

잡음에 강건한 표면 법선 벡터 획득 방법을 이용한 3차원 장면 복원

신동원 호요성

광주과학기술원 영상통신연구실

{dongwonshin, hoyo}@gist.ac.kr

3D Scene Reconstruction

Using Robust Surface Normal Vector Acquisition Method

Dong-Won Shin and Yo-Sung Ho

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요약

최근 현실 세계의 기반 위에 가상의 정보를 증강하여 사용자와 상호작용하며 즐기는 증강 현실 콘텐츠가 대중들에게 많은 인기를 얻고 있다. 이러한 증강 현실 콘텐츠는 현실 세계를 기반으로 한다는 점에서 실제의 3차원 공간을 정확하게 복원하는 것이 중요하다. 초기의 3차원 복원 방법으로 RGB-D 카메라를 이용한 KinectFusion 방법이 제안되었고 많은 연구자들에 의해 다루어지고 있다. 하지만 기존의 방법은 시간이 흐름에 따라 누적되는 오차에 의해 3차원 모델이 정확하게 복원되지 않는 객체 표류 문제가 발생한다. 이러한 문제는 깊이 카메라 센서의 잡음 때문에 정확하지 않은 표면 법선 벡터가 계산되는 것에 기인한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 잡음에 강건한 표면 법선 벡터를 계산하는 방법을 제안한다. 실험결과에서는 기존의 방법과 비교하여 제안하는 방법이 절대 궤적 오차 (absolute trajectory error)가 감소하는 것을 확인 했고 카메라 궤적이 정확하게 예측되는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

3차원 복원 기술이란 실제 3차원 공간에 존재하는 물체의 형상과 색상을 가상 공간에 재건하는 기술로서 가상 현실, 증강 현실, 로봇, 쇼핑 등 다양한 응용에서 널리 사용 될 수 있다. 최근 색상과 깊이 정보를 동시에 획득 할 수 있는 RGB-D 카메라가 대중화 되면서 RGB-D 카메라를 이용하여 3차원 복원을 수행하는 방법이 많이 연구되고 있다. 초기에 RGB-D 카메라를 이용한 3차원 복원 방법으로 KinectFusion이 소개되었으며 이 방법은 현재까지도 여전히 주요한 3차원 복원의 한 방법으로 평가받고 있다 [1]. 그림 1은 KinectFusion 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

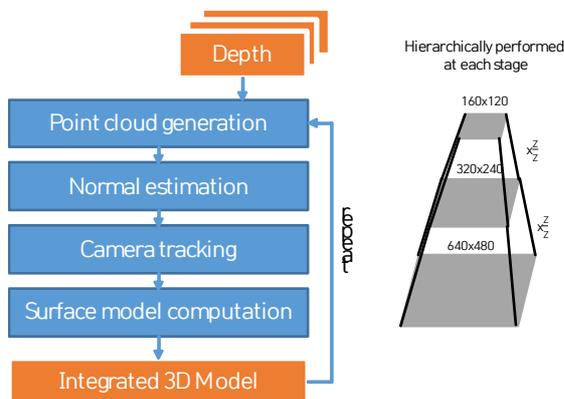


그림 1. 기존의 방법 흐름도

먼저 RGB-D카메라를 이용하여 깊이 영상을 획득 한 다음 카메라 내부 파라미터를 이용하여 3차원 점군 모델을 생성한다. 생성된 3차원 점군 모델로부터 각 점에 대해 법선 벡터를 획득한 다음 카메라 외부 파라미터를 계산하는 카메라 추적 단계를 수행한다. 이 단계에서는 반복적 점군 정합 방법이 주로 이용된다. 이로 점군으로 표현된 모델을 복셀 기반 표면 모델로 변환하는 단계를 거치면 완성된 3차원 모델을 획득할 수 있다. 전체 단계는 깊이 영상이 획득됨에 따라 반복적으로 수행되며 각 단계는 영상 피라미드 형태로 계층적으로 수행되어 정확성을 높인다또 한 GPU를 이용하여 병렬적으로 계산을 수행함으로써 전체 과정이 실시간으로 처리된다.

