

논문 2023-18-40

CPS환경에서 산불 정찰을 위한 무인기 비행경로 생성 도구 (UAV Path Creation Tool for Wildfire Reconnaissance in CPS Environment)

정 지원, 배 창 희, 최 으 뜸, 이 성 진*

(Ji-Won Jeong, Chang-Hui Bae, EuTeum Choi, SeongJin Lee)

Abstract : Existing studies on the UAV (Unmanned Aerial Vehicle)-based CPS (Cyber Physical System) environment lack forest fire monitoring and forest fire reconnaissance using real-world UAVs. So, it is necessary to monitor forest fires early through CPS based on real-world UAVs with high reliability and resource management efficiency. In this paper presents an MFG (Mission File Generator) that automatically generates a flight path of an UAV for forest fire monitoring in a CPS environment. MFG generates flight paths based on a hiking trail with a high fire probability due to a true story of an entrant. We have confirmed that the flight path generated by MFG can be applied to the UAV. Also, we have verified that the UAV flies according to the flight path generated by MFG in simulation, with a negligible error rate.

Keywords : CPS (Cyber-Physical Systems), Monitoring Forest Fire, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Flight Path

I. 서 론

산불은 오래 지속될수록 피해가 증가된다 [1]. 산불 대응 관리 체계는 예방, 대비, 진화, 복구 단계로 구성된다. 예방 단계는 대형 산불의 확산을 초기에 예방하기 때문에 중요하다. 따라서, 산불의 발생을 미리 예측하고 초기에 대응함으로써 피해를 최소화하는 것이 중요하다 [2].

산불을 예방하기 위한 대표적인 방법은 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 사용하여 화재의 발생을 감시하는 것이다. UAV는 넓은 산림 지대를 원격 조종 및 자율 비행을 통해 감시할 수 있다. 원격 조종은 조종사의 실력, 통신 제한, 지상 환경 등의 이유로 넓은 지형을 감시하기 어렵다. 따라서 UAV의 자율 비행을 통해 산불 정찰이 필요하며, 이를 위해 비행경로를 사전에 생성해야 한다.

UAV를 활용하여 산불을 탐지하는 기존 연구 [3-5]는 UAV 경로 생성이 아닌 산불의 탐지에만 초점을 두고 있다. 산불을 초기에 예방하기 위해선 산불 탐지뿐만 아니라 UAV의 효율적인 비행경로 생성도 필요하다. 하지만 기존의 연구들은 UAV의 비행경로는 고려하지 않는다.

본 연구는 산불 정찰을 위해 UAV의 비행경로를 생성하는 MFG (Mission File Generator)를 제시한다. MFG는 입산자의 실화로 인해 발화 확률이 높은 등산로를 기반으로 산불 정찰을 위한 무인기의 비행경로를 자동으로 생성한다. MFG

는 산불 정찰의 실시간 모니터링 및 산불 초기 대응 기능을 향상하기 위해 CPS (Cyber Physical System) 환경에서 운용된다. 이를 통해 MFG는 인력과 시간을 소모를 줄이고, 산불 발생 위치와 확산 상태를 신속하게 파악할 수 있다.

우리는 MFG를 평가하기 위해 자동으로 생성한 비행경로가 실제 UAV에 적용 가능성을 실험했다. 실험은 시뮬레이터 환경에서 수행되었다. 실험 결과 MFG에서 생성된 비행과일을 UAV에 정상적으로 적용할 수 있음을 확인하였다. 또한, MFG에서 생성된 비행경로를 시뮬레이션 속 UAV에 적용한 결과 0.0002%의 오차 내외로 UAV가 정상 비행하는 것을 보였다.

II. 연구 배경

1. CPS (Cyber-Physical Systems)

CPS는 물리적인 시스템과 컴퓨터 기반의 시스템이 상호작용하는 개념으로 4차 산업의 핵심 기술로 인식되고 있다. CPS는 실제 세계의 물리적인 시스템과 가상 세계의 디지털 시스템이 연결되어 데이터 수집, 분석, 제어, 의사 결정 등을 수행한다. 가상 세계는 현실 세계의 동적인 상황을 반영하여 실시간 모니터링 및 원격 제어 기능을 제공할 수 있다 [6, 7].

CPS는 진단, 예방, 의사 결정 지원, 자율 제어 등 단순 모니터링이 아닌 고차원적인 프로세스를 가능하게 한다. 이는 스마트 시티, 스마트 국방 등의 분야에 적용될 것으로 전망된다. CPS를 통해 인력의 한계를 극복하고 효율적인 대응 시스템을 구축할 수 있다 [8].

CPS를 이용한 산불 감시 시스템은 UAV와 센서 네트워크를 통해 실시간으로 산불 상황을 모니터링할 수 있다 [9-12]. UAV는 산불 영역을 정찰 및 탐지하고 열화상 및

*Corresponding Author (insight@gnu.ac.kr)

Received: Jun. 30, 2023, Revised: Aug. 7, 2023, Accepted: Nov. 17, 2023.

