

무인 순찰 및 정찰을 위한 드론-모바일로봇 분리합체형 시스템

Separable Integrated Drone-Mobile Robot System for Unmanned Patrol

○김 정 한, 박 종 찬, 이 하 연, 박 수 환, 남 윤 재, 권 기 현, 정 우 현, 이영문*
한양대학교 ERICA 로봇공학과

(E-mail: {kimjh9813, pjc0525, yad05020, uni3967, ujma1234, brain143, wjddngus, youngmoonlee}
@hanyang.ac.kr)

Abstract Drones and mobile robots are widely used for unmanned patrol and military scout in rugged terrain. While mobile robots cannot penetrate rugged terrain, drones are free from such terrain types and unexpected obstacles on the ground. Yet, drones cannot carry a large-scale battery and suffer a limited battery time to reach the target region for extensive scout. Our goal is to marry these two into a separable integrated drone-mobile robot system where autonomous mobile robot with a large-scale battery charges and carries drones up to the point it can maneuver then let the drone handle the last-mile mission over the rugged terrain. We propose an interface mechanism for a drone-mobile robot as an integrated robot system to collaboratively perform localization, perception, detection, planning, charging, and docking tasks. We have implemented on commodity mobile robot and drone platforms and demonstrated its effectiveness in patrol and scout coverage, and time and energy efficiency compared to standalone drones or mobile robots.

Keywords Separable Integrated System, Drone, Mobile Robot

1. Introduction

무인 정찰 및 순찰 시스템에는 드론 및 모바일로봇, 사족보행 로봇 등이 사용되고 있다. 이는 각각의 장단점을 고려하여 점진적인 도입이 진행되고 있지만, 각자의 한계로 인해 제약이 있다. 모바일로봇은 이동상의 제약이 있어, 순찰 및 정찰 시스템에 제약이 있고, 드론은 운용시간의 제약이 있다. 사족 보행 로봇은 아직 경제성에 많은 한계를 지니고 있다. 이에 다양한 방법으로 한계를 극복하고자 하는 로봇들이 나오고 있다.

기존 실외 순찰로봇의 경우 정해진 공간을 정해진 경로만을 사용하여 순찰을 진행한다. 또한, 작동하기 위한 사전작업으로 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 기술을 활용하여 맵핑을 진행해야 한다. 이와 같은 상황으로 인해 로봇의 범위 순찰지역을 변동할 시 새로운 맵을 그리기 위한 작업이 필요하며, 이는 사용자에게 불편함 그리고 상용화 어려움이 발생한다. 또한 모바일로봇의 물리적인 한계로 인해 갈수 있는 곳과 갈수 없는 곳이 명확히 구분되어 있어 순찰로봇으로 효용성이 떨어진다고 할 수 있다. 다른 순찰을 위한 로봇으로는 드론이 사용되고 있다. 이는 광범위하고 빠른 순찰을 위해 사용되고

있는 대표적인 정찰로봇이다. 그러나 이는 짧은 운용시간과 station 으로부터 한정된 거리의 이동은 드론 순찰 운용에 있어서 상당한 제약으로 작용한다. 또한 드론 운용시간을 늘리기 위한 배터리 크기 증가는 드론 모터 증가와 크기 증가와 트레이드오프 관계가 있다.

이 논문은 위 다양한 순찰 및 정찰로봇들의 한계를 극복하기 위하여 드론과 모바일로봇의 통합적인 운용방식을 제안한다. 이는 mapping 없이 네이비지도의 정보만을 활용하여 기존 맵핑을 대체하며, 이를 통한 기존의 맵핑작업의 수고로움을 대체할 수 있다. 또한 모바일로봇에 드론의 자동충전시스템이 내장되어 드론은 모바일로봇을 스테이션으로 활용이 가능하다. 이는 좀더 효율적인 순찰로봇의 운용이 가능하다는 것을 의미한다. 또한 기존의 모바일로봇이 가기 힘든 곳은 드론으로 대체로 순찰을 하는 방식이 가능하다, 이러한 통합적인 운용체제인 ‘캐리어’는 실시간 관제를 위한 관제 시스템, 실시간 지형 및 장애물 감지를 위한 모바일로봇, 모바일로봇에서 드론에 이착륙 및 충전이 가능한 스테이션, 순찰이 가능한 드론 시스템으로 구성된다.

코드는 오픈소스로 공개되어 있다:

<https://github.com/7drone>

※ 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지능형로봇 디지털 신기술 인재양성 혁신공유대학사업의 연구결과입니다.

2. System Design

본 연구에서 사용된 시스템은 전방과 좌, 우측을 위한 리얼센스 카메라 3개와 장애물 감지를 위한 전, 후방 라이더 두개를 사용하고 있다. 이를 통해 장애물 및 환경인지를 진행하고 있다. 또한 네이비지도 변환 알고리즘과 기존의 Costmap 방식과 통합된 실외 지형인식 알고리즘이 결합하여 SLAM 맵핑이 없는 효율적인 운용이 가능하다. 시스템은 드론 이착륙을 위한 도킹 시스템과 효율적인 운용을 위한 자동충전 시스템이 결합되어 하드웨어를 구성한다. 드론은 모바일로봇의 지형적 한계를 극복하며, 순찰을 진행하고 다양한 센서 데이터를 모바일로봇의 전송이 가능하다. 모바일로봇은 드론 카메라 영상, 모바일로봇의 카메라 영상을 관제로 보내 실시간 순찰 및 정찰이 가능하다. 또한 모바일 로봇에 있는 Jetson Orin에서 드론 및 모바일로봇의 영상에 YOLO와 같은 다양한 인공지능 모델을 도입할 수 있다.

