

지상레이저스캐너 데이터의 자동 글로벌 보정

Automatic Global Registration for Terrestrial Laser Scanner Data

김창재¹⁾ · 어양담²⁾ · 한동엽³⁾

Kim, Chang-Jae · Eo, Yang-Dam · Han, Dong Yeob

Abstract

This study compares transformation algorithms for co-registration of terrestrial laser scan data. Pair-wise transformation which is used for transformation of scan data from more than two different view accumulates errors. ICP algorithm commonly used for co-registration between scan data needs initial geometry information. And it is difficult to co-register simultaneously because of too many control points when managing scan at the same time. Therefore, this study perform global registration technique using matching points. Matching points are extracted automatically from intensity image by SIFT and global registration is performed using GP analysis. There are advantages for operation speed, accuracy, automation in suggested global registration algorithm. Through the result from it, registration algorithms can be developed by considering accuracy and speed.

Keywords : Global Registration, Terrestrial Laser Scanner, SIFT, ICP

초 록

본 연구에서는 지상레이저스캐너 데이터의 보정을 위하여 변환 알고리즘을 비교하였다. 두 개 이상의 시점으로부터 취득된 스캔 데이터를 변환하는 데 많이 사용되는 pair-wise 변환은 오차가 누적된다. 스캔데이터간 보정에 많이 사용되는 ICP 알고리즘은 초기 기하정보가 필요하며, 여러 스캔데이터를 보정할 때 많은 기준점으로 인하여 동시에 보정하기 어렵다. 따라서 정합점을 이용한 글로벌 보정 방법을 수행하였다. 정합점은 SIFT를 이용하여 자동으로 강도영상으로부터 추출하였으며, GP 분석을 이용하여 글로벌 보정을 수행하였다. 제안된 글로벌 보정 방법은 연산속도, 정확도, 자동화 등에 있어서 장점을 지닌 것으로 나타났다. 본 연구의 성과를 이용하여 정합문제에 있어서 정확도와 속도를 적절히 고려한 보정방법을 개발할 수 있다.

핵심어 : 글로벌 보정, 지상레이저스캐너, SIFT, ICP

1. 서 론

지상레이저스캐너 데이터를 활용하기 위해서는 모든 스캔데이터를 하나의 좌표계, 즉 절대 또는 상대좌표계로 기하보정(registration) 하는 처리가 필요하다. 스캔데이터간 보정에 사용되는 기준 개체로 데이터간 중복 지역의 점·선·면 등을 개별 또는 통합하여 사용하며

(Wang, 2008), 이들 기준 개체를 바탕으로 최적의 변환함수를 추정한다. 점기반 기준 개체는 영상간 보정 개체로 폭넓게 사용되어 왔으며, 스캔 데이터의 보정에도 가장 많이 이용되고 있다.

점기반 기준 개체를 찾는 과정에서 레이저스캐너 데이터의 특성상 스캔데이터간 초기 기하관계가 비교적 정확하게 알려져야 한다. 이를 위해 수동으로 직접 몇 개

1) 정희원 · 연세대학교 박사후 연구과정(E-mail: earth2moon@gmail.com)

2) 정희원 · 건국대학교 신기술융합학과 조교수(E-mail: eoandrew@konkuk.ac.kr)

3) 교신저자 · 정희원 · 전남대학교 공학대학 건설환경공학부 조교수(E-mail: hozilla@chonnam.ac.kr)

의 기준점을 지정하여 기하관계식을 구성하거나, 인공 타겟을 대상지역에 설치하여 기준점으로 이용하기도 하며, 복잡한 알고리즘을 이용하여 자동으로 기하관계를 찾을 수도 있다(Jason 등, 2008).

