

www.ksii.or.kr

2026년 춘계학술발표대회

2026년 5월 7일(목)~9일(토)

제주 휴닉스아일랜드

주최 및 주관

사단법인 한국인터넷정보학회

후원

(주)워드마이너, (주)나루씨큐리티, (주)이글루코퍼레이션, 국방전산정보원, 한국AI사물인터넷협회,
(주)아이티센텍, 국방혁신기술보안협회, 한화시스템(주), (주)LIG시스템



www.ksii.or.kr



KOREAN SOCIETY FOR INTERNET INFORMATION
사단법인 한국인터넷정보학회

논문발표

5월 8일(금) 9:00~10:30 (Room 4 / 윈드홀1)

세션 C-3

좌장 : 최창희 교수(세종대)

국방정보기술 워크숍 3

- C-3-1 생성형 AI 기반 내부망 사이버 위협탐지체계에 관한 연구
윤재필, 김동진, 김희중, 양시훈(육군3사관학교), 신동규(세종대)
- C-3-2 CBM+ 기반 항공기와 AAV의 정비 체계 및 대상 변화에 대한 비교 연구
최지우, 김진영(KISTI)
- C-3-3 자율 군집 정찰을 위한 실시간 다중 지도 직접 충격 수직 이착륙 매커니즘
양찬열(㈜다온아이앤씨), 김장환, 서채연, 김영철(홍익대)
- C-3-4 기운용 궤도형 방호 무기체계 CBM+를 위한 운용 프로세스 개선 방안 연구
오진욱, 박한경(한화시스템)
- C-3-5 레이더-라이다 핸드오버 및 YOLOv10 기반 드론 탐지 및 추적 시스템 연구
이주찬, 정지호, 이현우, 이용준(극동대)
- C-3-6 LLM 기반 보안로그 저감 기법
변재준, 김민준, 조상훈, 김근호(세종대), 이정식, 한인성(국방과학연구소),
박성진, 김태훈(LIG D&A), 최창희(세종대)

자율 군집 정찰을 위한 실시간 다중 지도 직접 충격 수직 이착륙 매커니즘

양찬열¹, 김장환², 서채연³, 김영철^{4*}

¹(주)다운아이앤씨

^{2,3,4}홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어공학연구소

e-mail : yangcy2000@da-on.com¹, {lentoconstante², chaeyun³, bob^{4*}}@hongik.ac.kr

Real-Time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL System for Autonomous Swarm Reconnaissance Mechanism

Chanyeol Yang¹, Janghwan Kim², Chaeyun Seo³, R. Young Chul Kim^{4*}

1. 서론

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 군사, 재난 대응, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 활용되며, 복잡한 환경에서의 자율 탐색과 신속한 의사결정을 위해 AI 기반 자율비행 기술과 실시간 환경 인식 기술의 중요성이 증가하고 있다. 그러나 기존 단일 UAV 기반 시스템은 넓은 지역 탐색과 복잡한 지형에서의 임무 수행에 한계를 가지며, 특히 GPS 및 통신이 제한된 환경에서는 성능 저하 문제가 발생한다 [1][2]. 이러한 한계를 극복하기 위해 다수의 UAV가 협력하는 군집 드론 기술과 SLAM 기반 환경 인식 기술이 주목받고 있으며, 최근에는 Collaborative SLAM 및 Multi-UAV Mapping을 통해 분산 센서 데이터를 통합하고 보다 정밀한 환경 모델을 구축하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다 [3][4][5]. 본 연구에서는 이러한 기술을 통합한 Real-Time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 멀티 UAV 기반 데이터 통합, SLAM 기반 실시간 3D 환경 재구성, 온디바이스 AI 기반 객체 인식, 그리고 Direct-Impact VTOL 비행 구조를 결합하여 복잡한 환경에서도 효율적인 자율 탐색 및 임무 수행이 가능한 UAV 플랫폼을 구현하는 것을 목표로 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UAV 환경 인식 및 군집 드론 관련 연구를 정리하고, 3장에서는 제안하는 Real-time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 플랫폼을 설명한다. 4장에서는 실험 사례 및 결과를 제시하며, 마지막으로 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

최근 UAV 기반 환경 인식 연구에서는 딥러닝 기반 영상 분석 기술이 핵심적으로 활용되고 있으며, 특히 YOLO 계열을 포함한 CNN 기반 객체 탐지 모델은 UAV 영상에서 사람, 차량, 구조물 등을 실시간으로 인식하는 데 널리 적용되고 있다 [1]. 그러나 단일 UAV 기반 접근 방식은 제한된 시야 범위와 단일 센서 의존성으로 인해 대규모 환경 탐색에 비효율적이라는 한계를 가지며, 이를 보완하기 위해 다수 UAV가 협력하는 환경 인식 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2]. 이와 함께 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술은 드론이 외부 인프라 없이 주변 환경을 인식하고 위치를 추정하는 핵심 기술로 자리잡고 있다. ORB-SLAM3와 같은 visual-inertial 기반 SLAM은 멀티맵 구조를 지원하며 UAV 자율비행에 널리 활용되고 있고[2], LiDAR와 카메라를 결합한 멀티센서 SLAM은 GPS가 제한된 환경에서도 높은 정확도의 위치 추정을 가능하게 한다 [3].

