

## 적외선 카메라 칼리브레이션 기반 패시브 마커 자세 추정 방법

박병서 김동욱 \*서영호

광운대학교

bspark@kw.ac.kr dwkim@kw.ac.kr \*yhseo@kw.ac.kr

Infrared camera calibration-based passive marker pose estimation method

Byung-Seo Park Dong-Wook Kim \*Young-Ho Seo

Kwangwoon University

## 요약

본 논문에서는 다수의 적외선 카메라의 2D 패시브마커 영상을 이용한 3차원 리지드 바디(Rigid Body) 자세추정 방법을 제안한다. 1차로 개별 카메라의 내부 변수를 구하기 위해 체스보드를 이용한 칼리브레이션 과정을 수행하고, 2차 보정 과정에서 3개의 적외선 마커가 있는 삼각형 구조물을 모든 카메라가 관찰 가능하도록 움직인 후 프레임별 누적된 데이터를 계산하여 카메라 간의 상대적인 위치정보의 보정 및 업데이트를 진행한다. 이 후 각 카메라의 좌표계를 3D월드 좌표계로 변환하는 과정을 통해 3개 마커의 3차원 좌표를 복원하여 각 마커간 거리를 계산하여 실제 거리와의 차이를 비교한 결과 1mm 내외의 오차를 측정하였다.

## 1. 서론

모션 캡처 시스템의 종류로는 자기 센서를 이용하는 자기식(magnetic) [1], 기계적 장치를 이용하는(mechanical) [2], 그리고 적외선 카메라와 반사 재질의 패시브 마커(marker)를 이용하는 광학식 [3]이 있다.

카메라 칼리브레이션이란, 3차원 공간상의 점들을 2차원 영상 평면에 투사되어 얻어지는 카메라 영상으로부터 핀홀 카메라 모델의 카메라 파라미터를 추정하는 방식을 의미한다. 본 논문에서는 체스보드를 이용하여 적외선 다중 카메라의 내·외부 파라미터를 추정하고 마커를 이용하여 이를 최적화하여 보정하는 방식을 이용 하였다.

본문은 2장과 3장에서 다중 카메라 보정 알고리즘 및 자세 추정 알고리즘의 설명, 4장 실험 환경, 5장 실험 결과 및 6장의 결론으로 구성된다.

## 2. 다중 모션 캡처 카메라 칼리브레이션 방법

다중 모션 캡처 카메라의 칼리브레이션 방법은 그림 1과 같다. 다중 카메라의 보정을 위해서 우선 각각의 카메라에 대한 초기 내부 파라미터(Intrinsic Parameter)를 추정하기 위해 카메라 보정 과정을 수행하며, 다중 카메라로부터 카메라 보정에 사용할 체스보드 영상을 입력 받는다. 추정된 초기 카메라 내부 파라미터와 각각의 카메라에서 추적된 적외선 마커 정보를 이용하여 초기 카메라 외부 파라미터(Extrinsic Parame-

ter)를 추정한다.

각 카메라의 좌표계 변환행렬에는 x, y, z 축 각각의 회전 각, 평행이동 값 그리고 스케일링 팩터 까지 총 7개의 파라미터가 포함되어 있다. 월드 좌표계 변환 및 리프로젝션 에러를 구하기 위한 파라미터를 구한다. 이 과정은 식 (1)과 식 (2)로 정의된다.

$$X'_i = R_{i \rightarrow ref} S_{i \rightarrow ref} X_i + t_{i \rightarrow ref} \quad (1)$$

오차 함수  $f_{Error}$ 는  $X_{ref}$ (ground truth)와  $X'_i$ (대상 조인트)의 프로젝션 이미지 상에서의 유클리드 제곱 거리(Squared Euclidean Distance, SED)의 평균값이고, 식 (2)와 같이 정의된다.

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

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

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

### 3. 패시브 마커 자세 추정 방법

그림1과 같이, 식 (1)과 식 (2)를 통해 추정된 각 카메라 포지션에서 이미지 평면 위치의 적외선 마커 중심을 향해 연결한 레이(ray)의 교점 간 삼각 측량 방법을 통해, 3차원 공간에서의 마커를 복원한다.

