

가시성 기반 배경 제거와 연결 성분 기반 클러스터링을 이용한 LiDAR 실내 다중 인원 분리 기법

신상규, 주재한, 이훈열, 황다빈, 김석찬*
부산대학교, 부산대학교, 부산대학교, 부산대학교, *부산대학교

09sinsangkyu@pusan.ac.kr, jhjoo2018@pusan.ac.kr, hylee98@pusan.ac.kr,
dabinsor@pusan.ac.kr, [*sckim@pusan.ac.kr](mailto:sckim@pusan.ac.kr)

Indoor Multi-Person Separation in LiDAR Data Using Visibility-Based Background Removal and Connected Component Clustering

Sang Kyu Shin, Kim Suck Chan*
Pusan National Univ., Pusan National Univ.

요약

본 논문에서는 2D LiDAR를 활용한 실내 다중 인원 분리 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 가시성 기반 배경 추출, 연결 성분 기반 클러스터링, 클러스터 병합 과정을 통해 저해상도 센서 환경에서도 동적인 인원을 효과적으로 구분한다. 실험 결과, 최대 2명까지의 환경에서 제안된 알고리즘이 안정적이고 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

I. 서 론

실내 환경에서 다중 인원을 정확히 파악하는 기술은 스마트 홈, 스마트 헬스케어, 공공 안전 등 다양한 분야에서 매우 중요한 역할을 한다 [1]. 최근 몇 년간 다양한 실내 위치 추정 기법이 제안되었으나 여전히 여러 한계가 존재한다. 예를 들어, WiFi 기반 시스템 [2]은 다중 경로(multipath) 문제로 인해 큰 오차가 발생하며, 카메라 기반 접근법 [3]은 높은 정밀도를 제공하지만 프라이버시 침해 문제가 따른다. 또한 RFID 및 블루투스 기반 시스템 [4], [5]은 사용자에게 태그 착용을 요구하거나 범위와 정확도 측면에서 제약을 가진다.

이와 달리, LiDAR(Light Detection and Ranging) 기술은 고해상도, 손쉬운 배치, 향상된 프라이버시 보호라는 독특한 장점을 제공한다. 이러한 장점을 바탕으로, 본 논문에서는 2D LiDAR를 활용한 실내 다중 인원 분리 기법을 설계하고 구현하여 기존 기술의 한계를 극복하고자 한다.

II. 본론

1. 가시성 기반 배경 분리

본 연구에서는 2D LiDAR 스캔 데이터를 기반으로 가시성 기반 배경 분리 기법을 설계하였다. 입력 데이터는 극좌표 형태의 각도 θ , 거리 r 로 구성되며, 이를 직교 좌표계 (x, y) 로 변환한 후 격자 기반 맵에 매핑한다. 직교 좌표계 변환 식은 다음과 같다.

$$x = r \cos(\theta), y = r \sin(\theta) \quad (1)$$

LiDAR 스캔으로부터 생성된 격자 지도는 그림 1과 같이 가상의 ray가 물체와 충돌한 지점을 HIT 셀, ray가 통과한 영역을 FREE 셀, 그리고 물체 뒤편과 같이 센서에 의해 관측되지 않은 영역을 UNKNOWN 셀로 정의한다. 그러나 센서 노이즈로 인해 실제 정적인 배경 영역이 FREE 셀로 잘못 판정될 수 있다. 이를 방지하기 위해, 본 연구에서는 각 HIT 셀에

대해 8-이웃 확장을 수행하여 HIT guard를 적용함으로써 FREE 셀이 불필요하게 침범하는 것을 억제한다. 이러한 과정을 통해 구분된 셀들 중, 그림 2와 같이 FREE 셀 내부로 새롭게 관측된 HIT가 발생하는 경우 이를 사람 후보로 판정하며, 그 외의 HIT들은 정적 배경 객체로 분류한다.

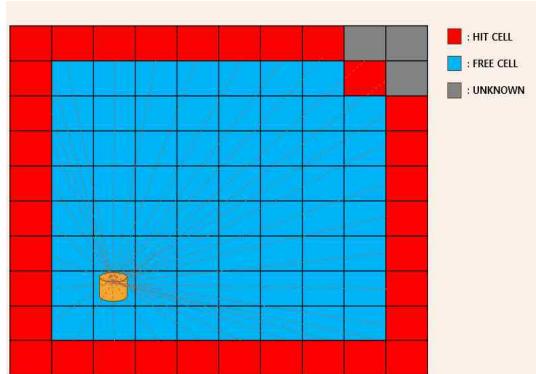


그림 1 . hit, free, unknown 셀 정의.

