

Map-less Person-Following Navigation: 타깃 고정과 최종 관측지점 재접근 전략

강아현, 신수용*

국립금오공과대학교 IT융복합공학과

ahyn935@kumoh.ac.kr, *wdragon@kumoh.ac.kr

Map-less Person-Following Navigation: Target Locking and Last-Observation Re-approach

Ah Hyun Kang, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology.

요약

본 논문은 global map을 구축하지 않는 map-less 조건에서, wheel odometry와 ZED2i 스테레오 카메라 IMU를 확장 칼만 필터(EKF)로 융합한 local odometry를 바탕으로 사람-추종 내비게이션을 수행하는 방법을 제안한다. 카메라의 객체 인식으로부터 사람 위치를 수신하고, TF 변환을 통해 map 프레임으로 투영한 뒤, 추종 거리 유지 관점에서 목표점을 생성하여 Nav2 액션으로 전달한다. 사람이 일시적으로 가려지는 경우에는 최종 관측지점 단회 재접근을 수행하고, 재탐지 시 추종으로 복귀하도록 상태 전이를 설계하였다. 제안 방법은 구현 복잡도와 계산량을 낮추면서도 근거리 실내 시나리오에서 추종 안정성을 확보한다.

I. 서 론

자율주행 로봇의 사람 추종은 안내·운송 등 실사용 응용에서 핵심 기능으로 자리 잡고 있다[1]. SLAM 기반 접근은 global map을 구축하고, map 상에서 로봇의 위치를 추정하며 경로 계획을 수행한다. 그러나 map 구축 비용과 환경 변화에 따른 불안정성, loop closure 실패 가능성 등으로 제약이 존재한다. 본 연구는 global map을 사용하지 않고도 실사용에 필요한 추종 성능을 달성하기 위해, wheel odometry의 누적 오차를 IMU 융합(EKF)으로 보강하여 local 좌표계의 자세·위치를 안정적으로 추정하고, 인식된 사람 좌표만을 기준으로 목표를 생성·갱신하는 경량 추종 프레임워크를 제안한다[2]. 즉, 경로 계획은 map 좌표계가 아닌 타깃 상태 좌표계에서 이루어지며, 시스템은 SLAM을 사용하지 않기 때문에 map과 localization의 부재를 전제로 설계된다. 본 연구의 목적은 실내 환경의 일시 가림·ID 변동이 있는 상황에서도 연속적 추종을 유지하는 것이다.

제안 방법은 ZED SDK의 3D Object Detection을 통해 사람으로 판정되고 추적 상태가 유효한 대상만을 입력으로 사용한다[3]. 카메라 기준 좌표로 주어진 사람 위치는 TF 변환을 통해 map 프레임으로 투영되고, EKF 융합으로 제공되는 local odometry를 기준으로 로봇 위치가 조회된다. 이후 로봇-사람 상대 벡터를 계산하여 추종 거리를 만족하도록 목표점을 산출한다. 이렇게 산출된 목표는 Nav2 navigate_to_pose 액션으로 전달되며, 과도한 명령 전송을 방지하기 위해 목표 반경 내부에서는 전송을 억제하고, 최소 갱신 간격을 적용한다. 사람이 가시 상태를 유지하는 동안에는 초기 최근접 인물을 타깃으로 선택하고 이후 동일 ID만을 유지함으로써 추적 안정성을 높였으며, 일시 미탐지 시간이 임계값을 초과할 경우 마지막 관측 좌표로의 탐색 이동을 수행하고, 재탐지 시 추종 상태로 복귀한다. RViz에서는 3차원 박스 및 텍스트 마커를 통해 타깃 ID와 거리, 추종 상태를 확인한다.

II. 시스템 구조

본 연구의 시스템은 TRACKING과 SEARCHING의 이원 상태로 동작한다. TRACKING 상태에서는 타깃 ID가 미설정인 초기에는 최근접 인물을 1회 선택하고, 이후에는 동일 ID만을 대상으로 목표를 생성한다. 사람 좌표는 카메라 프레임에서 map 프레임으로 변환하여 사용하며, 로봇-사람 간 상대 거리가 추종 거리보다 작을 때에는 목표 전송을 억제하여 과도한 목표 갱신으로 인한 혼들림을 방지한다. 마지막 전송 시각과의 간격이 최소 갱신 간격에 미달하는 경우에도 전송을 지연한다. 사람이 일정 시간 이상 미탐지되는 경우에는 SEARCHING 상태로 전환하여 마지막 관측 좌표로 1회 이동하고, 목표 반경 내 도달 또는 재탐지 시 TRACKING으로 복귀하도록 하였다. 이러한 상태 전이 설계는 일시 가림과 ID 변동에 대한 강건성을 제공한다.

