

생성형 AI 기반 드론/UAV 제어기술에 관한 동향 연구

이강봉*, 우한별*, 조영호(교신저자)**, 권남혁***

*국방대학교 국방관리대학원 국방과학학부 사이버컴퓨터공학과 석사과정

**국방대학교 국방관리대학원 국방과학학부 사이버컴퓨터공학과 교수

***㈜포지큐브 AI 영업 및 마케팅 그룹

e-mail:lgb4521@naver.com, cousinot@naver.com, younghocho@korea.kr,
knh9173@posicube.com

A Survey on Generative AI-based Drone/UAVs control Technologies

Gangbong Lee*, Hanbyul Woo*, Youngho Cho**, Namhyuk Kwon***

*Master's Course, Dept. of Cyber Security and Computer Engineering,
Korea National Defense University

**Professor, Dept. of Cyber Security and Computer Engineering,
Korea National Defense University

***AI Sale & Marketing Group, Posicube Inc.

요약

최근 드론/UAV는 정찰, 감시, 재난대응, 물류수송 등 다양한 분야에서 활용 범위를 넓혀가고 있다. 그러나 기존의 조종기 기반 운용 방식은 복잡한 임무환경, 제한적 통신 환경에서 운용자의 숙련도에 크게 의존하여 직관적이고 신속한 임무수행에 한계를 가진다. 이러한 문제를 보완하기 위해 음성제어 기술과 LLM/sLM 기반 자연어 이해 기술이 드론 운용분야에 적용되어 다양한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이러한 드론/UAV 운용 지능화 기술의 요소기술인 음성제어 기술, LLM/sLM 기반 제어기술, 관련 통신프로토콜 기술의 동향을 정리하였다. 이를 통해 드론/UAV의 지능형 운용 기술에 대한 이해를 높이고 향후 관련 연구과 기술 적용 방향에 도움을 주고자 한다.

1. 서론

드론/UAV(Unmanned Aerial Vehicle)는 정찰, 감시, 재난대응, 물류 수송, 시설 점검 등 다양한 영역에서 활용되고 있으며, 통신 중계기, 공중 기지국 등의 역할과 함께 다수의 드론이 협력하여 복합적인 정보수집, 판단, 통신 기능을 수행하는 시스템으로 발전하고 있다[1], [2].

그러나 화재, 건물 붕괴 등 재난상황, 통신불가 상황에서 기존의 조종기 기반 인터페이스로는 임무 수행에 제한사항이 존재하며, 임무 환경이 복잡해짐에 따라 운용자의 조종 숙련도가 임무 성공에 큰 영향을 끼친다[3]. 특히 유·무인기 협업이나 국방 분야 등 신속한 임무지시가 필요한 상황에서는 직접 드론을 제어하기 보다는 신속한 임무지시를 위해 음성명령을 통한 제어가 필요하다[4].

드론 음성제어 기술은 대체로 고정된 명령어를 처리하는 방식에 집중되어 이륙(Take-Off), 착륙(Landing), 앞으로 이동(Go Forward) 등 사전에 인식된 명령어를 정해진 동작으로 매핑하는 구조였으나, 이는 문맥을 이해하거나 임무

를 해석하는 수준의 지능형 운용으로 확장하기에 한계가 있다[5], [6].

이를 보완하기 위해 LLM(Large Language Model), sLM(Small Language Model)을 적용한 드론 제어 기술이 등장하였으며 최근 음성을 텍스트로 변환(STT, Speech-to-Text)하여 드론에 탑재된 LLM, sLM이 텍스트 의미를 해석하고 임무명령어나 판단을 자율적으로 수행하여 편의성과 신속성을 충족하는 프레임워크에 대한 기술 연구로 범위가 확장되고 있다[8], [9].

이와 같이 드론/UAV의 활용 영역이 지속 확대되고 기존의 단순 수동조종 방식에서 나아가 더욱 지능적인 통합운용 기술에 대한 관심이 커지고 있으나 이러한 분야는 아직 연구가 충분치 않으며, 특히 개별 요소기술들을 분석한 기술 동향 연구는 더욱 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 드론/UAV 운용의 지능화를 위한 발전 흐름을 중심으로 각 구성 요소에 해당하는 드론 음성제어 기술, 드론 LLM/sLM 기반 기술, 그리고 통신프로토콜의 발전을 중심으로 기술의 동향을 분석하고자 한다.

