

## 강도영상과 거리영상에 의한 건물 스캐닝 점군간 3차원 정합 실험

전민철\* · 어양담\*† · 한동엽\*\* · 강남기\* · 편무욱\*

\*건국대학교 신기술융합학과, \*\*전남대학교 건설환경공학부

### Experiment for 3D Coregistration between Scanned Point Clouds of Building using Intensity and Distance Images

Min-Cheol Jeon\*, Yang-Dam Eo\*†, Dong-Yeob Han\*\*, Nam-Gi Kang\*, and Mu-Wook Pyeon\*

\*Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University

\*\*Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chonnam National University

**Abstract** : This study used the keypoint observed simultaneously on two images and on two-dimensional intensity image data, which was obtained along with the two point clouds data that were approached for automatic focus among points on terrestrial LiDAR data, and selected matching point through SIFT algorithm. Also, for matching error diploid, RANSAC algorithm was applied to improve the accuracy of focus. As calculating the degree of three-dimensional rotating transformation, which is the transformation-type parameters between two points, and also the moving amounts of vertical/horizontal, the result was compared with the existing result by hand. As testing the building of College of Science at Konkuk University, the difference of the transformation parameters between the one through automatic matching and the one by hand showed 0.011m, 0.008m, and 0.052m in X, Y, Z directions, which concluded to be used as the data for automatic focus.

**Key Words** : Terrestrial LiDAR, Matching, SIFT, RANSAC, Transformation Parameter.

**요약** : 본 연구는 지상라이다 자료의 점군간 자동정합을 위해 인접한 두 점군 자료와 함께 획득되는 2차원의 강도영상 자료로부터, 2개 영상에서 동시에 관측되는 특징점들을 이용하여 SIFT 알고리즘에 의해 공역점을 선정하였다. 또한 매칭 오류점 배제를 위해 RANSAC 알고리즘을 적용하여 정합 정확도 향상을 도모하였다. 두 점군간의 변환식 매개변수인 3차원 회전변환 각과 수직/수평 이동량을 계산, 그 결과를 기준 수작업에 의한 결과와 비교하였다. 건국대학교 이과대학 건물을 대상으로 실험한 결과, 자동매칭을 통한 변환매개변수와 수작업으로 한 변환매개변수의 차이는 X, Y, Z, 방향으로 각각 0.011m, 0.008m, 0.052m로서 자동정합 자료의 활용이 가능하다고 판단하였다.

접수일(2010년 1월 15일), 게재확정일(2010년 2월 10일).

† 교신저자: 어양담(eoandrew@konkuk.ac.kr)

### 1. 서론

지상라이다를 이용한 시설물 스캐닝은 폐색지역을 최소화하기 위해 라이다를 옮기면서 여러 곳에서 스캐닝을 실시하고, 라이다를 설치한 곳을 기준으로 한 상대 좌표로 획득된 복수의 라이다 점군자료를 하나의 기하학적 좌표계로 형성시키기 위한 정합작업을 필요로 한다. 이를 위해 지상라이다 작업 현장에 복수의 지상라이다 자료에 공통으로 인식할 수 있는 타겟을 설치하고 정합처리시 공통점으로 인식하여 처리하는 것이 일반적이다(이강원 외, 2004; Dold and Brenner, 2006; Wolfgang von Hansen, 2006; 김형태 외, 2008). 한편 타겟을 설치하지 않고 정합하는 자동정합 연구는 라이다 점군이 중첩된 영역에 대하여 공통으로 인식되는 객체 상관에 기반한 방법을 제안하고 있다(Kim and Choi, 2009).

본 연구는 건국대학교 이과대학 건물을 실험지역으로 하여 지상라이다 점군간 자동 정합을 위해 관측과 동시에 획득되는 2차원 강도(Intensity)영상자료에서 SIFT 기반으로 특징점들을 선정하고, 거리(Distance)영상에서 획득한 특징점의 거리값을 포함, 3차원 좌표화 하여 6 매개변수 변환식을 고려한 RANSAC 알고리즘에 적용하였다.