2.1 Mobile Robot Localization

Extended Kalman filter을 활용하여 Wheel odometry, IMU, RTK GNSS시스템을 센서퓨전하여 지도상에서 로봇의 위치를 추정한다. 구체적으로, IMU, wheel Odometry을 사용하여 좁은 범위의 Localization을 진행하고 GPS, IMU 정보를 사용하여 넓은 범위의 Localization을 진행한다. 이를 통해 로봇의 현재위치 정확하게 추정이 가능하다.

2.2 Environment Perception

리얼센스 카메라를 활용하여 포인트 클라우드 정보를 받아 데이터 처리를 진행한다. Z의 변화량을 이용하여 Threshold보다 큰 범위를 로봇이 갈수 없는 곳으로 인지하고 이를 Costmap에 반영한다.

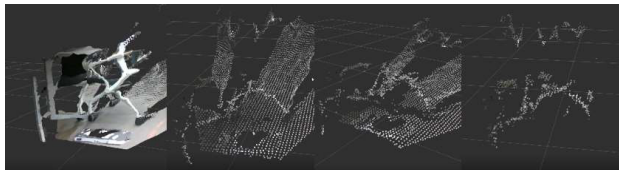


Figure 1 Environment Perception Examples

2.3 Obstacle Detection

Depth camera를 활용한 YOLO모델로 사람을 인식하여 이를 Costmap에 반영하며, 라이더와 포인트 클라우드 정보로 움직이는 장애물에 대한 상대속도를 추정할 수 있으며, 이를 활용한 경로계획이 가능하다.

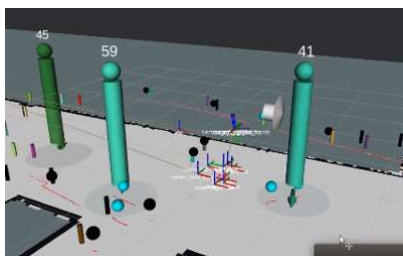


Figure 2 Obstacle Detection Example

2.4 Mapping and Global Planning

네이버 지도를 변환하여 글로벌 맵으로의 사용이 가능하다. 이를 웨이포인트기반 글로벌 경로계획을 진행하고 이러한 방식으로 리소스 낭비를 줄일 수 있다.



Figure 3 Map Conversion Example

2.5 Automatic Wireless Charging

드론 이 착륙을 위한 도킹 스테이션을 설계하여 드론이 해당 스테이션 위에 착륙하고, 모바일로봇의 대용량 배터리를 통해 드론의 충전이 가능하다. 해당 방식은 무선충전 모듈을 사용한 무선 충전 방식을 사용하며, 이를 통해 드론의 운용시간 제약 극복이 가능하다.

2.6 Drone-Mobile Robot Docking

드론을 station에 착륙하기 위하여 Aruco Marker 기반 station detection을 진행한다. Aruco Marker의 위치를 상공에서 파악하고 Aruco Marker와 드론의 상대적 위치 차이를 계산하여 이를 보정제어를 진행한다. 이를 통해 스테이션의 정확한 착륙이 가능하다

2.7 Drone Localization

드론의 보다 정확한 위치 추정을 위하여 Odometry, IMU, GPS의 데이터를 사용한다. 이러한 센서데이터를 Kalman filter을 통해 센서퓨전하여 정확한 Localization을 진행한다. 이를 통해 드론은 목표 순찰 지역을 순찰 후 모바일로봇에 도킹이 가능하다.

3. Conclusion

본 논문에서 분리 합체형 무인 이동체의 형태를 예시로, 기존에 드론, 모바일로봇 등 단일 이동체의 한계를 개선하기 위하여, 드론과 모바일로봇을 결합한 새로운 형태의 로봇을 제안한다. 제안하는 이 시스템은 실시간 지형 및 장애물 탐지를 위한 모바일로봇과, 드론 자율 운행 및 충전을 위한 도킹 스테이션으로 구성된다. 이 시스템은 기존 맵핑 기술 대신 네이비 지도 API를 활용함으로써 이에 따른 불편함과 상용화의 어려움을 줄였다. 또한 모바일로봇을 드론의 이동형 충전 시스템으로 활용하여 효율적인 순찰 및 정찰이 가능하다. 드론과 모바일은 상호 협력적으로 작동하여, 드론과 단점과, 모바일로봇의 단점을 서로 보완하여 운용이 가능하다. 이는 두 로봇의 물리적 공학적 한계를 극복한 예시가 될 수 있다.

참고문헌

- [1] Chien-Yao Wang, "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors" arxiv cs arXiv:2207.02696, 2022
- [2] Thomas Moore & Daniel Stouch, "A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System" Intelligent Autonomous Systems, 2016
- [3] David V. Lu, "Layered costmaps for context-sensitive navigation", IROS, 2014