

A Study on the Design and Implementation of Multi-Disaster Drone System Using Deep Learning-Based Object Recognition and Optimal Path Planning

Jin-Hyeok Kim[†] · Tae-Hui Lee^{††} · Yamin Han^{†††} · Heejung Byun^{††††}

ABSTRACT

In recent years, human damage and loss of money due to various disasters such as typhoons, earthquakes, forest fires, landslides, and wars are steadily occurring, and a lot of manpower and funds are required to prevent and recover them. In this paper, we designed and developed a disaster drone system based on artificial intelligence in order to monitor these various disaster situations in advance and to quickly recognize and respond to disaster occurrence. In this study, multiple disaster drones are used in areas where it is difficult for humans to monitor, and each drone performs an efficient search with an optimal path by applying a deep learning-based optimal path algorithm. In addition, in order to solve the problem of insufficient battery capacity, which is a fundamental problem of drones, the optimal route of each drone is determined using Ant Colony Optimization (ACO) technology. In order to implement the proposed system, it was applied to a forest fire situation among various disaster situations, and a forest fire map was created based on the transmitted data, and a forest fire map was visually shown to the fire fighters dispatched by a drone equipped with a beam projector. In the proposed system, multiple drones can detect a disaster situation in a short time by simultaneously performing optimal path search and object recognition. Based on this research, it can be used to build disaster drone infrastructure, search for victims (sea, mountain, jungle), self-extinguishing fire using drones, and security drones.

Keywords : ACO, Swarm, Drone, Deep Learning, Path Planning

딥러닝 기반 객체 인식과 최적 경로 탐색을 통한 멀티 재난 드론 시스템 설계 및 구현에 대한 연구

김진혁[†] · 이태희^{††} · Yamin Han^{†††} · 변희정^{††††}

요약

최근 태풍, 지진, 산불, 산사태, 전쟁 등 다양한 재난 상황으로 인한 인명피해와 자금 손실이 꾸준히 발생하고 있고 현재 이를 예방하고 복구하기 위해 많은 인력과 자금이 소요되고 있는 실정이다. 이러한 여러 재난 상황을 미리 감시하고 재난 발생의 빠른 인지 및 대처를 위해 본 논문에서는 인공지능 기반의 재난 드론 시스템을 설계 및 개발하였다. 본 연구에서는 사람이 감시하기 힘든 지역에 여러 대의 재난 드론을 이용하며 딥러닝 기반의 객체 인식 알고리즘과 최적 경로 탐색 알고리즘을 적용해 각각의 드론이 최적의 경로로 효율적 탐색을 실시한다. 또한 드론의 근본적 문제인 배터리 용량 부족에 대한 문제점을 해결하기 위해 Ant Colony Optimization (ACO) 기술을 이용하여 각 드론의 최적 경로를 결정하게 된다. 제안한 시스템 구현을 위해 여러 재난 상황 중 산불 상황에 적용하였으며 전송된 데이터를 기반으로 산불지도도를 만들고, 빔 프로젝터를 탑재한 드론이 출동한 소방관에게 산불지도도를 시각적으로 보여주었다. 제안한 시스템에서는 여러 대의 드론이 최적 경로 탐색 및 객체인식을 동시에 수행함으로써 빠른 시간 내에 재난 상황을 인지할 수 있다. 본 연구를 바탕으로 재난 드론 인프라를 구축하고 조난자 탐색(바다, 산, 밀림), 드론을 이용한 자체적인 화재진압, 방범 드론 등에 활용할 수 있다.

키워드 : ACO, 군집, 드론, 딥러닝, 경로 설정

※ 본 논문은 2020년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2020R1A2C1004390).

※ 이 논문은 2020년 한국정보처리학회 추계학술발표대회의 우수논문으로 "딥러닝 기반 객체 인식과 최적 경로 탐색을 통한 멀티 재난 드론 시스템 설계 및 구현에 대한 연구"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임. 기초연구사업임(NRF-2020R1A2C1004390).

