

ARCore 환경에서 Depth API 활성화가 실내 AR 앵커 드리프트에 미치는 영향 분석

박덕환, 엄한울, 안호연*

순천향대학교, 순천향대학교, 순천향대학교*

20233651@sch.ac.kr, hanool1213@sch.ac.kr, hoyeon@sch.ac.kr*

Analysis of the Impact of Depth API on Anchor Drift in ARCore-based Indoor AR Systems

Deok-Hwan Park, Han-Ul Yum, Ho-Yeon Ahn*

Shunchunhyang Univ., Shunchunhyang Univ., Shunchunhyang Univ.*

요약

본 논문은 텍스처가 부족하고 반복적인 패턴이 존재하는 실내 환경에서 Google ARCore의 Depth API 활성화 여부가 증강현실 앵커 추적 안정성에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 Unity 엔진 기반의 측정 애플리케이션을 구현하고 동일한 경로와 조건에서 Depth ON/OFF 실험을 수행하여 앵커의 월드 좌표를 시계열로 기록하였다. 분석 결과, 평균 드리프트에서는 두 조건 간 차이가 크지 않았으나 Depth API 활성화 시 루프 클로저 및 전역 최적화 과정에서 발생하는 앵커 시프트와 같은 이상 현상이 상대적으로 적게 관측되었으며 최대 오차와 최종 누적 오차가 각각 약 67.3%와 73.0% 감소하는 경향을 보였다.

I. 서론

실내 증강현실(AR) 서비스의 품질은 가상 객체의 정합 안정성에 의존한다. 모바일 AR은 시각-관성 기반의 동시적 위치 추정 및 지도 작성(SLAM) 기술을 통해 앵커(Anchor)를 생성하지만, 조명 변화나 텍스처 부족 등의 환경 요인으로 인해 앵커 좌표가 서서히 이동하는 ‘앵커 드리프트(Anchor Drift)’나 불연속적으로 갱신되는 ‘앵커 시프트(Anchor Shift)’ 현상이 발생하여 신뢰도를 저하시킨다 [3].

최신 ARCore 플랫폼은 RGB 정보만으로도 우수한 추적 성능을 보이나, Depth API를 통한 기하학적 정보 활용은 맵 갱신의 안정성을 더욱 보완할 수 있다[1][2]. 특히 SLAM의 루프 클로저(Loop Closure) 및 전역 최적화 과정에서 발생하는 좌표계 재정렬 특성을 고려할 때, 단순 평균 오차보다는 오차의 변동성과 이상 현상 억제 능력이 실질적인 안정성 지표가 된다 [3][4].

이에 본 연구는 Unity 기반 계측 시스템을 활용하여 Depth API 활성화 여부가 앵커 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 평가 지표로는 오차의 분산, 최댓값, 그리고 시프트 발생 빈도를 적용하였으며, 이를 통해 겉보기 성능이 유사한 조건에서도 Depth API가 수행하는 강건성(Robustness) 향상 효과를 규명하였다 [1] - [4].

II. 본론

본 연구는 Google ARCore의 Depth API 활성화(Depth ON) 유무가 실내 앵커 추적 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위해 Unity 기반 데이터 수집 애플리케이션을 구현하였다. 실험은 텍스처가 부족하고 반복 패턴이 존재하는 실내 복도 환경에서 수행되었으며, 동일 경로 및 시나리오 하에 각 조건을 교차 검증하였다.

데이터 분석 시 SLAM 초기화 및 맵 확장 단계의 과도 응답을 배제하기

위해 실험 초기 5초간의 데이터는 제외하였으며, 이후 안정화된 앵커 좌표를 기준으로 10Hz 주기의 변위를 기록하였다. 평가 지표로는 앵커 드리프트, 오차의 표준편차(Std. Dev), 최대 오차(Max Drift)를 산출하였으며, 앵커 시프트 현상을 중점적으로 분석하였다.

