색상과 3차원 거리를 융합한 6차원 거리 및 색상분포 유사도를 이용한 대응점 탐색

김응수O, 최성인, 박순용
경북대학교 컴퓨터학부
jsm80607@gmail.com, ellim5th@naver.com, sypark@knu.ac.kr

요 약

Iterative Closest Point(ICP) 계열의 알고리즘들은 최근접점을 궁극적인 대응점으로 간주한다. 하지만 이러한 방법은 정합할 두 개의 3차원 점군의 초기위치가 충분히 가깝지 않을 경우에는 정합에 실패하는 문제가 있다. 본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위해 색상과 3차원 거리가 동시에 고려된 6차원 거리를 이용한다. 6차원 거리상으로 인접점들 중 색상 분포가 가장 유사한 점을 궁극적인 대응점으로 간주하고 이를 이용하여 기존의 정합 알고리즘의 성능을 개선한다.

1. 서론

3차원 정합이란 서로 다른 시점에서 획득한 3차원 점군 사이의 자세관계를 추정하는 기술로써 컴퓨터 비전 분야에서 지난 수십 년간 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이다. 이러한 3차원 정합은 Besl과 McKay가 제안한 ICP를 시작으로 다양한 변형 ICP가 소개되고 있다. 그 중 Chen 과 Medioni[1]가 소개한 Point-to-Plane 방법은 ICP의 변형된 방법으로 널리 사용되고 있다. 하지만 ICP 계열의 알고리즘들은 최근접점을 대응점으로 간주하여 알고리즘을 수행하기 때문에 3차원 점군의 초기 오차가 큰 경우 정합에 실패하기도 한다. 이런 문제점을 보완하기 위해 색상정보를 이용하여 알고리즘의 성능 향상을 위한 연구가 진행되었다. Johnson은 3차원 거리와 색상정보를 동시에 고려한 6차원 거리 Color ICP[2]를 소개했다. 이와 유사한 방법으로 [3]에서는 빛의 밝기에 독립적인 HSL 색상 모델에서 색조(Hue)값과 3차원 점의 위치정보를 결합한 4차원 거리를 이용했다. 이 연구들을 통해 색상 정보는 지역최소화(local minimum) 문제를 해결하는데 기여함을 알 수 있다. 하지만 종전에 소개된 방법은 색상이 같은 패턴으로 반복될 경우에는 알고리즘 성능이 저하되는 문제가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문은 대응점을 탐색할 때 6차원 거리와 색상 분포 유사도를 이용한다. 이를 통해 정합 기술의 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다.

2. 6차원 거리 및 색상분포 유사도를 이용한 대응점 탐색

표 1. Point-to-Plane ICP 알고리즘

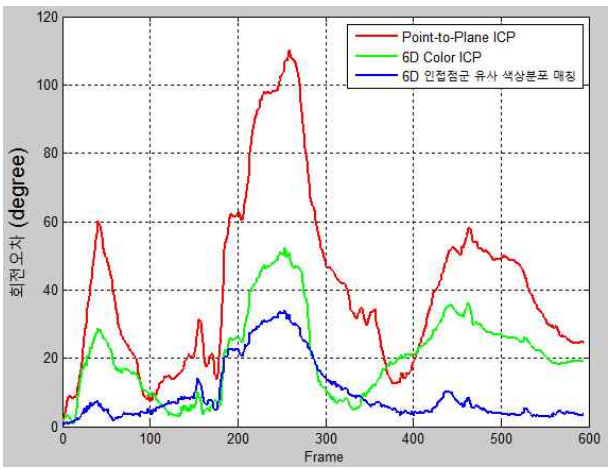
입력: 두 개의 3차원 점군: $A=\{a_1,...,a_i,....a_n\} B=\{b_1,...,b_i,....b_n\}$	
출력: 초기 변환행렬 : T_0, 임의의 변환행렬 : T, m_i 의 법선벡터 : n_i	
1 :	$T \leftarrow T_0$
2 :	while *not converged* do
3 :	for $i \leftarrow 1$ to N do
4 :	$m_i \leftarrow$A점군에서 대응점 탐색$(T \cdot b_i)$
5 :	if $\| m_i - T \cdot b_i \| \le d_{max}$then
6 :	$w_i \leftarrow 1$
7 :	else
8 :	$w_i \leftarrow 0$
9 :	end if
10:	end for
11:	$T \leftarrow argmin_T \left[\sum_i w_i \| n_i \cdot (T \cdot b_i - m_i) \|^2 \right]$
12:	end while