대상지역의 스캔데이터 수가 2개 이상일 때, 2개 스캔 데이터간 보정은 pair-wise 보정이라고 하며, 전체 스캔데이터간의 오차최소 보정은 글로벌(global) 보정이라고 한다. 초기 변환식이 주어졌을 때, 2개 스캔데이터간의 최적변환식을 산정하기 위하여 널리 사용되고 있는 방법은 Besl 등(1992)이 제안한 ICP (iterative closest point) 알고리즘이다. ICP 알고리즘은 스캔데이터간 최단거리점쌍을 후보 기준점으로 사용하기 때문에 매우 많은 점을 기준점으로 이용한다. ICP 알고리즘은 2개 스캔데이터간 관계식을 구하는 데 어려움이 거의 없지만, 여러 스캔데이터간의 동시 보정에 직접 적용하기 어렵기 때문에, 2개의 스캔데이터간 보정을 기반으로 나머지 스캔데이터를 차례로 통합하는 pair-wise기반 보정방법으로 연구되었다(Marcel, 2006).

pair-wise기반 보정방법은 결국 통합데이터에 오차가 누적되기 때문에 스캔데이터들을 동시에 보정하는 것이 필요하다. 동시보정은 일반적으로 테일러 전개 등을 이용하여 비선형 방정식을 선형화하여 식을 구성한다. ICP 알고리즘을 기반으로 정합쌍을 추출하면 너무 많은 기준점을 생성하기 때문에 여러 개의 스캔데이터를 동시 보정하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 적은 수의 스캔데이터간 정합 기준점을 이용하여 전체 스캔데이터를 동시보정하는 방법을 제안하고, pair-wise 기반 방법과 비교하였다(그림 1 참고). 한편, 정합기준점을 추출하기 위하여 Lowe(2005)의 SIFT 알고리즘을 이용하였으며, 정합점의 동시보정을 위하여 GP(Generalized Orthogonal Procrustes Analysis)를 적용하였다.

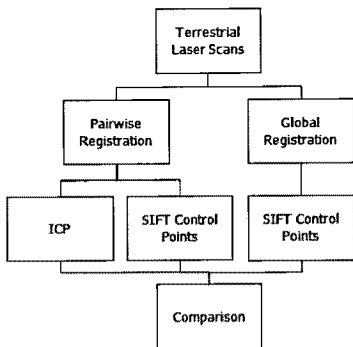


그림 1. 연구흐름도

2. 정합기준점 추출

정합이란 동등하거나 유사한 것을 찾거나 대응을 설정하는 것으로 정의할 수 있다. 일반적인 정합 순서는 정합개체를 추출하고, 가능한 정합 개체쌍을 선택하며, 변환 인자나 최종 개체 대응쌍을 추정한다. 정합을 위한 점개체로 ICP 알고리즘은 스캔데이터간 중복점을 이용하고, SIFT(Scale Invariant Feature Transform)기반 알고리즘은 영상에서 특징이 되는 특징점(keypoints)을 추출한다. 추출된 특징점은 회전, 축척 등의 불변기술자(invariant descriptor)로 128방향 속성값을 갖는다. 가능한 대응쌍을 추정하기 위하여 ICP 알고리즘은 최소거리 기준을 적용하고, SIFT 알고리즘은 128방향에 대한 유클리디안 거리를 이용한다.

마지막으로 최종 대응쌍을 추정하기 위하여 ICP 알고리즘은 변환인자값이 수렴할 때까지 반복계산하며, SIFT기반 알고리즘은 Lowe의 데모프로그램에서 가장 가까운 정합점과 두 번째로 가까운 정합점의 거리의 비를 이용하여 기준값보다 작은 경우 정합쌍을 선정하였다. 하지만 일정한 기준값을 적용하여 참정합쌍을 판단하기 어렵기 때문에 추출된 정합쌍 중에서 잘못 대응된 정합쌍을 제거한 후, 최종 정합쌍으로 변환계수를 결정해야 한다.

변환인자의 추정을 방해하는 노이즈 데이터(outlier)가 들어있는 관측데이터로부터 최적의 변환인자를 구하는 방법으로 RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘이 있다(Fischler 등, 1981). RANSAC 알고리즘은 부분집합의 점의 수, 오차한계, 최대 반복회수, inlier 점을 위한 임계 등을 설정해야 하며, 이 값들에 의해 결과가 크게 달라질 수 있다.