그러나 이 방법은 시간의 흐름에 따라 누적된 오차 때문에 발생하는 객체 표류 문제가 존재한다. 이는 RGB-D 카메라로부터 얻은 깊이 영상에 깊이 카메라 특성으로부터 기인한 잡음이 많이 포함되어 있는 것이 하나의 원인을 차지한다. 따라서 점군 생성 단계에서 깊이 카메라 센서 잡음에 강인한 법선 벡터를 계산하는 것이 중요하다. 기존의 방법에서는 근접 이웃한 점사이의 벡터 외적을 이용하여 법선 벡터를 계산하지만 이 방법은 점군 데이터에 포함된 잡음에 영향을 많이 받는다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 이웃 점 집합 내의 점군에 대해 주성분 분석 방법을 이용하여 표면 법선 벡터를 계산한다. 또한 이웃 점 집합의 크기가 계산된 법선 벡터의 정확성에 중요한 부분을 차지하므로 이를 적응적으로 선택하기 위해 색상과 깊이영상에 대해 이진 윤곽선 영상을 계산하고 이 영상에 대한 거리 변환 맵 정보를 이용한다.

2. 제안하는 3차원 복원 시스템

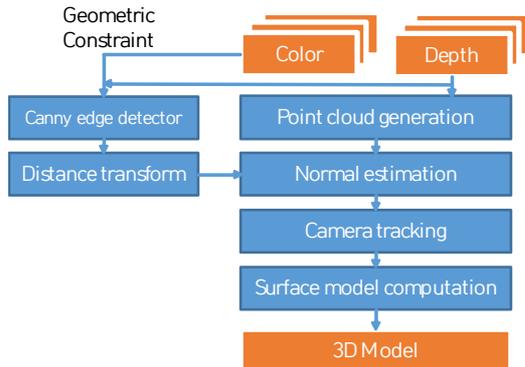


그림 2. 제안하는 방법의 흐름도

그림 2는 제안하는 3차원 복원 시스템을 나타낸다. 기존의 방법과 비교하여 영상의 윤곽선을 검출하는 캐니 윤곽선 검출기와 가장 가까운 윤곽선으로부터의 거리를 계산하는 거리 변환 단계가 추가되었다.

2.1 주성분 분석을 이용한 법선 벡터 계산

법선 벡터를 얻고자 하는 점의 반경 r 안의 점들을 이웃 점 집합 s 로 정의한다. s 에 속하는 점들에 대해 중심점 \bar{p} 를 식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$\bar{p} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k p_i \quad (1)$$

다음 공분산 행렬 M 을 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$M = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p}) \quad (2)$$

행렬 M 에 특이 값 분해를 수행하여 고유 벡터와 고유 값을 구한 다음 가장 작은 값을 가지는 고유값에 관련된 고유벡터가 바로 이웃 점 집합 s 에 해당하는 법선 벡터가 된다 [3].

2.2 적응적인 이웃 크기 선택

주성분 분석을 이용한 법선 벡터 계산 단계에서 이웃 점 집합 s 의 크기를 결정하는 반경 r 을 선택하는 것이 중요한 역할을 수행한다. 반경의 크기를 작게 선택하면 점군 데이터의 잡음이 결과에 많은 영향을 미치게 되고 크기를 크게 선택하면 다른 물체에 대한 점군 데이터가 포함되어 잘못된 표면 법선 벡터가 계산될 수 있다. 따라서 적절한 크기의 반경을 선택해야 한다.

