스켈레톤 기반의 3D 포인트 클라우드 정합 방법

*박병서 **김동욱 ***서영호
광운대학교
*bspark@kw.ac.kr **dwkim@kw.ac.kr ***yhseo@kw.ac.kr

Skeleton-based 3D Pointcloud Registration Method

*Byung-Seo Park **Dong-Wook Kim ***Young-Ho Seo
Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 3D(dimensional) 스켈레톤을 이용하여 멀티 뷰 RGB-D 카메라를 캘리브레이션 하는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 멀티 뷰 카메라를 캘리브레이션 하기 위해서는 일관성 있는 특징점이 필요하다. 우리는 다시점 카메라를 캘리브레이션 하기 위한 특징점으로 사람의 스켈레톤을 사용한다. 사람의 스켈레톤은 최신의 자세 추정(pose estimation) 알고리즘들을 이용하여 쉽게 구할 수 있게 되었다. 우리는 자세 추정 알고리즘을 통해서 획득된 3D 스켈레톤의 관절 좌표를 특징점으로 사용하는 RGB-D 기반의 캘리브레이션 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

최근에 RGB와 depth 센서가 결합된 RGB-D 센서 (카메라)가 보편화 되었고, 이것은 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. RGB-D 카메라는 객체의 형태와 주위 환경의 3차원 구조를 비교적 정확하고 빠르게 추출할 수 있게 도와준다. RGB-D 카메라는 SLAM과 navigation[1][2], tracking[3], object recognition과 localization[4], pose estimation[5] 그리고 3D model reconstruction[6] 등과 같은 다양한 분야를 급속히 발전시켜왔다. RGB-D 카메라에서 컬러 정보는 전형적으로 RGB 카메라를 이용하여 획득된다. 반면에 depth 정보는 time-of-flight (ToF) 카메라, laser range scanner, 그리고 structured-light (SL) sensor와 같은 다양한 방식을 이용하여 획득된다[7].

제안하는 기법은 크게 두 가지 과정으로 구성된다. 첫 번째 과정은 카메라들로부터 획득된 부분 스켈레톤의 조인트를 특징점으로 이용하여 카메라 파라미터를 계산한다. 두 번째 과정은 계산된 카메라 파라미터를 이용하여 각 카메라들로부터 획득된 스켈레톤을 통합하여 하나의 3D 스켈레톤을 생성하고, 이와 동시에 registered 포인트 클라우드 형식의 3D volumetric model을 reconstruction한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 스켈레톤들 간의 정합에 사용하는 최적화 함수 기반의 카메라 변환 행렬을 구하는 방법을 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 보이고 4장에서 우리의 논문을 마무리한다.

2. RGB-D 기반의 정합

각 카메라의 좌표계 변환행렬에는 x, y, z 축 각각의 회전각, 평행이동 값 그리고 스케일링 팩터 까지 총 7개의 파라미터가 포함되어 있다. 기준 카메라 좌표계로 구하고자 하는 시점의 좌표계를 변환하는 파라미터를 구한다. 이 과정은 식 (1)로 정의된다.

$$X_i' = R_{i\to ref} S_{i\to ref} X_i + t_{i\to ref} \tag{1}$$

오차 함수 f_{Error}는 X_{ref}(레퍼런스 조인트)와 X_i'(대상 조인트)의 유클리드 제곱 거리(Squared Euclidean Distance, SED)의 평균값이고, 식 (2)와 같이 정의된다.

$$f_{Error} = \frac{1}{N}\sum_{j=0}^{N} \| X_{ref}(j) - X_i'(j) \|_2^2 \tag{2}$$

식 (3)은 n번째 파라미터 P_n과 f_{Error}의 편미분 결과를 이용하여 P_{n+1}를 갱신하는 과정을 나타낸다. λ는 미분 스탭 사이즈(Step size)을 나타내는 상수이다.

$$P_{n+1} = P_n - \lambda \frac{\partial f_{Error}}{\partial P_n} \tag{3}$$

3. 실험 결과

그림 1(a)은 보이는 것과 같이 각 카메라의 위치에 따라서 촬영된 컬러 영상이다, 그림1(c)는 그림 1(a)와 그림 1(b)를 통해 추출된 3D 스켈레톤의 결과 영상이다.

