

# 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 이용한 6차원 ICP

김응수<sup>1</sup>, 최성인<sup>2</sup>, 박순용<sup>3</sup>  
 경북대학교, 컴퓨터학부

## A new 6D ICP algorithm with color segmentation-based adaptive sampling

Eung-Su Kim<sup>1</sup>, Sung-In Choi<sup>2</sup>, Soon-Yong Park<sup>3</sup>  
 Kyungpook National University, School of Computer Science and Engineering  
 e-mail: jsm80607@gmail.com, ellim5th@naver.com, sympark@knu.ac.kr

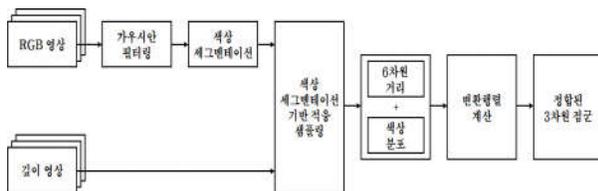
### 요 약

3차원 정합 기술인 Iterative Closest Point(ICP) 계열의 알고리즘은 최근접점을 궁극적인 대응점으로 간주한다. 이러한 대응점 탐색 방법은 정합할 두 개의 3차원 점군의 초기위치가 충분히 인접해 있지 않으면 정합에 실패하는 문제가 있다. 본 논문은 이 문제점을 해결하기 위해 색상과 3차원 거리가 동시에 고려된 6차원 거리와 색상분포 유사도를 이용한다. 6차원 거리상으로 인접한 점들 중 색상 분포가 가장 유사한 점을 궁극적인 대응점으로 간주하고 정합을 한다. 또한 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 이용하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 및 계산 속도를 개선한다.

### 1. 서론

3차원 정합이란 다시점에서 획득한 3차원 점군들을 정렬하는 기술로써 지난 수십 년간 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 이 3차원 정합은 Besl과 McKay가 제안한 ICP[3]를 시작으로 많은 변형 ICP가 소개되고 있다. 그 중 Chen 과 Medioni[6]가 소개한 Point-to-Plane 방법은 안정된 성능으로 주목받으며 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[1]를 소개했다. 이 연구를 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 대응점



[그림 1] 제안된 알고리즘의 흐름도

을 탐색할 때 6차원 거리와 색상 분포 유사도를 이용한다. 또한 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 이용하여 정합의 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다.

### 2. 본론

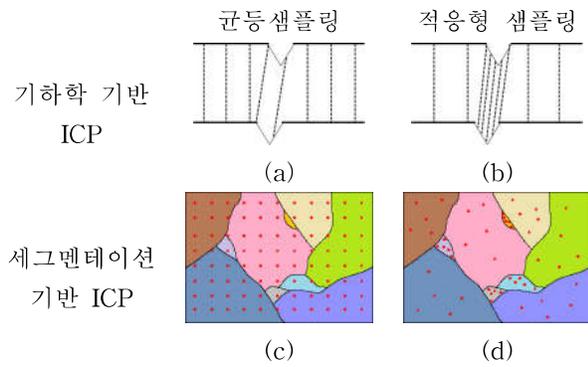
#### 2.1 6차원 거리 및 색상분포 유사도를 이용한 대응점 탐색

ICP 알고리즘은 크게 두 가지 단계로 나눌 수 있다.

- 1) 두 3차원 점군의 대응점을 탐색.
- 2) 대응점간의 거리가 최소화가 되는 변환행렬 계산.

일반적으로 변형 ICP들의 경우 두 번째 단계를 개선함으로써 성능을 향상시키지만 대응점 탐색 방법은 기본적으로 최근접법을 사용한다. 이 대응점 탐색 방법은 3차원 거리상으로 최근접점인 점을 대응점으로 간주하기 때문에 비교적 적은 계산으로도 처리가 가능하다. 하지만 3차원 거리만으로 찾은 대응점으로는 지역최소화 문제를 해결하는데 한계가 있다[5]. 본 논문은 3차원 거리와 색상 정보를 이용하여 대응점을 탐색하는 방법을 개선한다.