본 연구는 서울경제진흥원 '인공지능(AI) 기술사업화 지원사업'의 지원을 받아 수행된 연구임.(과제번호: CY250284_1_1)

2. 드론/UAV 제어기술의 발전과 활용

2.1 드론/UAV 제어기술의 발전

드론/UAV는 사람의 직접적인 탑승 없이 비행하는 항공체를 의미하며, 초기에는 조종기를 이용한 수동조종 방식이 주를 이루었다[7]. 이후 운용 편의성과 효율성을 높이기 위해 제한된 명령어를 인식하는 음성제어 기술이 도입되었으며, 이는 단순 기동 명령 중심의 제한된 임무를 가능하게 했다.

이후 자연어 이해가 가능한 LLM 및 경량화된 sLM 기술이 적용되면서 단순 명령을 넘어 문맥을 이해하고 복합적인 임무를 수행할 수 있도록 제어기술이 발전하고 있다. 이러한 발전으로 드론이 스스로 상황을 인식하고 임무를 수행하는 자율비행 체계로의 확장이 이루어지고 있다.

2.2 생성형 AI 기반 드론/UAV 활용가능성

생성형 AI 기반 드론/UAV는 자연어 형태의 명령을 이해하고 이를 세부 기동, 경로 설정, 객체 판단 등 다양한 형태로 임무를 변형하고 수행할 수 있어 활용범위가 넓다. 운용자의 조종 숙련도에 대한 의존도를 낮추고 긴급·위험 상황에서 보다 신속하고 효율적인 운용을 가능하게 하여 관련 연구가 지속 발전되고 있다.

또한 재난구조·경찰·국방 분야 등에서 수집된 정보를 단순 전달하는 수준을 넘어 상황판단과 의사결정을 지원하는 인터페이스로 발전할 수 있으며, 앞으로 다중 기체 또는 유/무인기 협업 환경에서 다양한 임무에 활용될 수 있다.

3. AI 기반 드론/UAV 제어기술 연구 동향

3장에서는 생성형 AI 기반 드론/UAV의 개별 요소기술인 음성제어, LLM/sLM 기반 제어기술, 통신프로토콜에 대한 연구가 어떠한 흐름으로 발전해왔는지 분석하여 기술하고자 한다. 또한 이러한 요소기술들을 통합하여 이루어진 최신 연구에 대해서도 간략하게 알아보고자 한다.

3.1 음성명령을 통한 드론/UAV 제어기술

드론/UAV 활용이 확대될수록 기존 수동조종 기반 인터페이스만으로는 다양한 임무환경에 효율적으로 대응하기 어려워지고 있다. 음성제어는 드론/UAV 운용의 운용 효율성을 높이고 동시적이고 복합적인 임무수행을 가능하게 하고, 직관성과 신속성을 높일 수 있는 방안으로 활용될 수 있다 [4], [11]. 특히 단순 기동 제어를 넘어, 경로 생성, 다수 기체

제어 등 유·무인기 협업 환경에서 통해 별도 콘솔 조작없이 음성으로 무인기를 지시하여 운용 효율성을 높일 수 있다 [4], [11].

초기 드론/UAV 음성제어 연구는 대체로 고정된 명령어를 인식하여 기본적인 기동을 수행하는 방식으로 진행되었다. 국내에서 윤정석 등[10]은 NATO에서 정의한 국제 표준 인터페이스 규격인 STANAG-4586을 기반으로 무인기 제어를 위한 임무 명령 어휘를 설계하였다. 또한 박정식[4]은 유·무인기 협업 환경에서 유인기 조종사가 음성으로 무인기를 통제하는 운용체계를 제시하였다.

국외에서 Anand 등[5]은 음성인식 모듈과 RF통신을 이용해 기본 기동을 수행하는 시스템을 구현하였고, Meszaros 등[6]은 CMU Sphinx를 기반으로 사용자가 음성으로 UAV 비행경로를 구성하는 방식을 제안하였다. 하지만 이러한 초기 연구는 음성제어의 구현 가능성과 단순한 기동 제어와 임무명령을 표준화하는 수준에 초점을 두어 복잡한 명령어 처리에는 제한이 있다.

