

무인항공기(UAV) 제어 기술 및 산업 동향 분석

이민지, 김중현
고려대학교

lminji@korea.ac.kr, joongheon@korea.ac.kr

A Comprehensive Analysis of Control Technologies and Industrial Trends of UAVs

Lee Min Ji, Kim Joong Heon
Korea Univ.

요약

무인항공기 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)는 군사 정찰용 장비에서 출발해 현재는 물류, 농업, 통신, 재난 대응 등 다양한 분야로 활용이 확산되고 있다. 인공지능, 통신 네트워크, 에너지 효율 기술의 발전이 UAV의 자율성과 지속성을 크게 향상시키고 있으며, 동시에 비행 안전, 데이터 보안, 제도적 규제 등 새로운 문제들이 등장하고 있다. 본 논문은 최근 UAV 기술 발전, 산업 응용, 제도 및 정책적 동향을 종합적으로 분석하고, 향후 연구와 실용화를 위한 과제를 제시한다.

I. 서론

무인항공기 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)는 조종사가 탑승하지 않은 상태에서 자율 혹은 원격으로 비행하는 항공체를 의미한다. 초기에는 군사 정찰과 전투 지원을 목적으로 개발되었으나, 현재는 민간 분야 전반으로 확산되어 인공지능과 융합된 지능형 시스템으로 발전하고 있다 [3][4]. 세계 각국은 UAV를 물류 배송, 농업 정밀관측, 재난 구조, 환경 모니터링, 통신 중계 등 다양한 분야에 적용하고 있으며, 이와 함께 규제 및 관리체계 정비도 병행하고 있다 [4][5]. UAV 산업은 센서, 통신, 에너지 시스템 등 복합 기술의 집약체로서, 기술 발전 속도와 시장 성장을 모두 빠르다 [2][4]. 그러나 자율비행 안정성, 항공교통 관리, 사이버보안, 개인정보 보호 등 해결해야 할 과제도 많다 [3][5]. 본 논문은 UAV 분야의 기술, 응용, 제도적 동향을 정리함으로써 UAV 산업의 현재 위치와 향후 방향을 제시한다.

II. 기술 발전 동향

UAV의 기술 발전은 자율비행, 통신 네트워크, 에너지 효율성, 보안 기술의 네 가지 영역에서 두드러진다. 첫째, 자율비행 기술은 인공지능 기반 의사결정 모델의 발전으로 고도화되고 있다 [1][3]. 딥러닝 및 강화학습 알고리즘이 적용되면서 UAV는 실시간 환경 인식, 장애물 회피, 경로 계획 등을 스스로 수행할 수 있다. 최근에는 여러 UAV가 협업하여 특정 지역을 탐색하거나 편대비행을 수행하는 다중 UAV (Multi-UAV) 시스템이 활발히 연구되고 있다. 이러한 협업제어는 통신 지연, 충돌 회피, 동기화 등 복잡한 제어 문제를

수반하며, 이를 해결하기 위한 분산 강화학습과 예측 제어 기법이 주로 활용된다. 둘째, 통신 및 네트워크 기술은 UAV 운용의 기반이 된다 [2][5]. UAV는 지상 기지국, 다른 UAV, 또는 위성과 연결되어 정보를 교환하며, 이를 통해 공중 지상 통합 네트워크(Space-Air-Ground Integrated Network)가 구축된다. 특히 5G (5th Generation Mobile Network)와 6G (6th Generation Mobile Network) 시대에는 UAV가 공중 중계 노드로 활용되어 통신 사각지대를 해소하는 역할을 수행할 것으로 전망된다. 셋째, 에너지 효율성 향상은 UAV의 지속비행 능력과 직결된다 [1][3]. 리튬이온 배터리의 한계를 극복하기 위해 태양광 패널, 수소 연료전지, 하이브리드 추진 시스템이 개발되고 있으며, 비행 중 에너지 관리 알고리즘을 통해 전력 소비를 최소화하는 연구가 진행되고 있다. 장기체공형 UAV의 등장은 정찰, 통신, 환경 모니터링 등 장시간 임무 수행의 가능성을 높인다. 넷째, 보안 및 전자전 대응 기술이 중요해지고 있다 [5]. UAV는 무선통신을 통해 제어되므로 전자재밍, 신호 위조(Spoofing), 사이버공격에 취약하다. 이를 방지하기 위해 암호화 통신, 신뢰 기반 인증, 자율적 복구 알고리즘 등이 개발되고 있다. 군사용 UAV에서는 이러한 보안 기술이 필수 요소로 간주된다.