본 논문에서는 영상 내의 가장 가까운 윤곽선으로부터의 거리를 나타내는 거리 변환 맵을 사용하여 반경의 크기를 결정했다면 색 영상과 깊이 영상에 캐니 윤곽선 검출기를 사용하여 이진 윤곽선 영상을 추출한다. 다음으로 이진 윤곽선 영상에 거리 변환을 수행하여 거리 변환 영상 $DT(m,n)$ 을 획득한다. 임계값 threshold 를 이용하여 이웃 반경 맵 $R(m,n)$ 를 구한다. threshold 은 반경의 상한값을 나타낸다.

$$R(m,n) = \min(\text{threshold}, DT(m,n)) \quad (3)$$

이 값을 이용하여 주성분 분석을 이용한 표면 법선 벡터 계산 단계에서 사용하는 이웃 점 집합 s 의 크기를 적응적으로 조절한다.

3. 실험 결과

기존의 방법과 제안하는 방법의 비교를 위해 본 논문에서는 절대 궤적 오차 (absolute trajectory error, ATE)를 이용했다. 실험에 사용된 영상 데이터는 TUM RGB-D 데이터 중 teddy와 office 시퀀스를 사용했다 [4]. 표 1은 기존의 방법과 제안하는 방법의 절대 궤적 오차의 비교를 보여준다.

	기존의 방법 결과	제안하는 방법 결과
Teddy	0.966950m	0.062736m
Office	0.572968m	0.070767m

표 1. 절대 궤적 오차 비교

결과를 통해 제안하는 방법의 절대 궤적 오차 값이 작게 나오는 것을 확인 할 수 있다. 다음으로 표 2는 기존의 방법과 제안하는 방법으로 얻은 궤적을 시각화 한 그래프를 나타낸다. 검은색의 선은 실제의 카메라 궤적을 나타내고 파란색의 선은 각 방법으로 예측된 카메라 궤적을 나타낸다. 기존의 방법에서 궤적을 찾는데 실패하는 구간이 있는 반면 제안하는 방법은 비교적 정확하게 예측하는 것을 확인할 수 있다.

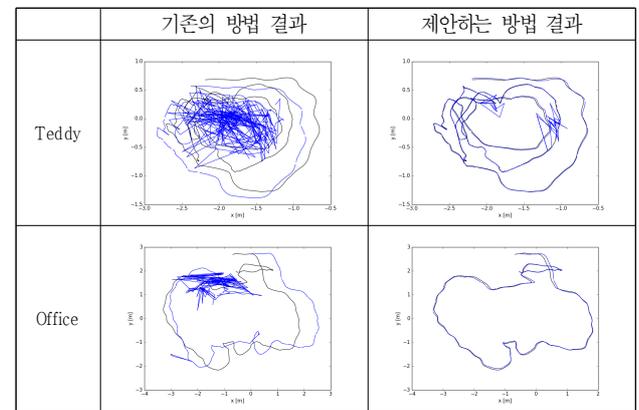


표 2. 예측된 카메라 궤적 비교

4. 결론

본 논문에서는 정확한 3차원 장면 복원을 위해 잡음이 포함된 점군 데이터에 강건한 표면 법선 벡터 획득 방법을 제안했다. 제안하는 방법에서는 적응적인 이웃 점 집합의 크기를 선택하여 주성분 분석을 이용한 법선 벡터를 계산하여 3차원 복원을 수행했다. 실험 결과로부터 제안하는 방법이 기존의 3차원 장면 복원 방법에서 발생하는 객체 표류 문제를 줄이고 실제의 카메라 궤적에 가깝게 카메라의 궤적을 예측하는 것을 확인했다.

감사의 글

본 논문은 민·군기술협력사업(Civil-Military Technology Cooperation Program)으로부터 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- [1] S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, and D. M. ..., "KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera," presented at the Proceedings of the 24th ..., 2011.
- [2] K. L. Low, "Linear least-squares optimization for point-to-plane icp surface registration," Chapel Hill, 2004.
- [3] S. Holzer, R. B. Rusu, M. Dixon, S. Gedikli, and N. Navab, "Adaptive neighborhood selection for real-time surface normal estimation from organized point cloud data using integral images.," IROS, pp. 2684-2689, 2012.
- [4] F. Endres, J. Hess, N. Engelhard, and J. S., "An evaluation of the RGB-D SLAM system," ICRA, pp. 1691-1696, 2012.