

# SLAM을 활용한 그리드 영역 분할과 RANSAC 기반 드론 자율 착륙 기법

서민철, 한상의

세명대학교

smc991009@semyung.ac.kr, sihan@semyung.ac.kr

## Autonomous Landing Algorithm for Drone based on Grid Area Division and RANSAC utilizing SLAM

Min Chol Seo, Sang Ik Han

Semyung Univ.

### 요약

본 논문에서는 SLAM 기술을 활용하여 드론의 안전한 착륙 지점을 찾는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 SLAM을 활용해 착륙 지점의 환경을 3차원 포인트 클라우드로 맵핑하고, 그리드 영역 분할 기법을 통해 안전한 착륙 가능 지점을 식별한다. 마지막으로 RANSAC 알고리즘으로 착륙 가능한 평탄한 지역을 도출하고 최적 드론 착륙 지점을 선정하였으며, 라이다 센서 데이터를 활용하여 제안한 알고리즘의 성능을 검증한다.

### I. 서론

드론은 빠른 기동력과 우수한 운용 효율성으로 물류 배송 산업에서 활용도가 높으며 이를 위한 기술 개발과 실증 시범사업이 진행됐다. 드론 운용의 안전 문제로 현재는 station-to-station 기반의 드론 물류 배송이 시도되고 있으나, 고객의 만족도 향상을 위해 station-to-door 기반 드론 물류 배송의 전환이 필수적이다. 이를 위해서는 드론이 배송 도착지에 안정적으로 안전하게 자율 착륙할 수 있는 기술이 필요하다.

드론의 자율 착륙 기술이란 드론 운용자의 실시간 개입 없이도 드론 스스로 안전한 착륙 지점을 정확하게 인식하고 평가할 수 있어야 한다. 현재 많이 활용되는 접근 방법으로는 인공지능을 이용한 방법과 착륙 지역에 특정 마커를 사용한 방법이 있다. 인공지능 기반 방식은 복잡한 알고리즘과 대규모 데이터 학습을 통해 드론이 착륙 지점을 인지하도록 한다[1], 인공지능 기반 방식은 학습된 환경에서 높은 성능을 보이지만 학습 데이터의 품질과 양에 크게 의존하며, 예측하지 못한 환경, 즉 드론이 처음 보는 환경에선 오작동 가능성이 존재한다. 또한, 이 방식은 상당한 연산 자원 필요로 하드웨어 제한적인 전력 문제를 겪는 드론에 활용하기에는 현실적인 제약이 따른다. 반면에 마커 기반 방식은 착륙 지점에 설치된 특정 마커를 드론이 인식하게 하는 방법이다[2]. 이 방법은 인공지능 방식보다 연산량이 적고 마커가 있다면 높은 정확도를 제공하지만, 마커의 설치와 유지 관리가 필요하고 마커가 없는 환경에서는 사용에 한계가 있다는 단점이 있다.

물류 배송 특성상 배송지의 환경을 알 수 없으므로 위에서 설명한 방식을 적용하여도 드론의 안전한 착륙을 보장할 수 없다. 드론의 안전한 착륙을 보장하기 위해서는 드론의 도착지(배송지)에서 착륙 구간에 장애물 존재 여부를 정확히 판단하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 안전한 착륙 지점 도출을 위해 SLAM 기술을 사용하는 방식을 제안한다[3]. SLAM을 활용해 3차원 포인트 클라우드 맵을 구축하고 그리드 영역 분할을 통해 드론 착륙 불가지역을 먼저 도출하고, RANSAC 알고리즘을 이용하여 드론이 착륙 가능한 평탄한 지역을 도출하고 최적 지점을 찾아낸다[4].

제안한 SLAM 기반 드론 자율 착륙 기법은 사전에 착륙지의 환경 정보나 특정 마커를 요구하지 않으며 배송지의 정보가 없는 경우에도 적용 가능하다. 라이다 센서 데이터를 이용하여 제안한 기법을 실험하였으며, 안전한 최적 드론 착륙 지점을 도출함을 확인하였다. 제안한 알고리즘은 드론의 자율 착륙 능력을 향상하는 동시에, 운영의 효율성을 개선하고 드론을 이용한 물류 배송 산업을 실현하는데 획기적인 기회를 제공할 것으로 기대한다.