† 준 회원 : 수원대학교 정보통신공학과 학사과정

†† 비 회원 : 수원대학교 정보통신공학과 학사과정

††† 비 회원 : 수원대학교 컴퓨터공학과 박사

†††† 비 회원 : 수원대학교 정보통신학부 교수

Manuscript Received : December 22, 2020

Accepted : January 28, 2021

* Corresponding Author : Heejung Byun(heejungbyun@suwon.ac.kr)

1. 서론

태풍, 지진, 산불, 산사태, 전쟁 등 다양한 재난 상황으로 인한 인명피해와 손실이 꾸준히 발생하는 상황에서 이를 예방하고 복구하기 위해 많은 인력과 자금이 소요된다. 현재 많은 연구가 진행되고 있는 로봇과 드론 기술은 떠오르는 미래 기술로 주목받고 있으며 농업, 군사, 물류, 엔터테인먼트 등 다양한 산업에 활용될 수 있다. 특히 재난 상황을 고려하여 설계된 기존의 재난 드론 시스템은 각각의 특수한 상황에 맞추어 설계되어 있다. 산불을 예로 들면, 열화상 카메라를 통해 산불을 검출해내고 비행경로는 전체 지역을 탐색하기 위해 Grid 형태의 자동 WP (Way Point) 지정 비행경로를 사용하고 있다. 열화상카메라의 가격은 드론 1대의 제작비용보다 높은 가격대를 형성하고 있으므로 비용적인 측면에서 비효율적이다. 전체 지역을 탐지하는 것은 비행거리를 효율적으로 제어하지 못해 긴 비행시간을 초래하고 이는 제한된 배터리로 인해 비행시간에 치명적인 영향을 받는 드론에 더 큰 영향을 받는다.

이러한 문제를 해결하고 비용을 최소화하기 위해 본 연구에서는 인공지능 기반의 재난 드론 시스템을 설계 및 구현하였다. 재난 드론의 본질적 문제라고 할 수 있는 제한된 배터리 문제와 열화상 카메라의 비용 문제를 줄일 수 있도록 하였다. 이를 위해 딥러닝 기반의 객체 인식 알고리즘을 이용하여 다양한 재난 상황을 드론에 학습시켜 재난상황을 파악, 그에 따른 조치를 취할 수 있게 제안하였고 Ant Colony Optimization (ACO) 기술을 이용하여 각 드론의 최적 경로를 찾는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 미니 빔 프로젝터를 드론에 탑재해 시각적 정보를 전달, 추가로 활용 할 수 있는 방안에 관하여 연구하였고 구현 결과를 보였다.

2. 멀티 재난 드론 시스템 설계

2.1 시스템 구성도

Fig. 1의 우측은 인공지능 군집 드론의 구성도이고 좌측은 빔프로젝터를 탑재한 시각적 정보 제공 드론이다. 각 단계를 설명하면 다음과 같다: 1. 지상관제시스템 GCS (Ground Control System)에 각 드론 (3대)에 탐지구역을 나누어 최적 경로탐색 알고리즘을 적용한 탐지 경로를 전달한다. 2. 각 드론은 지정된 경로를 비행하며 재난 상황을 감시한다. 3. 산불이 감지된 경우 GCS에 정보를 전달한다. 4. 소방서의 출동과 함께 출동지역으로 빔 프로젝터를 탑재한 드론을 출동시킨다. 5. 산불의 위치정보가 포함된 지도를 소방관들에게 시각적 정보로써 제공한다.

