

최소제곱법을 활용한 카메라 캘리브레이션 결과 개선

*박정탁 **박병서 ***서영호

광운대학교

*jtpark@kw.ac.kr **bspark@kw.ac.kr ***yhseo@kw.ac.kr

Improving Camera Calibration Results Using Least Squares Method

*Park, Jung-Tak **Park, Byung-Seo ***Seo, Young-Ho

Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 RGB-D 카메라 캘리브레이션의 결과를 개선하는 새로운 기법을 제안한다. 멀티 뷰 카메라 캘리브레이션은 카메라를 통해 획득한 이미지에서 특징점을 찾아 다른 카메라에서 촬영된 동일한 특징점을 기준으로 캘리브레이션을 진행하는 것이 일반적이다. 그러나 카메라를 통해 획득된 RGB-D 영상은 필연적으로 렌즈와 Depth sensor에 의한 오차가 포함되기 때문에 정확한 캘리브레이션 결과를 획득하는 것은 어려운 과정이다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 획득한 특징점을 기반으로 캘리브레이션을 진행한 후, 최소제곱법을 통해 각 특징점간의 거리가 최소가 되는 카메라 파라미터를 획득하여 결과를 개선하는 기법을 제안한다.

1. 서론

촬영 시스템에서 촬영 대상의 정확한 3D 데이터를 획득하기 위해서는 카메라 캘리브레이션이 필수적이다. 카메라로 대상을 촬영할 때, 3차원 대상의 2차원 이미지 투영은 카메라의 위치, 렌즈와 이미지 센서와의 거리, 렌즈와 이미지가 이루는 각도 등 카메라의 내부, 외부 요인들에 영향을 받는다. 카메라 캘리브레이션은 이와같은 요인들의 파라미터 값을 구하는 것을 말한다.

일반적으로 카메라 캘리브레이션은 특징점을 갖는 대상을 다수의 카메라로 촬영하여, 서로 다른 카메라에서 촬영된 동일한 특징점의 위치를 일치시키는 변환행렬을 구한다.[1] 이 과정은 카메라에 의한 오차를 반영하기 때문에 정확한 결과를 획득하기 어려우며 이로인해 캘리브레이션을 수행하더라도 촬영된 3D 데이터는 이격이 발생하게 된다.

본 논문에서 제안하는 기법은 카메라의 실제 위치와 관련된 외부 파라미터(Extrinsic parameter)를 구하는 기법이며 두 가지 과정으로 구성된다. 첫 번째 과정은 카메라로부터 획득한 대상의 일부 특징점을 이용하여 카메라 파라미터를 계산한다. 두 번째 과정은 계산된 파라미터를 이용하여 일치하는 특징점을 갖는 모든 카메라에 대해 최소제곱법을 사용해 다시 캘리브레이션을 진행하여 캘리브레이션 결과를 개선한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 일반적으로 사용되는 캘리브레이션에 사용되는 캘리브레이션 과정, 최적화 함수 기반 변환행렬을 구하는 방법을 설명한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 결과 개선 기법을 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 보이고 4장에서 논문을 마무리한다.

2. 카메라 캘리브레이션

각 카메라의 외부 파라미터에는 x, y, z축 각각의 회전각, 평행이동 값까지 6개의 파라미터가 포함되어 있다. 기존 카메라 좌표계로 구하고자 하는 시점의 좌표계를 구한다. 이 과정은 식 (1)로 정의된다.

$$X' = [R|t]X \quad (1)$$

오차함수 f_{Error} 는 X' 와 X 의 유클리드 제곱 거리(Squared Euclidean Distance)의 평균값이고 식 (2)와 같이 정의된다.[2]

$$f_{Error} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N \|X'(j) - X(j)\|_2^2 \quad (2)$$

식 (3)은 n번째 파라미터 P_n 과 f_{Error} 의 편미분 결과를 이용하여 P_{n+1} 를 갱신하는 과정을 나타낸다. λ 는 미분 스텝 사이즈(Step size)를 나타내는 상수이다.

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

위 과정은 RGB-D 카메라를 사용해 획득한 3차원 특징점에서 진행된다. 그림 1은 Azure Kinect RGB-D 카메라를 사용해 촬영한 입력 영상이다.