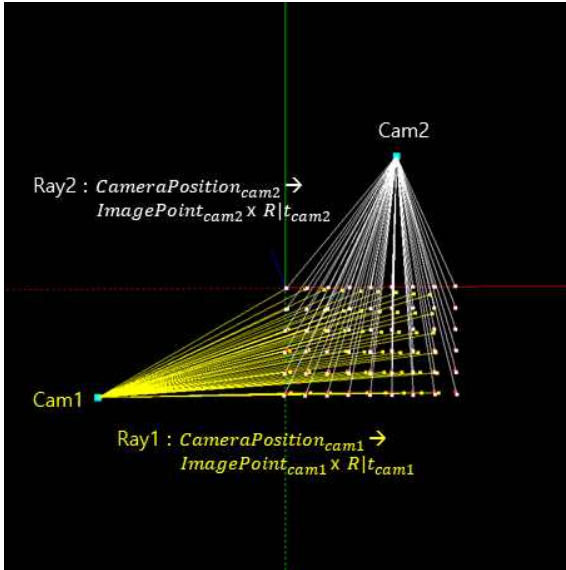


그림 1. 패시브 마커 자세 추정을 위한 알고리즘

### 4. 실험 환경

다중 카메라의 보정을 위해 4대의 모션 캡처 카메라 (Optitrack s250e)를 사용했다. 실험에 사용한 카메라는 850nm의 적외선을 조사하는 LED 링과 적외선 대역통과필터가 장착 되어있다. 832x832의 해상도를 갖고 있으며 최대 250fps의 속도를 지니고 있다. 그림 2은 다중카메라 보정을 위해 실험 환경에 4대의 카메라를 서로 다른 방향에서 한 지점을 지향하도록 설치되었다. 촬영에 사용된 패시브 마커는 7.5cm, 10cm 간격으로 90°의 사이 각이 되도록 배치된 삼각형 형태의 구조물을 이용했다.

### 5. 실험 결과

그림 2는 식(1)과 식(2)를 통해 추정한 각 카메라의 포지션 및 패시브 마커의 중심을 향해 연결된 레이의 형태를 나타낸 결과 영상이다.

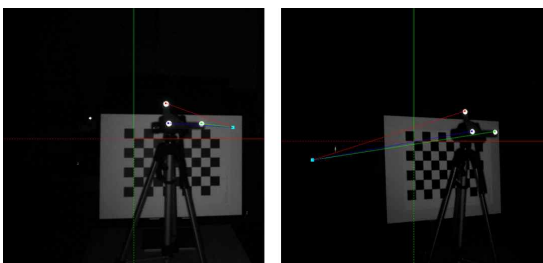


그림 2. 이미지 평면에서의 적외선 패시브 마커 및 카메라 포지션 추정 결과

그림3은 각 카메라 포지션 추정 결과 및 이미지 평면에서 추정한 마커의 포지션을 월드좌표 계에 모두 통합하고 교점을 계산한 결과 영상이다.

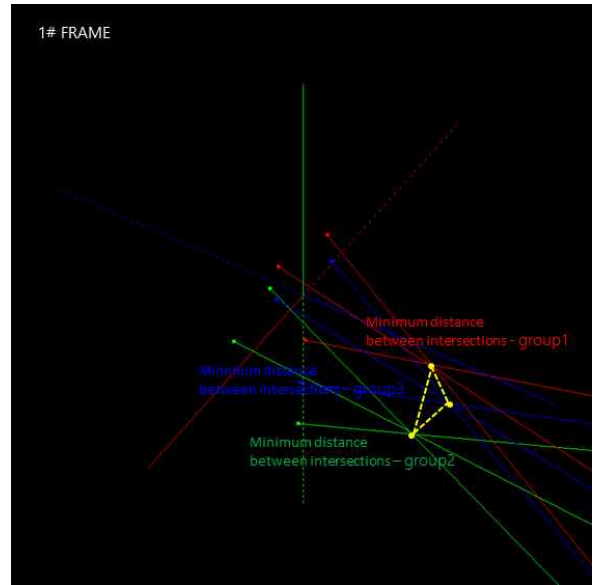


그림 3. 패시브 마커 구조물의 3차원 복원 결과

### 6. 결론

정확도 측정을 위해 동시에 촬영한 카메라별 100프레임의 적외선 패시브 마커 데이터를 3차원 공간에 복원 하였다. 복원한 패시브 마커의 크기와 실제 크기의 유클리디언 디스턴스를 계산하여 복원 오차를 구하였으며, 평균 1mm 이내의 오차를 측정 하였다.

### Acknowledgement

이 논문은 2021년도 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] S. Hashi, et al, "Wireless magnetic motion capture system for multi-marker detection," *IEEE transactions on magnetics*, Vol. 42, No. 10, pp. 3279-3281, Oct 2006.
- [2] T. Jan-Phillip and L. Jorn, "A mobile low-cost motion capture system based on accelerometers," *Lecture notes in computer science*, Vol. 4292, pp. 437-446, Oct 2006.
- [3] K. Chen, et al. "MoCap-Solver: A neural solver for optical motion capture data.", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 40, No. 4, pp.1-11,2021.