두 영상간의 정합을 위해 고려되는 영상 매칭에 관한 연구로는 감지된 에지들을 탐색 윈도우 내에서 조합하

여 모멘트 묘사기를 이용하여 물체와 물체 사이에 최소 자승 오차를 계산하여 매칭하는 방법에 관한 연구가 수행된 바가 있다(유채곤 외, 1996). 히스토그램 방식을 보완한 거리 가중치 히스토그램을 사용하여, 영상 내에서 목표물을 탐색하는데 정확성을 높이는 방안이 연구되었고(유채곤 외, 1997), 각 영상에서 유사한 부분이 존재하는지 여부를 판별할 수 있는 잠재적 유사성 측정 알고리즘을 제안한 연구도 진행이 되었다(유채곤 외, 1999). 이렇게 추출된 특징점의 영상 변환정보를 얻어 이를 점 데이터를 결합하는데 사용할 수 있고(조택동 외, 2003), 3차원 대응점 또는 직선 없이 2차원의 영상 자료만을 가지고 변환정보를 추출하는 방법도 제안된 바 있다(조택동 외, 2004).

SIFT 알고리즘에 관한 연구는 SIFT 기반 이미지 유사성 검색 기법에 적용한 바 있고(유승훈 외, 2008) 다양한 해상도를 가진 위성영상의 자동 기하보정을 수행하는 연구가 된 적이 있다(한동엽 외, 2006). 또한, SIFT를 이용한 유사 위성 영상 검색을 수행된 적도 있고, 이를 이용하여 물체인식을 하는 연구도 진행된 바 있다(김정범 외, 2008; 윤준영 외, 2008).

### 2. 연구방법

지상라이다 자료로부터 생성되는 강도와 거리 영상

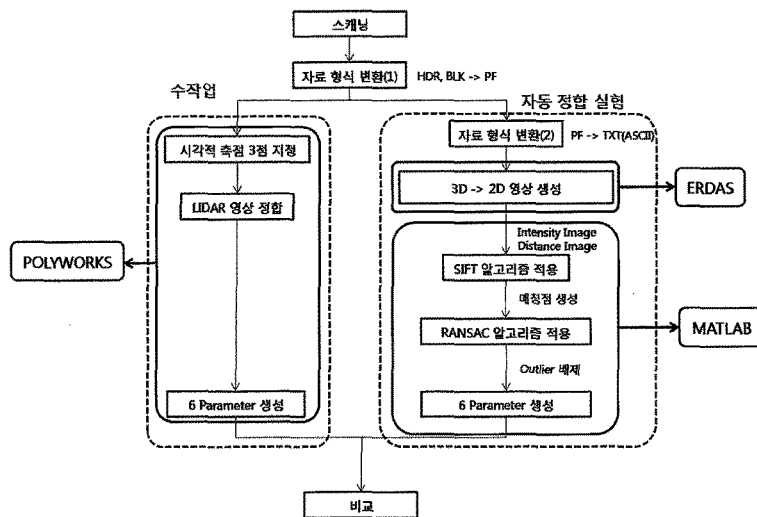


Fig. 1. Flow chart.

자료를 기반으로 수행되었다. 지상라이다를 사용할 경우 획득되는 3차원 자료의 2개축을 기준면으로 하는 자료로 정사투영하여 강도와 거리영상자료를 생성하였다. 이것은 지상사진측량에서 영상획득시 왜곡된 사진영상을 모든 면에서 수직으로 나타나게 만드는 정사영상화 과정이 생략되고, 오차 값이 그만큼 줄어드는 결과가 생기므로 데이터를 신뢰 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 지상라이다 자료를 기반으로, 기존 프로그램을 이용한 지상라이다의 수작업 정합과 3차원 공간정보를 2차원의 영상으로 바꾸어 Matlab 상의 SIFT, RANSAC 알고리즘을 이용하여 자동정합을 실험해 보고 그 결과를 3차원 점자료를 다루는 상용프로그램에 의한 수작업 결과와 차이를 비교하였다.

