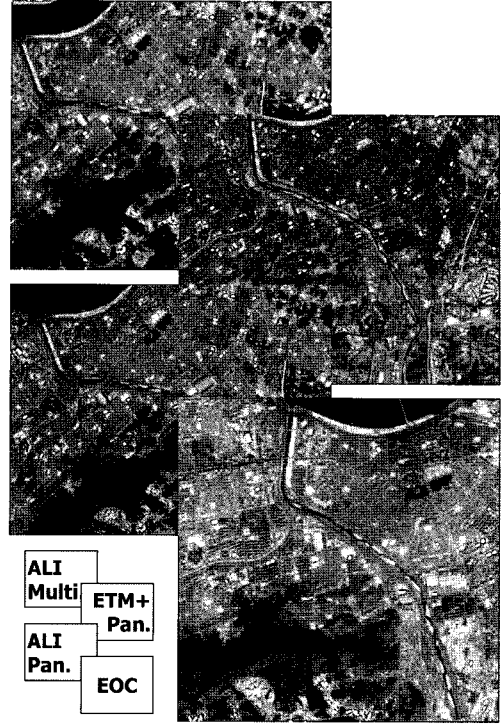


그림 2. 사용영상

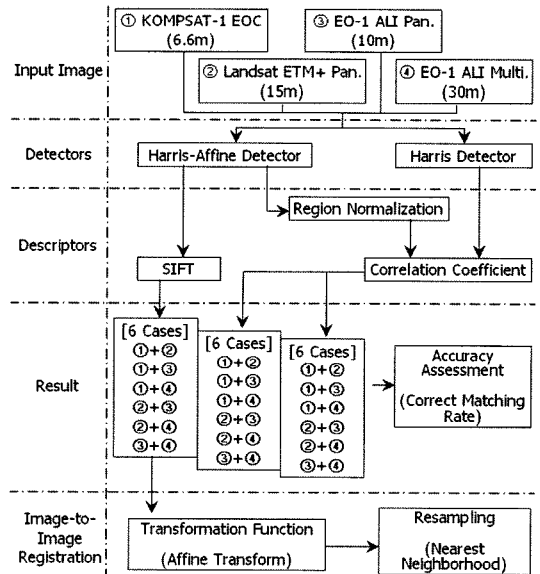


그림 3. 연구 흐름도

치, 크기, 방향이 한꺼번에 결정되므로, 결정된 크기와 방향을 이용하여 영상을 정규화하는 작업을 선행하게 된다. 정규화된 영상에 11×11 윈도우(121차원)를 이용하여 상

관계수를 계산하였으며, 0.8 이상의 값을 가지는 특징점을 대응점으로 선정하였다. 마지막으로 Harris-Affine으로 추출된 영역을 상관계수가 아닌 128차원의 SIFT 벡터를 이용하여 대응점을 선정하였다. 여기서, 일차와 이차 정합쌍의 유사도 값의 비로 임계값을 결정하게 되는데, 임계값이 커질수록 허용 임계범위가 커지므로 정합쌍은 많이 찾지만 성공률은 낮아진다. 본 실험에 사용한 임계값은 0.7이다.

기술자가 계산해야 할 특징점간 계산량은 기준영상의 특징점수(NR)와 기하보정을 수행할 영상의 특징점수(NS)의 곱으로 결정(=NR×NS)되며, 각 기술자별로 6가지 경우의 데이터 조합이 발생한다. 각 임계값을 이용하여 일대다 대응점이 발생할 경우 최대값을 갖는 정합쌍을 선정하였다. 추출된 대응점을 기준으로 각 기술자가 가지는 성능을 평가하였으며, 평가지수는 대응된 정합쌍(Correspondences) 중 정합이 성공적으로 이루어진 참쌍(Correct Matches)의 비를 의미하는 정합률(%)을 이용하였다.

$$Matching\ Rate = \frac{Correct\ Matches}{Correspondences} \times 100 \quad (5)$$

마지막으로, 추출된 대응점을 기준으로 영상대 영상 기

하보정을 수행하였으며, 이때 어떤 변환을 기하보정 함수로 사용하여 최근린 내삽법으로 영상을 재배열하였다.