### II. SLAM 기반 드론 자율 착륙 기법

SLAM(Simultaneous localization and mapping)은 센서 데이터를 활용하여 실시간으로 3차원 포인트 클라우드 맵을 생성하며, 이를 통해 드론이 주변 환경에 대한 지속적인 인식과 정밀한 위치 추정을 수행할 수 있게 한다[3]. SLAM을 활용한 3차원 포인트 클라우드 맵은 드론이 착륙 예정지 상공에서 스테레오 카메라나 라이다 센서로 취득한 데이터를 이용하여 구축할 수 있으나, 본 논문에서는 Point cloud library에서 제공하는 라이다 센서 데이터를 이용하여 제안하는 알고리즘의 성능 검증에 활용한다[5].

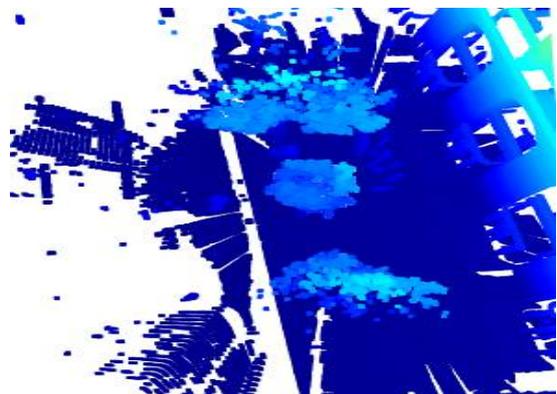


그림 1 SLAM을 활용한 3차원 포인트 클라우드 맵

SLAM을 이용하여 작성된 3차원 포인트 클라우드 맵은 잘못 측정된 에리 값을 포함하는 때도 있는데, 이는 이후 데이터 처리 시 성능을 저하하기 때문에 적절한 방법으로 해당 데이터를 삭제하고 그림 1의 결과처럼 유효한 데이터만을 활용한다.

SLAM을 이용하여 3차원 포인트 클라우드 맵을 구축한 후 드론의 안전한 착륙 지점 도출을 위한 과정은 1) 착륙 불가지역 도출과 2) 착륙 가능 평탄한 지역 선정, 두 단계로 이루어진다. 착륙 불가지역 도출을 위해 그리드 영역 분할(Grid Area Division)을 이용하는데, 이를 위해 구축한 3차원 포인트 클라우드 맵의 x, y 축과 같은 크기를 같은 2차원 평면을 생성하고 N개의 그리드로 분할한다. 실험에서는 x, y축을 각각 40개의 구간으로 나누어 N=1,600개의 그리드를 이용하였다. 드론이 착륙할 수 있는 지점은 드론이 현재의 고도부터 지상까지 비행하는 동안 장애물이 없어야 한다는 점을 이용하여, 각 그리드의 z축 상에 속하는 모든 포인트의 개수를 2차원 평면 그리드와 같은 크기를 같은 배열에 저장한다. 이 과정에서 3차원 포인트 클라우드 맵의 z축의 하단 10% 정도의 포인트는 포함 시키지 않는다. 이는 바닥 부분의 이미지 등이 포인트로 인식되는 것을 방지하여 더 정확한 장애물 분석을 가능하게 하기 위함이다. 지상에 가까운 지점에서의 장애물 분석은 다음에 나오는 RANSAC 알고리즘을 이용한다. 3차원 포인트 클라우드 맵에서 각 클라우드는 공간상 존재하는 물체를 나타내므로 2차원 배열에 저장된 포인트의 개수를 정해진 임계값과 비교하고 임계값을 초과하는 개수의 포인트가 있는 그리드는 드론과 지상 사이에 장애물이 있다고 해석하여 착륙 불가지역 그리드로 지정한다. 착륙 불가지역 그리드의 결과는 그림 2에서 검은색 영역으로 표현되었다.