2.2 하드웨어 구성도

본 연구에서는 제안한 멀티 재난 드론은 f450 frame assembly를 이용하여 몸체를 만들고 드론 컨트롤을 위한

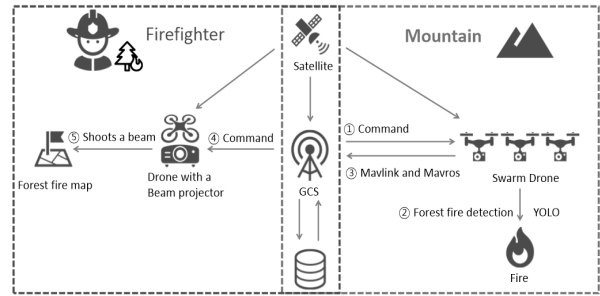


Fig. 1. System Structure

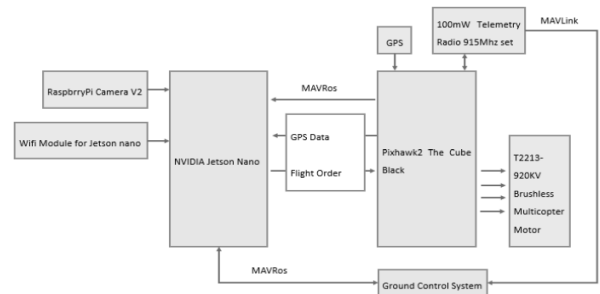


Fig. 2. Hardware Structure of Drone System

Pixhawk2 The Cube Black과 화재 감지 및 GCS 통신을 위한 Jetson Nano를 Serial 통신방식으로 연결해 구현하였다. Pixhawk2 The Cube Black에는 GPS와 Telemetry Radio를 연결하여 실시간 위치 정보 수신과 GCS와 통신이 가능하게 하였다. Jetson Nano는 파이카메라를 연결해 화재를 감시하고 wifiModule을 달아 GCS와 통신이 가능하게 하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 제안한 멀티 재난 드론의 전체 구조이다. GCS에서 최적 경로 탐색 알고리즘을 통해 최적의 비행 경로를 도출해 낸다. 도출된 비행경로는 Pixhawk2 The Cube Black에 Telemetry Radio를 통해 전달한다. 드론이 지정된 경로를 비행할 때 Jetson Nano는 RaspbrryPi Camera로 촬영한 영상을 GCS에 MAVLINK(Micro Air Vehicle Link) 기반 ROS 패키지 MAVROS를 이용하여 전송한다. Jetson Nano에서는 Raspberrypi Camera와 You Only Look Once (YOLO)를 이용하여 화재의 유무를 판단한다. 화재라고 판단될 경우 Jetson Nano는 Pixhawk2 The Cube Black에서 현 좌표를 수신받고 화재 사진과 함께 GCS에 전송한다.

2.3 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘

기존의 화재 감지 드론들은 열화상 카메라를 탑재하여 사용해왔다. 열화상 카메라는 온도를 측정하므로 산불을 카메라 자체로 감지해 낼 수 있지만, 카메라의 비용이 너무 비싸므로 여러 대의 드론으로 넓은 지역을 탐색하도록 운용하기에는 비용이 너무 커진다. 하지만 딥러닝 기반의 객체 인식 알고리즘 You Only Look Once (YOLO) [1] 를 사용하여 훨씬 적은

```

Algorithm 1: The pseudo code of ACO
Input: The positions of important way point
Output: The shortest path
1 Initialize The number of ant;
   the value of pheromone;
   the position of each ant;
while The maximum iteration is not met do
2   foreach ant do
3     Calculate the probability of the next position to be
       visited
4   end
5   Update pheromone values
   Update the best solution of path
6 end
7 Return The best solution with shortest path
    
```

Fig. 3. Optimal Path Selection Algorithm using ACO



Fig. 4. Communication between Pixhawk and Jetson Nano

비용으로 산불을 탐지할 수 있었다. 본 연구에서 사용한 딥러닝 모델 YOLOv2-tiny는 한번에 Image detection을 완료하는 One stage method이다. 전체적인 알고리즘의 구성은 Input -> Model -> Output -> Loss 로 나뉜다. 적절한 model에 image를 Input으로 넣으면 image의 object들에 대한 bounding Box와 객체가 output으로 산출되는데 이와 실제 Label을 비교하여 Loss를 구한다. 이 Loss를 최소화하기 위해 Back propagation 과정 (Loss -> Output -> Model)을 하여 Model 내의 가중치를 수정하고 이 과정을 반복한다.

