

모델 기반 카메라 추적에서 3차원 객체 모델링의 허용 오차 범위에 대한 분석

이은주 서병국 *박종일
 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
 {heckism, bkseo}@mr.hanyang.ac.kr, *jipark@hanyang.ac.kr

Tolerance Analysis of 3-D Object Modeling Errors in Model-Based Camera Tracking

Eun Joo Rhee, Byung-Kuk Seo, and *Jong-Il Park
 Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요 약

모델 기반 카메라 추적에서 추적을 위한 3차원 객체 모델의 정확도는 매우 중요하다. 하지만 3차원 객체의 실측 모델링은 일반적으로 정교한 작업을 요구할 뿐 아니라, 오차 없이 모델링 하기가 매우 어렵다. 반면에 오차를 포함하고 있는 객체 모델을 이용하더라도 실제 추적 환경에서 사용자가 느끼는 성공적인 추적의 허용 오차는 실제 추적 오차와 다를 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 모델 기반 카메라 추적에서 모델링 오차에 따른 모델과 영상 정보 간의 실제 정합 오차와 육안으로 판단되는 정합의 허용 오차를 사용자 평가를 통해 비교 분석하고, 3차원 객체 모델링의 허용 오차 범위에 대해 논의한다.

1. 서론

비전 기반 카메라 추적은 추적 환경 또는 객체로부터 획득된 카메라 영상을 이용하여 상대적인 카메라의 포즈 정보(위치 및 방향)를 예측하는 기술이다. 일반적으로 마커 기반 카메라 추적은 제작이 간단하고 구현이 용이하며, 빠르고 강건한 카메라 추적이 가능하다는 장점 때문에 다양한 분야에 활용되어 왔다[1]. 하지만, 사용자에게 시각적 불편함을 줄 뿐 아니라 몰입감을 방해하는 단점이 있다. 반면에, 특징점 기반 카메라 추적은 추적 환경 또는 객체의 강건한 특징점을 검출하고 정합하는 과정을 수행한다. 특히, SIFT[2] 등과 같은 특징점 기술자는 다양한 카메라 움직임 및 조명 조건에서도 정확하고 강건한 추적을 가능케 하였다.

모델 기반 카메라 추적은 추적 환경 및 객체의 3차원 정보를 이용한다. 특히, 평면이 아니거나 텍스처가 없는 객체는 특징점 기반의 카메라 추적을 적용하기 어렵기 때문에, 객체의 3차원 모델 정보는 매우 유용하다. 3차원 객체의 모델링은 광학 장비를 이용해 재구성하거나 카메라에서 획득된 다시점 영상을 통해 복원하기도 한다[3, 4].

3차원 객체 모델을 이용한 카메라 추적은 사전에 모델링된 3차원 객체 모델을 2차원 영상 평면에 투영하고, 영상에서 검출된 에지 정보와 정합하여 카메라 포즈를 예측한다. 따라서, 정확하고 강건한 카메라 추적을 위해서는 3차원 객체 모델의 정확도가 매우 중요하다. 반면에, 오차를 포함하고 있는 3차원 객체 모델을 이용하더라도 실제 추적 환경에서 사용자가

느끼는 성공적인 추적의 허용 오차는 실제 추적 오차와 다를 수 있다. 따라서 본 논문에서는 모델 기반 카메라 추적에서 모델링 오차에 따른 모델과 영상 정보 간의 실제 정합 오차와 육안으로 판단되는 정합의 허용 오차를 사용자 평가를 통해 비교 분석하고, 3차원 객체 모델링의 허용 오차 범위에 대해 논의한다.