S. J. Lee: GyeongSang National University (Associate Professor)

E. T. Choi: GyeongSang National University (Research Engineer)

C. H. Bae: GyeongSang National University (Ph.D Student)

J. W. Jeong: GyeongSang National University (M.S. Student)

* 본 논문은 2023년도 교육부의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과임 (2021RIS-003).

* 본 논문은 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 3 단계 산학연협력 선도대학 육성사업 (LINC 3.0-2023-11)의 연구 결과임.

센서 데이터를 수집하여 산불의 크기, 위치 및 확산 속도를 파악할 수 있다. 그리고 실시간 데이터 처리 및 분석을 통해 산불의 동향을 예측하고 예방 조치를 할 수 있다. CPS를 기반으로 한 UAV와 센서 네트워크의 통합을 통해 실시간으로 산불을 모니터링하고 예측하는 기술은 산불 관리 안전에 중요하다.

2. 산불 감시

우리나라 산불의 특성은 침엽수림이 가장 큰 면적을 차지하는 산림이 많고 밀도가 높아 산불 발생 시에 대형 산불로 확산될 확률이 높다 [13]. 산불은 산림 내의 임목, 낙엽 등의 가연 물질과 산소, 열과 화합한 산화반응의 현상이다. 산불은 연료, 산소, 열이 있어야 발생하며 이를 산불의 3요소라고 한다. 산불이 발생하기 위해서는 화원이 직접적인 요인이며, 간접적인 원인은 연료, 지형, 기상에 따른 연소의 발화 가능성, 강도, 진행 속도 등의 조건이 산불의 주요 요인이다 [14].

산불은 여러 가지 요인으로 발생하는데 자연발화와 인위적인 발화 두 가지로 나뉜다. 자연발화는 현재 기후가 크게 관계하는 건조함이 주요인이다. 인위적인 요인은 모닥불, 점화, 방화, 담배 등 입산자로 인한 부주의가 요인이다 [15]. 특히나 우리나라는 건조한 기후와 편서풍의 영향으로 인해 산불의 확산이 빠르며 진화가 어려운 특징이 있다. 최근 울진/삼척에서 일어난 산불은 9일 동안 울진 14,140ha, 삼척 2,162ha의 피해를 입혔으며 피해액은 9,0896억 원에 달한다 [15]. 이러한 대형 산불을 예방하기 위해서는 산불을 조기에 감시할 필요성이 있다.

산불의 감시 방법은 CCTV, 산불 감시원, UAV가 있다. CCTV를 이용한 방법은 산 정상에서 고해상도 카메라를 통해, 산불 지수가 높은 위치를 미리 지정하고, 자동 회전시켜 산림을 주야간에 실시간으로 관찰한다. 산불 감시원은 산불 취약 지역이나 산림지역을 중심으로 사람이 산불을 감시한다. UAV를 이용한 방법은 조종사가 무인기를 직접 조종하여 화재의 발생을 감시한다 [15, 16].

기존의 산불 감시 방법은 산불 발생 여부를 파악할 수 있지만, 산불의 발화 지점을 정확하게 파악하지 못하고, 발화 지점의 산불 특성을 인지하기에는 어려움이 있어 매년 산불 감시 카메라의 교체 비용과 유지 보수 비용으로 17억 9,700만 원의 막대한 비용이 발생하여 산불 감시의 효율성을 떨어뜨린다 [17]. 이러한 불필요한 감시를 통해 인력, 자원 및 시간을 낭비하고, 넓은 지대의 산림을 인력으로 감시하기에는 역 부족하므로 자원과 인력 낭비를 줄이는 UAV를 활용한 산불 감시 연구가 활발히 진행되어야 한다.

3. 경로 생성

산불 감시를 위한 UAV는 넓은 지역을 빠르게 탐색하고, 산불의 위치와 진행 상황을 실시간으로 파악해야 하므로 효율적이고 최적화된 비행경로 생성이 필요하다. UAV의 경로 생성 방법은 그리드 기반 경로 생성, 최적화 기반 경로 생

성, 공간 탐색 기반 경로 생성이 있다.

그리드 기반 경로 생성은 비행할 지역을 격자 형태로 분할하고, 최단 경로 알고리즘을 사용하여 전체 비행경로를 생성한다. 이는 비교적 작은 규모의 환경에서 효과적이고, 경로 생성의 효율성과 정확성에 영향을 미친다 [18]. 최적화 기반 경로 생성은 최적화 알고리즘을 사용하여 여러 개의 후보 경로를 생성하고 최적의 경로를 생성하는 방법이다. 하지만 이는 목적과 제약 조건의 정확한 정의가 중요하다 [19]. 공간 탐색 기반 경로 생성은 랜덤으로 노드를 확장하여 트리를 형성하고, 안전한 경로를 생성하는 방법이다. 이는 넓은 환경이나 복잡한 환경에서 작동할 때 계산의 복잡성 때문에 오버헤드가 발생한다 [20].