본 논문에서 제안하는 대응점 탐색 방법은 두 가지의 단계로 나뉜다. 첫 번째는 대응점 후보를 6차원 거리를 이용하여 탐색한다. 두 번째는 후보점들



[그림 2] 샘플링 방법에 따른 기하학 기반 ICP(a)(b)와 세그멘테이션 기반 ICP(c)(d)의 대응점 선택

중 가장 유사한 색상 분포를 가진 하나의 점을 최종적인 대응점으로 간주한다.

먼저 두개의 3차원 점군  $A = \{a_i\}_{i=1, \dots, n}$  와  $B = \{b_i\}_{i=1, \dots, m}$  가 있다고 가정한다. 이때 기준점  $a_i$ 의  $k$ 개 대응점 후보( $b_{i0}, \dots, b_{ik}$ )를 3차원 점군 B에서 탐색한다. 탐색은 아래의 수식(1)을 이용한다.

$$d_6 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 + \alpha_1(r_1 - r_2)^2 + \alpha_2(g_1 - g_2)^2 + \alpha_3(b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

두 점의 위치는  $x_i, y_i, z_i (i=1,2)$ 이며 RGB 색상값은  $r_i, g_i, b_i (i=1,2)$ 으로 나타낸다.  $\alpha_i (i=1,2)$ 는 각 RGB 요소의 가중치이다.

탐색된 후보점 중 최적의 대응점을 선택하기 위해 각 후보점과 간의 색상분포를 비교한다. 색상분포의 비교는 PCA(Principal Component Analysis)를 통해 계산된 고유벡터와 고유값을 이용한다. 먼저 계산된 고유값 중 하나가 다른 값들에 비해 지나치게 높을 경우 외치점(outlier)으로 간주하고 대응점 후보에서 제외한다. 그 이유는 고유값 하나가 지나

	회전오차 (deg)	이동오차 (m)	시간 (s)
Standard ICP	41.14	1.20	1.74
6D Color ICP	21.09	0.61	5.65
제안된 방법 (균등샘플링)	9.70	0.46	24.66
제안된 방법 (세그멘테이션)	9.73	0.49	3.98

[표 1] 회전, 이동, 시간의 RMSE

치게 높다는 것은 주변 색상이 유사하다는 의미이므로 색상분포의 유사도를 이용하여 대응점을 판단하기가 어렵기 때문이다. 이렇게 외치점이 제외된 대응점 후보와 기준점의 색상 분포유사도는 벡터연산에 용이한 사원수(quaternion)로 변환하여 계산한다. 기준점과 각 대응점 후보 간의 사원수를 내적(dot product)하고 계산된 내적 값이 1에 근접한 후보일수록 색상분포가 유사하다는 것을 의미한다. 최종적으로 1에 가장 근접한 후보점 하나를 궁극의 대응점으로 간주한다.

### 2.2 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링

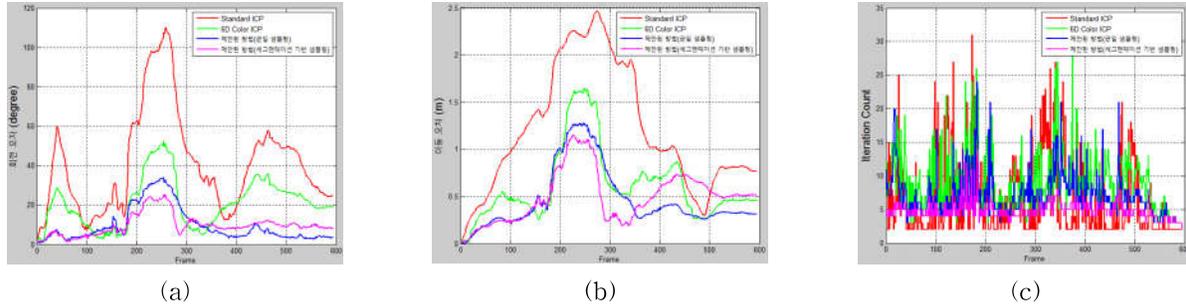
종전에 제안한 방법은 3차원 점군의 모든 점에 대해 PCA를 계산하기 때문에 많은 계산 시간이 소요된다. 이것을 개선하기 위해 일반적으로 균등샘플링(uniform sampling)방법을 이용한다. 하지만 그림 2의 (a)와 (b)처럼 작은 특징이 올바른 정렬(alignment)을 결정하는데 중요한 역할을 하는 모델에서는 사용하기 부적합하다. 만약 (a)처럼 균등샘플링을 한다면 특징인 부분은 거의 선택하지 않게 되고 결국 올바른 정렬을 할 수 없다. (b)와 같이 특징인 부분에 대해서 조밀하게 샘플링을 하고 나머지 부분은 희소하게 샘플링 함으로써 계산 시간 및 성능을 개선할 수 있다.