스캔데이터 정합에 사용된 변환식으로 ICP에서는 6인자 강체(rigid) 변환방정식이 사용되며, 식 (1)과 같다.

$$T(\tilde{p}) = A\tilde{p} + \tilde{b} \quad (1)$$

여기서, \tilde{p} 는 스캔 데이터, A 는 3×3 회전 행렬, \tilde{b} 는 이동행렬이다.

6개의 인자중에서 회전행렬은 SVD (Singular Value Decomposition)로 구하고, 이 값을 적용하여 이동행렬을 얻을 수 있다(Horn, 1987).

3. 스캔데이터간 변환

pair-wise 보정은 기준 스캔데이터를 정하고, 기준 스캔데이터와 중복점이 있는 스캔데이터 중 하나를 기준 스캔데이터 좌표계로 보정한다. 그리고 변환된 스캔데이터가 새로운 기준 스캔데이터가 되어 나머지 스캔데이터를 차례대로 보정한다. 따라서 처음 기준 스캔데이터를 정하고, 나머지 스캔데이터들을 어떤 순서로 통합 보정할 것인지를 결정하는 문제와 누적되는 오차를 어떻게 최소화하면서 배분할 것인지에 대한 문제를 해결하기 위한 연구가 많이 진행되었다(Marcel, 2006).

pair-wise 기반 보정은 컴퓨터 메모리를 덜 소모하지만, 다양한 스캔데이터간 조합을 이용하지 못하기 때문에 전체 스캔데이터의 정합쌍을 완전히 이용하지는 않는다. Williams 등(2001)은 pair-wise 보정을 일반화하여 동시에 여러 스캔데이터를 보정하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 먼저 최적 회전행렬을 반복해서 찾고, 이를 이용하여 최적 이동행렬을 찾는 것이다. Williams 등(2001)이 제안한 알고리즘은 수학적으로 Beinat 등(2002)이 제안한 GP와 유사하다. Gruen 등(2005)은 일반화된 Gauss-Markoff 모델을 이용하여 3차원 곡면 또는 스캔데이터의 보정을 수행하였다.

본 연구에서는 GP 알고리즘을 이용하여 동시보정하였다. GP 알고리즘의 최소제곱합수는 다음과 같다.

$$tr\left\{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [(c_i A_i T_i + j t_i^T) - (c_j A_j T_j + j t_j^T)]^2\right\} = \min \quad (2)$$

여기서 A_1, A_2, \dots, A_m 은 모델점행렬로 k 차원 공간에서 p 점의 동일집합을 포함한다. T 는 $(k \times k)$ 직교(orthogonal) 회전행렬, t 는 $(k \times 1)$ 이동행렬, c 는 축척인자, j 는 $(1 \times p)$ 단위벡터이다.

행렬 Z 는 consensus 행렬로 p 점의 참조표이고, E_i 가 우연오차행렬일 때, 다음 식이 성립한다.

$$Z + E_i = \hat{A}_i = c_i A_i T_i + j t_i^T \quad (3)$$

여기서, $i = 1, 2, \dots, m$

C 가 Z 의 최소제곱 추정값 \hat{Z} 라고 할 때,

$$C = \hat{Z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{A}_i \quad (4)$$

중심(centroid) C 를 구하는 방법은 먼저 임의의 초기값을 구하고, 행렬 \hat{A}_i 를 계산한 후, 이를 이용하여 C 값이 수렴할 때까지 반복된다. 실제 알고리즘을 적용할 때 모든 정합점이 모든 스캔데이터에 존재하지 않기 때문에 불린(Boolean) 대각행렬 M 을 사용하여 식을 보완한다. 예를 들어 A_1, A_2, A_3 다음과 같을 때, 존재하는 대응원에 대하여 대각원소가 1인 M 이 생성된다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix}, \quad M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} - & - & - \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ - & - & - \\ x_6 & y_6 & z_6 \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ x_5 & y_5 & z_5 \\ x_6 & y_6 & z_6 \end{bmatrix}, \quad M_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

M 을 고려하면 C 는 다음과 같다.

$$C = \left(\sum_{i=1}^m M_i \right)^{-1} \left| \sum_{i=1}^m M_i \hat{A}_i \right| \quad (5)$$