표 1 은 Point-to-Plane ICP의 의사코드이다. 본 논문은 4번 줄의 대응점 탐색 방법을 개선시켜 알고리즘 성능의 향상을 목표로 한다.

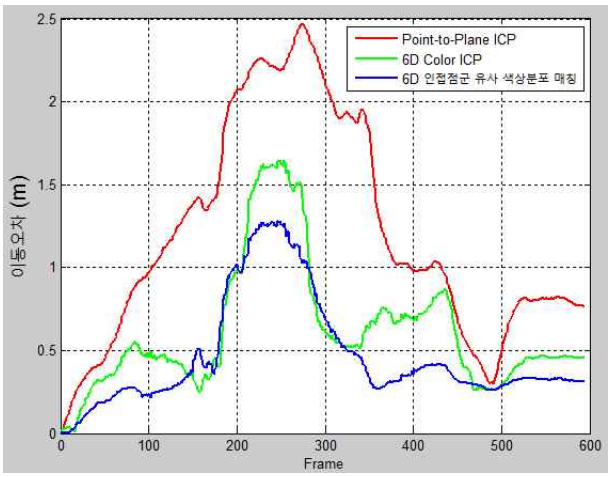
대응점 탐색 방법 중 가장 널리 사용되고 있는 방법이 최근접법이다. 이 방법은 3차원 거리가 최근접인 점을 대응점으로 간주하기 때문에 간단하게 구현이 가능하다. 하지만 3차원 거리만으로 찾은 대응점으로는 지역최소화 문제를 극복하는데 한계가 있다[4]. 이 문제를 해결하기 위해 Johnson이 3

차원 거리와 색상정보를 융합한 6차원 거리를 제안하였다. 이 6차원 거리는 지역 최소화 문제 해결에 기여함을 실험을 통해 증명되었다[2]. 하지만 색상이 같은 패턴으로 반복될 경우 성능이 저하되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기위해 본 논문에서 6차원 거리와 색상분포 유사도를 이용한 최적의 대응점 탐색 방법을 소개한다.

이 방법은 먼저 대응점 후보를 선택하는 과정을 수행하고 이어서 색상분포의 유사도를 이용하여 최종적인 대응점을 선택하는 과정을 수행한다. 먼저 A점군의 임의의 점인 a_i가 있을 때 이 점의 k개의 대응점 후보인 $\{b_1, b_2, ..., b_k\}$를 탐색한다. 이때 대응점 후보는 3차원 거리와 색상 정보가 융합된 거리를 이용하여 선택한다. 이 후보점 중 궁극적인 대응점을 선택하기 위해 각 점의 주변 색상분포를 비교한다. 이 비교는 특이값 분해(Singualr Value Decomposition)를 통해 계산된 고유벡터와 고유값을 이용한다. 계산된 고유값 중 하나가 지나치게 높은 경우에는 외치점(outlier)으로 간주하고 대응점 후보



(a)



(b)

그림 1. 월드좌표계에서 groundtruth와 각 알고리즘으로 추정된 자세 간의 회전오차(a)와 이동오차(b)

표 2. 회전과 이동의 RMSE

구분 \ 방법	Point-to-Point ICP[1]	6D Color ICP[2]	제안된 방법
회전 (deg)	41.14	21.09	9.70
이동 (m)	1.20	0.61	0.46

에서 제외한다. 대응점 후보를 제외한 이유는 고유값 하나가 지나치게 높으면 주변 색상이 유사하다는 것이고 색상분포의 유사도를 이용하여 대응점을 판단하기가 어렵기 때문이다. 이렇게 외치점이 제거된 대응점 후보와 a_i의 색0상 분포는 벡터연산을 통한 오차를 계산하기 위해 사원소(quaternion)로 변환한다. a_i와 각 대응점 후보 간의 사원소를 내적(dot product)하는데 이때 계산된 내적 값이 1에 근접한 후보일수록 색상분포가 유사하다는 것을 의미한다. 1에 가장 근접한 후보점 하나를 궁극적인 대응점으로 간주한다.

