

동적 물체에 대한 공간 증강 현실 프로젝션에 관한 연구

백용환, 임창민^o, 최준영, 박종일*

한양대학교 컴퓨터·소프트웨어학과

yhbaek@mr.hanyang.ac.kr, cmlim@mr.hanyang.ac.kr, hooeh@mr.hanyang.ac.kr, jipark@hanyang.ac.kr

요약

프로젝터를 기반으로 하는 공간 증강 현실은 가상의 증강 정보를 실제 세계에 투영할 수 있는 유용한 방법으로 지속적인 연구가 되어왔다. 특히 저렴한 가격으로 3 차원 공간 정보를 획득할 수 있는 깊이-카메라의 도움으로 정적인 환경을 3 차원으로 복원하여 프로젝터를 통해 증강 정보를 투사할 수 있는 방법들이 많이 개발되었다. 하지만 아직 기존의 연구들은 정적인 환경에서 얼마나 정확히 투사할 수 있는지에 집중하고 있다. 본 논문에서는 동적으로 움직이는 물체에 대해 프로젝터를 통해 증강 정보를 투사하였을 때 발생할 수 있는 지연 문제를 측정 및 검증하고, 이를 보정하기 위한 방안으로 칼만 필터를 이용한 운동 예측 모델을 제안한다.

1. 서론

증강 현실이라는 기술은 기존의 글 또는 그림 등으로 표현할 수 있는 정보의 한계를 벗어나, 더욱 실제 공간과 가까운 위치에서 사용자에게 정보를 전달해 줄 수 있는 기술이다. 이러한 기대감에 힘입어 고성능의 컴퓨터와 센서 기술을 이용하여 일상 생활에서도 종종 접할 수 있는 수준의 기술이 되었다. 하지만 아직 일상에서 접할 수 있는 기술의 대부분은 카메라를 통해 획득한 정보를 실제 물체의 위치에서 벗어난 제 3의 공간에 위치한 디스플레이를 통해서 사용자가 증강 정보를 취득하고 있다. 사용자는 실제 물체와 증강된 정보의 공간적 이질성으로 몰입감을 방해 받고 있으며, 응용 분야 또한 매우 제한적으로 활용되고 있다 [1].

물체와 증강 정보의 공간적 이질성을 극복하기 위해 SpaceTop [2] 논문에서는 투명 디스플레이를 활용하여 가상 공간과 실제 공간의 융합하는 방향을 제시하였다. 하지만 디스플레이와 얼굴 추적 기술을 사용했다는 점에서 단일 사용자로 그 기능이 제한이 되고 있다. 여러 사용자가 공간에 증강된 정보를 공유하면서 몰입하기 위해서는 현재로는 프로젝터를 이용한 투사 방법이 가장 효율적인 방법이다.

IllumiRoom [3] 그리고 RoomAlive [4] 의 결과물을 살펴보면 3 차원 공간정보를 재구성하여 주변 공간 전체에 가상 정보를 프로젝터로 투사하는 기술을 보여주었다. 사용자는 자신이 있는 실제 공간이 직접적으로 반응하며 시각적 변화를 감지하는 것을

통해 가상의 환경과 충분히 몰입할 수 있음을 보여 주었다. 그러나 해당 시스템에서 실제 물체는 모두 움직이지 않는 정적인 물체와 환경을 대상으로 하고 있다.

사람의 상호작용 행위는 정적인 환경보다는 동적인 환경이 많기 때문에 위와 같이 정적인 환경에서의 상호작용은 한계가 있다. 보다 나은 프로젝터 기반의 상호작용 환경을 구성하기 위해서는 동적인 물체에 대한 프로젝션이 필연적이다. 본 논문에서는 동적 물체에 대한 프로젝션 환경을 구성했을 때 나타난 증강 정보의 지연 문제에 대해 고찰하였고, 지연 문제를 보정하기 위한 알고리즘을 제안한다.

2. 증강 정보 프로젝션 지연 문제

프로젝터 기반 공간 증강 현실 시스템은 일반적으로 다음 그림 1 과 같이 구성되어 있다. 그림 1-(b)의 카메라를 이용하여 현재 공간상의 정보를 취득하고 (a)의 컴퓨터가 그 정보를 분석하여 가상의 증강 정보를 합성한다. 합성한 결과를 최종적으로 그림 1-(c)의 프로젝터를 통해 실제 물체에 투사를 시켜 사용자에게 그 결과를 보여주게 한다. 즉, 현재 공간상의 정보가 프로젝터를 통해 실제 사용자에게 까지 반영되기 위해서는 중간 과정이 필연적으로 들어가게 된다. 이 중간 과정에 필요한 처리시간이 사용자에게는 현실과 어긋난 결과를 경험하게 될 수 밖에 없다 [5].