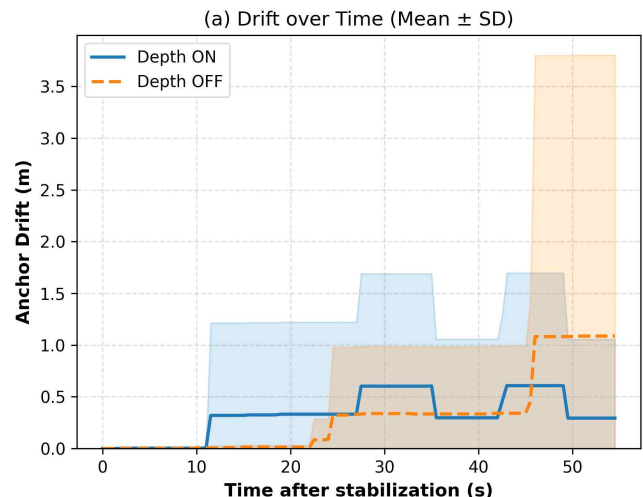


그림 1. 앵커 드리프트와 오차 분포 시각화

그림 1은 시간 경과에 따른 앵커 드리프트 추이와 오차 분포를 나타낸다. 그림 1(a)의 시계열 분석 결과, Depth ON(청색) 조건은 전 구간에서 오차와 표준편차(음영 영역)가 낮게 유지되어 안정적인 성능을 보였다. 반면, Depth OFF(주황색) 조건은 약 20초와 45초 시점에 오차가 계단형으로 급증하는 양상이 관찰되었다. 이는 루프 클로저 및 전역 최적화에 따른 좌표계 재정렬, 즉 앵커 시프트에 기인하며 사용자 경험을 저해하는 시각적 불연속성을 유발한다. 또한 시간 경과에 따라 표준편차가 확대됨은 위치 추정의 불확실성이 증가함을 의미한다.

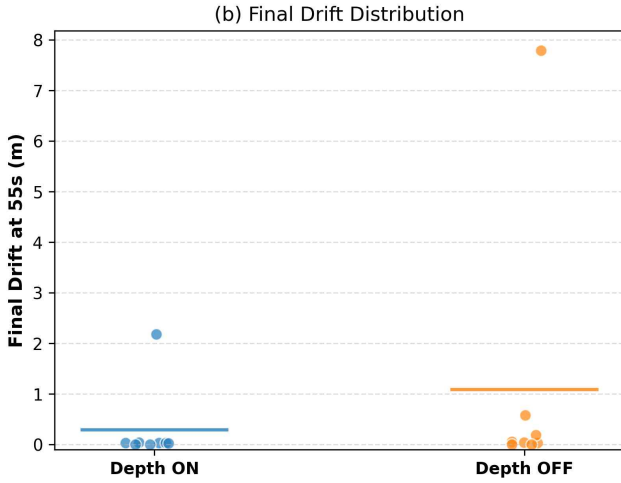


그림 2. 최종 누적 오차 분포 시각화

그림 2의 최종 누적 오차(Final Drift) 분포를 살펴보면, Depth ON 조건은 대부분 0.5m 이내로 수렴한 반면, Depth OFF 조건은 최대 7.8m에 달하는 현저한 이상치(Outlier)를 기록하였다. 이는 깊이 정보가 부재한 단안 SLAM이 저특징(Low-texture) 환경에서 스케일 모호성이나 추적 실패로 인해 오차가 발산할 수 있음을 시사한다.

표 1은 실험 결과를 정량적으로 요약한 것이다. 우선 전체 평균 드리프트(Mean Drift)는 Depth OFF(0.321m)와 Depth ON(0.328m) 간에 유의미한 차이가 없거나, Depth ON 조건이 미세하게 높게 측정되었다. 이는 최신 모바일 AR 플랫폼의 시각-관성 주행거리 측정 기술(VIO)이 고도화되어, 특징점 식별이 가능한 일반 구간에서는 RGB 정보만으로도 준수한 추적 정확도를 확보함을 의미한다. 즉, Depth 정보가 모든 프레임의 정밀도를 일괄적으로 향상시키는 요인은 아님을 알 수 있다.