위의 경로 생성 방법들은 작은 규모의 환경에서 효과적이며, 제약 조건, 계산의 복잡성이 높은 단점으로 인해 재난 상황에서는 효율적이지 않다. 따라서 재난 상황에서 발화 확률이 높은 등산로를 기반으로 UAV의 경로를 생성하는 도구가 필요하다.

III. 관련 연구

1. 산불 감시

산불 감시 및 초동 대응은 산불의 확산 예방과 피해를 최소화할 수 있는 핵심 단계이다. 최근에는 UAV를 활용한 산불 감시와 초동 대응에 대한 연구가 진행되고 있다. 표 1에서 산불 감시를 위한 기존의 연구를 비교하였다.

Diyana 등의 연구 [3]는 산불의 발생을 자동으로 감시하고 AI를 이용한 산불 탐지 방법을 제시하였다. Ko 등의 연구 [4]는 조종사가 열화상 카메라를 탑재한 무인기를 직접 조종하여 화재 발생을 감시하는 방법을 제시하였다. Wardihani 등의 연구 [5]는 조종사가 직접 UAV를 조종하여 온도 센서를 이용하여 실시간으로 산불을 감시하는 방법을 제시하였다. 기존의 연구는 산불을 감시하기 위해 조종사가 UAV를 원격 조종하여 시간과 공간적 제약이 생기고, 불필요한 비용이 발생하기 때문에 비효율적이다. 따라서 UAV의 자율 비행을 위해 비행경로를 생성하여 산불을 감시할 필요성이 있다.

표 1. 산불 감시 기존 연구

Table 1. Forest fire Monitoring Research

	Diyana et al. [3]	Ko et al. [4]	Wardihani et al. [5]
Goal	♦ Auto AI wildfire monitoring	♦ Fire Protection Using UAV	♦ Real-time fire monitoring
Flight	♦ high/low elevation ♦ Specified Area ♦ Flight path not created	♦ Manual UAV control	♦ Manual UAV control ♦ Real-time monitoring
Detection	♦ AI fire detection	♦ thermal camera	♦ temperature sensor

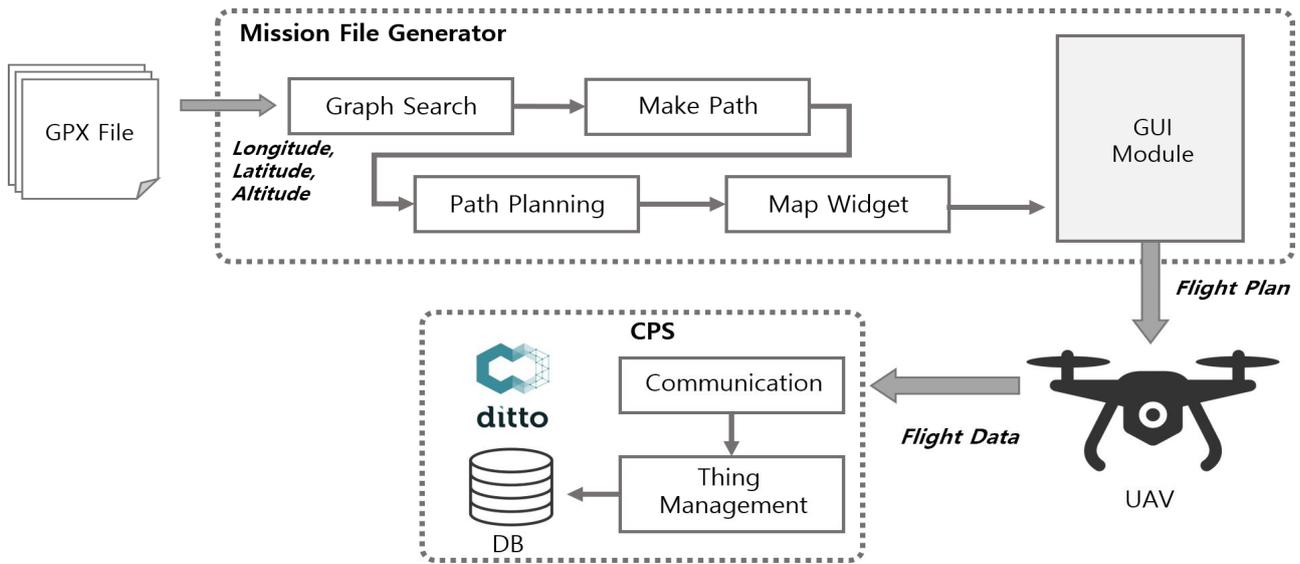


그림 1. 미션파일제너레이터 구조
 Fig. 1. Overall Architecture of MFG

2. 산불 감시를 위한 UAV의 경로 생성

산불의 초동 대응을 위해 시공간의 제약과 인명 피해가 적은 UAV를 활용한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. Joo 등의 [21] 연구는 등산로 기반의 산불 감시를 위해 UAV의 비행경로를 생성해 주는 기법을 제시하였다. Jeong 등의 [22] 연구는 등산로를 따라 비행하는 UAV로 산불을 감시하는 시스템을 설계했다. 기존의 연구 [21, 22]는 등산로 기반의 산불 감시를 위한 UAV의 비행경로를 생성해 주는 기법과 시스템을 설계만 하였다. 따라서 본 연구는 등산로를 기반으로 한 UAV의 비행경로를 생성하는 도구를 구현한다.