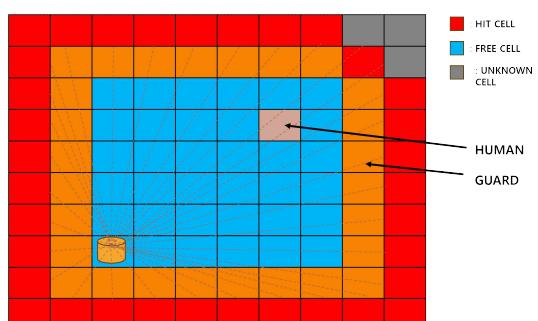


그림 2 . 사람 판정 및 hit 가드 시작화.

2. 연결 성분 기반 클러스터링

배경 분리를 통해 얻어진 사람 후보 포인트들은 격자 지도 상의 셀로 매핑되며, 이를 그래프 $G = (V, E)$ 의 정점 집합 V 로 정의한다. 두 셀 $g_i, g_j \in V$ 가 체비셰프 거리 $\|g_i - g_j\|_\infty \leq 1$ 을 만족할 경우 두 정점은 8-이웃 관계로 간주되어 간선 집합 E 에 포함된다. 이와 같이 정의된 그래프에서 연결 성분 탐색을 수행하면, 각 연결 성분은 서로 인접한 후보 포인트 집합으로 묶여 하나의 클러스터를 형성한다. 그러나 센서 노이즈나 일시적인 관측 오차로 인해 소수의 포인트만 존재하는 작은 성분이 발생할 수 있으므로, 클러스터 크기가 N_{\min} 미만일 경우 이를 잡음으로 간주하여 제거한다.

동일한 객체가 여러 클러스터로 분리되는 과정을 줄이기 위해, 각 클러스터들의 중심 반경 r_i 과 중심 각도 θ_i 의 차이를 계산하여 사전에 설정한 임계값 τ_r, τ_θ 이하일 경우 두 클러스터를 동일 객체로 판단하고 병합한다. 이러한 과정을 통해 최종적으로 안정적이고 일관된 다중 인원 클러스터링 결과를 얻을 수 있다. 병합 과정에 대한 식은 다음과 같이 정의된다.

$$|r_i - r_j| \leq \tau_r, \Delta \theta \leq \min(|\theta_i - \theta_j|, 360^\circ - |\theta_i - \theta_j|) \leq \tau_\theta \quad (2)$$

3. 실험 및 평가

본 연구에서 제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여, RPLiDAR A1 모델을 사용하여 실내 환경에서 실험을 수행하였다. 실험 공간은 가로 5m, 세로 7m 크기의 직사각형 형태로 설정하였으며, 라이다 센서는 지상으로부터 약 1.3m 높이에 고정 설치하였다. 이는 일반적인 실내 인식 환경에서 사람의 상체 움직임을 안정적으로 포착하기 위함이다. 피실험자는 최대 2명까지 투입하여, 단일 인원 및 다중 인원 시나리오를 포함한 다양한 상황에서 제안 기법의 성능을 평가하였다.

그림 3은 두 명의 인원이 존재하는 실내 환경에서 수행한 실험 결과를 시각적으로 나타낸 것이다. 보라색 영역은 LiDAR의 가시선이 닿지 못하거나 객체에 의해 가려진 UNKNOWN 셀을 의미하며, 노란색은 HIT 셀, 파란색은 FREE 셀을 각각 나타낸다. 그럼에서 확인할 수 있듯이, 실험에 사용된 장비의 해상도가 상대적으로 낮아 모든 벽과 같은 정적 객체가 완벽히 재현되지는 않았으나, 그와 같은 제약에도 불구하고 제안 기법은 동적인 객체를 효과적으로 분리하고 있음을 보여준다.