3.2 특징점 추출 결과

그림 4와 5는 Harris와 Harris-Affine 추출자에 의해 추출된 특징점을 보여주고 있다. Harris 추출자의 경우 영역으로 표시할 수 없어 지름 13화소를 가진 원형의 영역을 일률적으로 적용하여 표시하였다. Harris-Affine은 크기와 방향을 포함하고 있기 때문에 특징점이 타원 형태로 표시된다. 각 특징점마다 다른 크기와 방향을 가지며, 타원을 기준으로 정규화 영상을 생성한 후 대응점을 찾게 된다. Harris와 Harris-Affine 추출자를 이용하여 각 영상에서 추출된 특징점의 개수는 표 1에 정리하였다.

표 1. 추출자에 의해 추출된 특징점의 수

데이터 추출자	EOC	ETM+ 전정색	ALI 전정색	ALI 다중분광
Harris 추출자	1,994	1,094	2,099	485
Harris-Affine 추출자	1,389	1,050	2,136	411

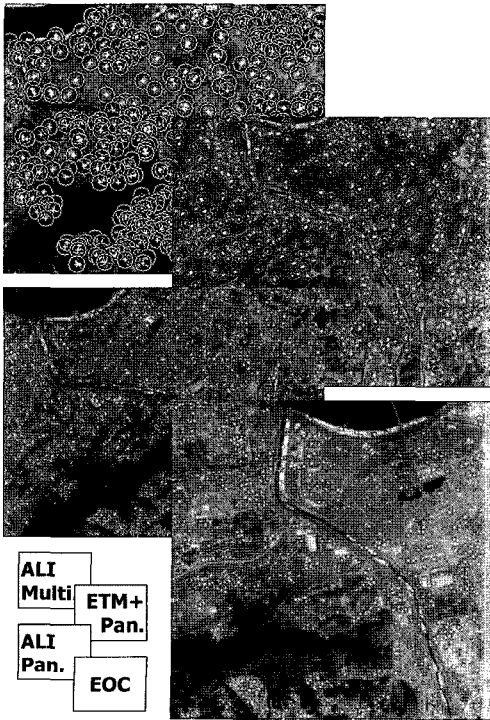


그림 4. Harris 추출자에 의해 추출된 특징점

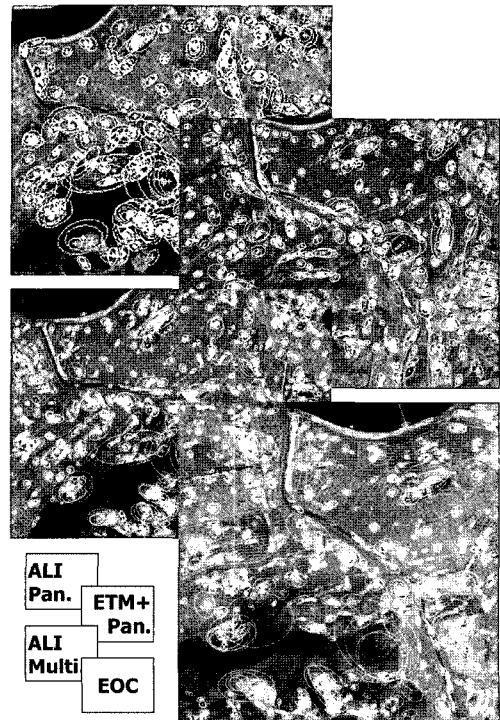


그림 5. Harris-Affine 추출자에 의해 추출된 특징점(영역)