IV. 설계 및 구현

1. 설계

본 장에서는 MFG (Mission File Generator)의 동작 흐름과 내부 구조를 소개한다. MFG는 UAV를 위한 등산로 기반의 비행경로를 자동으로 생성하는 도구이다. 그림 1은 MFG의 전체적인 구조를 보여준다. MFG는 그래프 검색 (Graph Search), 경로 생성 (Make Path), 경로 계획 (Path Planning), 지도 시각화 (Map Widget), GUI (Graphical User Interface) 모듈로 구성되며, 추가적으로 CPS (Cyber Physical Systems)와 연동되어 구동된다.

MFG의 동작 방식은 다음과 같다. 첫 번째 GPX (GPS Exchange Format) 파일을 읽어와 DFS (Depth-First Search) [23] 알고리즘을 통해 비행경로를 생성하여 경로를 계획한다. 두 번째 위젯을 통해 GUI 상에 나타낸다. 세 번째 생성된 비행경로를 미션 컴퓨터 (Mission Computer)를 통해 UAV에 적용한다. 마지막으로 UAV로부터 수집된 비행 데이터 및 센서 데이터를 CPS로 전송한다.

그래프 검색은 산림청에서 제공하는 위/경/고도 정보가 포함된 GPS 데이터 형식인 XML 스키마 GPX 파일과 웹 크롤링을 통해 고도 데이터를 수집한다 [15]. 수집한 데이터는 하나의 자료구조로 구성한 후 노드 목록을 생성한다. 경로 생성은 DFS 알고리즘을 통해 비행경로 정보를 생성한다. 경로 계획은 생성된 비행경로 정보를 기반으로 비행경로 계획을 설정한다. 지도 시각화는 생성된 비행경로를 등산로 지도 표시 모듈인 Python의 Folium [24] 시각화 라이브러리를 사용하여 웨이포인트 (Waypoint)를 시각화한다. GUI 모듈은 사용자를 위한 전체적인 User Interface를 통해 생성된 비행경로를 시각화하고, 원하는 웨이포인트를 선택할 수 있다.

생성된 비행경로는 UAV에 적용되며, 비행 중인 UAV에서 수집된 비행 데이터를 연동된 CPS에 전달한다. CPS는 등록된 UAV와 통신하고, 통신 모듈을 관리하기 위한 모듈로 구성되어 있다. CPS는 UAV의 최신 데이터 및 과거 데이터를 관리하여 상태 모니터링 및 원격 제어 기능을 제공하여 비행 안정성을 높일 수 있다.

2. 구현

본 장에서는 등산로를 기반으로 한 UAV의 비행경로 생성 도구를 구현하기 위한 환경과 구현한 MFG를 소개한다. 구현에 사용된 소프트웨어 환경은 Visual Studio Code 1.75.1 프로그래밍 툴, gcc 5.4.0 컴파일러, Ubuntu 16.04.7 OS, Python 3.10.5를 사용했다. 하드웨어 운영 환경은 Intel (R) Xeon (R) Silver 4216 CPU @ 2.10GHz, 64GB RAM을 사용했다. CPS 환경은 Eclipse 재단에서 제공하는 오픈 소스용 디지털 트윈 프레임워크인 Ditto [25]를 사용하여 구축하였다.

그림 2는 본 연구에서 구현한 MFG의 GUI를 보여준다. 그림 2의 ①은 Python의 Folium 시각화 라이브러리를 사용한 시각화된 지도이다 [24]. 마우스 포인터를 이용하여 지도