그러나 데이터의 산포도를 나타내는 표준편차와 안정성 지표에서는 Depth API의 기여도가 명확히 확인된다. Depth ON 조건의 표준편차는 0.300m로 OFF 조건(0.395m) 대비 약 24% 감소하였으며, 이는 추적 오차의 변동성을 완화하여 일관된 서비스 경험을 제공함을 시사한다. 특히 시스템 신뢰성을 대변하는 최대 오차에서 가장 결정적인 차이가 관측되었다. Depth OFF 조건은 텍스처 부족 등의 악조건에서 일시적 추적 실패로 인해 최대 7.794m의 오차가 발생하였으나, Depth ON 조건은 이를 2.550m 수준으로 억제하며 약 67.3%의 감소 효과를 보였다. 이는 Depth Map이 제공하는 3차원 기하학적 제약이 SLAM의 스케일 모호성을 보정하고, 오차가 발산하는 것을 방지하는 안전장치로 작용함을 입증한다.

또한, 장기적 서비스 안정성을 나타내는 최종 누적 오차 역시 Depth ON(0.294m)이 OFF(1.087m) 대비 약 73.0% 감소하였다. 일반적인 VIO 시스템은 시간 경과에 따라 오차가 누적되는 특성을 가지나, Depth API는 이러한 누적 속도를 억제하여 장시간 세션에서도 가상 객체의 위치 안정성을 유지하였다.

결론적으로 Depth API는 평균 정밀도의 개선보다는 앵커 시프트를 억제하고 시스템 붕괴를 방지하여 AR 서비스의 강건성 확보에 기여한다.

Condition	Mean Drift (m)	Std. Dev (m)	Max Drift (m)	Final Drift (m)
Depth OFF	0.321	0.395	7.794	1.087
Depth ON	0.328	0.300	2.550	0.294 (73.0% ↓)

표 1. 앵커 안정성의 정량적 비교. Max Drift 및 Final Drift는 사용자 경험 관점에서의 시스템 신뢰성을 반영하는 지표

III. 결론

본 논문에서는 단일 카메라 기반 모바일 AR 환경에서 Google ARCore의 Depth API가 가상 객체의 위치 고정 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 텍스처가 부족하고 패턴이 반복되는 실내 복도 환경에서의 실험 결과 Depth API의 활성화 여부는 전체 평균 드리프트에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이는 최신 VIO 기술의 발전으로 기본 RGB 추적 성능이 상향 평준화되었음을 의미한다.

그러나 서비스 품질에 치명적인 영향을 미치는 최종 누적 오차 측면에서는 Depth API 활성화 시 비활성화 조건 대비 73.0%의 유의미한 성능 향상을 확인했다. 특히, Depth API는 SLAM 시스템의 좌표 재정렬 과정에서 발생하는 앵커 시프트 현상을 상대적으로 억제하였다.

특히 본 연구 결과는 Depth API가 평균 위치 정밀도를 일괄적으로 향상시키기보다는, SLAM의 루프 클로저 및 전역 최적화 과정에서 발생하는 비연속적인 좌표 재정렬로 인한 앵커 시프트 현상을 억제함으로써, 사용자 인지 관점에서의 시각적 안정성을 확보하는 데 핵심적인 역할을 수행함을 시사한다. 이는 실내 AR 서비스에서 단기적인 수치 정확도보다 극단적인 오차 발산을 방지하는 강건성이 보다 중요한 품질 지표가 될 수 있음을 의미한다.

향후 연구에서는 본 연구에서 구현한 측정 시스템을 활용하여 조명 변화가 극심하거나 동적 객체가 혼재된 다양한 실내 환경으로 실험 대상을 확장할 계획이다. 단순히 드리프트의 크기를 측정하는 것을 넘어서 추적 소실(Tracking Lost) 발생 시 Depth API가 재위치 인식(Relocalization)의 성공률과 복구 속도에 미치는 영향을 분석함으로써 실내 AR 내비게이션 및 장기 지속형 AR 서비스의 신뢰성 향상 방안을 구체화하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's/PhD students, and Postdocs(G-LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Education(No. RS-2025-25441283)

참 고 문 헌

- [1] J. Valentin et al., "Depth from Motion for Smartphone AR," ACM Transactions on Graphics, vol. 37, no. 6, 2018.
- [2] R. Du et al., "DepthLab: Real-time 3D Interaction with Depth Maps for Mobile Augmented Reality," in Proc. UIST, 2020.
- [3] R. Mur-Artal and J. D. Tardós, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras," IEEE Transactions on Robotics, 2017.
- [4] D. Killough, R. Chen, Y. Zhao, and B. Mutlu, "Understanding Mixed Reality Drift Tolerance," in Proc. CHI EA, 2025.