2. 3차원 객체 모델을 이용한 카메라 추적

카메라 추적은 카메라의 포즈 \mathbf{E} , 즉 회전 변환 \mathbf{R} 과 이동 변환 \mathbf{t} 를 예측하는 과정이다. 3차원 객체 모델을 이용한 카메라 추적은 사전에 모델링된 3차원 객체 모델을 이전 카메라 포즈를 통해 2차원 영상 평면에 투영하고, 그 윤곽 정보와 현재 카메라 영상에서 검출된 에지 정보 간의 거리차를 최소화하여 정합한다. 따라서, 이러한 최소화 과정을 통해 이전 프레임과 현재 프레임 사이에서 카메라의 미소 움직임 ($\Delta\mathbf{R}$, $\Delta\mathbf{t}$)를 추정한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{n+1} &= \mathbf{K}_{n+1}\mathbf{E}_{n+1} = \mathbf{K}_n\mathbf{E}_n \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{R}_{n+1} & \Delta\mathbf{t}_{n+1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{K}_0\mathbf{E}_0 \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{R}_1 & \Delta\mathbf{t}_1 \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{R}_{n+1} & \Delta\mathbf{t}_{n+1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, \mathbf{K} 는 카메라 내부 파라미터이고,

$$[\Delta\mathbf{R}_{n+1}|\Delta\mathbf{t}_{n+1}] = \arg \min_{[\Delta\mathbf{R}_{n+1}|\Delta\mathbf{t}_{n+1}]} \sum_i \left\{ d \left(\mathbf{P}_n \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{R}_{n+1} & \Delta\mathbf{t}_{n+1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \mathbf{M}_i, \mathbf{m}_i \right) \right\}^2$$

*교신저자 (감사의 글: "본 연구는 지식경제부에서 시행한 지식경제 기술혁신사업의 일환으로 수행하였음" [KI001802, 원격 로봇 수술을 위한 영상 유도 시스템 기술 개발])

3. 3차원 객체 모델링의 허용 오차 범위

3.1. 모델링 오차에 따른 정합 오차 분석

본 논문에서는 3차원 객체 모델을 이용한 카메라 추적에서, 모델링 오차에 따른 모델과 영상 정보 간의 정합 오차를 분석하기 위해 임의의 정육면체 모형(75 × 75 × 75 mm)을 추적 객체로 정의하였다. 실험에 사용된 정육면체 모형은 8개의 정점과 18개 선으로 이루어진 와이어프레임으로 모델링하고 각 정점에 가우시안 랜덤 노이즈(Gaussian Random Noise)를 주어 그 정합 오차를 분석하였다. 가우시안 랜덤 노이즈는 표준 편차 0.1부터 1.0까지 변화시켜 주었고, 미리 알고 있는 카메라 포즈를 이용하여 각 표준 편차 당 1000번 반복 시행하여 그 평균을 계산하였다. 여기서, 모델기반 카메라 추적 방법은 [5]의 방법을 기반으로 정합을 수행하였고, 객체 주변 에지에 대한 영향을 배제하기 위해서 배경이 없는 가상의 영상 평면을 구성하여 객체의 에지만 검출되도록 하였다. 그림 2와 같이 카메라 추적을 위한 정합의 수렴 조건을 평균 거리 1 픽셀 이내로 설정할 경우, 3차원 객체 모델링의 상위 허용 오차는 대략 표준 편차 0.5 정도임을 확인할 수 있었다.