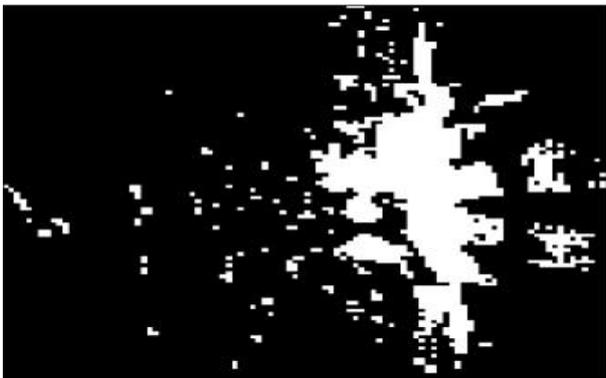


그림 2 착륙 불가지역 그리드 도출

착륙 가능 평탄한 지역 도출을 위해 RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘을 활용해 3차원 포인트 클라우드의 z축 하단에서 포인트가 평면처럼 분포한 부분을 탐지하고, 이를 2D 평면에 매핑한다[4]. RANSAC 알고리즘의 복잡도가  $O(P^2 \log P)$ 로 포인트의 수 P가 많아 질수록 급격히 증가한다. 따라서, 연산 복잡도를 줄이기 위해 미리 도출한 착륙 불가지역 그리드를 활용한다. 착륙 불가지역 그리드와 3차원 포인트 클라우드를 비교하여 착륙 불가지역 그리드에 속한 포인트를 사전에 제거하는데, 이는 드론이 위치한 지점의 z축 상에 장애물이 있어 착륙할 수 없는 그리드를 배제하고 RANSAC 알고리즘이 동작하게 함으로써 소요되는 연산 시간을 최소화할 수 있다. RANSAC 알고리즘으로 포인트들이 모여 형성한 평탄한 지역을 도출하고 Contour 알고리즘을 사용해 영역을 명확히 구분한다. 착륙 가능 평탄한 지역을 도출할 시 드론의 크기와 드론 운용의 안전 반경을 고려하여야 한다. 마지막으로 2차원 평면의 중심점이 현재 드론의 위치로 가정할 수 있으므로, 최적 착륙 가능 평탄한 지역은

중심점과 가장 가까운 지점으로 선정할 수 있다. 그림 3의 연보라색으로 표현된 부분은 RANSAC 알고리즘으로 도출한 평탄한 지역을 나타내며, 각 원은 도출한 착륙 가능 평탄한 지역을 의미한다. 그중 가운데 녹색 원이 드론의 움직임을 최소화하고 착륙할 수 있는 최적 착륙 가능 평탄한 지역으로 볼 수 있다.

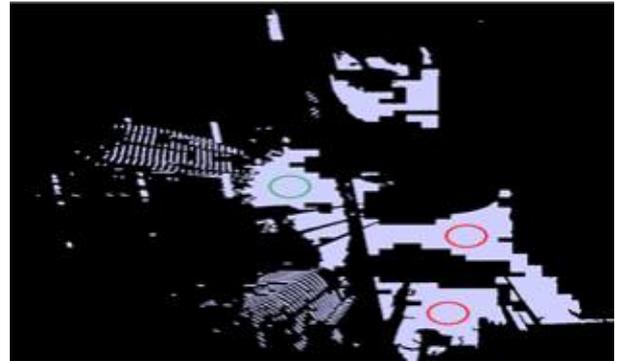


그림 3 착륙 가능 평탄한 지역 도출 및 선정

### III. 결론

본 논문에서 SLAM 기반 드론 자율 착륙 기법을 제안하였다. SLAM 기술을 활용하여 드론 착륙지의 3차원 포인트 클라우드 맵을 구축하고 그리드 영역 분할 기법으로 드론 착륙 불가지역 도출법을 새롭게 소개하였다. 3차원 포인트 클라우드 맵과 드론 착륙 불가지역 그리드 정보를 활용하여 RANSAC 알고리즘으로 드론 착륙 가능 평탄한 지역을 선별하였고, 드론의 현재 위치 기반 최적 드론 착륙 지점을 선정함을 확인하였다. 본 논문에서는 라이다 센서 데이터를 이용하여 제안한 기법의 활용 가능성을 확인하였으며, 추후 드론 비행을 통해 취득한 라이다 센서 또는 스테레오 카메라 데이터를 이용하여 제안된 드론 자율 착륙 기법의 안정성을 더욱 깊이 연구할 계획이다. 향후 연구는 다양한 환경에서 제안 기법을 검증하고 최적화하는 데 중점을 둘 것이며, 이를 통해 드론 배송의 신뢰성과 확장성을 높이는 데 이바지하기를 희망한다.

### ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by Semyung University's University Innovation Support Project in 2023.

### 참 고 문 헌

[1] Mu, L. et al. "A Vision-Based Autonomous Landing Guidance Strategy for a Micro-UAV by the Modified Camera View", Drones 2023, 7, 400, <https://doi.org/10.3390/drones7060400>.

[2] Springer, J. et al "Autonomous Drone Landing with Fiducial Markers and a Gimbal-Mounted Camera for Active Tracking", in 2022 Sixth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), Italy, 2022 pp. 243-247, doi: 10.1109/IRC55401.2022.00047.

[3] Grisetti, G. et al. "A Tutorial on Graph-Based SLAM", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 2, no. 4, pp. 31-43, winter 2010, doi: 10.1109/ITS.2010.939925.

[4] Derpanis, K. G. "Overview of the RANSAC Algorithm", 2005.

[5] PCL Files at <https://sourceforge.net/projects/pointclouds/files>.