2.4 최적 경로 탐색 알고리즘

기존의 드론 산업 분야의 대부분에서는 Fig. 7의 좌측과 같이 특정 경계선을 만든 후 경계선 내의 지역을 직선 왕복 형태(Gird)로 왕복하는 비행을 사용해왔다. 이러한 비행은 전체 지역을 빠지지 않고 비행할 수 있다는 장점이 있지만, 탐색하지 않아도 되는 지역까지 모두 탐색하게 되는 단점과 그로 인해 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 하지만 재난 상황은 드론이 전체지역을 모두 탐색할 필요가 없다. CCTV, 현장 직원 등 분명 다른 수단 또는 드론이 감시할 필요가 없는 장소도 존재하기 때문이다. 효율적이지 않은 비행시간은 곧 배터리 부족 문제와 직결되기 때문에 무거운 대용량의 배터리를 탑재하기

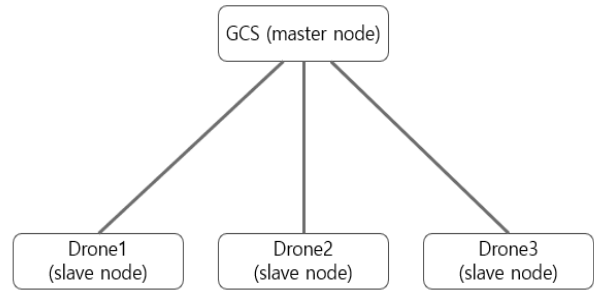


Fig. 5. ROS Communication Concept

힘든 드론에는 치명적인 문제이다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 Ant Colony Optimization (ACO) [2] 알고리즘을 응용하여 최적 경로탐색 알고리즘을 개발하였다.

ACO 알고리즘은 먹이를 찾는 개미의 행동을 모티브로 한다. 개미들은 먹이가 있는 목표지점을 찾아내면 페로몬 (pheromone)이라는 물질을 분비하며 집으로 돌아온다. 개미들은 페로몬의 농도가 짙은 곳을 가는 특성이 있고, 개미가 집으로 돌아오는 횟수가 증가할수록 페로몬의 농도는 짙어진다. 긴 경로와 짧은 경로가 있으면 같은 시간에 짧은 경로를 더 많이 이동하게 되므로 짧은 경로는 페로몬의 농도가 더욱 짙어지게 된다. 페로몬은 휘발성이기 때문에 시간이 지나면서 긴 경로에는 페로몬의 농도가 더욱 낮아진다. 결국 모든 개미들은 짧은 경로를 선택하게 된다. 이러한 최적 경로 탐색 알고리즘을 Fig. 3에 기술하였다.

2.5 픽스호크와 잭슨노 통신

Pixhawk에는 MAVLINK 기반의 펌웨어를 설치하였다. MAVLINK (Micro Air Vehicle Link) [3]는 드론과 같은 소형 무인 장치들 및 자체 내의 서로 다른 내부 컴포넌트와 통신하기 위한 매우 가벼운 메시징 프로토콜이다. 2009년 초에 Lorenz Meier에 의해 처음 개발되었으며, 현재는 많은 개발자가 프로토콜 발전에 기여하고 있다. Pixhawk와 연결된 Serial 방식으로 연결된 Jetson nano 보드는 MAVLINK 프로토콜을 확장한 ROS패키지 MAVROS를 설치하여 Fig. 4와 같이 픽스호크와 통신하였다. Jetson nano는 Ubuntu 18.04 운영체제에 NVIDIA JetPack 4.2.2 버전과 ROS Melodic을 설치하여 구성하였다. Ros는 로봇과 로봇 사이의 통신을 만들어주거나, 로봇과 센서의 통신을 이어주거나, 오픈소스와 쉽게 연결 (통신) 시켜주는 도구이다. 노드를 통해 topic 혹은 service를 이용하여 데이터를 주고받게 된다. 서버를 마스터 노드로 지정하고 각 드론에 NAMESPACE를 지정하여 Fig. 5와 같이 각기 구분된 슬레이브 노드로 지정하여 구성하였다.