### 3. 적용 이론

#### 1) SIFT (Scale Invariant Feature Transform)

SIFT 알고리즘은 영상에서 특징(Feature)을 추출하는 방법의 하나로 영상에서 특징이 되는 특징점(Keypoint)을 찾기 위해 영상에 다양한 스케일의 가우시안 함수를 적용하고 차 영상에서 극값을 추출하여 후보키로 선정한다. 다양한 사이즈와 스케일에 대해 DoG(Difference of Gaussian) 영상을 찾기 때문에 SIFT의 특징인 Scale-invariant한 특성을 가질 수 있게 된다. 이렇게 얻어진 여러 DoG 영상을 주변 픽셀과 양쪽으로 인접한 두 스케일의 DoG 영상에서 그 픽셀과 위치가 동일한 픽셀의 주변의 명도를 비교하여 특징점으로 결정한다(윤준영 외 2008).

영상에서 특징점을 찾은 후에는 특징점에 대한 특징을 추출한다. 특징을 추출하기 위해 특징점의 주변 영역 픽셀의 Gradient의 크기와 방향을 구해서 주변 픽셀의 Gradient 값을 기반으로 특징점의 오리엔테이션을 할당하고 할당된 오리엔테이션을 기준으로 모든 Gradient의 방향을 회전함으로써 Rotation-invariant한 특성을 갖추게 된다(김정범 외, 2008).

#### 2) RANSAC (RANDOM Sample Consensus)

어떤 현상을 설명하는 이론 모델을 만들고자 하면 관측

데이터를 수집해야 하는데 관측 데이터에는 모델에 대한 잘못된 가정이나 측정 장비의 오차 등에서 생기는 여러 가지 오류가 들어있게 마련이다. 이러한 오류는 모델을 정확히 예측하는 것을 방해한다. 따라서 모델파라미터의 예측을 방해하는 이상값(Outlier) 데이터가 들어있는 관측데이터로부터 최적의 모델파라미터를 구하는 방법이 RANSAC 알고리즘이다(Martin A and Robert C, 1981).

RANSAC 알고리즘에서 들어가는 입력은 관측된 데이터 값과, 관측결과를 피팅하거나 설명할 수 있는 모델 파라미터, 그리고 신뢰성을 나타내는 파라미터를 필요로 한다. RANSAC 알고리즘은 주어진 원본데이터에서 반복적으로 일부를 임의로 선택하는 과정을 반복하여서 최적의 파라미터를 예측한다. RANSAC 알고리즘은 주어진 관측데이터에 많은 Outlier가 존재하더라도 매우 정확히 모델 파라미터를 예측할 수 있는 능력이 강한 알고리즘이다.

### 4. 실험

#### 1) 실험영역 및 장비

실험대상으로는 건국대학교 이과대학교 건물로서 대략 가로 27m 세로 12m 높이18m의 크기이다. 건물의 전체모습은 반원의 형태를 가지고 있으며, 기둥, 계단 및 계단 손잡이 등 특이점을 갖기에 용이한 시설물이라서 실험을 수행하기에 용이하다고 판단하였다(Table 1). 실험에 사용된 장비는 ILRIS 360D로서 Table 2에 제원을 소개하였다. 스캐너의 경우 영하의 날씨 또는 난반사 및 흡수를 고려한 눈, 비가 오는 날은 피하고 화창한 날을 선택하여 실시하였다.

#### 2) 실험 방법

실험대상 건물을 다른 2개 방향에서 지상라이다 스캔을 실시하였다. 겹치는 부분을 만들기 위하여 대략 2m의 이격거리를 두고 정면 스캔을 실시하였으며 스캔해상도는 2cm로 설정되었다. 스캐닝된 원시 자료는 ILRIS 360D 전용 프로그램인 Parser를 이용하여 Binary 형식으로 변환하였고 이를 다시 ASCII파일로 변환하였다. 본 연구에서는 수작업에 의한 라이다 점군