표 2. 정합률 결과

기술자 데이터 조합	상관계수			정규화 상관계수			SIFT		
	정합쌍	참쌍	정합률	정합쌍	참쌍	정합률	정합쌍	참쌍	정합률
ALI M. ⇔ EOC	155	1	0.6	112	30	26.8	15	15	100
ALI M. ⇔ ALI P.	207	7	3.4	188	119	63.3	111	109	98.2
ETM+ P. ⇔ EOC	312	19	6.1	303	68	22.4	20	20	100
ALI M. ⇔ ETM+ P.	225	4	1.8	76	14	18.4	6	6	100
ALI P. ⇔ EOC	526	12	2.3	555	197	35.5	85	85	100
ETM+ P. ⇔ ALI P.	574	28	4.9	312	107	34.3	49	49	100

3.3 대응점 추출 결과 및 정확도 평가

추출된 참쌍은 도심지역의 운동장이나 나대지로 영상에서 밝게 나타나고 주위와 음영변화가 큰 곳이 많이 나타났다는데, 이러한 지역은 기복변위가 작은 2차원 평면으로 볼 수 있는 지역으로 처음 가정된 조건에 만족한다고 볼 수 있다. 반면 산림이 시작되는 경계지역이나 대형건물의 모서리나, 대형건물의 중앙이 추출되기도 하였는데, 이 지점이 기복변위의 영향을 받지 않은 것인지 영향은 받았으나 우연히 대응된 점인지는 좀 더 고찰이 필요할 것으로 보인다. 기술자에 따라 특정 지표면 특성과 참쌍간의 어떤 연관성을 찾기는 어려웠다.

정규화 상관계수에서 추출된 참쌍이 SIFT 참쌍보다 개수 면에서는 많지만 정규화 상관계수의 참쌍에 포함되어 있지 않은 SIFT 참쌍이 많이 존재함을 알 수 있다. 이는 이전 기술자의 성능평가 논문에서 언급된 것처럼 기술자 사이에 상호보완적인 기능이 존재한다는 것을 알 수 있다 (Mikolajczyk 등, 2005).

상관계수의 경우 정합쌍의 수는 전반적으로 많지만, 실제 영상 조합에서 대응하는 참쌍은 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 Harris 추출자가 보이는 영상 해상도 차이에 민감한 단점을 그대로 보여주는 것이다. 정규화 상관계수 기술자를 이용한 결과에서도 상관계수보다 다소 높은 정합률을 나타내지만, ALI 다중분광 영상과 전정색 영상의 정합을 제외하고는 매우 낮은 정합률(18.4%~63.3%)을 보였다. 이에 반해, SIFT는 대응되는 정합쌍의 수는 적지만 실제 맞게 정합된 참쌍의 수는 정합쌍의 수와 거의 차이를 보이지 않았다. 따라서, 대응점들에 대하여 높은 신뢰도를 가지고, 추가 작업을 수행할 수 있을 것이다²⁾.

해상도를 기준으로 평가해 본다면, 우선 ALI 다중분광 영상과 전정색 영상의 정합에서 전반적으로 많은 대응점을 추출해 낸 것을 볼 수 있는데, 이는 동일 위성의 비슷한 환경에서 촬영하였기 때문에 파악된다. 가장 해상도의 차이가 많이 나는 ALI 다중분광 영상과 EOC 영상의 경우 적은 정합쌍을 추출한 것을 볼 수 있으며, 이는 ALI 다중분광 영상과 ETM+ 전정색 영상의 조합과 EOC 영상과 ETM+ 전정색 영상의 조합에서도 비슷한 현상을 보인다.

결국 해상도 차이가 많이 날수록 대응되는 정합쌍의 수는 적어짐을 의미하며, 상관계수와 정규화 상관계수는 정합쌍 수의 감소와 함께 정합률도 함께 감소한다. 하지만, SIFT는 정합쌍 수는 감소하지만 정합률은 매우 높게 나타났다.