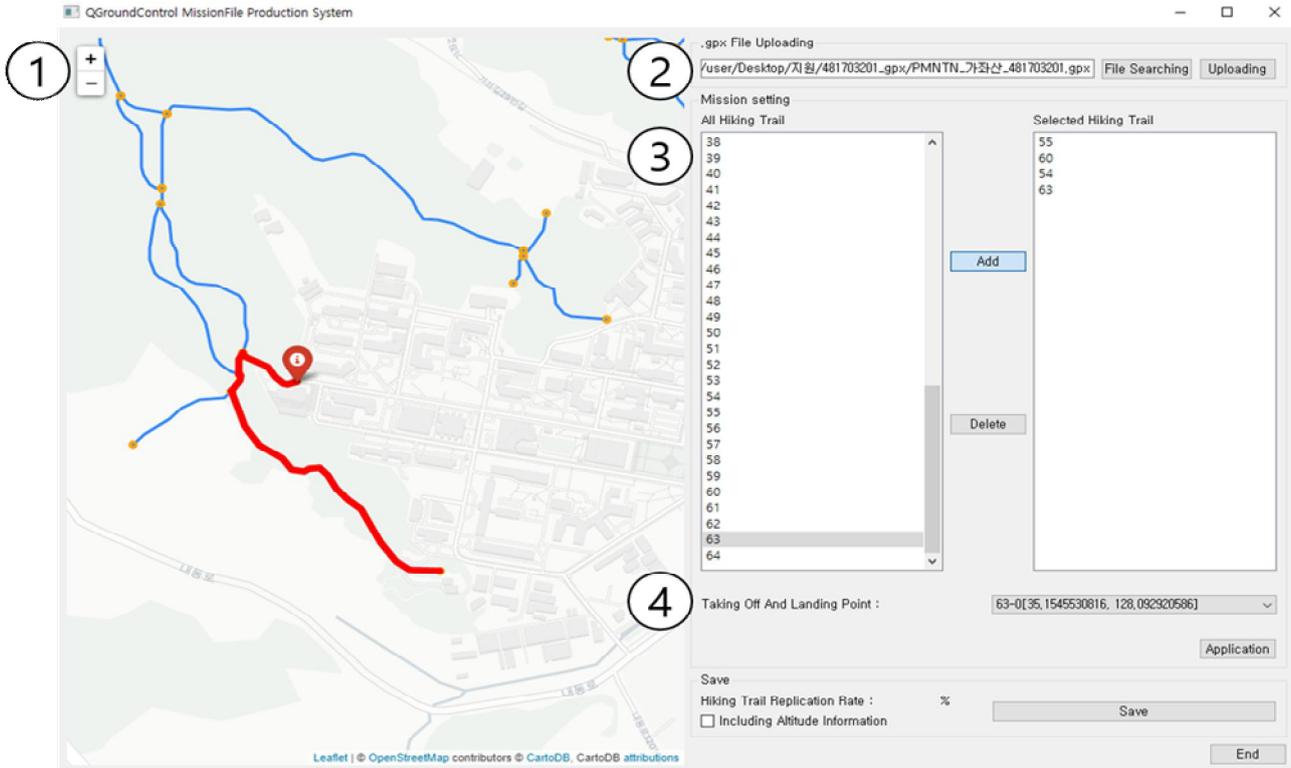


그림 2. 미션파일제너레이터 사용자 화면
Fig. 2. User Interface of MFG

```
"Altitude": 100,
"parameter": [0,
              0,
              0,
              null,
              35.1527955251,
              128.093562097,
              100]
```

그림 3. 미션파일제너레이터 비행 경로 파일 형식
Fig. 3. Flight Path File Generated by MFG

를 확대 및 축소와 UAV의 경로를 표시한다. ②는 산림청에서 제공하는 GPX file을 찾고 업로드하는 기능이다.

그림 2의 ③은 비행 경로를 위해 생성된 node들을 번호를 매겨 시각화한다. 전체 등산로는 하늘색 선으로 표시하고, 등산로의 시작점과 교차점은 주황색 점으로 표시한다. 생성된 비행경로는 빨간색으로 표시하며, 각 등산로의 번호를 지정하여 GUI의 우측 'All Hiking Trail' 칸에 나열한다. 'All Hiking Trail'에서 선택된 경로는 'Selected Hiking Trail' 칸에 나열된다.

그림 2의 ④는 Landing point를 'Taking off and landing point'의 'Hiking Trail Point' 칸에서 설정한다. 이후 지도에 생성된 비행경로를 생성하고, 등산로의 모사율을 'Application' 칸에서 설정한다. 이후 'Save' 칸을 통해 JSON file 형식으로 변환하여 저장하여 UAV의 비행경로를 생성한

CPS Environment: UAV State Configure

Attributes

manufacturer Raspberry Pi Foundation		
hostname Raspditto		

lastupdate 2023-10-16 15:07:31.436733	Battery 84 %
---	------------------------

Roll 0.247 °	Pitch 0.26 °	Yaw 89.223 °
------------------------	------------------------	------------------------

Altitude 80.5 m	Speed 4.9923 m/s	GPS lat 35.152809 lon 128.104011
---------------------------	----------------------------	---

그림 4. 사이버 물리 시스템 환경에서 실시간 모니터링 예시
Fig. 4. An Examples of State Monitoring Features Provided in a CPS Environment

다. 생성된 JSON file은 그림 3와 같다.

그림 4는 Ditto로 구현한 CPS 환경에서 UAV의 상태를 모니터링하는 기능을 보여준다. Ditto는 그림 4와 같이 웹 페이지로 UAV의 최신 데이터를 사용자에게 제공해준다. CPS 환경에서 제공하는 UAV 상태 데이터는 배터리 잔량, 자세 (Roll, Pitch, Yaw), 고도, 속도, GPS (위도, 경도)가 있