Table 1. Study site

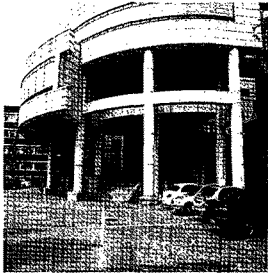
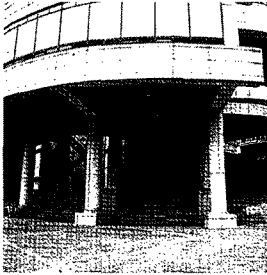
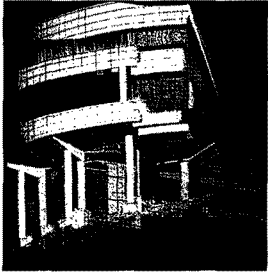
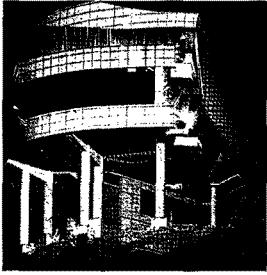
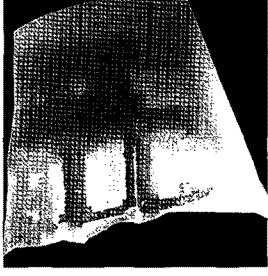
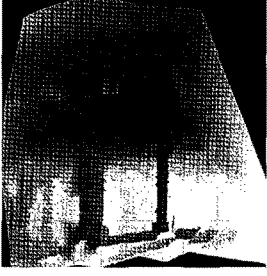
구 분	좌 측 사 진	정 면 사 진	비 고
건국대학교 이과대학 건 물			
강도영상			좌우측 강도영상
거리영상			좌우측 거리영상

Table 2. Specification of ILRIS 360D

Specification	Optech ILRIS 360D	
Maximum Range	3m~1500m(80% target)/3m~800m(20% target)/3m~350m(4% target)	
Resolution	Vertical : 0.0015° / Horizontal : 0.0015°	
Field of view	Vertical angle : 360° / Horizontal angle : 360°	
Type	Pulse	
Range accuracy	Distance Accuracy at Specified Distance	7 mm at 100m
	Position Accuracy at Specified Distance	10 mm at 100m
Laser Wavelength	1535m	

간 정합을 Polyworks에서 수행하였다. 즉 2개의 라이 다 점군을 Polyworks에서 Import를 시켰고, 각각의 영 상을 ASCII파일로 Export 시켰다.

3차원으로 획득된 라이 다 점군자료를 2차원의 강도 영상과 거리영상으로 생성하였다. 이를 위해 ERDAS의 Surface기능을 이용하여 깊이 에 관한 정보를 강도와 거

리에 따른 측정값을 넣어서 2차원의 영상을 만들었다. ILRIS 360D의 ASCII 파일은 X, Y, Z, 강도의 데이터 를 가지고 있다. 이것을 2차원의 영상으로 표시하기 위 해서 Surface기능에서 ASCII파일을 불러들이면, 영상이 가지고 있는 X, Y, Z, 강도 값의 Input 번호가 1,2,3,4로 설정이 되어 있는데 이를 강도영상의 경우

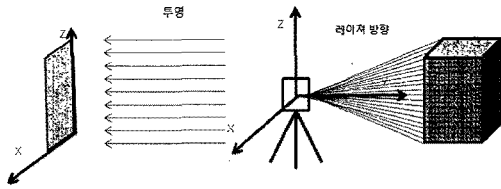


Fig. 2. 3D to 2D transformation of Terrestrial LiDAR.

Output의 번호를 1,3,4로 바꾸고 거리영상의 경우 1,3,2로 바꾸어서 X, Z의 2차원 영상을 만들고 3번째 축을 강도에 의한 파일과 거리에 대한 파일로 만든 것이다. 단순히 점의 좌표만 가지고 있던 파일이 불규칙 삼각망 Mesh를 이용하여 면을 생성하게 된다. 이로써 영상이 면을 갖게 되고 이 면을 더 정확하게 나오게 하기 위해 데이터의 셀 크기를 조절하여 더 명확한 영상을 얻는다. 강도의 경우 반사강도의 세기에 따라 표시를 하기 때문에 거리에 따라 표시를 한 영상의 경우 강도에 비해 선명도가 상당히 떨어진다. 따라서 셀 크기의 조절을 통해 선명도가 잘나오도록 하는 작업이 중요하다. 셀 사이지는 스캔 당시 옵션대로  $0.02 \times 0.02m$ 를 유지하였다.