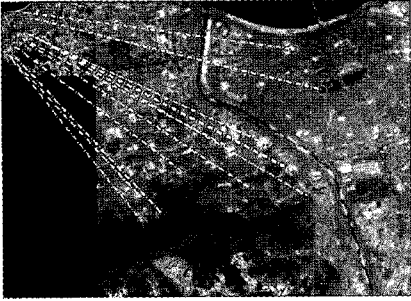
영상간 조합을 기준으로 보면, 동일 위성에 탑재된 ALI 전정색과 다중분광 영상의 경우 많은 정합쌍을 추출한 것을 확인할 수 있으며, ETM+ 전정색 영상과 조합을 이루는 경우 예상 정합쌍보다 적은 수의 정합쌍을 추출하였는데, 이는 해상도와 함께 촬영 방식이 다른 센서의 영향이 매칭에 있어 민감하게 반응하는 것으로 판단된다(ETM+ 영상은 Whiskbroom 방식으로 촬영함). 각 데이터 조합에 따른 기술자의 정합률 결과를 해상도 비율이 큰 순서대로 표 2에 정리하였으며, 대응점 추출 결과의 몇 가지 예를 그림 6에서 보여주고 있다.

3.4 결과 적용 - 영상대 영상 기하보정

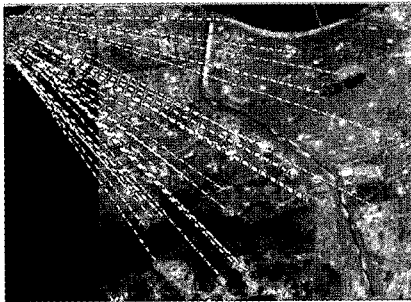
각 데이터 조합에서 추출된 참쌍을 이용하여 영상대 영

2) 기술자의 임계값은 정합쌍의 정확도에 영향을 주기 때문에, 상관계수 임계값과 SIFT 임계값에 따른 정확도 차이를 분석할 필요가 있다. 하지만, 본 실험에서는 상관계수에 의한 정

합쌍의 상관계수값은 0.9이상으로 임계값을 높게 설정하더라도 결과가 크게 달라지지 않을 것으로 여겨진다. 한편, SIFT 임계값을 0.8 등으로 낮추면 정합쌍의 정확도는 낮아지지만 참정합쌍의 비율이 크게 감소하지는 않았다.



(a) EOC ↔ ALI 다중분광(SIFT 기술자)



(b) EOC ↔ ALI 다중분광(정규화상관계수)