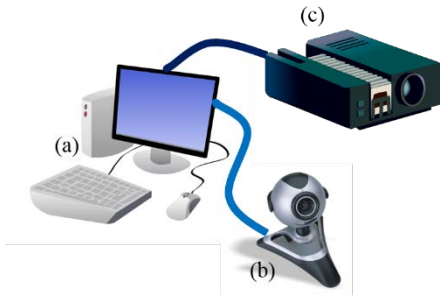


그림 1. 일반적인 프로젝터 카메라 시스템. (a) 컴퓨터, (b) 카메라, (c) 프로젝터

3. 프로젝션 지연시간 측정

3.1 실험 구성

시스템 전체의 지연시간은 카메라의 입력으로부터 프로젝터를 통한 출력까지의 시간에 해당한다. 이 시간을 측정하기 위해 그림 2와 같은 실험 환경을 구성하였다. 우선 모니터로부터 주기적으로 움직이는 메트로놈 영상을 출력시켜두고 그림 2(a)의 카메라를 통해 이 영상을 촬영한다. 촬영한 결과물은 호스트 컴퓨터로 전송되고, 이후 다른 영상처리 없이 (b)의 프로젝터로 투사한다. 모니터의 영상과 프로젝터의 영상을 (c) 카메라로 촬영하여 그 차이를 비교하였다.

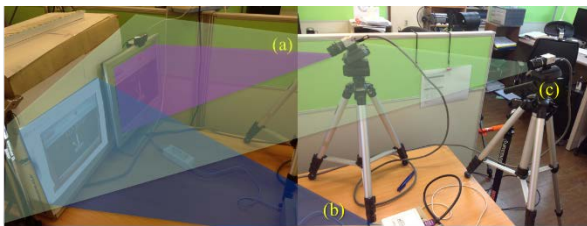


그림 2. 프로젝터 지연시간 측정 실험 구성. (a) 모니터 촬영 카메라, (b) 촬영 영상 출력 프로젝터, (c) 모니터와 프로젝터 영상 촬영 카메라.

이상적으로는 모니터의 영상과 프로젝터의 영상 사이의 차이가 없어야 한다. 하지만 실제로는 카메라로부터 호스트 컴퓨터까지는 카메라의 프레임 속도로 인한 지연시간이 반영하게 된다. 또한 호스트 컴퓨터 내부에서도 버퍼로부터 출력 영상을 생성하기까지의 처리 시간을 필요로 하며, 프로젝터에서는 내부 영상처리 하드웨어 등으로 인해 추가적인 지연시간이 발생하게 된다.

3.2 측정 결과

측정에는 30 fps 카메라를 사용하였고, 두 카메라는 하드웨어적으로 동기화된 상태에서 측정하였다.

총 6000 프레임을 분석하여 모니터의 영상과 프로젝터의 영상 사이의 지연시간을 분석하여 표 1과 같은 결과를 획득하였다.

표 1. 지연시간(프레임) 측정 결과

최소 지연 프레임	2 (66 ms)
최대 지연 프레임	7 (231 ms)
평균 지연 프레임	4.1 (135 ms)

분석 결과 대략 4.1 프레임 정도의 지연이 발생하였고, 30 fps 카메라이기 때문에 각 프레임마다 약 33 ms의 지연시간이 발생하게 된다. 따라서 평균 135 ms 정도의 지연시간이 발생하게 됐음을 알 수 있다. 특히 동적인 물체를 따라가며 프로젝션을 수행할 경우에는 이 지연시간은 결코 무시할 수 없는 지연시간이다. 따라서 이를 보정하기 위한 기술을 필요로 한다.

4. 동적 물체에 대한 지연시간 보정

4.1 개요

공간 증강 현실 환경에서는 카메라로 획득한 정보를 바탕으로 호스트 컴퓨터에서 적절한 연산을 수행한 후 그 결과를 프로젝터로 보여주게 된다. 움직이지 않는 정적인 물체에 대해서는 아주 짧은 지연시간 이후에는 정상적으로 물체에 프로젝션이 가능하다. 하지만 물체가 움직이는 경우에는 매 프레임마다 물체의 위치가 바뀌기 때문에 지연시간만큼 과거에 인식했던 위치에 프로젝터가 결과물을 출력하게 된다. 특히 물체가 지속적으로 움직이는 경우에는 프로젝션 결과가 실제 물체의 위치보다 뒤쳐져서 나타나게 된다. 이와 같은 현상을 보정하기 위하여 카메라로 인식된 위치로부터 지연시간 이후에 물체가 어디로 이동할지 예측하여 프로젝션하는 방법을 제시한다.