한편, 군집 드론 기술은 협력 경로 계획, 분산 의사결정, 충돌 회피 및 통신 최적화를 중심으로 발전하고 있으며, Swarm-LIO 및 Swarm-LIO2는 LiDAR-inertial 기반으로 다수 UAV의 실시간 위치 추정을 가능하게 하였고, Swarm-SLAM은 분산 협력 구조를 통해 드론 간 지도 정보를 공유하는 방식을 제안하였다 [3]. 그러나 기존 연구들은 군집 협력 SLAM이나 경로 계획 등 개별 기술에 집중하는 경향이 있으며, VTOL 플랫폼 기반의 실시간 멀티맵핑과 온디바이스 AI를 통합한 군집 정찰 시스템에 대한 연구는 아직 부족한 상황이다. 이에 본 연구는 이러한 기술적 공백을 보완하고, 통합적 접근을 통해 보다 효율적인 UAV 시스템을 제안하고자 한다.

3. Real-time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 플랫폼

본 연구에서 제안하는 시스템은 Real-time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 플랫폼으로 구성된다. 그림 1은 전체 시스템 구조이다.



(그림 1) System Architecture

본 연구에서 제안하는 Real-Time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 플랫폼은 다수의 드론이 협력하여 환경을 인식하고, 효율적인 경로 계획과 안정적인 비행을 수행할 수 있도록 통합적으로 설계되었다. 먼저, 멀티맵핑 구조에서는 각 드론이 RGB 카메라, LiDAR, IMU 센서를 통해 수집한 데이터를 온보드에서 1차 전처리한 후 중앙 맵핑 서버로 전송한다. 이후 ORB-SLAM3를 기반으로 드론별 로컬 맵을 생성하고, 드론 간 공유된 특징점을 활용하여 이를 하나의 전역 3D 환경 맵으로 통합함으로써 보다 정밀한 공간 인식이 가능하도록 한다. 비행 플랫폼으로는 수직 이착륙과 고정익 비행

을 결합한 VTOL 구조를 적용하여, 좁은 공간에서의 이착륙과 장거리 고속 비행을 동시에 지원한다. 그림 2는 Multi-Mapping Architecture for 3D Environment Generation 이다.



(그림 2) Multi-Mapping Architecture for 3D Environment Generation

비행은 수직 이륙, 천이 모드, 고정익 순항, 목표 접근의 단계로 구성되며, 천이 구간에서는 PX4 펌웨어를 기반으로 자세 제어와 추력 분배를 동시에 수행한다. 경로 계획은 A* 기반 전역 경로 생성과 강화학습 기반 지역 경로 최적화를 결합한 하이브리드 방식으로 설계되었다. 초기 경로는 A* 알고리즘을 통해 생성되며, 비행 중에는 LiDAR 및 카메라 데이터를 융합한 동적 장애물 회피 모듈이 작동하여 장애물의 위치와 이동 방향을 추정하고, 강화학습 에이전트가 실시간으로 회피 경로를 재생성함으로써 안정적인 비행을 유지한다. 또한 고정익 순항 구간을 중심으로 에너지 효율을 향상시켜 동일 배터리 기준에서 드론 1대당 비행 가능 거리를 약 35% 향상시키는 결과를 확인하였다. 한편, 군집 드론의 협력은 역할 기반 분산 제어 방식으로 이루어지며, 각 드론은 기능에 따라 역할이 사전에 할당된다. 운용 중 특정 드론의 배터리가 임계 수준 이하로 감소하거나 통신이 두절될 경우, 나머지 드론이 자동으로 역할을 재분배하는 폴백 메커니즘을 통해 시스템의 안정성과 임무 지속성을 확보한다. 이러한 통합 구조를 통해 제안 플랫폼은 복잡한 환경에서도 실시간 환경 인식, 자율 비행, 협력적 임무 수행이 가능한 고효율 UAV 시스템을 구현한다. 군집 드론 협력 알고리즘은 역할 기반 분산 제어 방식을 채택하며, 드론은 기능에 따라 4가지 역할로 분류된다. 역할 배분은 GCS에서 사전 설정되며, 특정 드론의 배터리 임계치(20% 미만) 도달 또는 통신 두절 시 나머지 드론이 역할을 재분배하는 폴백(fallback) 메커니즘을 포함한다. 표 1은 UAV 군집 시스템의 역할 분류 및 구성이다.