III. 실험

본 실험은 Ubuntu 22.04 / ROS 2 Humble 환경에서 rclpy로 작성되었고, 모바일 로봇(Scout Mini)과 ZED2i 스테레오 카메라를 사용하여 수행하였다. tf2_ros를 통해 좌표 변환을 수행하며, Nav2의 navigate_to_pose 액션 인터페이스를 사용하였다. ZED 카메라의 객체 인식 결과(/zed/zed_node/obj_det/objects)를 구독하여 PERSON 레이블이면서 추적 상태가 유효한 객체만을 대상으로 하였으며, RViz에서는 /person_markers로 3D 박스와 텍스트를 퍼블리시하여 타깃과 거리를 시각화하였다. 파라미터는 추종 거리 1.5m, 목표 갱신 최소 간격 2.0s, 미탐지 허용 시간 0.6s, TF 타임아웃 0.1s로 설정하였다.

IV. 실험 결과

본 실험은 map-less 추종의 연속성과 동작을 확인하기 위해 두 환경에서 수행하였다. 먼저 학교 건물 내 홀에서 기둥을 포함하도록 경로를 설정하여 회피-추종 전환의 안정성을 평가하였다. 그림 1은

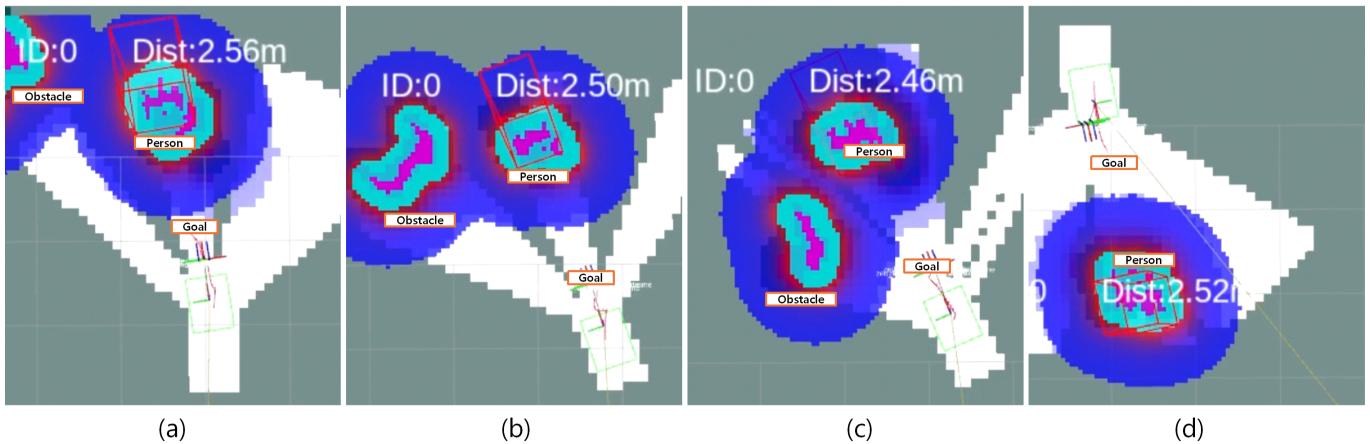


그림 1 훌 시나리오(기둥 포함)에서의 사람 추종 과정

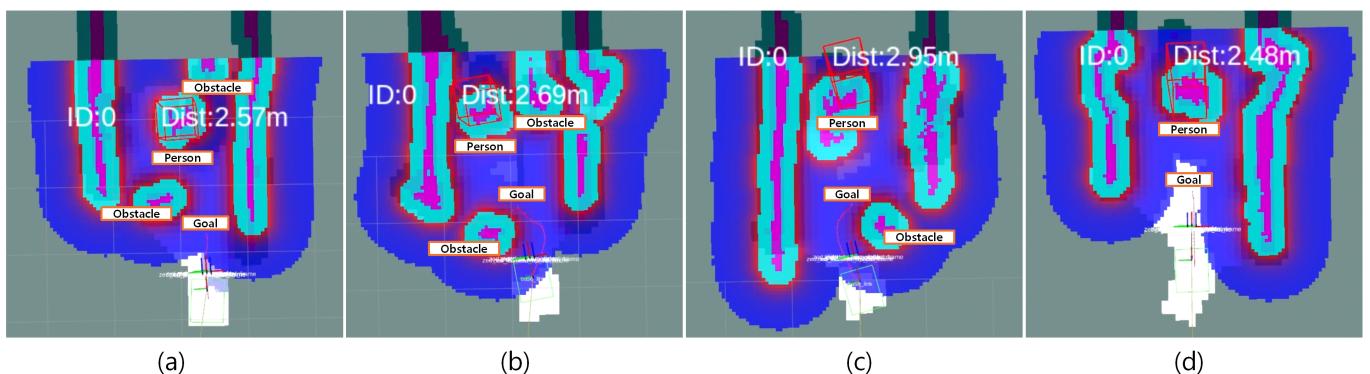


그림 2 복도 시나리오(박스 2개, 협소 통로·짧은 가림)에서의 사람 추종 과정

(a) 초기 추종, (b) 기둥 회피 경로 생성, (c) 회피 중 추종 거리 유지, (d) 회피 종료 후 재정렬을 나타낸다. 총 50회 시도 중 47회 성공하여 94% 성공률을 기록하였다. 회피 직후에도 추종 간격을 크게 흔들지 않고 복귀하는 양상을 확인하였다.

또한 실내 복도에 박스 2개를 좌우로 배치하여 협소 통로와 짧은 가림이 동시에 발생하도록 구성하였다. 그림 2는 (a) 초기 추종, (b) 첫 번째 박스 회피 경로 생성, (c) 두 번째 박스 회피 경로 생성, (d) 회피 종료 후 재정렬을 나타낸다. 총 50회 시도 중 46회 성공으로 92% 성공률을 보였다. 코너 공간의 일시적인 가림 상황에서도 목표 재설정 없이 통과되어 추종 연속성이 유지되었다.

따라서 장소별 결과에서 공통적으로 타깃 고정, 일시 가림 허용, 최종 관측지점 재접근의 결합이 시야 변동과 ID 요동 하에서도 추종 연속성을 유지하는 데 기여함을 확인하였다.

V. 결론