마스터는 접속하는 슬레이브들과 접속 상태를 유지하지 않는 HTTP 기반의 프로토콜인 XMLRPC를 이용하여 슬레이브들과 통신한다.

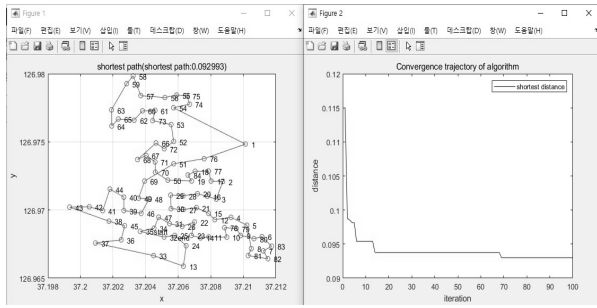


Fig. 6. Result of the Proposed Optimal Path Selection Algorithm Based on ACO



Fig. 7. (Left) Flight path of Drone with grid Method (Right) Flight Path of Drone with the Proposed Algorithm

3. 구현 결과

3.1 최적 경로 탐색 결과

Fig. 6의 좌측은 알고리즘 A에서 기술한 ACO를 적용한 최적 경로탐색 알고리즘 수행 결과이다. Fig. 6의 우측은 결과 도출을 위한 탐색 횟수 수치 그래프이다. Fig. 7의 좌측은 기존에 사용되던 Grid 방식으로 지도에 그린 경로이고, Fig. 7의 우측은 개발된 ACO를 적용한 최적 경로탐색 (optimal path) 알고리즘을 적용시켜 지도에 그린 경로이다.

3.2 드론의 비행시간

ArduPilot개발팀이 개발한 Mission Planner [4]에서 지원되는 드론 시뮬레이터를 이용하여 비행시간 데이터를 측정하였다. 드론의 이동속도는 5m/s로 통일하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서 구현된 최적 경로 알고리즘을 적용했을 때와 일반적으로 사용하는 Grid를 적용했을 때를 비교해보았다. Table 1의 데이터를 비교해보면 제안한 최적 경로 알고리즘을 적용했을 때가 훨씬 효율적이라는 것을 알 수 있다. 비행시간의 단축은 앞서 말했던 제한된 배터리로 넓은 지역을 탐색하는 문제를 해결해 줄 수 있다. 시간 단축과 다수의 드론을 동시에 운용함으로써 넓은 재난지역을 효율적으로 탐색이 가능하게 한다.

3.3 딥러닝 기반의 화재 감지 구현

본 연구에서는 젯슨나노에서 가장 최적화된 성능을 보여주

Table 1. Drone Flight Time of Grid method and Proposed Algorithm

Grid		Proposed Algorithm	
Flight time	min	Flight time	min
12:15:38~12:39:47	24	11:44:39~12:02:43	18
12:44:48~13:08:56	24	12:07:59~12:26:04	18
14:26:48~14:50:56	24	12:51:19~13:09:22	18
14:55:19~15:19:26	24	14:08:34~14:26:39	18
15:23:25~15:47:34	24	16:33:23~16:51:28	18