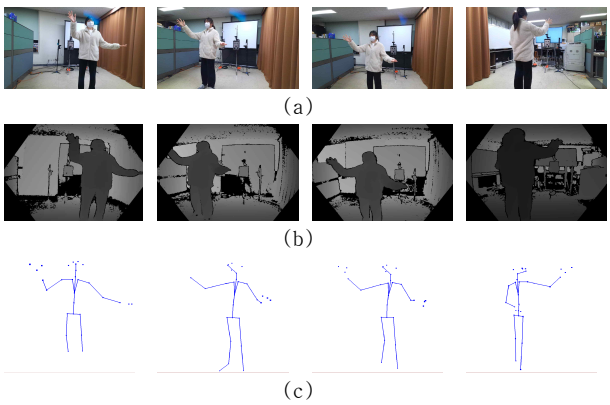


그림 1. 다시점 카메라로부터 획득된 4개의 스켈레톤 결과 (a) RGB 영상, (b) 깊이지도, (c) 스켈레톤

그림1(c)의 각 카메라 시점에서 획득된 스켈레톤 조인트에 대한 최적화 결과를 그림 2에 나타내었다. 각 스켈레톤은 1번째 프레임에서 개별적으로 위치하다가 85번째 프레임에서 월드좌표계로 모두 통합된 것을 확인 할 수 있다.

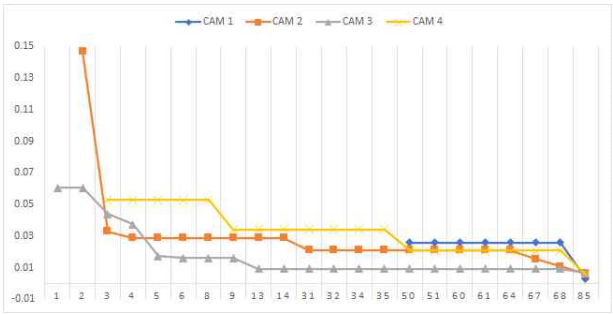
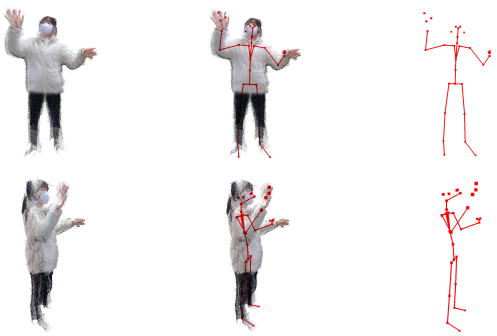
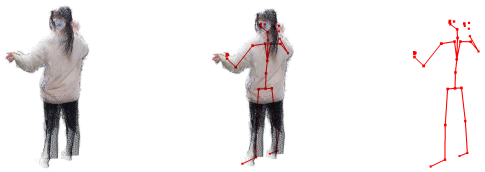


그림 2. 스켈레톤을 이용한 카메라 파라미터 최적화 그래프

그림3은 그림2의 최적화 과정을 통해 획득된 85번째 프레임에서의 포인트 클라우드와 조인트의 정합결과 영상을 나타낸다.





(a) (b) (c)

그림 3. 스켈레톤의 관절을 이용하여 정합된 포인트 클라우드의 결과 영상 (a) 포인트 클라우드 정합 결과, (b) 포인트 클라우드와 스켈레톤 정렬 결과, (c) 스켈레톤 정합 결과

4. 결론

본 논문에서는 공간상에 다수개의 카메라가 위치해 있을 때 특별한 체크보드 혹은 차르코 보드를 사용하지 않고도 사람을 촬영 하는 것만으로 자동으로 캘리브레이션 되고 3D 포인트 클라우드를 성공적으로 정합 할 수 있음을 확인하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 (S2949268), This work was supported by the Technology development Program (S2949268) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea)

References

[1] F. Endres, J. Hess, J. Sturm, D. Cremers, and W. Burgard, “3D mapping with an RGB-D camera,” *IEEE Transactions on Robotics (T-RO)*, vol. 30, no. 1, pp. 177 - 187, 2013.

[2] M. Labb and F. Michaud, “Online global loop closure detection for large-scale multi-session graph-based SLAM,” *in Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2014, pp. 2661 - 2666.

[3] M. Munaro and E. Menegatti, “Fast RGB-D People Tracking for Service Robots,” *Autonomous Robots*, vol 37, pp. 227 - 242, 2014.

[4] J. Tang, S. Miller, A. Singh, and P. Abbeel, “A textured object recognition pipeline for color and depth image data,” *in Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Saint Paul, USA, pp. 3467-3474, 2012.

[5] T. Munea, Y. Jembre, H. Weldegebriel, L. Chen, C. Huang and C. Yang, "The Progress of Human Pose Estimation: A Survey and Taxonomy of Models Applied in 2D Human Pose Estimation," *IEEE Access,* vol. 8, pp. 133330-133348, 2020.

[6] M. Zollhöfer, P. Stotko, A. Görlitz, C. Theobalt, M. Nießner, R. Klein and A. Kolb, "State of the Art on 3D Reconstruction with RGB-D Cameras," *Computer Graphics Forum*, vol. 37, pp. 625-652, 2018.

[7] Giancola S., Valenti M., Sala R. “State-of-the-Art Devices Comparison. In: A Survey on 3D Cameras: Metrological Comparison of Time-of-Flight, Structured-Light and Active Stereoscopy Technologies,” *SpringerBriefs in Computer Science,* pp. 29-39, 2018.