그림 6. 대응점 추출 결과 예

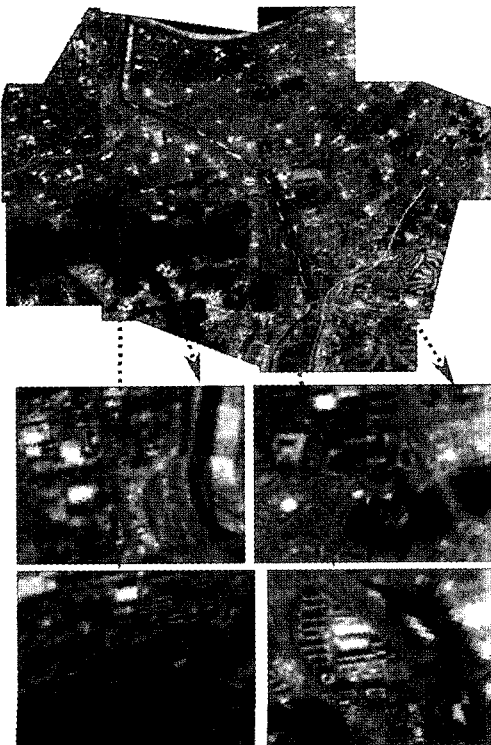


그림 7. 영상대 영상 기하보정 결과

상 기하보정을 수행하였다. EOC 영상을 기준으로 나머지 영상을 기하보정을 수행하였으며, 그림 7에서 기하보정된 영상을 모자이크 형태로 처리하여 표현하였다. 영상이 겹치는 부분은 따로 확대하여 나열하였고, 해상도가 다름에도 불구하고 경계부분이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 다양한 해상도를 가진 위성영상을 자동화된 기법으로 기하보정을 수행하는데 그 목적을 두고 진행되었다. Harris 추출자가 가지는 특징점 추출의 성능에도 불구하고 해상도의 변화에 민감하다는 것을 실험을 통해 확인하였고, Harris-Affine 추출자를 사용하여 성능을 평가하였다. 기존의 상관계수를 이용한 기술자의 대응점 추출과 관련한 성능적인 평가와 더불어 그 한계를 파악하였으며, 이를 해결할 수 있는 대안으로 최근 컴퓨터 비전 분야에서 그 성능이 입증된 SIFT 기술자를 위성영상에 적용하였다. 그 결과 실제 추출되는 정합쌍의 수는 다소 적은 반면 해상도의 차이가 많아짐에도 불구하고 정합쌍 수의 감소율이 상관계수와 정규화 상관계수보다 낮았으며, 무엇보다 두 영상간 대응된 실제 참조의 경우 ALI 전정색 영상과 다중분광 영상의 조합을 제외하고 완벽하게 대응되었다. 따라서 대응된 정합점을 추가 검증 없이 그대로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

기복변위의 영향을 최소화할 수 있도록 중저 해상도 영상에 우선적으로 적용하였으며, 실제 기하보정을 수행한 결과 만족할만한 성과를 보임을 알 수 있었다. 향후 더 많은 해상도 차이를 보이는 영상에 좀 더 적용하여 SIFT 기술자의 성능을 확인할 예정이며, 고해상도 영상 및 항공사진 등 기복변위가 발생하는 영상에 적용할 수 있는 기술자에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 “멀티센서 공간영상정보 통합 처리 기술 개발”의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

김의명, 손홍규, 송영선 (2005), 영상정합을 위한 특징점 추출 연산자의 비교, 대한토목학회논문집, 제 25권, 제 4D호, pp.

- 591-597.
- Goshtasby, A. A. (2005), *2-D and 3-D image registration - for medical, remote sensing, and industrial applications*, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 4-5.
- Harris, C. and M. Stephens (1988), A combined corner and edge detector, *Fourth Alvey Vision Conference*, pp. 147-152.
- Ke, Y. and Sukthankar, R. (2004), PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors, *In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Washington, USA, pp. 511-517.
- 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. (1999), Object recognition from local scale-invariant features, *In Processings of the 7th International Conference on Computer Vision*, Kerkyra, Greece, pp. 1150-1157.
- Lowe, D. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal on Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2002), An affine invariant interest point detector, *In Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark*, pp. 128-142.
- Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2004), Scale & affine invariant interest point detectors, *International Journal on Computer Vision*, Vol. 60, No. 1, pp. 63-86.
- Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2005), A performance evaluation of local descriptors, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 10, pp. 1615-1630.
- Mikolajczyk, K. et al. (2005), A comparison of affine region detectors, *International Journal on Computer Vision*, Vol. 65, No. 1-2, pp. 43-72.
- Parks, D and Gravel, J. P. (2001), Corner Detectors, McGill University, Canada, <http://www.cim.mcgill.ca/~dparks/CornerDetector/index.htm>
- PG-STEAMER 3.x User's Guide (2006), <http://www.pixoneer.co.kr>
- Schmid, C., Mohr, R. and Bauckhage, C. (2000), Evaluation of interest point detectors, *International Journal on Computer Vision*, Vol. 37, No. 2, pp. 151-172.
- Zitová, B. and Flusser, J. (2003), Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1,000.

(접수일 2006. 11. 9, 심사일 2006. 11. 17, 심사완료일 2006. 12. 23)