4. 실험 및 결과

4.1 실험 데이터

실험대상은 건국대 건물이며, 대략 가로 27m, 세로 12m, 높이 18m의 크기이다. 스캐닝 장비는 ILRIS 3D이며, 12개의 스캔데이터를 취득하였다. 스캔데이터의 최소점수는 473,037점이고, 최대점수는 762,821점이다. 스캔데이터는 위치정보 $x y z$ 값과 강도(intensity) 정보를 포함하고 있으며, 스캔데이터가 점군(point clouds)이므로 일정한 크기의 격자형식 영상으로 변환하여 정합점 추출을 수행하였다. $x y z$ 를 이용한 거리영상과 $x y i$ 를 이

용하는 강도영상은 TIN(triangular irregular network)기반 내삽(interpolation)으로 생성되며, 영상의 격자간격은 0.02m이다. 강도 영상으로부터 특징점 추출 및 정합을 위하여 Lowe의 SIFT 기법을 이용하였다. 실험데이터 및 정합점 추출과 관련된 내용은 전민철 등(2010)에 의한 논문에서 자세히 찾아볼 수 있다. 본 연구의 실험을 위해 ICP, SIFT, RANSAC, GP 알고리즘을 Matlab으로 구현하여 데이터를 처리하였다. 그림 2는 8번째 스캔데이터의 강도영상과 거리영상으로 크기는 1681×993이다.

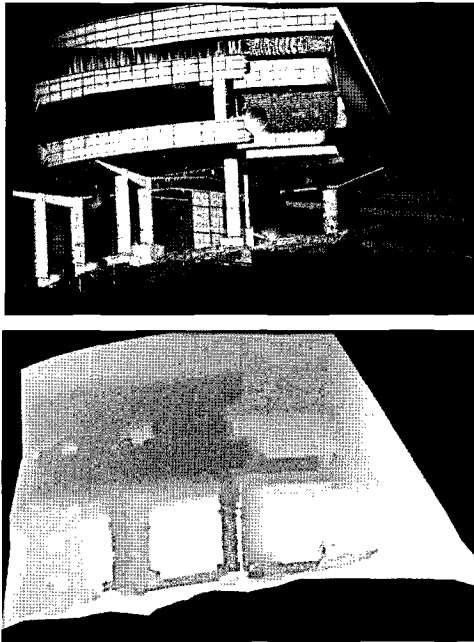


그림 2. 8번째 스캔데이터의 강도영상과 거리영상

4.2 정합 결과

SIFT를 이용한 스캔데이터간 정합 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 구분 A는 이웃 스캔데이터간 정합결과이고, 구분 B는 이웃하지 않는 스캔데이터간 정합결과다. 구분 B에 나타난 조합은 이웃하지 않은 조합중에서 비교적 점수가 많은 것만을 표시한 것이고, 표에 나타난 조합 이외에도 많은 스캔데이터간 조합에서 정합점이 추출되었다. 구분 A의 조합만을 이용하여 본 연구에서 제안한 세 가지 방법으로 전체스캔데이터를 통합보정하였다. 그리고, 구분 B의 조합 중에서 일부 조합을 이용하여 통합보정된 스캔데이터의 정확도를 평가하였다. 표에는 각 스캔데이터조합별 정합점수와 정합점을 이용

하여 변환식을 구성할 때 발생하는 X, Y, Z값 차의 표준편차가 포함되어 있다. 강도영상의 격자간격보다 대부분 작다는 것을 알 수 있다. RANSAC 알고리즘의 오차 임계값을 크게 하면서 정합쌍을 찾았기 때문에, 정합점수가 작은 경우도 있고, 많은 경우가 있다. 또한 정합점수가 적으면 변환 오차도 작게 나타났지만, 정합점의 질에 따라 많은 정합점수에서 변환 오차가 작은 경우도 있었다.

