

드론 이동경로 최적화 관련 연구동향

이승주, 이원호, 김태훈[■]
국립한밭대학교 컴퓨터공학과

{seungjulee, wonholee}@edu.hanbat.ac.kr, thkim@edu.hanbat.ac.kr

Research Trends on Trajectory Optimization of Drone

Seungju Lee, Wonho Lee, Taehoon Kim[■]

Dept. of Computer Engineering, Hanbat National University

요약

본 논문에서는 UAV 또는 드론의 경로 최적화를 위한 최근 연구 동향을 조사하고, 다양한 휴리스틱 알고리즘의 적용 사례를 분석하여 기술 개발의 현재 상태와 미래 연구 방향을 탐색한다. 연구 결과, 휴리스틱 알고리즘은 복잡한 최적화 문제에서 빠르고 실행할 수 있는 해답을 찾는데 유용하지만, 알고리즘의 선택과 적용은 특정 환경과 요구 사항에 따라 신중하게 고려되어야 함을 발견하였다. 본 논문은 UAV 경로 최적화 분야에서의 알고리즘 선택과 적용에 대한 이해를 심화시키고, 향후 더 효율적이고 안전한 UAV 운용을 위한 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

I. 서론

최근 몇 년간, 무인항공기(UAV) 또는 드론 기술은 급속도로 발전하였으며, 군사 작전, 농업, 재난 구조, 상품 배송 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 이러한 배경 속에서 UAV와 드론의 효율적이고 안전한 운용을 위해 궤적 최적화는 필수적인 요소로 부상하게 됐다. 드론의 이동경로 최적화는 에너지 효율성을 향상하고, 임무 수행 시간을 단축하며, 충돌 위험을 최소화하여 안정적인 비행을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 본 논문에서의 목적은 UAV 또는 드론의 궤적 최적화에 관한 최근 연구 동향을 조사하고, 모의실험 또는 실제 드론을 이용한 실험 논문을 분석함으로써, 기술 개발의 현재와 미래 연구 방향을 이해하는 데 있다.

II. 본론

휴리스틱 알고리즘은 문제 해결을 위한 직관적이거나 경험적인 규칙과 방법을 사용하는 알고리즘이다. 이러한 알고리즘은 완벽한 해결책을 보장하지는 않지만, 복잡하고 다양한 제약 조건을 가진 최적화 문제에서 실행 가능한 해답을 빠르게 찾는 데 유용하다. UAV 경로 최적화와 같은 고차원 문제에서 정확한 해를 찾기 어려울 때가 많기 때문에, 휴리스틱 알고리즘은 유용한 대안이 될 수 있다. 이러한 알고리즘은 직관적인 접근 방식을 통해 대규모 탐색 공간에서 빠르게 해답을 찾아내며, UAV의 효율적인 경로 계획 및 장애물 회피에 기여할 수 있다.

대부분의 휴리스틱 알고리즘은 경험적 규칙에 기반을 두어 수용 가능한 계산 비용 하에 문제의 대략적인 최적 해를 찾는 최적화 알고리즘이다. 이는 체계적인 해 검색이 아니라 이전 경험을 활용하여 효과적인 방법을 선택하는 것이며, 해결 방법의 속도와 실행 가능한 해의 최적화 정도를 보장할 수 없다. UAV 경로 계획에 사용되는 휴리스틱 알고리즘에는 Simulated Annealing Algorithm(SA), A* Algorithm, Evolutionary Algorithm(EA), Particle Swarm Optimization (PSO), Pigeon-Inspired Optimization (PIO), Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA), Artificial Bee Colony (ABC), Salp Swarm Algorithm (SSA), Ant Colony

Optimization algorithm (ACO), Gray Wolf Optimization algorithm (GWO), Harmony Search algorithm (HS) 등이 있다 [1]. 이러한 휴리스틱 알고리즘들은 UAV 경로 최적화 문제에 광범위하게 적용되어 왔다. Simulated Annealing Algorithm(SA)는 UAV가 장애물을 피하면서 목적지까지의 경로를 최적화하는 데 사용되었다. 예를 들어, 도시 환경 같은 복잡한 환경에서 UAV가 장애물을 피하면서 목표 지점까지 가장 효율적인 경로를 찾는 문제에 SA 알고리즘을 적용하여 에너지 함수를 최소화함으로써 최적의 경로를 찾았다 [2].