LRIS 360D 라이다 스캐너는 Y축으로 레이저가 나가게 된다. 즉 스캔을 통해 얻은 데이터를 Polyworks로 보았을 때 보는 방향을 -Y축으로 돌리게 되면 정면을 바라보는 모양이 나온다. Y축의 거리를 이용한 경우 X와 Z축이 평면이 되게 하고 Y축은 거리가 되게 해서 2차원 영상에 거리에 따른 명암을 표시하게 된다.

강도의 경우 X축과 Z축이 평면이 되게 한다는 것은 같지만, 다른 한 방향이 거리가 아니라 강도에 의한 명암을 표시하게 하였다. 그 결과 거리영상보다 선명한 영상을 취득할 수 있었다. 거리영상의 배경 화소값은 0, 셀 사이즈는  $0.02 \times 0.02m$ 로 하였고, 강도에 따른 영상의 배경 화소값과 셀 사이즈 값도 거리에 따른 영상과 동일하다.

SIFT 정합은 Low의 데모 프로그램을 수정하여 이용하였으며, 정합쌍 선정을 위한 백터각 임계값은 0.7로 하였다. 3차원 좌표쌍간에 변환식은 축척이 1이고, 회전행렬과 이동행렬로 구성된 강체변환식을 이용하였다. RANSAC 조정시에 SIFT로 찾은 정합쌍 중에서 3개의 임의쌍을 선정하고, 강체변환식을 생성한 후, 임계 거리 오차 이내의 점들(Inliers)을 찾는다.

RANSAC 조정에서 사용되는 임계거리오차는 영상

의 화소크기인  $0.02m$ 로 정하였다.

### 3) 실험 결과

2개의 강도영상은 Fig. 3의 좌우 영상이다. 두 데이터를 취득한 기기위치의 거리는 약 2~3m로 50% 이상의 부분이 중첩되어 있다. Fig. 3의 선분은 총 89개의 SIFT 정합점을 표시한 것으로 일부 선분을 제외하고 대부분 선분이 일정한 간격과 방향을 가지고 있다.

강도영상의 화소값은 기하정보가 아니기 때문에, 동일지점의 거리영상 화소값을 읽어서 매칭점의 X, Y, Z 3차원 좌표값을 취득한다. Fig. 4는 취득된 좌표값을 3차원으로 나타낸 것이며, 두 데이터간에 일정한 변위차를 파악할 수 있다.

RANSAC 조정에서는 89개의 SIFT 좌표쌍중에서 3개의 임의쌍을 선정하고, 강체변환식을 생성한 후, 임계 거리오차 이내의 점들(Inliers)을 찾았다. 그 결과 31개의 점이 오차 이내인 것으로 나타났다(Table 3). Fig. 5는 오른쪽 영상의 31개 점들을 변환식을 적용한 후 89개 정합쌍들과 같이 나타난 것으로 왼쪽 영상점들과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

RANSAC 조정에서 임의로 점을 추출하여 Inliers 점들을 찾기 때문에 31개의 점은 각 조정실험에서 달라질 수 있다. 오른쪽 영상의 기준점을 회전행렬을 이용하여 변환한 후, 왼쪽 영상 기준점과 비교한 결과 X, Y, Z값의 차이에 대한 표준편차는 각각  $\pm 0.009m$ ,  $\pm 0.006m$ ,  $\pm 0.007m$ 이었다(Table 3). 이 결과는  $0.02m$ 인 영상의 화소크기보다 훨씬 작은 값으로 변환 정밀도가 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