표 1. SIFT를 이용한 스캔데이터간 정합점 결과

구분	scan #		정합점 수	정합점간 변환식 보정후 차이(m)		
	L	R		std(dX)	std(dY)	std(dZ)
A	1	2	12	0.010	0.006	0.007
	2	3	30	0.019	0.014	0.013
	3	4	8	0.006	0.004	0.005
	4	5	4	0.001	0.001	0.004
	5	6	9	0.004	0.003	0.002
	6	7	15	0.005	0.004	0.004
	7	8	21	0.005	0.004	0.004
	8	9	26	0.005	0.004	0.004
	9	10	22	0.004	0.004	0.004
	10	11	15	0.009	0.006	0.007
	11	12	28	0.009	0.006	0.008
B	1	3	33	0.052	0.06	0.050
	2	4	14	0.060	0.072	0.045
	2	8	13	0.049	0.042	0.013
	4	6	12	0.004	0.007	0.008
	4	7	8	0.010	0.007	0.009
	5	7	16	0.006	0.006	0.011
	5	8	10	0.006	0.006	0.006
	6	8	14	0.003	0.003	0.004
	6	9	11	0.002	0.003	0.004
	6	11	13	0.011	0.006	0.006
	7	9	35	0.009	0.007	0.007
	7	10	12	0.005	0.004	0.004
	7	11	21	0.014	0.010	0.010
	8	10	45	0.006	0.008	0.007
9	11	17	0.010	0.008	0.009	
10	12	17	0.016	0.007	0.009	

4.3 ICP를 이용한 pair-wise 보정

본 연구와 보정결과를 비교하기 위하여 ICP를 이용한 pair-wise 보정을 수행하였다. pair-wise 보정을 위해 기준 스캔데이터를 정하고, 보정될 스캔데이터의 순서를 정하는 것이 필요하다. 기준 스캔데이터로 중앙에 위치한 7번 스캔데이터를 정했다. 보정순서는 다음과 같다.

$$7 < 8 < 6 < 9 < 5 < 10 < 4 < 11 < 3 < 12 < 2 < 1$$

ICP 보정은 스캔데이터간 근사 위치관계가 주어져야 한다. 실험에 사용된 스캔데이터도 초기 위치가 주어지지 않은 경우 30회의 반복횟수내에 수렴하지 않았다. 스캔데이터간 초기 기하관계는 SIFT 정합점을 이용하여 구한 값을 사용하였다. 그림 3는 보정후의 거리와 강도 영상이고, 표 2는 ICP 보정후 ICP 보정의 정확도를 추정하기 위하여 나타낸 초기 변환식과 보정후 변환식의 이동행렬 차와 ICP 보정에 사용된 정합점 수이다. 4,3,2,1번 스캔데이터는 보정후에 이동행렬이 0.1이상 변했다. ICP에서 찾은 초기 정합점 수도 각 스캔데이터 총점수의 절반에 미치지 못했다. 이는 4,3,2,1번 스캔데이터가 전체 보정된 스캔데이터에 비해 상대적으로 많이 이동되어 있었다는 것을 의미한다.

표 2. ICP를 이용한 pair-wise 보정후 이동행렬차와 정합점수

scan #	ICP 보정전후 이동행렬 차				ICP 정합점 수		
	dT_x	dT_y	dT_z	dT	원점수	초기	최종
8	-0.017	-0.012	-0.003	0.021	748557	395817	399118
6	-0.026	-0.005	-0.044	0.052	709385	479087	505315
9	-0.026	-0.008	0.005	0.028	651596	473880	528302
5	-0.013	-0.013	-0.049	0.052	762821	466732	521086
10	-0.012	-0.010	0.023	0.028	706881	581431	619644
4	-0.004	-0.066	0.098	0.119	661597	319910	558038
11	-0.009	0.003	0.011	0.014	583540	492815	520247
3	-0.048	-0.090	0.105	0.147	531778	226585	458991
12	0.008	0.011	-0.022	0.026	473037	410951	435073
2	-0.039	-0.100	0.097	0.145	719335	270608	597725
1	-0.030	-0.109	0.081	0.139	544747	146370	421019

4.4 SIFT 정합점을 이용한 pair-wise 보정

정합점을 이용하여 순서대로 전체 보정을 수행하였다. 기준 스캔데이터와 스캔데이터 보정 순서는 ICP를 이용한 보정 방법과 같다. 그림 4는 SIFT 정합점을 이용