A* 알고리즘은 그리드 기반의 환경에서 UAV의 경로를 계획하는 데 자주 사용된다. 특히, 정적 장애물이 있는 환경에서 UAV가 최단 경로를 찾아가는 경우에 유용하다. A* 알고리즘은 각 그리드 포인트에 대한 비용을 계산하여 UAV가 목적지까지 가장 낮은 총비용으로 이동할 수 있는 경로를 찾는다. 계산 시간 제약으로 인해 경로를 다시 계산할 수 없는 경우 LGM(Local Gaussian Modifier)을 사용하여 동적 경로 수정을 위한 빠르고 가벼운 접근 방식을 제시한다 [3]. 제안된 접근 방식은 시뮬레이션 및 실제 비행 시나리오에서 검증되었는데, 시뮬레이션에서 최대 16.0m/s의 속도로 동적 게이트가 있는 레이스 서킷을 성공적으로 비행하고 실제 비행에서 autonomous onboard computing condition 1에서 최대 4.0m/s의 속도에 도달했다. A* algorithm에 Haversine과 Vincenty 공식의 통합을 통해 만든 수정된 A* algorithm을 사용하여 도시 환경에서 UAV를 위한 효율적인 경로 최적화를 한 연구도 있다 [4].

ImprovedBi-P-RRT* algorithm은 새로운 노드 생성 방향을 개선하고 경로 비용을 줄이기 위해 수정된 artificial potential field 방법과 cubic spline 보간 최적화 방법을 통합하여 만든 알고리즘이다. 무작위 샘플링 포인트를 유도하고 반복 횟수를 줄임으로써 검색 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다 [5]. 재난 상황에서 효율적이지 않은 비행시간은 곧 배터리 부족 문제와 직결되기 때문에 이를 해결 하기 위해 Ant Colony Optimization(ACO) 알고리즘을 응용하여 최적 경로 탐색 알고리즘을 개발하였다 [6]. 다중 에이전트 강화학습을 사용해 감시 드론의 경로를 최적화한 방법도 있다. 어텐션과 Graph Neural Network의 결합체인 G2ANet

를 활용하여 정책 기반 다중 에이전트 강화학습을 수행했는데 이를 통해 화재나 테러와 같은 문제 지점에 효율적으로 도달하고 사각지대를 없앨 수 있었다 [7]. 도심 환경에서 드론 배송을 위한 유연한 격자 크기 A* 알고리즘에 대한 연구에서 넓은 격자로 경로를 계획하고, 장애물 주변에 작은 격자를 만들어 최적 경로로 회피하는 방법을 제시하였다. 이러한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증되었으며, 도심 환경에서 활용할 수 있는 유연한 격자 크기 A* 알고리즘의 적용 가능성을 입증하였다 [8]. 논문에서 제안된 UAV 경로 최적화 알고리즘은 심층 강화학습 기반이다. 제안된 알고리즘은 UAV의 좌표 및 신호 정보뿐만 아니라 건물의 특성을 반영하고 환경을 여러 개 생성하여 에이전트가 상호작용을 하도록 설계되었다. 이를 통해 다중 실내 사용자들에게 통신을 보장하는 데에 더 효과적인 경로를 탐색할 수 있다 [9].

드론 셀(DC)은 지상 네트워크 커버리지 없는 영역에서 사물 인터넷(IoT) 데이터를 수집하기 위한 효율적인 무선 연결 기술이다. DC의 비행 궤적은 데이터 수집에 큰 영향을 미치지만, 3차원 이동성과 DC-지상(D2G) 채널 기능 등으로 인해 궤적 설계는 어려운 문제이지만 이 논문에서는 여러 DC가 주기적으로 상공을 비행하며 IoT 데이터를 기지국(BS)에 중계하는 3D 궤적 설계를 제안한다. 궤적 설계는 최신 D2G 채널 모델을 고려하여 사용자 대 DC(U2D) 경로 손실을 최소화하기 위해 mixed integer non-linear programming (MINLP) 문제로 공식화한 바 있다 [10]. 강화학습 기법인 Q-러닝을 활용하여 비행시간 동안 전송률 합을 최대화하는 궤적을 학습한 연구도 있다 [11]. 두 개의 정지된 지상 노드를 연결하는 통신 중계기 역할을 하는 소형 무인 항공기(UAV) 기반 중계기를 위한 에너지 효율적인 순환 기동 및 통신에 중점을 둔다. 기동 및 통신 모두의 전력 소비에 대한 네트워크 용량의 비율로 정의되는 에너지 효율성 지표를 기반으로, UAV 기반 중계기의 속도와 부하율이라는 두 가지 변수를 사용하여 에너지 효율성 극대화 문제를 공식화한 다음 폐쇄형 차선책 해를 구한다 [12].