본 연구는 global map 없이 wheel odometry와 IMU 융합(EKF)만으로 사람 추종 내비게이션을 달성하는 상태 전이형 기법을 제안하였다. 제안 방식은 구현 복잡도·계산량을 낮추면서도 근거리 시나리오에서 실시간 추종 안정성을 확보하였고, 일시적인 가림 상황에서 마지막 좌표 기반 탐색으로 연속성을 유지하였다.

실험에서 관찰된 실패는 공통적으로 스테레오 카메라의 시야·텍스처·광 조건 의존성에서 비롯된 것을 알 수 있었다. 따라서, 향후 후속 연구에서는 LiDAR 기반 장애물 인지(또는 카메라 - LiDAR 융합)를

도입하여 최소 거리 추정의 안정성과 가림 해제 직후 재탐지 신뢰도를 향상시킬 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2025-RS-2024-00437190, 40%)
 “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2025-RS-2022-00156394, 40%)
 “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2025-RS-2023-00259061, 20%)

참 고 문 헌

- [1] W. Pairo, J. Ruiz-del-Solar, R. Verschae, M. Correa, and P. Loncomilla, “Person Following by Mobile Robots: Analysis of Visual and Range Tracking Methods and Technologies,” RoboCup 2013: Robot World Cup XVII, Lecture Notes in Computer Science, vol. 8371, 2014.
- [2] T. Moore and D. Stouch, “A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System,” Intelligent Autonomous Systems 13, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 302, 2016.
- [3] Stereolabs, “ZED SDK: Object Detection,” Online Documentation, (<https://www.stereolabs.com/docs/object-detection>).