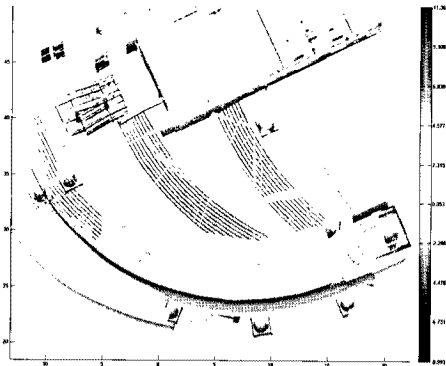


그림 3. ICP를 이용한 pair-wise 보정후 거리영상과 강도영상

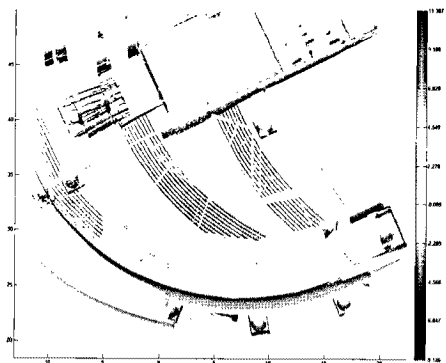


그림 4. SIFT 정합점을 이용한 pair-wise 보정후 거리영상과 강도영상

한 pair-wise 보정후 거리와 강도 영상이다. 시각적으로 ICP 보정방법과 큰 차이를 나타내지는 않았지만, 확대해서 자세히 보면 약간의 차이를 보인다. 예를 들어, 거리 영상의 경우 각 선형의 두께와 직선 형태에서 ICP 보정 거리 영상이 더 얇고 직선형에 가까워 더 나은 것으로 보인다.

4.5 SIFT 정합점을 이용한 GP 보정

본 연구에서 제안한 SIFT 정합점을 GP를 이용하여 글로벌 보정을 수행하였다. 중심 C의 초기값을 구하기 위해 1번 스캔데이터 좌표계로 보정한 후, 중심을 반복갱신하였다. 그림 5는 단일 좌표계로 변환된 모든 점군의 강도와 거리영상이다.

4.6 정확도 평가

위에서 언급된 세 가지 보정방법으로부터 각 스캔데이터의 변환행렬을 얻을 수 있다. 스캔데이터별 변환행렬식에 SIFT로부터 추출된 정합점을 적용하여 보정정확도를 평가하였다. SIFT로부터 추출된 정합점이 신뢰도를 정량화할 수 없지만, 시각적으로 동일점임을 확인하였다. 앞서 말한 것처럼 검사용 정합점은 세 가지 보정방법에서 사용되지 않은 독립검사점이다.

표 3은 평가결과를 나타낸 것이다. 표 1의 B조합 중에서 임의로 선택한 4개 스캔데이터 조합의 총 80점이 이용되었다. 4개 스캔데이터조합의 정합점간 변환차의 표준편차는 ± 0.01 내외이다. 4-7 스캔데이터조합은 세 가지 방법 모두에서 가장 낮은 정확도를 가지고 있다. pair-wise 보정방법은 4개 스캔데이터조합에서 정확도가 유사하게 나타났지만, ICP에 의한 보정방법이 다소 나은 정확도를 나타냈다. 글로벌 보정방법은 4개 스캔데이터 조합에서 비교적 유사한 결과를 보였으며, pair-wise 보정방법보다 전반적으로 정확도가 높았다. 따라서 글로벌 보정방법의 우수성을 확인할 수 있다.