4.2 위치 예측 알고리즘

물체의 움직임이 완전히 불규칙하지 않다면, 물체의 움직임은 현재의 속도 및 가속도의 영향을 받아 움직이게 될 것이다. 따라서 본 논문에서는 다음 수식 (1)의 운동 방정식을 정의하였다.

$$v_{k+1} = v_k + a_k t + \frac{1}{2} \Delta a_k t^2 \quad (1)$$

위의 방정식은 이전 물체의 속도, 가속도를 반영하고 있으며, 또한 가속도의 변화도 고려하고 있다. 위의 방정식으로부터 다음 프레임에 대한 속도를 계산할 수 있고, 지연시간을 고려하여 그 결과를 반영하면 물체의 위치를 예측할 수 있다. 해당 방정식

의 변량은 카메라로부터 인식한 물체의 위치 기록으로부터 계산하게 되는데, 이 계산 값은 잡음을 내포하게 되어있다. 이 잡음을 제거하고 방정식을 풀어내기 위해 선형 칼만 필터를 활용하였다.

4.3 실험 구성

해당 실험은 실제로 움직이는 물체 위에 프로젝터를 투사하여 실제 물체 위치와 프로젝터에 투사된 위치와의 거리를 계산하는 방향으로 실험을 구성하였다. 물체를 검출하기 위한 지연시간을 최소화하기 위해 AR 마커 검출 알고리즘을 사용하여 물체의 위치를 찾고, 프로젝터에 해당하는 위치에 증강하도록 구성하였다. 그림 3은 위의 실험을 나타내는 그림으로 인식했던 위치와 실제 자동차의 위치 차이를 보여주고 있다.

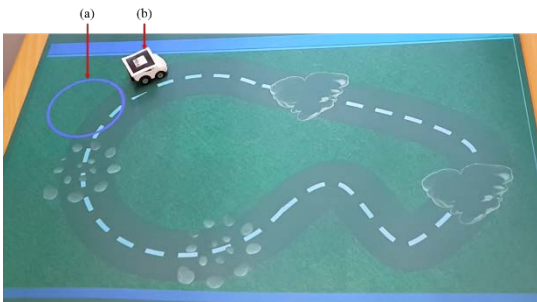


그림 3. 지연시간 보정 실험 구성. (a) 프로젝터가 투사한 자동차의 위치, (b) 실제 자동차의 위치.

4.4 실험 결과

본 실험에서 실제 물체의 궤적과 단순 평균 속도 및 가속도를 이용한 예측 방법 그리고 제시한 운동 방정식을 활용한 칼만 필터 예측 모델의 결과를 비교하였다. 칼만 필터 예측 모델은 현재 프레임의 예측 값을 그대로 사용한 것과 지연시간만큼 재귀 연산을 통하여 예측한 방법 2 가지를 제시한다. 그림 4는 각각의 실험 모델에 대한 예측 궤적을 나타낸다.

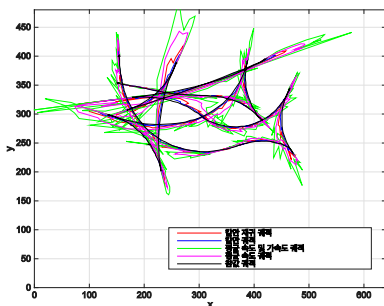


그림 4. 실험 모델 궤적.

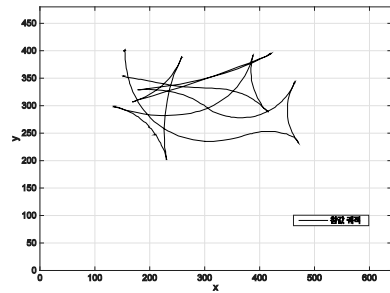


그림 5. 자동차의 참값 궤적.

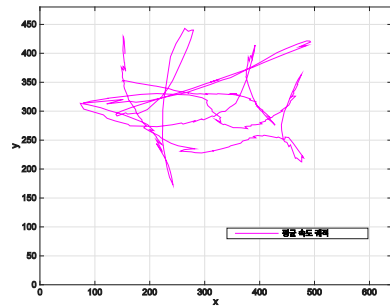


그림 6. 평균 속도 궤적.