식 (4)는 동일한 특징점을 촬영하는 모든 카메라에 대해 최소제곱법을 적용하는 과정을 나타낸다. N개의 카메라에 대해 한 카메라 기준 일치하는 특징점을 갖는 M개의 모든 카메라에 대해 외부 파라미터를 최소제곱법을 통해 계산한다. 그림 2에서 기준 카메라와 다른 카메라 사이의 겹치는 시야(FOV)영역을 나타낸다.

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M \|X_{ij} - [R_j | t_j] X\|^2 \quad (4)$$

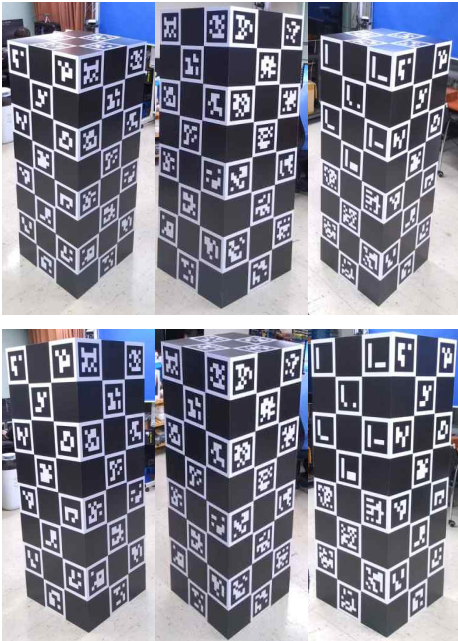


그림 1. 6대의 Azure Kinect 카메라에서 촬영된 Charuco Board가 인쇄된 박스

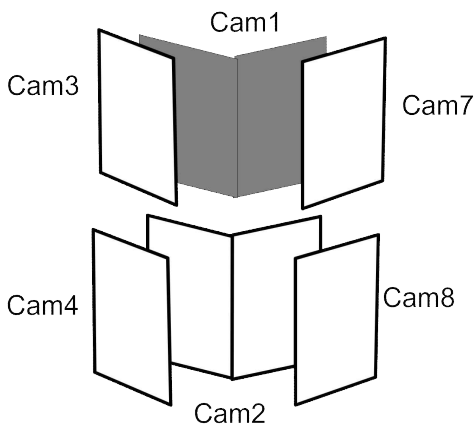


그림 2. Cam1을 기준으로 다른 카메라와 FOV가 겹치는 영역

3. 실험 결과

사용한 영상은 Azure Kinect RGB-D 카메라를 사용해 Charuco Board가 인쇄된 상자를 촬영한 영상이다.

그림 1은 각 카메라에서 촬영된 RGB영상이다. 표 1은 5개의 카메라

에 대해 캘리브레이션 개선 이전, 이후 기준이 되는 카메라와 다른 카메라의 3차원 특징점 사이의 거리 평균을 나타낸다. 이를 통해 보정을 거친 이후 각 3차원 특징점 사이의 유클리드 거리가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

	Average distance(mm)				
	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5
Prev method	0.39	0.64	0.78	0.53	0.57
Ours	0.15	0.33	0.30	0.29	0.27

표 1. 한 카메라를 기준으로 개선을 적용한 이후, 이전 3차원 특징점간의 유클리드 거리 평균

4. 결론

본 논문에서는 다수의 카메라의 캘리브레이션 이후, 모든 특징점에 대해 최소제곱법을 사용하여 렌즈, 이미지 센서에 의한 오차를 줄여 캘리브레이션 성능을 개선할 수 있음을 확인하였다.

개선 이전 평균 유클리드 거리차이가 0.78mm까지 발생한 것에 반해, 개선 이후 최대 0.33mm 차이를 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 (S2949268).

참고문헌

[1] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 22, 11, pp 1330 - 1334, 11 2000, doi: 10.1109/34.888718.

[2] B.-S. Park, W. Kim, J.-K. Kim, D.-W. Kim와/과 Y.-H. Seo, "Iterative extrinsic calibration using virtual viewpoint for 3D reconstruction", Signal Processing, vol 197, p 108535, 8 2022, doi: 10.1016/j.sigpro.2022.108535.