이후 연구는 단순 명령 인식을 넘어 실시간성, 잡음 강건성, 성능 향상 방향으로 발전하였다. 최연지 등[3]은 온/오프라인 플랫폼을 활용한 실험을 통해 성능을 비교하였으며, Park 등[12]은 MAV-UAV 협업환경에서 분산형 음성인식 구조와 음성처리 과정을 개선하여 높은 인식률과 실시간성을 확보하였다.

국외연구에서 Choutri 등[13], [14]은 영어, 아랍어 등을 지원하는 다국어 딥러닝 기반 음성인식 프레임워크를 제안하여 쿼드콥터 UAV 대상 구현하여 다양한 언어 환경에 적용하였으며, STT와 LLM을 결합한 실시간 UAV 제어 프레임워크를 제안하여 다국어 환경에서 음성명령을 제어명령으로 변환하는 구조를 제시하였다. Widiyanti 등[15]은 가상의 지상통제체계인 HoloGCS를 제안하고 음성명령 및 영상 스트리밍 등을 통합하여 보다 직관적으로 UAV를 통제할 수 있는 환경을 구현하였다.

[표 1] 드론/UAV 음성제어 기술 발전 흐름 요약

구분	대표연구	주요내용
1	Anand 등[5]	음성명령 기반 기본 기동 제어
2	윤정석 등[10]	STANAG 기반 임무 명령 어휘 설계
3	Meszaros 등[6]	음성 기반 비행경로 생성
4	최연지 등[3]	온라인·오프라인 음성인식 성능 비교
5	Choutri 등[14]	STT+LLM 기반 실시간 제어

3.2 LLM/sLM 기반 드론/UAV 제어기술

기존 음성제어 방식의 한계를 보완하기 위해 LLM 및 sLM을 드론/UAV 제어에 적용하는 연구가 본격화되고 있다[5], [6]. 최근 임무 환경의 복잡화로 인해 임무 계획, 상황 판단, 다수 기체 협업 등을 자연어로 지시할 수 있는 인터페이스가 요구되며, 재난 대응·국방 분야 등 신속한 의사결정이 필요한 환경에서 즉각적으로 임무 명령으로 해석하고 실행하는 능력이 필요하다[9], [22].

초기 LLM 기반 드론/UAV 제어 연구는 주로 GPT 계열 모델을 시뮬레이션 환경에 적용하여 자연어 명령을 비행 명령으로 변환하는 가능성을 확인하는 수준에서 이루어졌다. Vemprala 등[21]은 프롬프트 엔지니어링 원칙과 고수준 함수 라이브러리를 결합하여 ChatGPT가 드론 항법을 포함한 다양한 로봇 임무에 적용 가능함을 실험적으로 보였다. Tazir 등[20]은 OpenAI의 GPT-3.5-Turbo를 PX4/Gazebo 시뮬레이터와 연동하여 자연어 기반 드론 제어 시스템을 구현하고, LLM이 생성한 명령어에 대한 검증 체계를 처음으로 제안하였다. 이러한 초기 연구들은 자연어를 드론이 실행 가능한 구조화된 명령 파라미터로 변환하는 가능성을 실증하였으나, 대부분 시뮬레이션이나 통제된 환경에 한정되어 있었으며, 실시간성·안전성·실환경 적용 측면에서는 한계가 존재하였다.

이후 연구는 실환경 적용, 실시간 음성 연계, sLM 경량화 탑재 등 다양한 방향으로 발전하고 있다. sLM 측면에서는 구분우 등[23]이 Seq2Seq 기반 sLM으로 자연어 음성 명령을 무인 이동체 운용 명령으로 변환하는 시스템을 제안하여 평균 80% 이상의 명령 분류 정확도를 검증하였으며, Chen 등[24]은 sLM을 엣지 디바이스에 탑재하여 대형 모델에 근접하는 성능을 달성하였다. 이를 통해 클라우드 의존 없이 자원 제한 환경에서도 sLM 기반 자연어 제어가 가능함을 보여준다[9]. 또한 LLM의 추론 능력을 활용한 에이전트 기반 다중 드론 협업 연구도 함께 확대되고 있다[22].