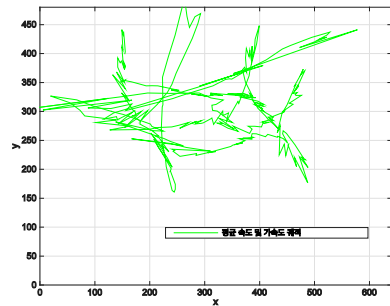


그림 7. 평균 속도 및 가속도 궤적.

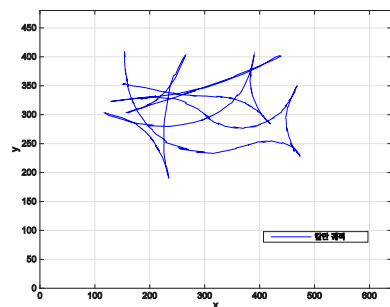


그림 8. 운동 방정식을 이용한 칼만 궤적.

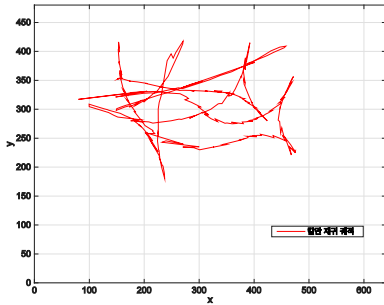


그림 9. 운동 방정식을 이용한 칼만 재귀 궤적.

실험 결과를 살펴보면, 평균 속도의 경우에는 실제 위치에 비해 과잉 예측하는 경향을 보이고 있다. 또한 평균 속도 및 가속도 모두 사용한 경우에는 잡음의 누적으로 인해 오히려 더 좋지 않은 결과가 나타났다. 반면 칼만을 이용한 두 궤적 모두 준수한 궤적을 보여주었다. 각 모델에 대해 실제 물체의 위치와 프로젝터로 투사된 위치 사이의 거리를 계산하면 표 2와 같이 정리할 수 있다.

표 2. 물체 위치와 예측 위치 사이의 평균 거리

	예측 없이	평균 속도	평균 속도 및 가속도	칼만	칼만 재귀
오차 (백셀 거리)	21.24	17.49	27.24	11.83	10.44

위의 결과를 보면 예측을 전혀 사용하지 않았을 때보다 평균 속도를 반영한 모델이 더 좋은 결과를 보여주었다. 그렇지만 실제 운동 모델을 반영한 칼만과 칼만 재귀 모델은 평균 속도만을 사용한 모델보다 훨씬 좋은 결과를 나타냈음을 확인할 수 있다. 또한 칼만 결과를 그대로 사용했을 때보다 지연 시간만큼 재귀호출을 통해 예측한 위치가 조금 더 정확했음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 프로젝터를 사용한 공간 증강 현실 환경에서 동적 물체에 대해 프로젝션을 수행했을 때 발생할 수 있는 시간 지연 문제에 대해 다루었다. 프로젝터-카메라를 사용한 공간 증강 현실 시스템 특성상 중간 연산 과정에 의한 지연 시간을 완벽히 제거할 수 없다. 특히, 지연시간 측정 실험 결과로부터 평균 4 프레임 정도의 130 ms 가 넘는 무시하기 힘든 지연시간임을 확인하였다.

시간 지연 문제를 보정하기 위하여 움직이는 물체에 대한 운동 모델을 제시하였고, 칼만 필터를 활용하여 운동을 예측하는 방법을 제시하였다. 이 예측 모델은 현재 카메라 영상 프레임의 위치에 증강 결과를 보여주는 것이 아니라 이후 프레임의 위치를 예측하여 증강함으로써 지연시간으로 인한 거리 오차를 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

하지만 아직 예측된 모델의 궤적을 살펴보면 충분히 부드러운 궤적은 아니다. 차후 연구를 통하여 조금 더 정확한 모델과 예측 방법을 사용하면 이 문제점을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2014(I5501-14-1007), 3D 스마트미디어/증강현실 기술 한중일터 공조 국제표준화]

*교신저자: 박종일 (jipark@hanyang.ac.kr)

참고문헌

- [1] Oliver Bimber and Ramesh Raskar, "Spatial Augmented Reality," *ISMAR*, pp. 306, 2004.
- [2] Jinha Lee, et al. "SpaceTop: integrating 2D and spatial 3D interactions in a see-through desktop environment," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 189-192, 2013.
- [3] Brett R. Jones, et al. "IllumiRoom: peripheral projected illusions for interactive experiences," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 869-878, 2013.
- [4] Brett R. Jones, et al. "RoomAlive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units," *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ACM, pp. 637-644, 2014.
- [5] Steffan Sandtrøen Gullichsen, "Delay in camera-to-display systems," 2011.