제안방법의 정확도를 비교하기 위하여 Polyworks에서 수동기준점을 이용하여 처리한 변환 행렬과 본 연구 방법으로 얻은 변환 행렬을 비교하였다(Table 4). 두 변

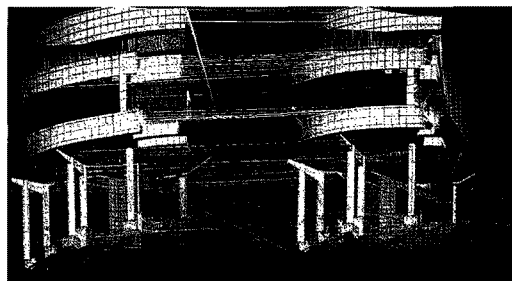


Fig. 3. Intensity images and SIFT matching points.

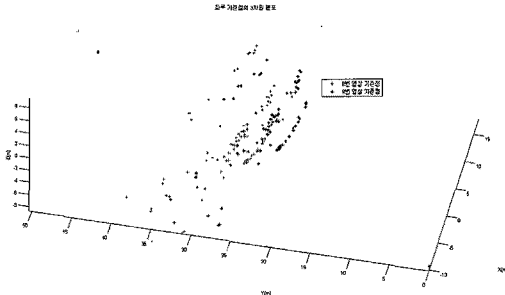


Fig. 4. 3D scatter plot of SIFT matching points.

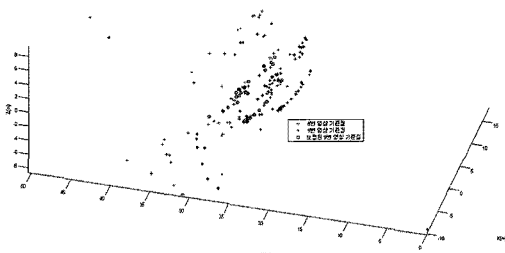


Fig. 5. 3D scatter plot of final matching points.

Table 3. Results of proposed method and polyworks

	R			T
	P*	0.9938	0.0762	-0.0805
-0.0787		0.9965	-0.0291	3.389
0.0780		0.0353	0.9963	-1.076
V**	0.9938	0.0764	-0.0804	-3.982
	-0.0787	0.9965	-0.0267	3.381
	0.0781	0.0329	0.9964	-1.024

\* Proposed Method

\*\* Polyworks

환행렬의 이동행렬(T) 원소차는 TX, TY, TZ 각각 0.011m, 0.008m, 0.052m이다. 이동행렬간 원소차가 래스터 영상의 해상도보다 약 3배 정도 크게 나타났으며, 그 이유는 래스터 영상으로 변환하는 과정에서 생기는 오차와 상대적으로 적은 기준점으로 인한 편이가 존재하기 때문으로 판단하였다.

### 5. 결론

기존 지상라이다의 정합방법인 사람이 수작업으로 똑같은 점을 판단해 정합점을 선택하는 방법이나 Target을 이용한 정합 방법과는 달리 본 논문은 3차원

의 점군을 2차원 영상으로 변환하고 그 2차원의 영상에서 SIFT 정합을 통하여 추출된 후보기준점을 3차원 데이터에 적용하여 정합점을 선정하였다. 본 연구에서는 SIFT 알고리즘을 통해 89개의 특징점을 얻고 그 89개의 특징점 중 RANSAC 알고리즘을 통해 Outlier를 제거하여 31개의 정합쌍을 얻을 수 있었다. 좌우 정합쌍의 변환식 적용후, 좌표차에 대한 X, Y, Z 표준편차는 각각  $\pm 0.009m$ ,  $\pm 0.006m$ ,  $\pm 0.007m$ 로 나타났다. 수작업에 의한 정합쌍을 찾는 Polyworks의 변환식 결과와 변환식의 차를 비교하여 변환식 정확도를 판단하였다. 두 변환행렬의 이동행렬 원소차는 X, Y, Z 방향으로 각각 0.011m, 0.008m, 0.052m이다. 기존 상업용 소프트웨어의 결과와 차이가 크지 않기 때문에 본 연구의 제안 방법은 충분히 활용 가능할 것이라고 판단된다. 이는 충분한 정합점만 있다면 충분히 일관적이고 신뢰성이 향상된 정합방법이 된다는 의미이고 오차 또한 숙련된 작업자의 결과와도 차이가 없으므로 비숙련가도 신뢰성 높은 정합을 할 수 있다.