[표 2] LLM/sLM 기반 드론/UAV 제어 기술 발전 흐름 요약

구분	대표연구	주요 내용	적용 모델	환경
1	Tazir 등[20]	ChatGPT + PX4/Gazebo 자연어 드론 제어	LLM (GPT-3.5)	시뮬레이션
2	Vemprala 등[21]	ChatGPT 로봇 제어 원칙 및 드론 항법 적용	LLM (GPT)	
3	구분우 등[23]	Seq2Seq sLM 기반 다중 무인 이동체 명령 제어	sLM (Seq2Seq)	시뮬레이션
4	Chen 등[24]	sLM 엣지 탑재 자연어 로봇 내비게이션	sLM (TinyLlama 등)	실제 환경

3.3 드론/UAV 통신프로토콜

초기 드론/UAV 통신프로토콜에서 가장 대표적인 표준은 NATO의 STANAG-4586 표준이다. 이는 연합·합동 작전 환경에서 이기종의 드론/UAV와 지상통제체계 간 공통된 인터페이스로 연결하여 상호운용성을 확보하기 위해 설계되었다[17]. 하지만 구조가 복잡하고 체계가 무거워 소형 드론에 적용하기 어려운 한계가 있어 다양한 임무 환경에서 범용적으로 사용하기에 한계가 있었다.

이를 보완하기 위해 기체와 지상통제체계, 기체 간 상대적으로 가벼운 메시지를 송수신하는 MAVLink(Micro Air Vehicle Link)가 널리 사용되었다[16]. MAVLink는 기존 방식에 비해 가벼운 바이너리 직렬화 방식을 사용하여 저대역 통신방식이나 Wi-Fi 환경에서도 효율적으로 동작할 수 있다. 또한 현재 널리 쓰이는 자율비행제어 소프트웨어인 PX4와 ArduPilot에서 기본 통신 방식으로 사용되어 오늘날 드론/UAV 생태계에서 널리 사용되고 있다.

3.4 음성명령, LLM/sLM, MAVLink 통합 연구

최근 연구에서는 음성명령이나 LLM/sLM의 해석결과를 실제 비행명령으로 연결하고 그 인터페이스로 MAVLink가 활용되고 있다. Lim 등[18]은 PX4 기반 드론에서 사용자 프롬프트를 MAVLink를 통해 비행명령으로 바꾸는 프레임워크를 제안하였으며, Ramos-Silva 등[19]은 MCP서버가 MAVLink를 지원하도록 설계하여 다양한 LLM이 드론/UAV를 제어할 수 있는 범용 모델을 제안하였다.

즉, 최근 연구에서는 음성을 통해 운용자의 편의성과 직관성을 향상시키고, LLM/sLM을 통한 명령 이해와 임무 계획을 수행하고 MAVLink로 제어명령을 전달하는 방식의 생성형 AI 기반 드론/UAV 제어가 새로이 연구되고 있음을 알 수 있다.



[그림 1] 생성형 AI 활용 드론/UAV 제어 개념도 [19]

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 드론/UAV 운용의 지능화를 위해 적용할 수 있는 음성제어 기술, LLM/sLM 기반 제어 기술, 통신프로토콜 기술의 발전 흐름과 최신 연구 동향을 정리하였다. 이를 통해 드론/UAV 제어 기술이 단순 수동조작에서 음성과 자연어 기반의 운용방식으로 발전하고 있음을 확인하였다.