3. 실험 결과 및 분석

제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 Freiburg 데이터[5]를 사용했다. 실험은 Point-to-Plane ICP를 기반으로 대응점 탐색 방법을 최근접법, 6차원 거리, 제안된 방법 총 3가지로 나누어 시행하였다.

그림 1 은 제안된 방법과 기존의 방법을 비교한 것이다. 비교는 Freiburg 데이터에서 제공되는 groundtruth를 이용하였다. 월드좌표계에서 groundtruth와의 각 방법으로 추정된 자세의 오차를 계산하였다. 이때 회전 오차는 수식(1) 를 사용하여 측정한다.

$$E_r = \arccos\left(\frac{trace(\triangle R)}{2}\right) \quad (1)$$

groundtruth의 회전변환행렬을 R_g, 각 알고리즘으로 추정된 자세의 회전변환행렬을 R_e라고 할 때, 이들의 상대 회전변환행렬은 $\triangle R = R_e R_g^{-1}$이다.

이동오차는 수식(2) 를 사용하여 측정한다.

$$E_t = \| t_e - t_g \| \quad (2)$$

groundtruth의 이동변환벡터를 t_g, 각 알고리즘으로 추정된 자세의 이동변환벡터는 t_e이다.

그림 1 은 100~200, 200~300, 350~600 프레임 구간에서 제안된 방법이 기존의 방법들보다 오차가 적음을 알 수 있다. 이는 제안된 방법이 기존 방법

들보다 지역 최소화문제를 해결하는데 더 효과적임을 알 수 있다. 표 2 는 RMSE를 계산한 결과이며 제안된 방법의 회전오차와 이동오차가 더 적은 것을 보여준다. 그림 1 과 표 2 를 통해 제안된 방법이 기존의 방법들보다 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 색상과 3차원 거리를 동시에 고려한 6차원 거리를 이용한 Color ICP를 색상 분포 유사도를 접목시킨 대응점 검색 방법에 대해 기술하였다. 제안된 방법을 검증된 데이터를 이용하여 오차를 측정하였으며 기존의 알고리즘과의 비교를 통해 성능이 개선되었음을 증명하였다. 향후에는 시스템 처리 속도를 향상시키고 성능 개선을 위한 연구를 추가적으로 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기술 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원과 미래창조 과학부 및 정보통신기술진흥센터의 IT/SW 융합산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10043897 , 치료시간 30% 단축을 위한 자동 병변 추적 기술기반 악성종양 치료용 500cGy급 dual-head 갠트리 방사선 치료시스템 개발]

참고문헌

[1] Y. Chen, G. Medioni, “Object Modeling by Registration of Multiple Range Image,” Proc. of the 1992 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2724-2729, 1991.

[2] A. Johnson and S.B. Kang, “Registration and integration of textured 3-d data,” In Proc. Int. Conf. On Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling, pp 234-241, 1997.

[3] H. Men, B. Gebre and K. Pochiraju, “Color point cloud registration with 4D ICP algorithm,” In Robotics and Automation, pp.1511-1516, 2011.

[4] S. Rusinkiewicz, M. Levoy, “Efficient variants of the ICP algorithm,” In 3-D Digital Imaging and Modeling, pp. 145-152, 2001.

[5] J. Sturm, N. Engelhard, F. Endres, W. Burgard, and D. Cremers, “A benchmark for the evaluation of RGB-D SLAM systems,” in Proc. IEEE/RSJ Int’l Conf. Intelligent Robots Systems(IROS), 2012