미래 모바일 네트워크에서는 정적 기지국(BS)은 급증하는 데이터 서비스, 특히 셀 에지 사용자의 데이터 서비스를 지원하기 어렵다. 무인 항공기(UAV)는 이동성과 유연성이 높기 때문에 BS가 데이터 트래픽을 오프로드 하는 데 도움을 줄 수 있는 유망한 방법이다. 이 논문에서는 인접한 세 셀의 가장자리에 있는 UAV 궤적에 초점을 맞춰 BS의 트래픽을 오프로드한다. 제안된 방식에서는 각 비행 주기에서 UAV 궤적을 최적화하여 모든 사용자에 대한 속도 요구 사항에 따라 UAV 서비스를 받는 에지 사용자의 합산 속도를 최대화한다. 이 최적화는 해결하기 어려운 mixed-integer nonconvex 문제이다. 따라서 이를 두 개의 convex 문제로 변환하고, UAV 궤적과 에지 사용자 스케줄링을 교대로 최적화하여 이를 해결하는 반복 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 방식의 효율성을 보여준다 [13].

III. 결론

본 논문에서는 UAV 또는 드론의 궤적 최적화에 관한 최근 연구 동향을 조사하고 다양한 휴리스틱 알고리즘을 분석하였다. 우리는 Simulated Annealing Algorithm, A* Algorithm, Evolutionary Algorithm 등 여러 알고리즘을 검토하며, 이들이 UAV의 경로 계획에 어떻게 기여할 수 있는지를 탐구하였다. 본 논문의 분석을 통해, 휴리스틱 알고리즘들이 복잡한 UAV 경로 최적화 문제에 대한 실행 가능한 해답을 제공할 수 있음을 확인하였다. 그러나 이러한 알고리즘들의 효율성은 특정 환경과 조건에 따라 크게 달라질 수 있으며, 이는 향후 연구에서 더욱 면밀히 조사되어야 할 부분이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음(2022-0-01068)

참고 문헌

- [1] Yang, Yunhong, Xingzhong Xiong, and Yuehao Yan. "UAV formation trajectory planning algorithms: A review." *Drones* 7.1 (2023): 62.
- [2] Huo, Lisu, et al. "A novel simulated annealing based strategy for balanced UAV task assignment and path planning." *Sensors* 20.17 (2020): 4769.
- [3] Fernandez-Cortizas, Miguel, et al. "Local Gaussian Modifiers (LGMs): UAV dynamic trajectory generation for onboard computation." *arXiv preprint arXiv:2305.03444* (2023).
- [4] A. Andreou, C. X. Mavroumoustakis, J. M. Batalla, E. K. Markakis, G. Mastorakis and S. Mumtaz, "UAV Trajectory Optimisation in Smart Cities Using Modified A* Algorithm Combined With Haversine and Vincenty Formulas," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 72, no. 8, pp. 9757-9769, Aug. 2023
- [5] Fan, Jiaming, Xia Chen, and Xiao Liang. "UAV trajectory planning based on bi-directional APF-RRT* algorithm with goal-biased." *Expert systems with applications* 213 (2023): 119137.
- [6] 김진혁, 이태희 및 변희정. "딥러닝 기반 객체 인식과 최적 경로 탐색을 통한 멀티 재난 드론 시스템 설계 및 구현에 대한 연구." *정보처리학회논문지. 컴퓨터 및 통신시스템* 10.4 (2021): 117-122.
- [7] 윤원준 및 김중현. "다중 에이전트 강화학습을 이용한 감시 드론의 경로 최적화에 관한 연구." *한국통신학회 학술대회논문집* (2020): 415-416.
- [8] 이한섭 및 정훈. "도심 드론 배송을 위한 Flexible Grid Size A* 경로 계획 알고리즘 연구." *한국항공우주학회 학술발표회 초록집* (2023): 157-158.
- [9] 이상훈, et al. "다중 실내 재난 환경에서 심층 강화학습 기반 UAV 경로 최적화." *한국통신학회 학술대회논문집* (2023): 572-573.
- [10] W. Shi et al., "3D Multi-Drone-Cell Trajectory Design for Efficient IoT Data Collection," *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Shanghai, China, 2019, pp. 1-6
- [11] H. Bayerlein, P. De Kerret and D. Gesbert, "Trajectory Optimization for Autonomous Flying Base Station via Reinforcement Learning," *2018 IEEE 19th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Kalamata, Greece, 2018, pp. 1-5
- [12] D. H. Choi, S. H. Kim and D. K. Sung, "Energy-efficient maneuvering and communication of a single UAV-based relay," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 50, no. 3, pp. 2320-2327, July 2014
- [13] F. Cheng et al., "UAV Trajectory Optimization for Data Offloading at the Edge of Multiple Cells," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 7, pp. 6732-6736, July 2018