본 연구를 바탕으로 향후에는 이러한 요소기술들을 통합하여 음성명령 인식부터 임무해석, 제어명령 전달까지 연계되는 운용 프레임워크와 활용방안에 대해 더욱 심도있는 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] H. Shakhathreh et al., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges," *IEEE Access* 7, pp. 48572-48634, 2019.
- [2] X. Gu, G. Zhang, "A survey on UAV-assisted wireless communications: Recent advances and future trends," *Computer Communications*, vol. 208, pp. 44-78, 2023.
- [3] 최연지 등, "온라인 및 오프라인 음성인식 기반 UAV 원격제어의 성능 비교," *한국통신학회논문지*, vol. 46, no. 4, pp. 688-695, 2021.
- [4] 박정식, "음성 기반 무인 항공기 제어를 위한 음성인식 시스템 운용 체계 연구," *한국항공우주학회지*, vol. 47, no. 3, pp. 212-219, 2019.
- [5] S. S. Anand et al., "Design and Fabrication of Voice Controlled Unmanned Aerial Vehicle," *International Journal of Robotics and Automation*, vol. 5, no. 3, pp. 205-212, 2016.
- [6] E. L. Meszaros, et al., "Speech-Based Natural Language Interface for UAV Trajectory Generation," in *Proc. ICUAS 2017*, pp. 46-55, 2017.
- [7] H. M. Huang, ed., *Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework, Volume I: Terminology*, NIST Special Publication 1011, 2004.
- [8] H. Ahlawat et al., "Automatic Speech Recognition: A survey of deep learning techniques and approaches," *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 6, pp. 201-237, 2025.
- [9] Y. Emami et al., "Large Language Model-Assisted UAV Operations and Communications: A Multifaceted Survey and Tutorial," *arXiv preprint arXiv:2602.19534*, 2026.
- [10] 윤정식 등, "음성인식 기반 무인기 제어를 위한 임무 명령 어휘 설계," *한국항공우주학회 2017 춘계학술대회 논문집*, pp. 489-490, 2017.
- [11] 남경모 등, "아마존 음성인식 서비스를 이용한 핸드프리 드론 제어 구현," *2018년도 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집*, pp. 1004-1005, 2018.
- [12] J.S. Park and N. Geng, "In-Vehicle Speech Recognition for Voice-Driven UAV Control in a Collaborative Environment of MAV and UAV," *Aerospace*, vol. 10, no. 10, 841, 2023.
- [13] K. Choutri et al., "A Multi-Lingual Speech Recognition-Based Framework to Human-Drone Interaction," *Electronics*, vol. 11, no. 12, 1829, 2022.
- [14] K. Choutri et al., "Leveraging Large Language Models for Real-Time UAV Control," *Electronics*, vol. 14, no. 21, 4312, 2025.
- [15] D. E. Widiyanti et al., "HoloGCS: mixed reality-based ground control station for unmanned aerial vehicle," *Virtual Reality*, vol. 28, 2024.
- [16] A. Koubâa et al., "Micro Air Vehicle Link (MAVLink) in a Nutshell: A Survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 87658-87680, 2019.
- [17] 김학준 등, "Application of STANAG-4586 Ed. 4 based Standardization for Up-to-Dated Interoperability of Military UAV System," *한국컴퓨터정보학회논문지*, vol. 24, no. 6, pp. 99-107, 2019.
- [18] S. K. Lim et al., "Taking Flight with Dialogue: Enabling Natural Language Control for PX4-based Drone Agent," *arXiv preprint arXiv:2506.07509*, 2025.
- [19] J. N. Ramos-Silva et al., "A Universal Large Language Model Drone Command and Control Interface," *arXiv preprint arXiv:2601.15486*, 2026.
- [20] M. L. Tazir et al., "From Words to Flight: Integrating OpenAI ChatGPT with PX4/Gazebo for Natural Language-Based Drone Control," *Proc. 13th Int. Workshop Comput. Sci. Eng. (WCSE 2023)*, pp. 215-222, Jun. 2023.
- [21] S. H. Vemprala et al., "ChatGPT for Robotics: Design Principles and Model Abilities," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 55682-55696, 2024.
- [22] Y. Tian et al., "UAVs Meet LLMs: Overviews and Perspectives Toward Agentic Low-Altitude Mobility," *Information Fusion*, vol. 122, p. 103158, 2025.
- [23] 구분우 등, "SLM을 이용한 자연어 기반 무인 이동체 운용 명령 제어 시스템," *한국군사과학기술학회지*, vol. 28, no. 5, pp. 477-485, 2025.
- [24] Y. Chen et al., "FASTNav: Fine-Tuned Adaptive Small-Language-Models Trained for Multi-Point Robot Navigation," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 390-397, 2025.