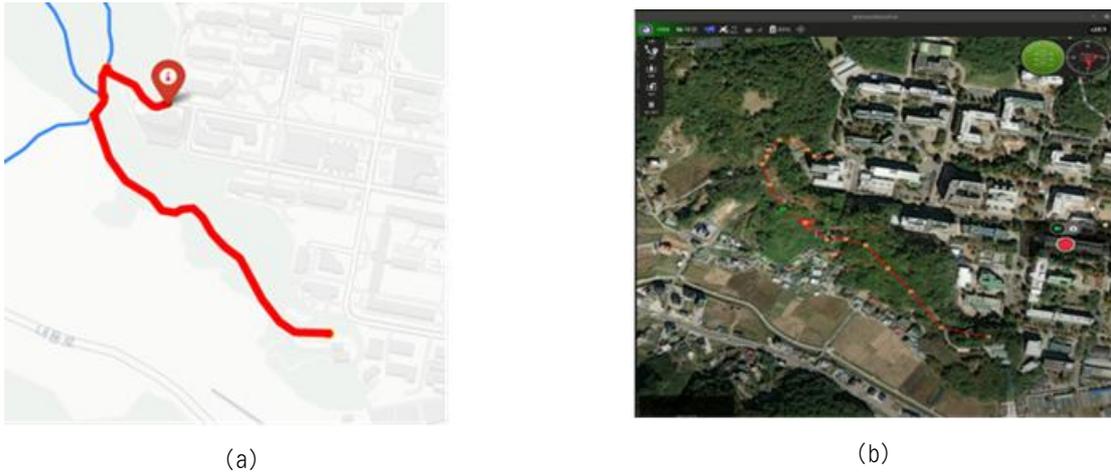


그림 5. 미션파일제너레이터 비행 경로 생성 확인
Fig. 5. MFG-generated Flight Path Validation

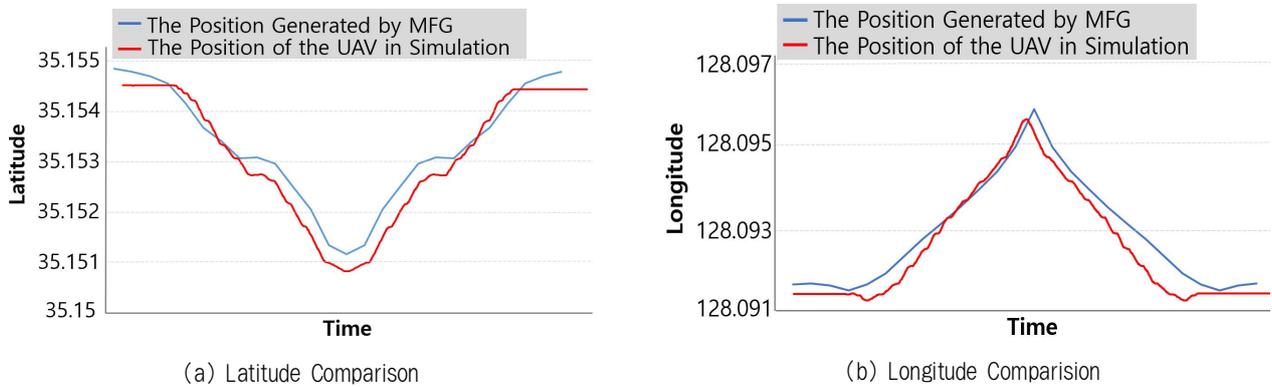


그림 6. 미션파일제너레이터와 시뮬레이터의 비행 경로 궤적 비교
Fig. 6. The Flight Path Generated by MFG and the Flight Trajectory of the Simulated UAV

V. 실험

실험은 2가지로 구분된다. 첫 번째는 MFG에서 생성한 비행경로가 UAV에 적용 가능성을 평가한다. 두 번째는 MFG에서 생성된 비행 좌표 (위/경도)와 가제보 (Gazebo) [26] 시뮬레이션에서 비행하는 비행 좌표가 일치하는지 평가한다.

실험 환경은 Visual Studio Code 1.75.1 프로그래밍 툴 및 gcc 5.4.0 컴파일러를 사용했다. 그리고 Ubuntu 16.04.7 OS, Python 3.10.5를 사용했다. 하드웨어 운영 환경은 Intel (R) Xeon (R) Silver 4216 CPU @ 2.10GHz, 64GB RAM에서 실험을 진행하였다.

그림 5는 MFG에서 생성한 비행 경로를 UAV에 적용한 결과이다. 실험은 Ubuntu 16.04.7 LTS 운영체제를 기반으로 한 컴퓨터에서 QGC (QGround Control)와 오픈소스 3D 시뮬레이션 도구인 가제보를 ROS (Robot Operating System)로 연동하여 진행했다. 그림 5 (a)는 우리가 제안한 UAV의 비행 경로 생성 도구인 MFG를 이용하여 비행경로가 생성되었

음을 확인하였다. MFG에서 경로를 생성하고 미션파일을 생성하면 그림 3과 같은 JSON 파일 형식으로 저장된다. 그림 5 (b)는 MFG가 생성한 비행경로를 ArduPilot 또는 PX4 Pro와 장치를 위한 비행 제어 및 구성을 제공하는 GCS (Ground Control System)인 QGC에 업로드한다. 이후 MFG가 생성한 비행경로가 QGC에서 생성된 것을 확인하였다.