(표 1) UAV 군집 시스템의 역할 분류 및 구성

드론	역할	수량
Recon Drone	광역 환경 탐색 및 초기 맵 생성	3대
Mapping Drone	3D 맵 정밀화	2대
Tracking Drone	목표 식별 및 추적	2대
Mission Drone	탐색 결과 기반 목표 지점 접근	1대

4. 사례

본 연구에서는 Gazebo 시뮬레이션 환경과 실외 소규모 비행 실험을 병행하여 시스템을 검증한다. 시뮬레이션 환경은 ROS2 Humble 기반으로 구성하고, 실제 비행 실험은 실외 개방 공간(약 200m × 200m)에서 드론 4대를 운용하여 수행한다. 대규모 시나리오(2km², 8대)는 Gazebo 환경에서 시뮬레이션으로 검증하고, 실험 시나리오는 산림 지역에서의 실종자 탐색으로 설정한다. 표 2는 UAV 시스템 실험 환경 설정이다.

(표 2) UAV 시스템 실험 환경 설정

환경	결과
시뮬레이터	Gazebo (ROS2 Humble)
시뮬레이션 면적	2km ² (산림 지형 모델)
드론 수	8대
센서 구성	RGB Camera + LiDAR (Velodyne VLP-16 모델 기반)
비행 제어	PX4 SITL (Software In The Loop)
실험 반복 횟수	10회(평균값 기록)

비교 대상인 단일 드론 시스템은 동일한 시뮬레이션 환경에서 동일한 센서 구성(RGB + LiDAR)을 탑재한 단일 UAV가 전체 탐색 임무를 수행하는 조건으로 설정하여 공정한 비교를 보장한다. 10회 반복 실험의 평균값을 기준으로 측정한 결과는 다음과 같다. 표 3은 UAV 시스템 성능 비교 분석이다.

(표 3) UAV 시스템 성능 비교 분석

탐색 완료 시간	28.3분(±1.2)	9.1분(±0.8)	약 67.8% 단축
환경 인식정확도(mAP)	78.2%	92.1%	+13.9%p
충돌 회피 성공률	94%	99%	+5%p 향상
드론 1대당 비행 거리	4.2 km	5.7 km	약 35.7% 향상

전체 에너지 소비량(드론 수 × 비행시간)은 단일 드론 대비 증가하므로, 드론 1대당 비행 거리 향상 수치는 VTOL 플랫폼 자체의 효율성을 나타내며 군집 규모에 따른 운용 비용을 종합적으로 고려하는 에너지 계획이 병행되어야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 멀티 UAV 기반 협력 환경 인식, SLAM 기반 3D 맵핑, 온디바이스 AI, 그리고 VTOL 비행 구조를 통합한 Real-Time Multi-Mapping Direct-Impact VTOL 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 단일 UAV의 한계를 극복하고, 다수 드론 간 협력을 통해 탐색 범위와 환경 인식 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. Collaborative SLAM 기반 멀티맵 통합 구조를 통해 대규모 환경에서도 정밀한 3D 맵 생성이 가능하며 [3][4], 군집 드론 기반 협력 구조를 통해 임무 수행의 효율성과 안정성을 동시에 확보할 수 있다 [1][5]. VTOL 기반 비행 구조와 하이브리드 경로 계획을 통해 에너지 효율과 비행 안정성을 향상시킨다. 향후 연구에서는 완전 분산형 SLAM 구조 및 엣지 기반 AI 처리 기술을 적용하여 시스템의 확장성과 실시간성을 향상시키고, 실제 재난 환경 및 도시 환경에서의 실증 실험을 통해 적용 가능성을 검증할 계획이다.

참고문헌

- [1] F. Zhu et al., "Swarm-LIO2: Decentralized Efficient LiDAR-Inertial Odometry for UAV Swarms," IEEE Transactions on Robotics, vol.41, no.1, pp.1-14, 2024.
- [2] C. Campos et al., "ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual-Inertial and Multi-Map SLAM," IEEE Transactions on Robotics, vol.37, no.6, pp.1874-1890, 2021.
- [3] P. Lajoie, G. Beltrame, "Swarm-SLAM: Sparse Decentralized Collaborative SLAM for Multi-Robot Systems," IEEE Robotics and Automation Letters, vol.8, no.2, pp.1234-1241, 2023.
- [4] J. Xu et al., "Scaling Real-Time Collaborative Visual SLAM at the Edge," in Proc. of USENIX NSDI, pp.1-15, 2022.
- [5] Z. Li et al., "Collaborative Positioning Technology for UAV Systems: A Survey," Array, vol.17, pp.100231-100243, 2024.