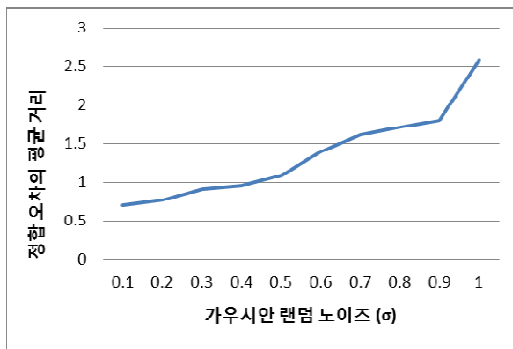


그림 2. 3차원 객체 모델링 오차에 따른 정합 오차

3.2. 사용자가 느끼는 정합 오차의 허용 범위

3차원 객체 모델을 이용한 카메라 추적에서 모델링 오차에 따라 발생하는 모델과 영상 정보 간의 실제 정합 오차와 육안으로 판단되는 정합의 오차를 비교하기 위해 76명의 사용자를 대상으로 주관 평가를 실시하였다. 평가 집단은 컴퓨터 비전 분야의 연구 종사자(12명)와 일반 사용자(64명)로 구성하였다. 각 집단에 속한 사용자는 3차원 객체 모델링 오차에 따른 추적의 정합 정도를 육안으로 확인하고 정합 실패가 발생하는 상위 허용 오차를 응답하였다. 여기서, 추적의 정합 정도를 육안으로 판단하기 쉽도록 추적을 통해 구해진 카메라 포즈를 이용하여 가상의 정육면체를 렌더링하여 증강시켜 보여주었다(그림 3 참조).

그림 4의 결과와 같이 연구 종사자와 일반 사용자가 모두 표준 편차 0.6부터 정합이 실패되었다고 대답하였다. 이는 앞에서 모델 오차에 따른 실제 정합의 상위 허용 오차와 부합하는 결과를 보였다. 하지만, 일반 사용자의 경우 표준 편차 0.6에서부터 0.9까지 넓은 범위에 걸쳐 추적의 실패를 인지하였으며, 이는 모델링 노이즈에 의해 실제 정합이 실패했음에도 불구하고 일반 사용자의 육안으로는 성공적인

추적으로 인지할 수도 있음 말해준다. 따라서, 3차원 객체 모델링의 허용 오차 범위는 실제 정합 오차 범위보다 넓게 분포함을 알 수 있다.

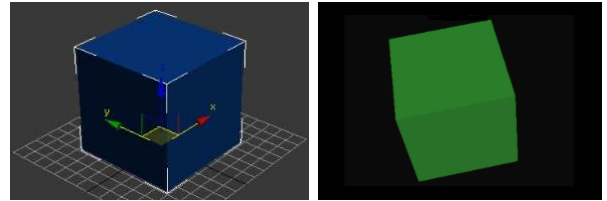


그림 3. 3차원 객체 모델(좌)과 구해진 카메라 포즈를 이용하여 렌더링 한 가상 객체(우)

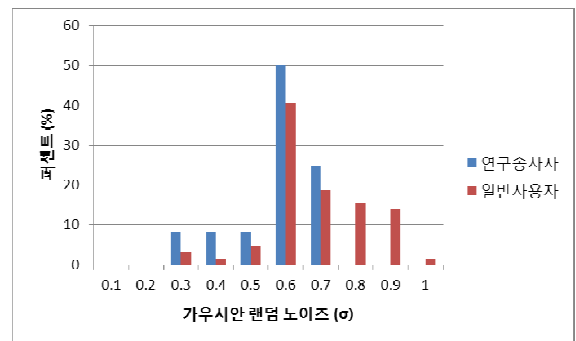


그림 4. 사용자가 느끼는 정합 오차의 허용 범위

4. 결론

본 논문에서는 모델 기반 카메라 추적에서 모델링 오차에 따른 카메라 추적의 정합 오차와 육안으로 판단되는 정합의 허용 오차를 사용자 평가를 통해 분석하였다. 이를 통해, 사용자 육안으로 판단되는 정합의 허용 오차가 실제 정합 오차보다 넓게 분포하므로, 추적을 위한 3차원 객체 모델링시 중요한 척도로 활용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system." In *Proc. IWAR*, pp. 85–94, 1999.
- [2] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *IJCV*, 60(2):91–110, 2004.
- [3] M. Pollefeys et al., "Visual modeling with a hand-held camera," *IJCV*, 59(3):207–232, 2004.
- [4] M. Brown, T. Drummond, and R. Cipolla. "3D model acquisition by tracking 2D wireframes," In *Proc. BMVC*, 2000.
- [5] H. Park, J. Oh, B-K. Seo, and J-I. Park. "Automatic confidence adjustment of visual cues in model-based camera tracking," *CAVW*, 21(2):69–79, 2010.