향후 연구과제로서 SIFT 알고리즘과 RANSAC 알고리즘을 통해 나온 정합점의 수를 늘리는 연구가 필요하고 영상으로 변환하지 않고, 원 점군자료에 직접 적용 가능한 알고리즘의 개발로 인해 신속성과 정확성을 발전시킬 필요가 있다. 본 연구의 계속된 발전으로 인해 앞서 말한 것과 같이 대규모 작업의 자동 정합 처리의 시간 및 정확성 그리고 신뢰성이 향상될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 국토해양부의 U-City 석·박사과정 지원 사업으로 지원되었습니다.

### 참고문헌

- 김정범, 정진완, 김덕환, 김상희, 이석룡, 2008. SIFT를 이용한 유사 위성 영상 검색, 정보과학회논문지, 35(5): 379-390.
- 김형태, 편무욱, 박재선, 강민수, 2008. 건물 실내 공간 모델링을 위한 지상라이다 영상 정합 방법에 따

- 른 정확도 분석, 대한원격탐사학회지, 24(4): 333-340.
- 유승훈, 김덕환, 이석룡, 정진완, 김상희, 2008. 윤곽선 이미지 피라미드와 관심영역 검출을 이용한 SIFT 기반 이미지 유사성 검색, 정보과학회논문지, 35(4): 345-355.
- 유채곤, 김진용, 황치정, 1996. 배경에 불변적인 매칭을 위한 에지 세그먼트 조합 기법, 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, 23(2): 359-362.
- 유채곤, 김진용, 최중원, 황치정, 1997. 거리 가중치 히스토그램을 이용한 매칭, 한국정보과학회 봄 학술발표 논문집, 24(1): 357-360.
- 유채곤, 이성환, 최영수, 김진용, 황치정, 1999. 부분 영상 매칭을 위한 잠재적 유사성 측정기법, 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, 26(2): 491-493.
- 윤준영, 김은태, 전세웅, 2008. SIFT알고리즘을 이용한 물체인식, 대한전기학회 하계학술대회 논문초록집, 471-471.
- 이강원, 김승용, 위광재, 2004. 3차원 GIS의 자료 획득 기술과 활용, 한국GIS학회 2004년 추계학술대회, 41-53.
- 조택동, 이호영, 2000. 패턴매칭을 이용한 형상측정 데이터의 결합, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 307-310.
- 조택동, 이호영, 양상민, 2004. 2차원 영상에서 패턴매칭을 이용한 3차원 물체의 변환정보 추정, 한국정밀공학회지, 21(7): 83-91.
- 한동엽, 김대성, 이재빈, 김용일, 2006. SIFT 기법을 이용한 중·저해상도 위성영상간의 자동 기하보정, 한국공간정보시스템학회 학술회의 논문집, 311-316.
- Dold, C. and Brenner, K., 2006. Registration of terrestrial laser scanning data using planar patches and image data, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Symposium of Commission 5 symposium, Vol. XXXVI, Part 5. Dresden. 25-27.
- Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, 1981. Random Sample consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Comm. of the ACM 24: 381-395.
- Nam Gi Kang, Jae Sun Park, Tae Min Hong, Yang Dam Eo, Byoung Kil Lee, and Mu Wook Pyeon, 2009. Development of RTLS Access Point Allocation Prototype for Location Tracking in Construction Sites, 2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, Seoul.
- Tae Young Kim, and Myungjin Choi, 2009. Image Registration for Cloudy KOMPSAT-2 Imagery Using Disparity Clustering, *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(3): 287-294.
- Wolfgang von Hansen, 2006. Robust Auto Matic Marker-Free Registration of Terrestrial Scan Data, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Symposium of Commission III, Bonn.