III. 산업 및 응용 동향

UAV의 응용 영역은 군사에서 민간으로 빠르게 확장되고 있다. 군사 분야에서는 정찰, 표적 추적, 공격 임무 수행이 자동화되고 있으며, 소형 UAV를 이용한 분산 전장 정보 수집이 주류로 자리 잡고 있다 [3][4]. 민간 분야에서는 물류 배송, 농업용 살포 및 생육 분석, 산림 및 해양 감시, 재난 대응, 인프라 점검 등 다양한 응용이 현실화되고 있다. 아마존, 구글, UPS (Unmanned Parcel Service) 등 글로벌 기업들은 상용 드론 배송망을

구축 중이며, 한국 또한 드론 교통관리 UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) 시범사업을 추진하고 있다. 시장 규모 또한 빠르게 증가한다. 글로벌 시장조사 기관들은 2025년 UAV 시장이 약 400억 달러를 넘어설 것으로 예측하며, 연평균 성장률은 15% 이상으로 추정한다. 이는 부품 소형화, 인공지능 기술의 상용화, 규제 완화 등 복합적 요인의 결과이다 [4].

IV. 제도 및 안전성 동향

UAV의 확산은 기술 발전뿐 아니라 제도적 정비를 필요로 한다. 국가별 항공안전 규정과 비행 허가 절차가 상이하여 국제 운용 표준이 아직 완비되지 않았다. 이에 각국 정부는 무인기 전용 항로 설정, 조종사 자격제도, 운항 데이터 관리체계 등을 정비하고 있다. 또한 비행 안전성 확보가 핵심 과제다. 자율비행 알고리즘의 오류나 통신 장애로 인한 추락 사고를 방지하기 위해, 비상 회피 시스템과 자동 복귀 기능이 탑재되고 있다. 실시간 위치 추적과 항로 모니터링 시스템의 의무화도 논의 중이다. 데이터 보안 및 프라이버시 문제도 대두된다. UAV는 고해상도 카메라와 센서를 통해 민감한 데이터를 수집하므로, 개인정보 유출 및 불법 촬영 논란이 발생한다. 이에 대한 법적 규제와 기술적 차단방안이 필요하다 [5].

V. 결론

무인항공기(UAV)는 하드웨어, 소프트웨어, 네트워크, 에너지 시스템이 융합된 복합 기술체계로 자리잡고 있다 [2][3][5]. 인공지능 기반 자율비행과 네트워크 연동 기술은 UAV를 단순한 비행체가 아닌 지능형 플랫폼으로 진화시키고 있다 [1][3]. 산업적으로는 물류, 농업, 통신, 재난 대응 등 민간 부문이 빠르게 확대되며, 경제적 파급력이 커지고 있다 [4]. 그러나 안전성, 보안, 규제, 사회적 수용성 등 해결해야 할 과제도 여전히 많다. 기술 발전이 제도적 기반과 병행되지 않으면 UAV의 상용화는 제한될 수 있다. 따라서 향후 연구는 자율비행 알고리즘의 신뢰성 확보, 에너지 지속성 강화, 항공교통 관리체계 통합, 보안 및 윤리 기준 확립에 초점을 맞춰야 한다. 결국 UAV의 발전은 기술 혁신뿐 아니라 제도적, 사회적 인프라 구축을 병행할 때 비로소 완성될 것이다 [5]. 본 논문이 UAV 연구자와 산업 종사자에게 현재 동향을 이해하고 미래 방향을 모색하는 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] S. Park, S. B. Son, S. Jung, and J. Kim, "Dynamic Quantum Federated Learning for UAV-based Autonomous Surveillance," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 74, no. 5, pp. 8158–8170, May 2025.
- [2] J. Kim, S. Park, S. Jung, and C. Cordeiro, "Cooperative Multi-UAV Positioning for Aerial Internet Service Management: A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 21, no. 4, pp. 3797–3812, August 2024.

[3] W. J. Yun, S. Park, J. Kim, M. Shin, S. Jung, D. Mohaisen, and J.-H. Kim, "Cooperative Multiagent Deep Reinforcement Learning for Reliable Surveillance via Autonomous Multi-UAV Control," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 10, pp. 7086–7096, October 2022.

[4] C. Park, G. S. Kim, S. Park, S. Jung, and J. Kim, "Multi-Agent Reinforcement Learning for Cooperative Air Transportation Services in City-Wide Autonomous Urban Air Mobility," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 8, no. 8, pp. 4016–4030, August 2023.

[5] G. S. Kim, S. Park, S. Jung, D. Mohaisen, and J. Kim, "Integrated Control, Communication, and Computing for Mission-Critical Embedded Unmanned Aerial Vehicles," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 61, May 2025.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2025-RS-2024-00436887). 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00439803, SW 컴퓨팅산업원천기술개발사업(SW 스타랩)). 본 논문의 교신저자는 김중현임.