그림 6은 MFG가 생성한 비행경로와 가제보 시뮬레이션에서 UAV의 GPS 값을 비교한 결과이다. 그림 6 (a)는 위도를 비교한 그래프이다. MFG에서 생성한 비행경로는 웨이포인트로 구성되어 있기 때문에 시뮬레이션에서 추출한 데이터와 개수가 다르다. 따라서 MFG에서 생성한 비행경로에 보간법을 적용하여 비교하였다. 비교 결과 시뮬레이션 상의 UAV와 MFG에서 생성한 비행경로와 약 0.001 %의 매우 작은 오차를 보였다. 그림 6 (b)는 경도를 비교한 그래프이다. 경도를 비교한 결과 약 0.0002%의 매우 작은 오차를 보였다. 직관적으로 판단하기 위해 약 0.0002%를 m (미터) 단위로 변환하면 $\frac{40,030km(지구둘레)}{360} = 111km$ 에 따

라 위도 1도당 변화하는 지구 표면 거리가 약 111km임을 알 수 있다. 따라서 0.0002%의 오차가 0.222m임을 확인하였다. 이를 통해 MFG에서 생성된 비행경로를 UAV에 적용할 수 있음을 확인하였다.

VI. 결론

본 연구는 실시간으로 산불을 감시하고 예방하기 위한 CPS 환경에서 UAV의 자동 경로 생성 도구인 MFG를 제안한다. MFG는 효율적인 산불 감시를 위해 발화 확률이 높은 등산로를 기반으로 UAV의 비행경로를 생성한다. MFG는 DFS 알고리즘을 통해 경로를 생성한 후 비행경로를 생성한다. 생성된 비행경로는 UAV에 적용되고 CPS와 연동하여 UAV의 비행 데이터를 수집한다. MFG를 평가한 결과 MFG에서 생성된 비행경로를 UAV에 적용할 수 있음을 QGC를 통해 확인했다. 또한, MFG가 생성한 비행경로와 가제보(Gazebo) 시뮬레이터 상의 UAV의 비행 좌표를 비교한 결과 0.002%의 매우 작은 오차율을 보였다. 이를 직관적으로 판단하기 위해 위도 1도당 변화하는 표면적으로 변환하여 오차가 0.222m임을 확인하였다. 이를 통해, 우리는 MFG가 생성한 비행경로를 실제 UAV에 적용할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구로는 UAV로 측정된 센서 데이터를 실시간으로 수집하여 CPS에서 비행경로를 원격 제어하는 연구를 할 것이다.

References

- [1] S. Y. Lee, H. P. Lee, "Analysis of Forest Fire Occurrence in Korea," *Fire Science and Engineering*, Vol. 20, No. 2, pp. 54-63, 2006 (in Korean).
- [2] J. K. Bae, S. Y. Lee, "Construction Plan of Fire Fighter Conduct Manual on Forest Fire Initial Attack : Case Study on Fire Fighter of 119 Safty Center In Gyeongbuk Province," *Crisisonomy*, Vol. 8, No. 1, pp. 231-246, 2012 (in Korean).
- [3] D. Kinaneva, G. Hristov, J. Raychev, P. Zahariev, "Early Forest Fire Detection Using Drones and Artificial Intelligence," *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp. 1060-1065, 2019.
- [4] G. M. Ko, W. Y. Kim, J. S. Kim, H. M. Park, K. C. Kang, "Implementation of laceration Drone to Detect the Cause of Fire Early," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 526-527, 2022 (in Korean).
- [5] E. Wardihani, M. Ramdhani, A. Suharjono, T. A. Setyawan, S. S. Hidayat, Helmy, S. Widodo, E. Triyono, F. Saifullah, "Real-time Forest Fire Monitoring System Using Unmanned Aerial Vehicle," *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 13, pp. 1587-1594, 2018.
- [6] C. K. Keerthi, M. A. Jabbar, B. Seetharamulu, "Cyber Physical Systems (CPS):Security Issues, Challenges and Solutions," *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCCIC), Coimbatore, India*, pp. 1-4, 2017.
- [7] M. G. Won, S. H. Son, T. J. Park, "An Overview of Cyber-physical Systems," *Telecommunications Review*, Vol. 24 No. 4, pp. 450-459, 2014 (in Korean).
- [8] S. H. Lee, W. T. Kim, J. C. Ryu, "Efficient Data Distribution Techniques in CPS," *Journal of the Korean Institute of Embedded Systems*, Vol. 7, No. 5, pp. 241-246, 2012 (in Korean).
- [9] H. Wang, H. Zhao, J. Zhang, D. Ma, J. Li, J. Wei, "Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks: A Cyber Physical System Perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 22, No. 2, pp. 1027-1070, Secondquarter 2020.
- [10] N. Moghadasi, A. Kulkarni, D. Crayton, R. Grissom, J. H. Lambert, L. Feng, "Formal Methods in Unmanned Aerial Vehicle Swarm Control for Wildfire Detection and Monitoring," *IEEE International Systems Conference (SysCon)*, Vancouver, BC, Canada, pp. 1-8, 2023.
- [11] X. Li, A.V. Savkin, "Networked Unmanned Aerial Vehicles for Surveillance and Monitoring: A Survey," *Future Internet*, Vol. 13, No.7: 174, 2021.
- [12] D. Abeyrathna, P. C. Huang, X. Zhong, "Anomaly Proposal-Based Fire Detection for Cyber-Physical Systems," *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pp. 1203-1207, 2019.
- [13] M. W. Lee, S. Y. Lee, J. H. Lee, "A Study on the Characteristics of Forest Fire in Korea in terms of Forest Fire Statistics." *Journal of the Korean Society for Disaster Prevention* Vol. 12, No.5, pp. 185-192, 2012 (in Korean).
- [14] S. Y. Lee, J. E. Kim, "An Analysis of Meteorological Factors Affecting the Large-Scale Spring Forest Fire in Yeongdong, Gangwon-do," *Journal of the Korean Society for Disaster Prevention* 11, No.1, pp. 37-43, 2011 (in Korean).
- [15] <https://www.forest.go.kr/>.
- [16] S. Y. Lee, H. S. Lee, H. P. Lee, C. G. Kwon, "Viewshed Analysis of Fire Detection Facilities and Classification of Forest Fire Hazard Regions in Samcheok City," *Korean Society Of Hazard Mitigation*, Vol. 10, pp. 229, (in Korean).
- [17] <http://www.dhns.co.kr/news/articleView.html?idxno=294298>
- [18] H. W. Jang, H. J. Lee, J. G. Byun, "Grid-Based Roadmap Generation Algorithm for Multi-Path Exploration," *Proceedings of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference*, pp. 669-670, 2019 (in Korean).
- [19] J. J. Park, S. H. Park, S. S. Shin, C. K. Yoo, "A Study on an Algorithm for Automatic Generation of Optimal Waypoints for Terrain Avoidance." *Korean Journal of Aeronautics and Space Sciences*, Vol. 37, No. 11, pp. 1104-1111, 2009 (in Korean).
- [20] K. H. Hong, J. H. Won, S. H. Park, "Research on