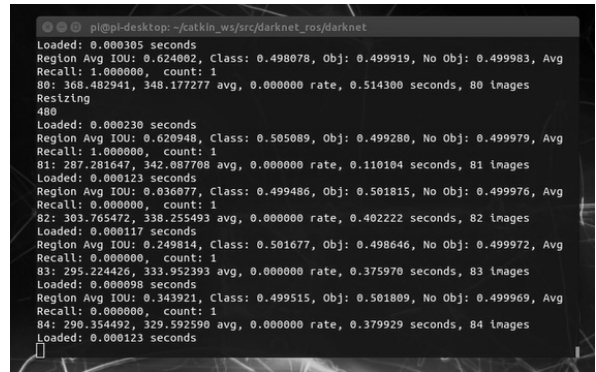


Fig. 8A. Fire Date Training

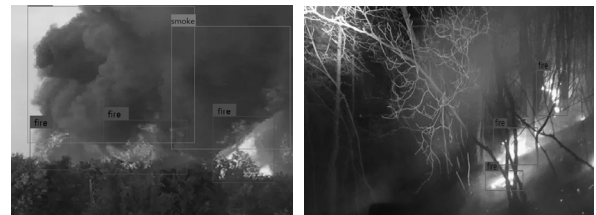


Fig. 8B. Fire Recognition using Yolo

는 YOLOv2-tiny를 사용하였다. 웹 크롤링을 통해 약 6000개의 화재관련 데이터를 수집하여 연기(smoke)와 불(fire)을 라벨링 한 후 학습시켜 보다 정확한 화재감지를 할 수 있게 하였다. Fig. 8A는 데이터를 학습시키는 화면이다.

Fig. 8B는 화재에 대한 데이터를 직접 학습시켜 연기(smoke)와 불(fire)을 Image detection 한 결과물이다. 본 연구에서는 여러 가지 재난사한 중 산불에 초점을 맞추어 진행하였기 때문에 불과 연기에 대한 Image detection이 가능하지만, 추가로 다른 여러 가지 재난과 필요한 정보를 검출해내기 위한 이미지 데이터를 추가해 기계학습 시킨다면, 지진 가뭄 홍수 요구조사 탐색 등 다양한 곳에서 활용될 수 있는 인공지능 군집 드론이 될 것이다.

3.4 GCS와 드론의 통신 구현

마스터 노드인 GCS는 각 드론의 영상을 실시간으로 전송받아 확인 할 수 있다. 화재관련 객체(불, 연기) 발견 시 작성된 파이썬 코드를 통해 드론의 화재관련 객체 발견 좌표와 화



Fig. 9. Communication with GCS and Drone

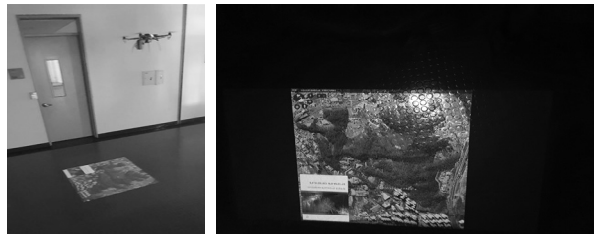


Fig. 10. Detection of Fire

재현장 사진을 NavSat(gps정보)와 Image(사진) topic으로 GCS에 보낸다. GCS에서는 받은 topic 정보와 Mapviz패키지를 이용해 지도에 산불이 난 위치가 표시된 좌표와 화재현장 사진을 볼 수 있다. 또한 사진정보는 찍힌 시간과 함께 GCS에 저장되어 축적된다. 이를 통해 GCS에서는 효율적인 모니터링과 신속한 대응을 할 수 있게된다.

3.5 멀티 재난 드론 시스템

Fig. 9의 그림의 좌측은 드론의 GPS정보를 전달받아 현재 위치(초록점)와 화재가 감지된 위치(빨간점)를 보여준다. 그림의 우측은 각 드론의 영상 정보를 실시간으로 전송받아 서버에서 보여준다. 네 개의 칸 중 첫 번째 칸은 드론이 화재를 감지했을 때 감지된 화재 이미지를 보여준다. 두 번째칸부터는 순서대로 1번 드론, 2번 드론, 3번 드론의 영상 정보를 보여준다.

드론 3대는 최적경로탐색 알고리즘을 통해 설정된 경로를 따라 감시를 한다. 감시중인 영상은 Fig. 8과 같이 서버에서 실시간으로 확인이 가능하다. 화재 데이터가 학습된 Yolo를 이용하여 화재가 감지하게 된다면 그 위치와 그 시점에 촬영한 사진을 서버에 보내주어 Fig. 8의 좌측에 표시되는 빨간점과 우측의 첫 번째 칸에 표시되는 감지된 사진을 보고 화재위치와 상황을 확인하여 신속한 대응을 할 수 있다.