또한 그림 4는 두 명의 인원이 서로 매우 근접한 상태로 이동하는 상황을 보여준다. 이와 같은 경우에도 제안된 알고리즘은 개별 인원을 효과적으로 분리하여 각기 다른 클러스터로 식별한다. 이는 인접한 객체 간 간섭에도 불구하고 안정적인 클러스터링 성능을 유지함을 의미한다.

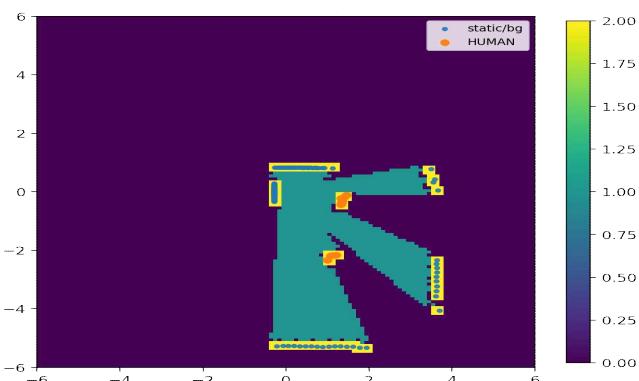


그림 3 . 사람, 배경 구분 실험 결과..

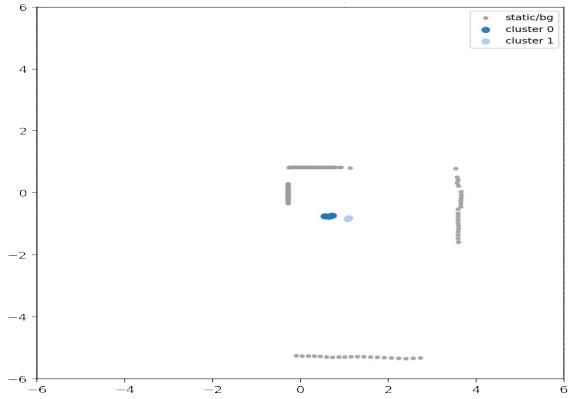


그림 4 . 2명의 사람이 가까이 걷고 있을 때의 클러스터링 결과.

III. 결론

본 논문에서는 2D LiDAR 센서를 활용하여 실내 환경에서 다중 인원을 효과적으로 분리하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 스캔으로부터 획득한 데이터를 기반으로 HIT 셀과 FREE 셀을 정의하고, 8-이웃 기반 확장을 통해 배경과 사람을 명확히 구분하였다. 이후 연결 성분 기반의 클러스터링 및 근접성에 따른 클러스터 병합 과정을 통해 안정적이고 일관된 인원 분리 결과를 도출하였다.

향후 연구에서는 인원 수를 점진적으로 확장하여 다양한 군집 상황에서의 성능을 검증하고, 클러스터 중심 좌표를 기반으로 한 위치 추정 및 추적(Tracking) 기법을 추가적으로 구현할 예정이다. 이를 통해 실내 스마트 환경, 헬스케어, 공공 안전 등 다양한 응용 분야에 활용 가능한 기반 기술로 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은(또는 교재는) 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20224000000090)

참 고 문 헌

- [1] T. Wang and D. J. Cook, “smrt: Multi-resident tracking in smart homes with sensor vectorization,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 43, no. 8, pp. 2809 - 2821, 2020.
- [2] Y. Tian, Y. Wang, R. Zheng, X. Liu, X. Tong, and K. Li, “Wstrack: A wi-fi and sound fusion system for device-free human tracking,” in IEEE INFOCOM, 2023, pp. 1 - 10.
- [3] J. Shen, H. Sheng, S. Wang, R. Cong, D. Yang, and Y. Zhang, “Blockchain-based distributed multiagent reinforcement learning for collaborative multiobject tracking framework,” IEEE Transactions on Computers, vol. 73, no. 3, pp. 778 - 788, 2024.
- [4] W. Gong, H. Wang, S. Li, and S. Chen, “Glac: High-precision tracking of mobile objects with cots rfid systems,” IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 32, no. 3, pp. 2331 - 2343, 2024.
- [5] C. Lin, J. Lin, J. Xiong, Q. Wang, L. Wang, G. Wu, X. Fan, and Z. Luo, “Uwbeacon: Lighting up centimeter-level underwater positioning,” in ACM Mobicom, 2024, pp. 1222 - 1236.