이와 유사한 방법으로 색상과 깊이 정보를 가진 RGB-D 영상에 적용할 수 있다. 먼저 RGB-D 영상의 색상을 이용하여 그래프 기반 세그멘테이션 방법[4]으로 영역을 나눈다. 여러 영역으로 나뉜 RGB-D 영상을 (c)와 같이 균등샘플링을 하지 않고 (d)처럼 각 영역별로 샘플링한다. 샘플링은 동일한 수의 샘플을 무작위로 선택한다. 색상 영상에서 특징이라고 할 수 있는 작은 영역에서는 조밀하게 샘플링하고 넓은 영역에서는 희소하게 샘플링한다. 결과적으로 특징인 부분을 많이 샘플링을 함으로써 성능은 향상되고 전반적으로 샘플수가 줄어들어 속도도 개선된다.

### 3. 실험 결과

제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 Freiburg 데이터[2]를 사용했다. 실험은 Standard ICP, 6D Color ICP, 균등샘플링을 이용한 제안된 방법, 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 이용한 제안된 방법으로 총 4가지로 나누어 시행하였다. 이 4가지의 방법 모두 Point-to-Plane ICP의 비용함수 최적화 방법을 사용했다.

그림 3 은 월드좌표계에서 제안된 방법과 기존의 방법을 비교한 것이다. 비교는 Freiburg 데이터에서



[그림 3] 월드좌표계에서 groundtruth와 각 알고리즘으로 추정된 자세 간의 회전오차(a), 이동오차(b), 수행시간(c)

제공되는 groundtruth를 이용하였다. 월드좌표계에서 groundtruth와의 각 방법으로 추정된 자세의 오차를 계산하였다. 이때 회전 오차는 수식(2)를 사용하여 측정한다.

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

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

이동오차는 수식(3)을 사용하여 측정한다.

$$E_t = \|t_e - t_g\| \quad (3)$$

groundtruth의 이동변환벡터를  $t_g$ , 각 알고리즘으로 추정된 자세의 이동변환벡터는  $t_e$ 이다.

총 600프레임에 해당되는 영상을 대상으로 실험을 했으며, 월드좌표계에서 각 알고리즘별로 추정된 자세와 groundtruth 간의 오차를 측정했다. 그림 2와 표 1을 통해 제안된 방식이 다른 알고리즘들 보다 회전오차, 이동오차가 적음을 알 수 있다. 또한 제안된 방법은 균등샘플링보다 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 사용했을 때 24.66초에서 3.98초로 처리 속도가 개선되었음을 보여준다.

#### 4. 결론

본 논문은 6차원 거리를 이용한 Color ICP와 색상 분포 유사도를 접목시킨 대응점 검색 방법에 대해 기술하였다. 또한 색상 세그멘테이션 기반 적응형 샘플링을 통해 처리 속도를 개선하는 방법을 기술하였다. 제안된 방법을 검증된 데이터를 이용하여 오차를 측정하였으며 기존의 알고리즘과의 비교를 통해 성능이 개선되었음을 증명하였다. 향후에는 시스템 성능 개선을 위한 연구를 추가적으로 진행할 계

획이다.

#### 후기

본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원 사업(NRF-331-2007-1-D00423)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0401-14-1004)

#### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] P. Besl and N. D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes", Proc. of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, 1992.
- [4] P. F. Felzenszwalb, and D. P. Huttenlocher, "Efficient graph-based image segmentation," International Journal of Computer Vision, Vol. 59, No. 2, pp. 167-181, 2004.
- [5] S. Rusinkiewicz, M. Levoy, "Efficient variants of the ICP algorithm," In 3-D Digital Imaging and Modeling, pp. 145-152, 2001.
- [6] 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.