3.6 빔 프로젝터 탑재를 통한 산불 감지 구현

Fig. 10과 같이 빔프로젝터를 탑재한 드론을 구성하였다. 산불 재난 상황을 가정했을 때, 산불을 감시하는 드론들이 산불을 감지하고 감지된 위치(GPS 좌표)를 GCS에 전송한다. GCS에서는 지도상에 산불의 위치를 표시하여 빔에 전송한다. 빔은 Wifi를 통해 출력될 이미지를 전달받는다.

그 후 화재진압을 위해 출동하는 소방관들의 도착 위치에



Fig. 11. Swarm Drone System

빔을 탑재한 드론을 출동시킨다(Fig. 11). 출동한 드론은 Fig. 10과 같이 산불이 감지된 지역을 시각적으로 표시해준다. 이를 통해 소방관들에게 화재 진압을 위한 정보를 더 직관적으로 전달 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 여러 대의 재난 드론을 이용하여 재난 상황 중 산불을 감지하고, 산불에 대한 정보를 시각적으로 전달하는 것을 시스템을 구현하였다. 딥러닝 기반의 객체 인식 시스템을 사용함으로써 확장성을 높이고, 각 드론의 최적 경로 탐색을 통해 더욱 에너지 효율적인 시스템으로 구현하였다. 또한 드론에 빔 프로젝터를 탑재함으로써 시각적 정보를 효과적으로 전달하였다. 특히 여러 드론을 한 GCS에서 컨트롤 하며 빔 프로젝터를 이용해 시민들에게 대피경로를 알려주는 등 다목적으로 사용할 수 있게 만들었다는 점에서 본 연구에서 제안한 멀티 재난 드론 시스템은 다양한 재난 상황을 타파하는데 큰 도움을 줄 수 있다. 이 시스템은 산불 뿐만 아니라 다른 재난 상황에서도 응용할 수 있도록 설계되었다.

따라서 추후 확장된 연구를 통해 다양한 재난 상황에 관한 자료를 지속적으로 축적하려고 한다. 또한 각 드론에 LTE 모듈을 탑재함으로써 인터넷 환경이 구축된 수백 킬로미터 떨어진 전 세계 어디서든 운용할 수 있게 할 계획이다[5].

References

- [1] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.779-788, 2016.
- [2] M. Dorigo and T. Stützle, "Ant Colony Optimization Algorithms for the Traveling Salesman Problem," *Ant Colony Optimization*, MIT Press, pp.65-119, 2004.
- [3] GitHub [Internet], <https://github.com/mavlink/mavlink/>
- [4] GitHub [Internet], <https://github.com/ArduPilot/MissionPlanner>
- [5] S. Y. Lee, "A Study on Communication of Multi-Drone System based LTE," *SASE 2018 Spring Conference*, pp. 183-184, 2018.



김진혁

<https://orcid.org/0000-0002-4425-5449>
e-mail : nara20@naver.com
2015년~현재 수원대학교
정보통신공학과 학사과정
관심분야 : Network Modeling,
Intelligent Computing and
Machine Learning



Yamin Han

<https://orcid.org/0000-0003-3125-5308>
e-mail : 1025409604@qq.com
2017년 중국 지난대학교(석사)
2021년 수원대학교 컴퓨터공학과(박사)
관심분야 : Network Modeling,
Intelligent Computing and
Machine Learning



이태희

<https://orcid.org/0000-0002-5841-4009>
e-mail : lth1178@gmail.com
2015년~현재 수원대학교
정보통신공학과 학사과정
관심분야 : Network Modeling,
Intelligent Computing and
Machine Learning



변희정

<https://orcid.org/0000-0001-7693-8511>
e-mail : heejungbyun@suwon.ac.kr
2005년 한국과학기술원 전기및전자공학
(박사)
2010년 삼성종합기술원 전문연구원 및
삼성전자 책임연구원
2010년~현재 수원대학교 정보통신학부 교수
관심분야 : Wireless sensor actuator network, molecular
communication, network controller design &
theoretical analysis.