Drone Safe Flight Map Construction and Flight Path Search Algorithm.” Journal of the Korean Society for Multimedia, Vol. 24, No. 11, pp. 1538-1551, 2021 (in Korean).

- [21] G. H. Joo, M. G. Gang, N. Y. Goo, J. S. Park, H. W. Lee, S. J. Lee. “Automatic Mission File Generation Scheme for Wildfire Detection Drones System,” Proceedings of the KSMPE Conference, pp. 324-324, 2021 (in Korean).
- [22] H. R. Jeong, G. R. Kim, N. R. Kim, J. S. Ha, J. S. Park, S. J. Lee, “GCS Core Technology for Forest Fire

- Detection Quadcopter,” ISATMP, 2020.
- [23] B. Awerbuch, “A new Distributed Depth-First-Search Algorithm,” Information Processing Letters, Vol. 20, No. 3, pp. 147-150, 1985.
- [24] <https://python-visualization.github.io/folium/latest/>
- [25] <https://eclipse.dev/ditto/>
- [26] N. Koenig, A. Howard, “Design and use Paradigms for Gazebo, an Open-source Multi-robot Simulator,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Vol. 3, pp. 2149 - 2154, 2004.

Ji-Won Jeong (정지원)



2022 Department of Business Administration from Gyeongsang National University (B.S.)
 2022~Department of Aerospace Software engineering from Gyeongsang National University (Master course)

Field of Interests: aircraft software, multi-threaded software, concurrency faults, system software
 Email: jjion4078@gnu.ac.kr

Chang-Hui Bae (배창희)



2021 Department of Aeronautical Software Engineering, Kyungwoon University (B.S.)
 2023 Department of AI Convergence Engineering, Gyeongsang National University (M.D.)
 2023~Department of AI Convergence Engineering, Gyeongsang National University (Ph.D course)

Field of Interests: aircraft Software, multi-threaded programs, and digital twin
 Email: chbae@gnu.ac.kr

Eu-Teum Choi (최은뜸)



2014 Department of Informatics from Gyeongsang National University (M.D.)
 2021 Department of Informatics from Gyeongsang National University (Ph.D.)
 2021~Convergence research center for Materials and Mechanical Systems

from Gyeongsang National University (Research Engineer)
 Field of Interests: aircraft software, multi-threaded software, concurrency faults, software health management system
 Email: etchoi@gnu.ac.kr

Seong-Jin Lee (이성진)



2006 Electronics and Computer Engineering, Hanyang University (B.S.)
 2008 Electronics and Computer Engineering, Hanyang University (M.S.)
 2015 Electronics and Computer Engineering, Hanyang University (Ph.D.)

2015~2017 Hanyang University (PostDoc.)
 2017 Hanyang University (Assistant Research Professor)
 2017~Gyeongsang National University (Associate Professor)
 Field of Interests: Field of Interests: system software, avionics software, and AI
 Email: insight@gnu.ac.kr