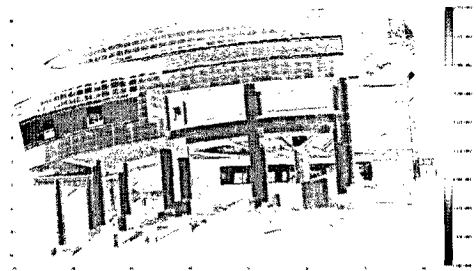


그림 5. SIFT 정합점과 GP를 이용한 글로벌 보정후 거리영상과 강도영상

5. 결 론

본 연구는 근거리레이저스캔 데이터를 통합보정하기 위하여 ICP를 이용한 pair-wise 보정, 정합점을 이용한 pairwise 보정, 정합점을 이용한 글로벌 보정 방법을 비교하였다. 기존에 많이 사용되었던 ICP를 이용한 방법은 스캔데이터간 초기관계정보가 필요하며, pair-wise 보정 방식은 오차의 누적과 대용량 연산 등의 문제점을 가지고 있다. 이에 소수의 정합기준점과 글로벌 보정을 사용

표 3. SIFT 정합점을 이용한 보정방법들의 정확도 비교

scan #			SIFT 정합점의 보정전 차이(m)			ICP 보정후 차이(m)			SIFT pair-wise 보정후 차이(m)			SIFT 글로벌 보정후 차이(m)		
L	R	점수	std(dX)	std(dY)	std(dZ)	std(dX)	std(dY)	std(dZ)	std(dX)	std(dY)	std(dZ)	std(dX)	std(dY)	std(dZ)
4	7	8	0.010	0.007	0.009	0.255	0.971	0.129	0.252	0.969	0.141	0.027	0.025	0.045
5	7	16	0.006	0.006	0.011	0.825	0.733	1.241	0.814	0.739	1.243	0.006	0.016	0.012
7	9	35	0.009	0.007	0.007	0.005	0.006	0.004	0.004	0.007	0.004	0.003	0.010	0.007
7	11	21	0.014	0.010	0.010	0.016	0.011	0.010	0.014	0.012	0.011	0.017	0.008	0.023

하여 정확도를 높이고자 하였다.

이를 위하여 SIFT를 이용하여 자동으로 강도영상으로부터 추출된 소수의 기준점을 활용하여 전체 스캔데이터를 글로벌 보정하였다. 제안된 글로벌 보정 방법은 다른 2가지 방법에 비해 연산속도, 정확도, 자동화 등에 있어서 장점을 지닌 것으로 나타났다. 향후 점개체 외에 선이나 면개체를 이용하는 방법과 글로벌 정합 수렴을 가속화할 수 있는 알고리즘을 연구하고자 한다. 본 연구의 성과를 이용하여 정합문제에 있어서 정확도와 속도를 적절히 고려한 정합방법을 개발할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

전민철, 어양담, 한동엽, 강남기, 편무욱 (2010), 강도영상과 거리영상에 의한 건물 스캐닝 점군간 3차원 정합 실험, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 26권, 제 1호, pp. 39-45.

Beinat, A. and Crosilla, F. (2002), A generalized factored stochastic model for the optimal global registration of LIDAR range images, *IAPRS*, ISPRS, 34(3B), pp. 36-39.

Besl, P. and McKay, N. (1992), A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Transaction on Pattern Analysis And Machine Intelligence*, IEEE, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256.

Fischler, M.A. and Bolles, R.C. (1981), Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of the Association for Computing Machinery*, ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395.

Gruen, A. and Akca, D. (2005), Least squares 3D surface and curve matching, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 59, No. 3, pp. 151-174.

Horn, K.P. (1987), Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions, *Journal of the Optical Society of America A*, Optical Society of America, Vol. 4, No. 4, pp. 629-642.

Jason G. and Philip J. (2008), Multiview range-image registration for forested scenes using explicitly-matched tie points estimated from natural surfaces, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 63, No. 1, pp. 68-83.

Lowe, D.G. (2005), Demo Software: SIFT Keypoint Detector, <http://people.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints>

Körtgen, M. (2006), *Robust Automatic Registration of Range Images with Reflectance*, Master's thesis, Computer Graphics Institute, University of Bonn, Germany.

Wang, Y. and Wang G. (2008), Integrated Registration of Range Images from Terrestrial LIDAR, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, Beijing, pp. 361-365.

Williams, J. and Bennamoun, M. (2001), Simultaneous Registration of Multiple Corresponding Point Sets, *Computer Vision and Image Understanding*, CVIU, Vol. 81, No. 1, pp.117-142.